

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Evolution des paramètres hydrologiques  
et biogéochimiques dans la baie de  
Bou Ismail**

Présenté par :

**M<sup>lle</sup> Romaisa HARID**

Soutenu le 30/10/2014 devant le jury suivant :

**Mr B. HAMDI**

**Professeur (ENSSMAL)**

**Président du jury**

**Mlle F. LOUANCHI**

**Professeur (ENSSMAL)**

**Promotrice**

**Mlle N. AIT-AMEUR**

**Docteur (ENSSMAL)**

**Examinatrice**

**Mme F. HOUMA-BACHARI**

**Professeur (ENSSMAL)**

**Examinatrice**

**Promotion : 2014**



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Evolution des paramètres hydrologiques  
et biogéochimiques dans la baie de  
Bou Ismail**

Présenté par :

M<sup>lle</sup> RomaiSSa HARID

Soutenu le 30/10/2014 devant le jury suivant :

Mr B. HAMDI

Mlle F. LOUANCHI

Mlle N. AIT-AMEUR

Mme F. HOUMA-BACHARI

Professeur (ENSSMAL)

Professeur (ENSSMAL)

Docteur (ENSSMAL)

Professeur (ENSSMAL)

Président du jury

Promotrice

Examinatrice

Examinatrice

Promotion : 2014

## Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaiterais adresser mes remerciements aux personnes ayant contribué de près ou de loin, à leur manière et à des degrés différents, à l'élaboration et à l'accomplissement de ce mémoire, Il s'agit pour moi, d'un devoir spontané de reconnaissance et de gratitude, envers toutes les personnes sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas pu prendre forme, Ce travail est aussi le leur.

Un grand merci à ma promotrice, M<sup>elle</sup> F. LOUANCHI, pour avoir suggéré un thème aussi passionnant et pertinent, d'avoir accepté de diriger ce travail malgré ses multiples occupations. Son implication dans ce travail, ses conseils ainsi que sa constante sollicitude, auront été indispensables à la bonne réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier Mr. HAMDI de m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect, Un grand merci également à Mme HOUMA-BACHARI et M<sup>elle</sup> AIT AMEUR qui ont bien voulu faire partie du jury et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructives, leurs bon sens et leur expérience.

Le présent travail est le fruit des efforts conjugués de tant de personnes à qui je voudrais exprimer mes plus vifs remerciements :

Je voudrai d'abord témoigner ma reconnaissance à mes parents, La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur soutien moral et affectif. Je les remercie de m'avoir donné un environnement familial et matériel idéal, de m'avoir enseigné les valeurs essentielles de la vie (humilité, honnêteté, passion et rigueur). Merci d'avoir su me comprendre et me diriger dans les moments les plus difficiles, de m'avoir toujours fait confiance et de m'avoir comblée de votre tendresse et amitié.

Merci également à tous les professeurs et corps pédagogique qui ont contribué à ma formation durant ces cinq années passées à l'ENSSMAL.

Je suis particulièrement reconnaissante à M. ZERROUKI et M. KERAGHEL pour la disponibilité, le soutien, la bonne humeur et la collaboration, et grâce à qui mon premier contact avec la pratique s'est déroulé dans de très bonnes conditions.

Merci à Mr. Mekki d'avoir éclairé ma lanterne à maintes reprises. Merci également à l'ensemble des techniciens du laboratoire de l'ENSSMAL et de Sidi Fredj ainsi qu'aux bibliothécaires de l'école pour leur dévouement et leur collaboration.

A l'ensemble des collègues et amies de promotion, je dis merci pour ces belles années et amitié précieuse. Merci à Malik pour leur agréable compagnie et de franche fraternité. Pour ces années passionnantes, du fond du cœur : MERCI,

Pour finir, je prie le seigneur Dieu pour que mes aptitudes et mes travaux futurs puissent servir mon Pays et le rendre toujours meilleur.

## Dédicace

*A ma mère et mon père,  
Témoignage d'amour filial et de reconnaissance,*

*A mes sœurs et mes frères chéris(es),  
(Nisrine, Aya, Sahar, M, Tahar et Abd El Krim)*

*Puisse ce faible gage de ma vive reconnaissance  
compenser les nombreux sacrifices que faire pour moi.*

*A mes amies,  
Mehdia, Mohammed, Malik  
Témoignage de gratitude.*

*A tous mes amis(es).*

*Romaissa H.*

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Image satellitaire de la baie de Bou Ismail .....	17
<b>Figure 2:</b> Variation du débit mensuel moyen ( $m^3/s$ ) au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran de 2003 à 2012 (ANRH, 2013)(annexe).....	18
<b>Figure 3:</b> Températures mensuelles entre 2001 et 2010 de Bou Ismail (ONM, 2010) .....	19
<b>Figure 4:</b> Précipitations mensuelles entre 2001 et 2010 à Bou Ismail (ONM, 2010).....	20
<b>Figure 5:</b> L'ensoleillement mensuel entre 2001 et 2010 de Bou Ismail (ONM, 2010).....	20
<b>Figure 6:</b> Division de la zone d'étude en grilles .....	25
<b>Figure 7:</b> stations choisies comme représentatives .....	26
<b>Figure 8:</b> Nombre total des données des différents paramètres prises en comptes dans notre analyse pour chaque campagne .....	27
<b>Figure 9:</b> Evolution temporelle de la température dans la baie de Bou Ismail.....	30
<b>Figure 10:</b> Evolution temporelle de la salinité dans la baie de Bou Ismail .....	31
<b>Figure 11:</b> Evolution temporelle de l'oxygène dissous dans la baie de Bou Ismail .....	32
<b>Figure 12:</b> Evolution temporelle de la température (station 1) dans la baie de Bou Ismail ...	33
<b>Figure 13:</b> Evolution temporelle de la température (station 2) dans la baie de Bou Ismail ...	33
<b>Figure 14:</b> Evolution temporelle de la température (station 3) dans la baie de Bou Ismail ...	33
<b>Figure 15:</b> Evolution temporelle de la salinité (station 1) dans la baie de Bou Ismail.....	34
<b>Figure 16:</b> Evolution temporelle de la salinité (station 2) dans la baie de Bou Ismail.....	34
<b>Figure 17:</b> Evolution temporelle de la salinité (station 3) dans la baie de Bou Ismail.....	34
<b>Figure 18:</b> Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station1) dans la baie de Bou Ismail	35
<b>Figure 19:</b> Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station2) dans la baie de Bou Ismail	35
<b>Figure 20:</b> Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station3) dans la baie de Bou Ismail	35
<b>Figure 21:</b> Evolution temporelle de pourcentage d'oxygène dissous dans la baie de Bou Ismail .....	36
<b>Figure 22:</b> Evolution temporelle de MES (station 1) dans la baie de Bou Ismail .....	36
<b>Figure 23:</b> Evolution temporelle de MES (station 1) sans la campagne de Mars 2003 .....	37
<b>Figure 24:</b> Evolution temporelle des sels nutritifs (station 1) dans la baie de Bou Ismail .....	37
<b>Figure 25:</b> Rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Juillet 2002.....	38
<b>Figure 26:</b> Rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Mars 2003 .....	38
<b>Figure 27:</b> Rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Mai 2012 .....	39
<b>Figure 28:</b> Rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Avril-Mai 2013.....	39
<b>Figure 29:</b> Rapport N/P dans la baie de Bou Ismail .....	39
<b>Figure 30:</b> Rapport Si/N dans la baie de Bou Ismail.....	40
<b>Figure 31:</b> La variation de la température, salinité et l'oxygène dissous entre les deux années 2002 et 2014 .....	41

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Débit des rejets d'eau usée dans la baie de Bou Ismail (Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, 2006, in Inal, 2011) .....	21
<b>Tableau 2:</b> Les activités polluantes les plus importantes dans la baie de Bou Ismail (Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, 2006, in Inal, 2011) .....	21
<b>Tableau 3:</b> Campagnes effectuées dans la baie de Bou Ismail .....	24
<b>Tableau 4:</b> Coordonnées géographiques des stations choisies comme représentatives .....	25
<b>Tableau 5:</b> Données disponibles pour chaque station .....	26
<b>Tableau 6:</b> Les valeurs moyennes des données collectées dans la baie de Bou Ismail.....	29
<b>Tableau 7:</b> Débit mensuel en m <sup>3</sup> /s d'Oued Mazafran entre 2003-2012 .....	48
<b>Tableau 8:</b> Débit mensuel moyen au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran .....	48
<b>Tableau 9:</b> Coordonnées géographique du positionnement des stations des campagnes de Juillet 2002, Mars 2003 dans la baie de Bou-Ismaïl. ....	49
<b>Tableau 10:</b> Coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Mai 2012 dans la baie de Bou-Ismaïl. ....	49
<b>Tableau 11:</b> Coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Mai 2013 dans la baie de Bou-Ismaïl .....	50
<b>Tableau 12:</b> Coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Juin 2014 dans la baie de Bou-Ismaïl.....	51

## Liste des abréviations

<b>ENSSMAL</b>	Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral
<b>GIEC</b>	Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>LCVRM</b>	Laboratoire de Conservation et Valorisation des Ressources Marines
<b>ONM</b>	Office National Météorologique
<b>SMOW</b>	Standard Mean Ocean Water

# Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	<b>2</b>
<b>Dédicace</b> .....	<b>3</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>4</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>6</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Généralités</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Description hydrologique</b> .....	<b>13</b>
1.1.1 Température .....	13
1.1.2 Salinité.....	13
<b>1.2 L'eutrophisation</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 Les indicateurs d'eutrophisation .....	13
1.2.1.1 L'oxygène dissous .....	13
1.2.1.2 Matières en suspension .....	14
1.2.1.3 Sels nutritifs .....	14
1.2.1.3.1 Origines des sels nutritifs dans les zones côtières.....	14
1.2.1.3.2 Les différentes formes des sels nutritifs.....	15
1.2.1.3.3 Rapport de Redfield (N/P) .....	15
<b>2 Baie de Bou Ismail</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Description géographique et présentation du site</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Réseau hydrographique</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Sédimentologie de la Baie de Bou Ismail</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 Climatologie</b> .....	<b>19</b>
2.4.1 Température de l'air .....	19
2.4.2 Pluviométrie .....	19
2.4.3 Ensoleillement.....	20
2.4.4 Vent .....	20
<b>2.5 Les sources potentielles de pollution dans la baie de Bou Ismail</b> .....	<b>20</b>
<b>3 Matériel et méthodes</b> .....	<b>24</b>

<b>3.1</b>	<b>Les données utilisées.....</b>	<b>24</b>
3.1.1	Présentation des campagnes .....	24
<b>3.2</b>	<b>Traitement des données .....</b>	<b>24</b>
3.2.1	Choix et localisation des stations .....	24
3.2.2	Les paramètres pris en comptes .....	26
3.2.3	Calcul des moyennes .....	27
<b>4</b>	<b>Résultats et discussions.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Hydrologie de la baie de Bou Ismail .....</b>	<b>33</b>
4.1.1	Température .....	33
4.1.2	Salinité.....	34
<b>4.2</b>	<b>Analyse de la biogéochimie et l'état d'eutrophisation dans baie de Bou Ismail</b>	<b>35</b>
4.2.1	Oxygène dissous.....	35
4.2.2	Matières en suspension.....	36
4.2.3	Les sels nutritifs .....	37
4.2.3.1	Les différents sels .....	37
4.2.3.2	Rapport de Redfield .....	38
4.2.3.3	Le rapport Si/N .....	40
<b>4.3</b>	<b>Comparaison entre les campagnes de Juillet 2002 et Juin 2014 .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>Les indicateurs d'eutrophisation dans la baie de Bou Ismail (entre 2002 et 2014)</b>	<b>41</b>
	<b>Conclusion.....</b>	<b>43</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>45</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>48</b>

## **Résumé**

Dans la zone côtière, la combinaison des apports côtiers et la variabilité des paramètres physico-chimiques, couplés dans la masse d'eau, conduit à une dégradation du milieu.

Dans la baie Bou Ismail, les oueds et les rejets urbains sont une source importante des éléments nutritifs et des polluants organiques. Ces apports peuvent créer une eutrophisation et une forte demande en oxygène dans la baie. Dans notre étude, nous évoluons les tendances des paramètres physico-chimiques à fin d'obtenir une vue sur le devenir des flux biogéochimiques et l'état d'eutrophisation de la baie. Pour cela, nous avons collectés des données entre 2002 et 2014, les analysés et les discutés.

En fin, nous pourrions penser qu'il s'agit des apports continentaux (influence côtière) qui participerait à une éventuelle eutrophisation des eaux de la baie.

### ***Mots clés :***

Paramètres physico-chimiques, eutrophisation, baie de Bou Ismail.

# *Introduction*

## Introduction

Le réchauffement climatique ne se résout pas uniquement par un accroissement de la température, c'est tout un ensemble de modifications physiques, écologiques et sociales qui résultent de l'activité anthropique (Ho, 2006). Cette dernière perturbe particulièrement le milieu côtier.

On peut également envisager que les écosystèmes marins vont subir dans les années à venir l'évolution globale du système marin, en réponse au changement climatique et aux activités anthropiques qui perturbent les équilibres chimiques, physiques (changement de la circulation) et biologiques (modification de la pompe biologique) de l'eau de mer (Caldeira, et al., 2003).

Des études indiquent que la pollution des zones côtière liées aux activités humaines, sont de natures différentes. Les phénomènes d'eutrophisation dus à l'enrichissement du milieu aquatique en éléments nutritifs (nitrates, phosphates) ou à une introduction anthropique de polluants organiques sont en grande partie les causes d'une dégradation du milieu marin.

Dans ce contexte, la baie de Bou Ismail a fait l'objet de quelques études durant ces dernières années (Haddouche, 2002 ; Khaouni, 2003 ; Djouadi et M'zyene, 2012 ; Djahnit et Yefsah, 2013 ; Harid, 2014), Ces dernières ont porté sur la distribution des paramètres physicochimiques et ont mis en évidence l'impact des apports côtiers engendrés par l'activité anthropique sur les équilibres biogéochimiques et l'état d'eutrophisation de la baie.

Notre présent travail a porté sur l'évolution des tendances des paramètres physico-chimiques dans la baie de Bou Ismail, située dans la partie Ouest de la côte algéroise du bassin occidental de la Méditerranée. L'objectif principal est de cerner et d'identifier les impacts du réchauffement climatique et de l'activité anthropique sur les différents flux biogéochimiques et sur les écosystèmes marins.

Le manuscrit est organisé de la manière suivante :

- Le contexte détaillé de l'étude est présenté dans le premier chapitre.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description de la zone d'études : la baie de Bou Ismail.
- Le troisième chapitre décrit le matériel et méthodes d'analyse.
- La présentation et l'interprétation des résultats sont détaillées dans le quatrième chapitre.
- Enfin, ces chapitres sont suivis par des conclusions ainsi que par des perspectives pour les travaux postérieurs.

# *Généralités*

## **1 Généralités**

Ce chapitre est focalisé pour un contexte détaillé de l'étude et des caractéristiques de la baie de Bou Ismail. Pour mieux comprendre les changements physiques, chimiques et biologiques dans notre zone d'étude, les processus à l'origine de ces variations seront présentés.

### **1.1 Description hydrologique**

#### **1.1.1 Température**

La température étant une grandeur qui intervient dans le calcul de la plupart des variables qui permettent de caractériser et de modéliser l'océan (Le Menn, 2007). Ce paramètre est un facteur important du milieu, il influe sur la densité de l'eau, la solubilité des sels et des gaz, la conductivité électrique et les processus biologiques.

#### **1.1.2 Salinité**

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin. Elle permet de connaître la circulation océanique, identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires (Aminot, et al., 2004). Elle correspond à la teneur en sels dissous.

### **1.2 L'eutrophisation**

A l'opposé des problèmes de limitation de la production primaire par les sels nutritifs, le domaine côtier doit aujourd'hui faire face aux apports croissants d'éléments nutritifs et de la matière organique provenant des rejets domestiques, industriels ou agricoles dans l'environnement.

L'eutrophisation, c'est-à-dire l'augmentation globale de la production biologique, est une conséquence de l'augmentation de la concentration des sels nutritifs et de la matière organique dans le milieu marin (Roy-Barman, et al., 2011).

Lorsqu'une trop forte accumulation locale de biomasse se produit, le milieu est rapidement épuisé à la fois en oxygène et en sels nutritifs. La décomposition de cette dernière va désoxygéner le milieu. Dans ce cas, l'excès de sels nutritifs induit, à un stade postérieur du cycle, un déséquilibre dû au dépassement des tolérances dans la possibilité de réoxygénation du milieu. Ce déséquilibre peut en cas extrême conduire à l'anoxie (Lacaze, 1996).

#### **1.2.1 Les indicateurs d'eutrophisation**

##### **1.2.1.1 L'oxygène dissous**

Une teneur suffisante en oxygène dissous est un des principaux critères de qualité des eaux de surface. La plupart des organismes aquatiques, les poissons en premier lieu, ne peuvent vivre normalement que dans des eaux présentant au moins 3 mg/l d'oxygène (Billen, et al., 1999).

Parce que le niveau d'oxygénation de l'eau est la résultante d'un grand nombre de processus (micro)biologiques et physico-chimiques, il reflète très étroitement le fonctionnement de l'écosystème et est très sensible à tout déséquilibre de ce fonctionnement. Ainsi, la photosynthèse produit de l'oxygène tandis que la dégradation hétérotrophe de la matière

organique, apportée par les effluents ou produite par les organismes, en consomme (Billen, et al., 1999).

L'augmentation des apports en sels nutritifs est généralement considérée comme la cause initiale et essentielle du phénomène d'eutrophisation dans le milieu marin. Quand sa progression est extrême, sous influence essentiellement anthropique, elles peuvent conduire à une désoxygénation du milieu provient de la dégradation de la matière organique (consommation d'oxygène), avec une faible compensation de l'oxygène par la voix atmosphérique ou l'activité photosynthétique

### **1.2.1.2 Matières en suspension**

En plus des substances dissoutes, les eaux de mer contiennent des matières en suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature, soit biogénique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons), soit terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, détritiques déversés par l'homme), soit éolienne (particules transportées par les courants atmosphériques et tombant dans la mer), soit enfin météorique (Aminot, et al., 2007).

### **1.2.1.3 Sels nutritifs**

Les sels nutritifs sont des molécules dissoutes dans l'eau de mer et comprenant de l'azote, du phosphore et de silice (Gomez, et al., 2000).

#### **1.2.1.3.1 Origines des sels nutritifs dans les zones côtières**

L'origine des sels nutritifs dans les zones côtières dépendent des apports atmosphériques et des déversements terrestres anthropiques (Lacaze, 1996).

##### **Apports atmosphérique**

L'apport atmosphérique des sels nutritifs contribue de façon très significative au bilan d'azote et plus modestement à celui du phosphore. L'impact de cet apport sur la productivité primaire semble faible dans les conditions hivernales de recyclage vertical des sels nutritifs accumulés en profondeur. Par contre, en période estivale, le dépôt atmosphérique pourrait être une source majeure (Migon, et al., 1989).

##### **Apports terrestre**

Les apports de nutriments organiques et minéraux par voies fluviale, directe et éolienne dans la zone côtières sont très importants. Ces apports peuvent être toxiques pour le milieu marin (Boulaïdid, 1987).

##### **Recyclage interne**

Outre les apports fluviaux et atmosphériques, la demande de sels nutritifs par le phytoplancton peut être satisfaite sur le lieu même de la demande.

Du fait que ces apports ne représentent pas une nouvelle source de sels nutritifs mais reflètent plutôt des transformations de nutriments présents dans le système, la production de phytoplancton qu'ils induisent est désignée sous le nom de « production de régénération » (Lacaze, 1996).

### 1.2.1.3.2 Les différentes formes des sels nutritifs

Les éléments nutritifs présents dans le milieu marin essentiellement sous leur forme oxydée (Copin-Montegut, 1996) :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$  pour l'azote,  $\text{PO}_4^{3-}$  pour le phosphore et  $\text{SiO}_2^-$  pour la silice.

#### Ammonium

L'ammonium est souvent dominant (Aminot, et al., 1983). En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates, ce qui induit une consommation d'oxygène (Millero, 2013).

#### Nitrite

Les ions nitrites, composés intermédiaires du cycle de l'azote situés entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates ont des concentrations pouvant atteindre quelques micromoles par litre (Rodier, et al., 2009) dans le milieu marin.

#### Nitrate

C'est un micronutriment essentiel entrant dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance de phytoplancton dans la zone euphotique (Brewer, et al., 1965).

Le nitrate absorbé par les algues est réduit selon le schéma réactionnel (Copin-Montegut, 1996):



#### Phosphate

Le phosphate est régulièrement présent en quantité très faible. Il est connu comme facteur limitant de l'activité photosynthétique dans la méditerranée.

### 1.2.1.3.3 Rapport de Redfield (N/P)

Le calcul du rapport (N/P) mène à l'estimation, en surface, de l'assimilation d'un sel nutritif par rapport à un autre, tandis qu'en profondeur, il indique le taux de reminéralisation de la matière organique. Ce rapport peut varier avec la profondeur et en fonction des saisons, en accord avec la variation de l'activité biologique, cette variation du rapport N/P sera plus accentuée à proximité des côtes où les différents rejets anthropiques interviennent sur la perturbation du milieu.

Le rapport est inférieur ou égal à 6 lorsque les rejets sont des eaux usées domestiques et aux environs de 10 lorsque les rejets proviennent du lessivage des terres agricoles (Lacaze, 1996).

*Zone d'étude*

## 2 Baie de Bou Ismail

### 2.1 Description géographique et présentation du site

La bordure sous-marine de la région algéroise, est réduite à une mince couche de part et d'autre des deux élargissements de la Baie d'Alger et de la Baie de Bou Ismail (Caulet, 1972). Notre zone d'étude correspond à la Baie de Bou Ismail, qui s'étend du méridien du Mont Chenoua à l'Ouest (2°25' E et 36°38'N) à celui du Ras Acrata à l'Est (2°55' E et 36°48' N), la plaine de la Mitidja au Sud et le mer Méditerranée au Nord. Elle est située dans la Wilaya de Tipaza à 30 km à l'Ouest d'Alger. La baie de Bou Ismail présente une superficie de 509 km<sup>2</sup>, avec un linéaire côtier de plus de 48 km, Elle est orientée du Sud Est au Nord Est.

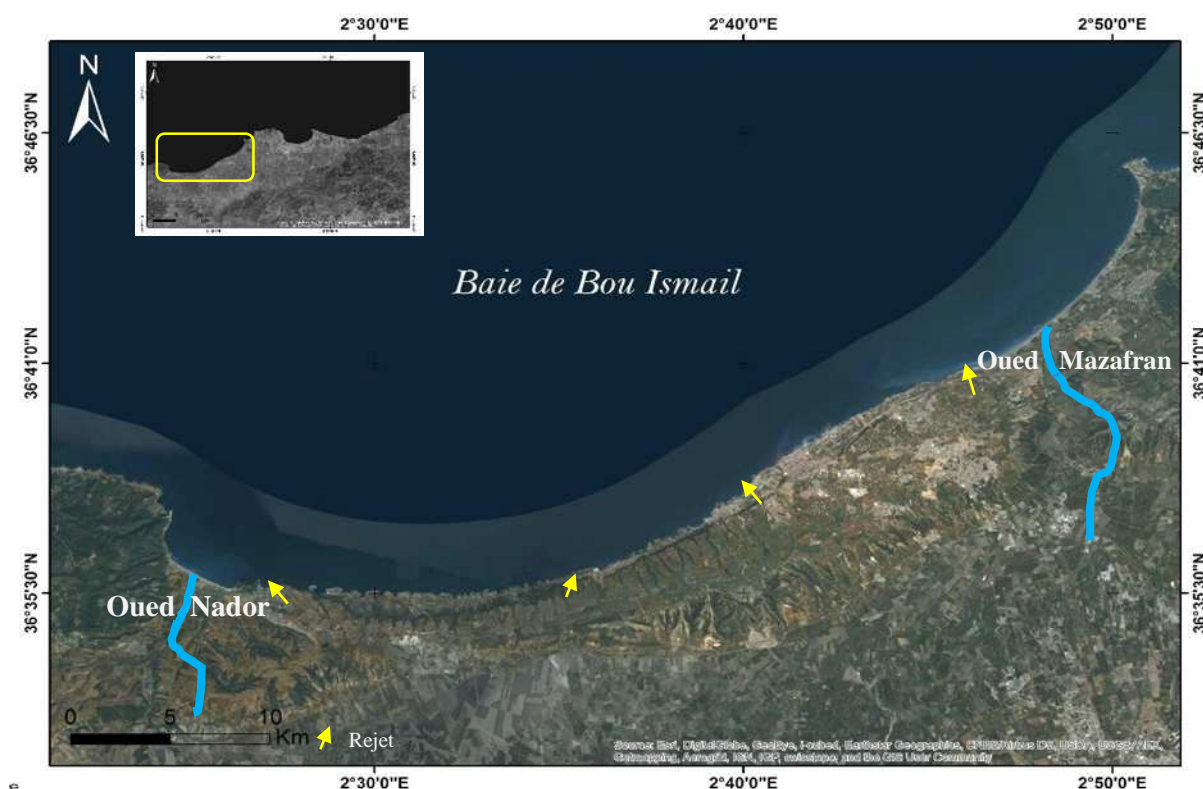


Figure 1: Image satellitaire de la baie de Bou Ismail

### 2.2 Réseau hydrographique

Utilisés comme déversoirs naturels d'eaux usées (domestiques, industrielles et agricoles), les Oueds constituent l'un des principaux vecteurs des polluants en mer. Ils interviennent de très près sur la nature des fonds et les paramètres physico-chimiques de la zone de l'embouchure, et conditionnent de la sorte l'abondance et la diversité de ses peuplements. Tous les Oueds de la zone d'étude traversent la plaine de la Mitidja du Sud vers le Nord, contournant les obstacles qu'ils rencontrent, avant de se jeter dans la mer.

Trois Oueds débouchent dans la Baie de Bou Ismail :

**Oued Nador** : situé dans la partie occidentale, il draine, à partir des Oueds Bouyersen, Bouardoun et Meurad, tous les apports solides du massif du Chenoua. D'un débit de 0,89 m<sup>3</sup>/s et s'étendant sur 230 km<sup>2</sup> (Braïk, 1989), il débouche sous forme d'un collecteur dans la petite Baie du Chenoua, entre Djebel Chenoua et Tipaza (ANRH, 2013).

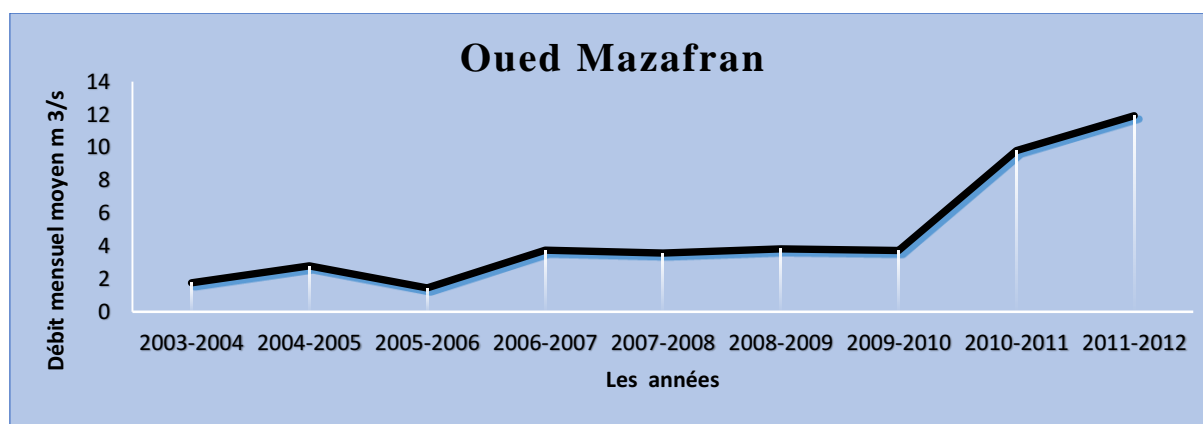
**Oued Béni Messous** : avec son débit réduit ( $0,245 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Braïk, 1989), il ne participe que faiblement à l'enrichissement de cette baie. S'alimente à partir du massif de la Bouzaréah, il sera chargé essentiellement de résidus d'origine urbaine récoltés lors de son transit pour déboucher sur les plages des Dunes et d'El Djamila (Baie de Bou Ismail).

**Oued Mazafran** : c'est l'Oued le plus important de la région, il draine un bassin de  $1900 \text{ km}^2$  (partie Ouest de la Mitidja) (Braïk, 1989) et débouche sur la mer au niveau d'une petite plage sablonneuse à  $30 \text{ km}$  d'Alger, entre Zéralda et Douaouda. Son débit annuel est estimé entre 1969 et 2013 à  $5,77 \text{ m}^3/\text{s}$  (ANRH, 2013). Il est caractérisé par des crues fortes et rapides en hiver-printemps qui augmentent la turbidité de la zone par la remise en suspension de substrat fin (Pauc, 1989). Trois Oueds secondaires lui sont afférents : Bou-Roumi, Chiffa et Djer.

Oued Mazafran est le plus important dans la baie de Bou Ismail avec ses rejets et son débit.

D'après des données de l'ANRH (2014) (annexe), les débits moyens pluriannuels sont en augmentation depuis 2003 au 2012, de  $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $11,92 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le débit suit ainsi un cycle saisonnier avec des valeurs maximales en hiver et minimales en été. Sur le plus long terme, le débit montre une tendance nette (figure 6) à l'augmentation avec des valeurs plus au moins élevées suivant un cycle pluriannuel. Ces augmentations pourraient être liées aux variations climatiques agissant à l'échelle régionale.



**Figure 2:** Variation du débit mensuel moyen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran de 2003 à 2012 (ANRH, 2013)(annexe)

### 2.3 Sédimentologie de la Baie de Bou Ismail

La surface est généralement couverte de vases et de boues argilo-siliceuses dont une grande partie provient sans doute des apports limoneux du Mazafran. Les sédiments calcaires de nature organogène ne forment que 4 ou 5 gisements principaux isolés et peu étendus. Les plus connus sont les fonds à gravelle signalés devant la baie (Caulet, 1972).

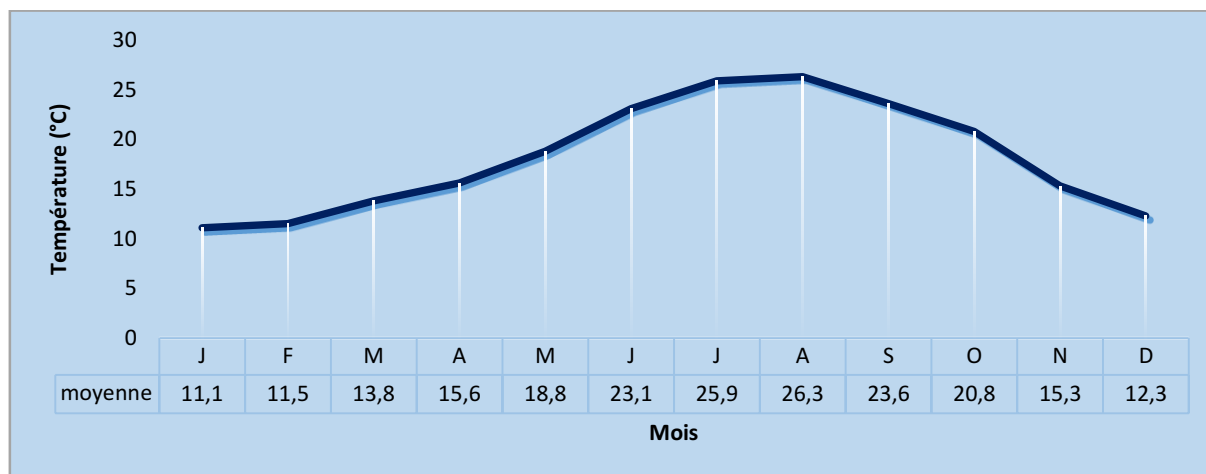
Deux régions apparaissent, la région orientale et la région occidentale et chaque région présente sa caractéristique sédimentologique propre. Les vases pures très développées dans la région occidentale forment une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région orientale. De même, le faciès des sables grossiers et des fins graviers et le faciès des sables graveleux ne sont présents que dans la région orientale.

## 2.4 Climatologie

Les données utilisées dans ce travail nous ont été fournies par l'Office National Météorologique d'Alger (Dar El Beida) et concernent les années 2001 à 2010.

### 2.4.1 Température de l'air

La courbe des moyennes de température mensuelle entre 2001 et 2010, montre que le mois le plus froid est Janvier, le plus chaud étant Août. Les valeurs moyennes minimales pour la période considérée, sont respectivement 11,1°C et 26,3°C, ce qui donne une amplitude de variations thermiques de 15,2°C (ONM, 2010).



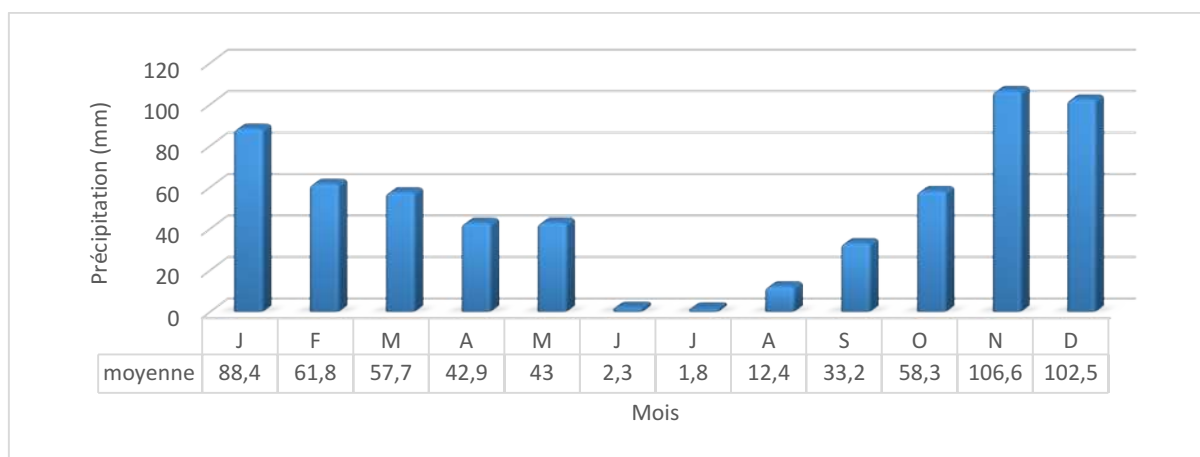
**Figure 3:** Températures mensuelles entre 2001 et 2010 de Bou Ismail (ONM, 2010)

Les moyennes annuelles se répartissent aux alentours de 17,4°C et 18,7°C (ONM, 2010).

### 2.4.2 Pluviométrie

La période pluvieuse se situe surtout de Novembre à Mars, mais elle commence fréquemment en Septembre. Elle correspond à la saison hivernale (figure 4). La hauteur moyenne annuelle à Bou Ismail est de 801 mm en 2007 (ONM, 2010). Les précipitations importantes ont pour conséquence directe le grossissement des Oueds augmentant les apports d'eau douce dans la baie.

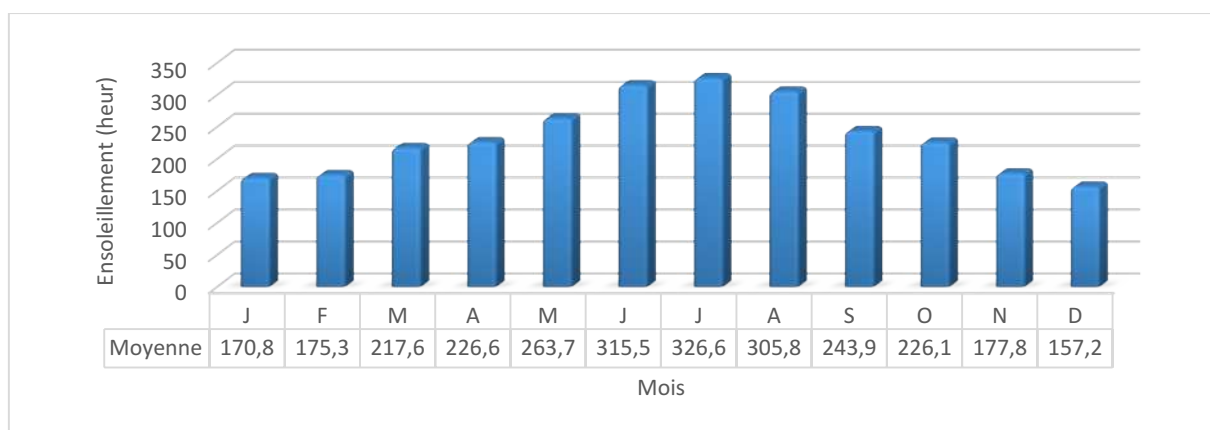
La fréquence et l'abondance des pluies varient selon les années et les mois. Entre Janvier 2001 et Décembre 2010, la quantité maximale est tombée en Novembre 2007, avec 250,1 mm et la quantité minimale en Juillet 2010 et Août 2005 avec une valeur de 0,1 mm (ONM, 2010).



**Figure 4:** Précipitations mensuelles entre 2001 et 2010 à Bou Ismail (ONM, 2010)

### 2.4.3 Ensoleillement

L'ensoleillement minimal en hiver, croît progressivement jusqu'en Juillet où l'insolation est maximale avec une durée moyenne de 326,6 heures (ONM, 2010). Après cette période, il diminue jusqu'au mois de Décembre où l'insolation est minimale avec une durée de 157,2 heures. La durée moyenne annuelle d'ensoleillement enregistrée pendant dix ans (2001, 2010), a été de 2806,76 heures (ONM, 2010).



**Figure 5:** L'ensoleillement mensuel entre 2001 et 2010 de Bou Ismail (ONM, 2010)

### 2.4.4 Vent

D'une manière globale, une prédominance des vents NNW et NE est observée (Leclaire, 1972). L'hiver est caractérisé par une agitation quasi permanente au cours de laquelle les vents dominants proviennent des directions comprises entre NW et NNW. La saison estivale est relativement plus calme ou peu agitée, les vents du secteur NE et E étant dominants (Braïk, 1989).

## 2.5 Les sources potentielles de pollution dans la baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail se distingue par sa vocation touristique, activités industrielles et agricoles importante.

D'après l'ANIREF (2013), la population de la wilaya de Tipaza où se trouve la baie de Bou Ismail est de 630,183 habitants (fin 2012), soit une densité de 369 habitants par Km<sup>2</sup>, ces données statistique nous donnent une vision sur les pollutions potentielles :

- Eaux usées domestiques de zones urbaines.
- Agglomération des complexes touristiques.
- Thalassothérapie à Sidi Fredj.
- Ports localisés sur les côtes de la baie :
  - Port de Bou Haroun
  - Port de Khemisti
  - Port de Tipaza
  - Port de Sidi Fredj

Les eaux usées se déversent dans la baie sans aucun traitement et beaucoup plus en période estivale. D'après les données statistiques du Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement 37 points de rejets d'eau usées collectées par le réseau d'assainissement qui se déversent directement en mer sans aucun traitement (Tableau 2). De plus, des rejets provenant de plusieurs pôles industriels se déversent également dans la baie (Tableau 3).

**Tableau 1:** Débit des rejets d'eau usée dans la baie de Bou Ismail (Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, 2006, in Inal, 2011)

Communes	Nombre de rejets	Débit (m <sup>3</sup> ,j <sup>-1</sup> )	Lieu de rejet
<b>Bou-Ismaïl</b>	9	4000	Mer
<b>Bou-Haroun</b>	4	320	Mer
<b>Khemisti</b>	6	400	Oued Khemisti et Mer
<b>Fouka</b>	5	3600	Mer
<b>Douaouda</b>	5	1600	Oued Mazafran et Mer
<b>Tipaza</b>	8	7140	Mer

**Tableau 2:** Les activités polluantes les plus importantes dans la baie de Bou Ismail (Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, 2006, in Inal, 2011)

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
<b>SARL RESITECK</b>	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
<b>ALUFER</b>	Métallurgie	Chutes d'Aluminium et poussières de Fer
<b>ALUMINAL</b>		

<b>SARL PROCHIMAL</b>	Fabrication des produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimique, rejets de savons
<b>PLASTRAM</b>	Transformation plastique	Eaux de nettoyage
<b>PFIZER</b>	Fabrication produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
<b>IMPRIMERIE SHELLIA</b>	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
<b>TONIC EMBALLAGE</b>	Fabrication de boîte, gobelet	Rejet d'eaux usées domestiques, chutes de cartons, papiers, colorants, matières plastiques
<b>TERRA CERAMIQUE</b>	Production céramique et poteries	Lessivages d'argiles vers la mer

# *Matériel et méthodes*

### 3 Matériel et méthodes

Les méthodes de mesure et d'analyse des différents paramètres sont complètement détaillées dans les travaux de mémoire d'ingénieurs Haddouche (2002), Khaoui (2003), Djaoudi & M'zyne (2012), Djahnit & Yefsah (2013) et Harid (2014).

#### 3.1 Les données utilisées

La baie de Bou Ismail est une zone soumise à l'influence des activités humaines intensives, urbaines et industrielles, Notre travail consiste à évoluer les tendances des différents paramètres physico-chimiques, dans le but est de cerner et d'identifier l'impact de réchauffement climatique et de l'activité humaine sur les différentes flux biogéochimiques et l'état d'eutrophisation dans la baie de Bou Ismail.

Cette étude est basée sur des données récoltées dans le cadre de mémoires d'ingénieurs dont les données exploitées reviennent aux travaux de Haddouche (2002), Khaoui (2003), Djaoudi & M'zyne (2012), Djahnit & Yefsah (2013) et Harid (2014) dans la baie de Bou Ismail.

Les données de la température, salinité, les sels nutritifs et d'oxygène dissous sont les plus abondantes et présentes pour chaque année et sur toute la baie, la matière en suspension et les paramètres du carbone ne sont disponibles que pour certaines campagnes.

##### 3.1.1 Présentation des campagnes

Les campagnes ont été faites à des périodes différentes (tableau).

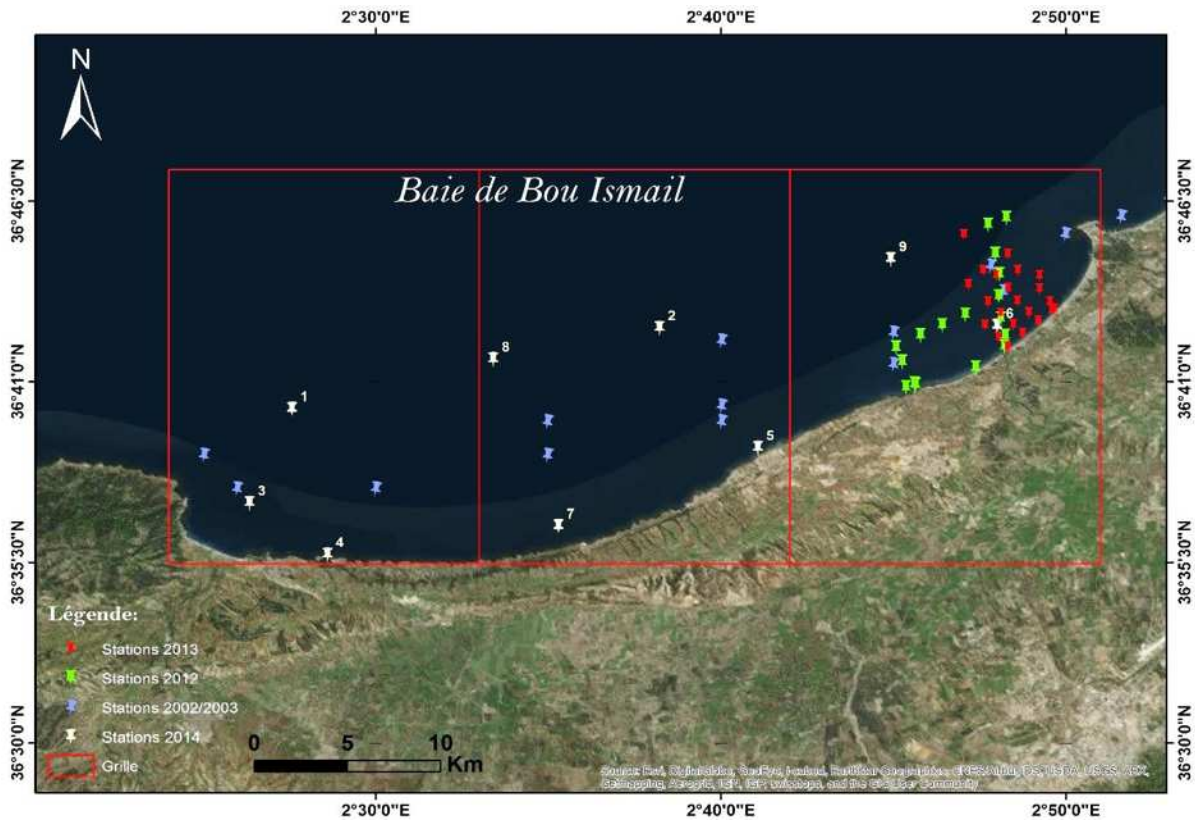
**Tableau 3:** *campagnes effectuées dans la baie de Bou Ismail*

Références	Années	Dates	Paramètres mesurés
Haddouche	2002	Du 15 au 18 Juillet	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , chlorophylle a et quelques métaux traces dans le sédiment
Khaoui	2003	Du 11 au 12 Mars	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$
	2003	Du 4 au 11 Mai	
Djaoudi & M'zyen	2012	Du 2 au 4 Mai	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , chlorophylle a, pH, AT
Djahnit & Yefseh	2013	Du 9 Avril au 10 Mai	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , chlorophylle a, pH, AT
Harid	2014	22 juin	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , pH, AT

#### 3.2 Traitement des données

##### 3.2.1 Choix et localisation des stations

Notre zone d'étude, la baie de Bou Ismail est située dans la partie Ouest de la côte algéroise du bassin occidental de la Méditerranée, elle s'étend de 2°25'E à 36°38'N et 2°55'E et 36°48'N. La création d'une grille de 0,2° de latitude × 0,15° de longitude a permis de la diviser en trois zones.



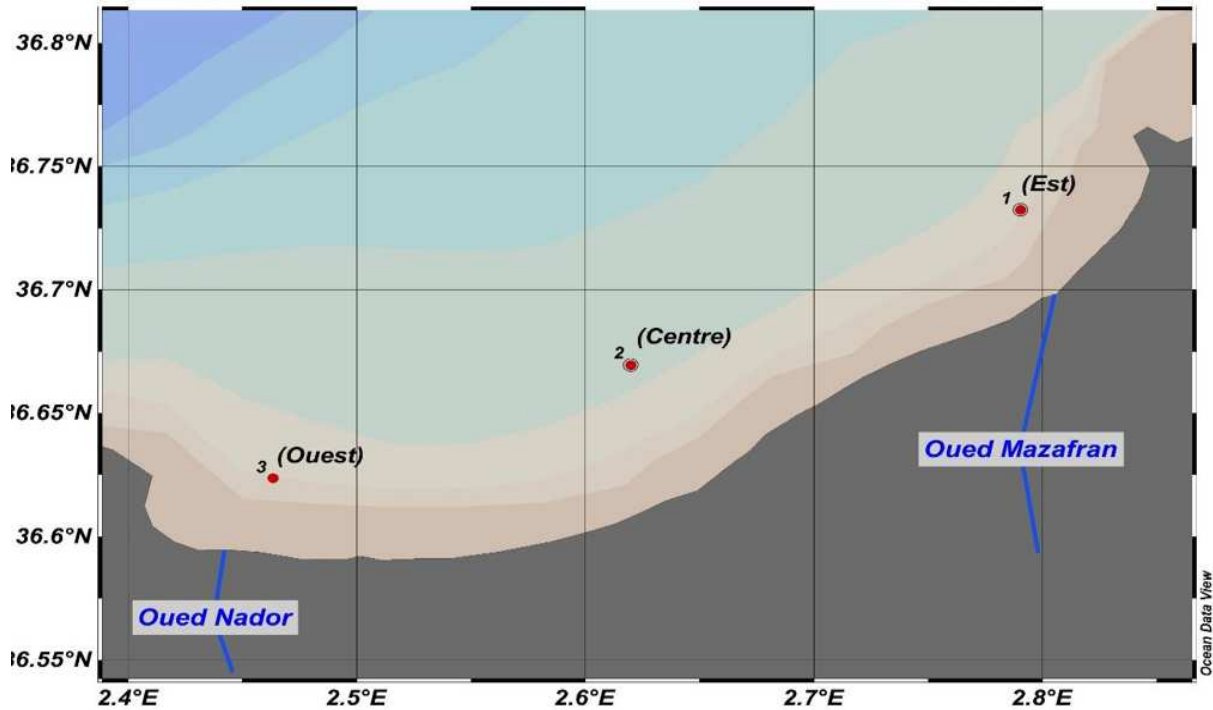
**Figure 6:** *Division de la zone d'étude en grilles*

Le choix des stations pour notre étude sera fait sur l'ensemble des points de prélèvements qui sont déjà été échantillonnées dans les années précédentes (citées au-dessus).

Un point au milieu de chaque grille a été choisi pour représenter la moyenne d'un paramètre pour chaque campagne.

**Tableau 4:** *Coordonnées géographiques des stations choisies comme représentatives*

Stations	Latitude	Longitude	Campagne
1 (Est)	36°43'56,28'' N	2°47'25,44''E	Juillet 2002
			Mars – Mai 2003
			Mai 2012
			Avril – Mai 2013
			Juin 2014
2 (Centre)	36°40'10,04''N	2°37'11,484''E	Juillet 2002
			Mars – Mai 2003
			Juin 2014
3 (Ouest)	36°37'25,19''N	2°27'48,24''E	Juillet 2002
			Mars – Mai 2003
			Juin 2014



**Figure 7:** stations choisies comme représentatives

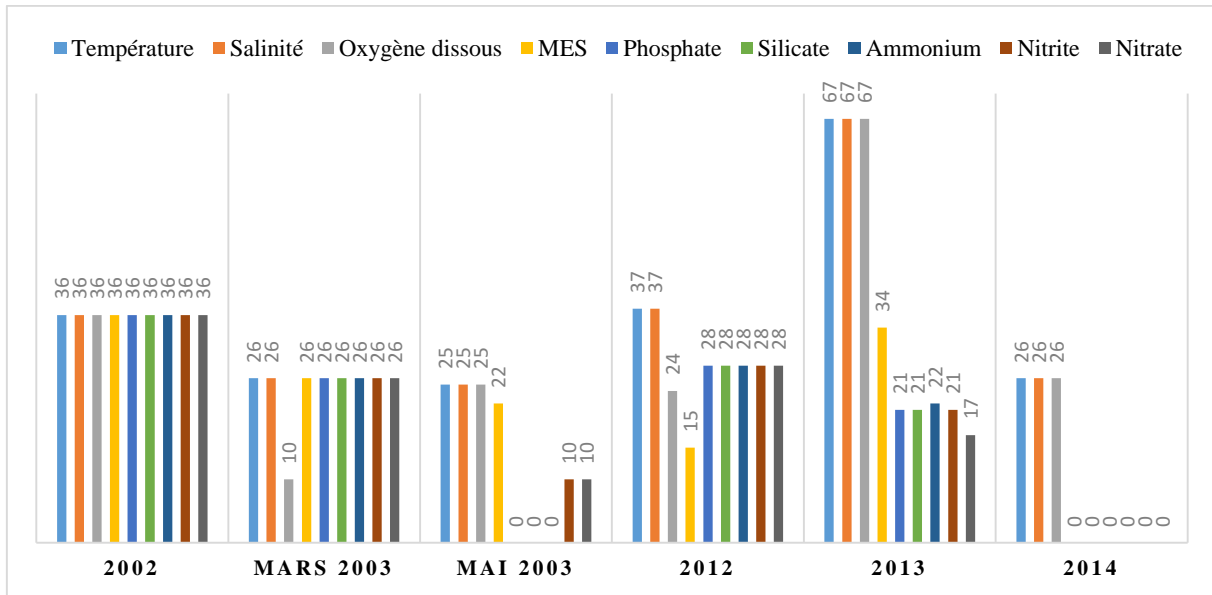
### 3.2.2 Les paramètres pris en compte

Pour évoluer les tendances, on a pris en compte les différents paramètres :

**Tableau 5:** données disponibles pour chaque station

Stations	Paramètres
1 (Est)	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$
2 (Centre)	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$
3 (Ouest)	$T^{\circ}$ , S, $O_2$ , MES, $PO_4^{3-}$ , $Si(OH)_4^-$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$

Le nombre total des données récoltés des différents paramètres sont représentés dans la figure suivante :



**Figure 8:** Nombre total des données des différents paramètres prises en comptes dans notre analyse pour chaque campagne

### 3.2.3 Calcul des moyennes

On a calculé la moyenne pondéré de chaque paramètre dans la couche de surface (comprise entre 0 et 50 m de profondeur) pour chaque campagne, selon l'équation suivante :

$$X_m = \frac{\sum_{k=1}^n X_k * Z_k}{\sum_{k=1}^n Z_k}$$

Avec :

$X_m$ : La moyenne de la variable X dans la couche de surface (0-50m),

$X_k$  : Valeur de la variable à une profondeur k de la couche de surface,

n: Limite inférieure de la couche de surface,

$Z_k$  : Épaisseur de la couche calculée comme suit :

$$Z_k = \frac{Z_k - Z_{k-1}}{2} + \frac{Z_{k+1} - Z_k}{2}$$

Pour calculer la moyenne des valeurs de nos séries de données, pondérée par leurs profondeurs:

- On a multiplié chaque valeur par l'épaisseur de la couche où elle correspond.
- On a additionné tous les produits obtenus.
- Puis on a divisé cette somme par la somme total des épaisseurs des couches.

# *Résultats et discussions*

## 4 Résultats et discussions

Les données collectées dans les différentes campagnes sont reportés sur le tableau ci-dessous sous forme de valeurs moyennes.

**Tableau 6:** Les valeurs moyennes des données collectées dans la baie de Bou Ismaïl

Année	Station	T	S	O <sub>2</sub>	MES	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Si(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		°C	psu	mg/l	mg/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
<b>Juillet 2002</b>	1 (Est)	18,55	36,5	8,87	25,94	0,118	2,004	0,202	0,598	0,029
	2 (Centre)	20,89	36,8	8,39	48,71	0,136	2,846	0,213	1,082	0,054
	3 (Ouest)	20,47	36,9	8,58	42,34	0,161	2,735	0,159	0,655	0,030
<b>Mars 2003</b>	1 (Est)	15,84	36,6	-	144,4	0,044	6,836	16,36	0,029	0,374
	2 (Centre)	15,27	36,9	9,22	142,8	0,036	6,173	13,18	0,018	0,168
	3 (Ouest)	15,30	36,8	9,24	149,1	0,045	6,817	18,38	0,155	0,735
<b>Mai 2003</b>	1 (Est)	17,84	36,5	9,05	40,07	-	-	-	-	-
	2 (Centre)	18,00	36,5	8,92	68,99	-	-	-	-	-
	3 (Ouest)	18,18	36,5	8,62	39,03	-	-	-	-	-
<b>Mai 2012</b>	1 (Est)	17,60	35,3	6,21	49,83	0,531	0,580	2,751	0,041	0,215
	2 (Centre)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 (Ouest)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Avril – Mai 2013</b>	1 (Est)	17,82	35,7	7,32	60,79	0,405	2,739	6,24	0,175	0,860
	2 (Centre)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 (Ouest)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Juin 2014</b>	1 (Est)	20,78	36,6	6,81	-	-	-	-	-	-
	2 (Centre)	20,50	36,6	7,41	-	-	-	-	-	-
	3 (Ouest)	20,68	36,7	7,25	-	-	-	-	-	-

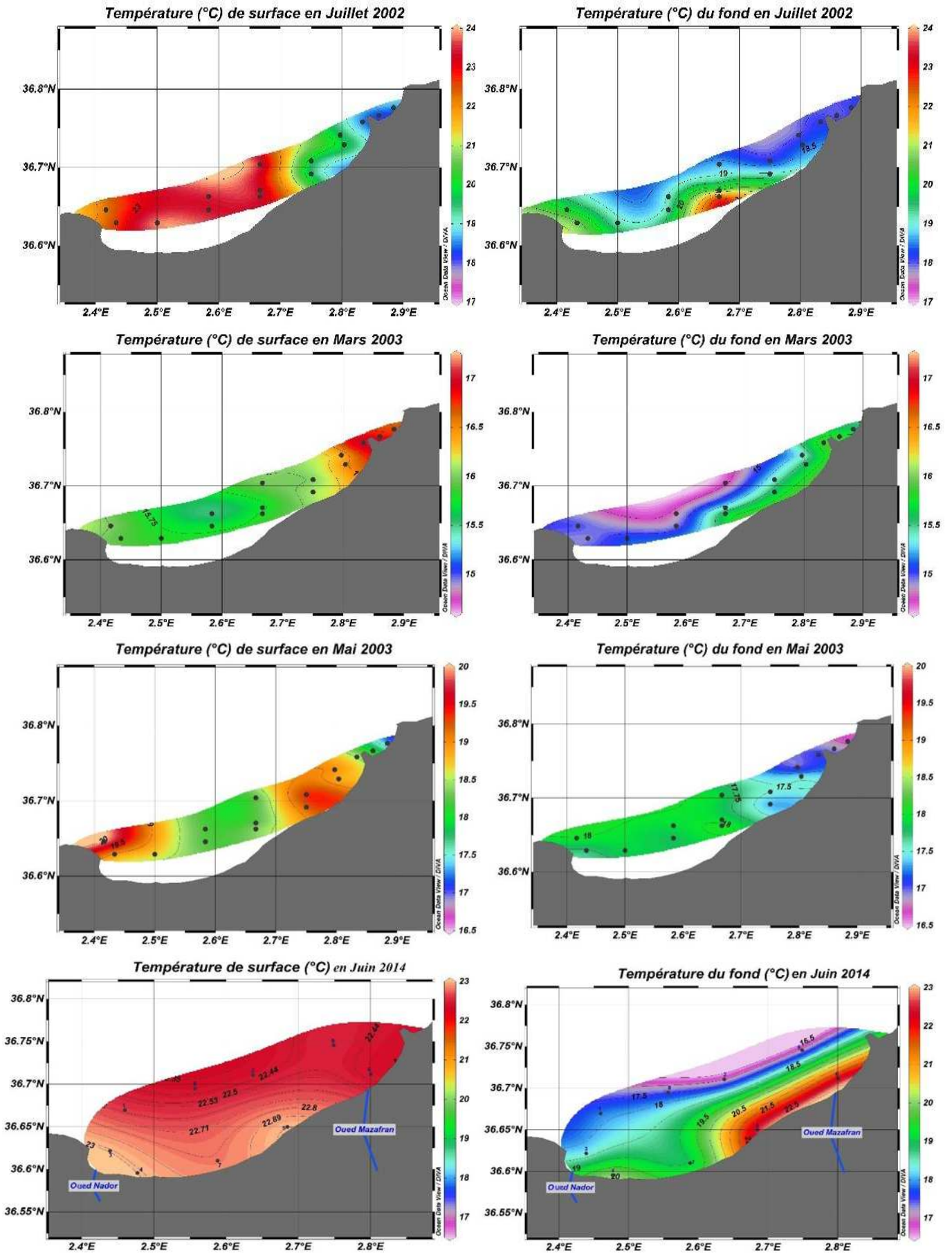


Figure 9: Evolution temporelle de la température dans la baie de Bou Ismaïl

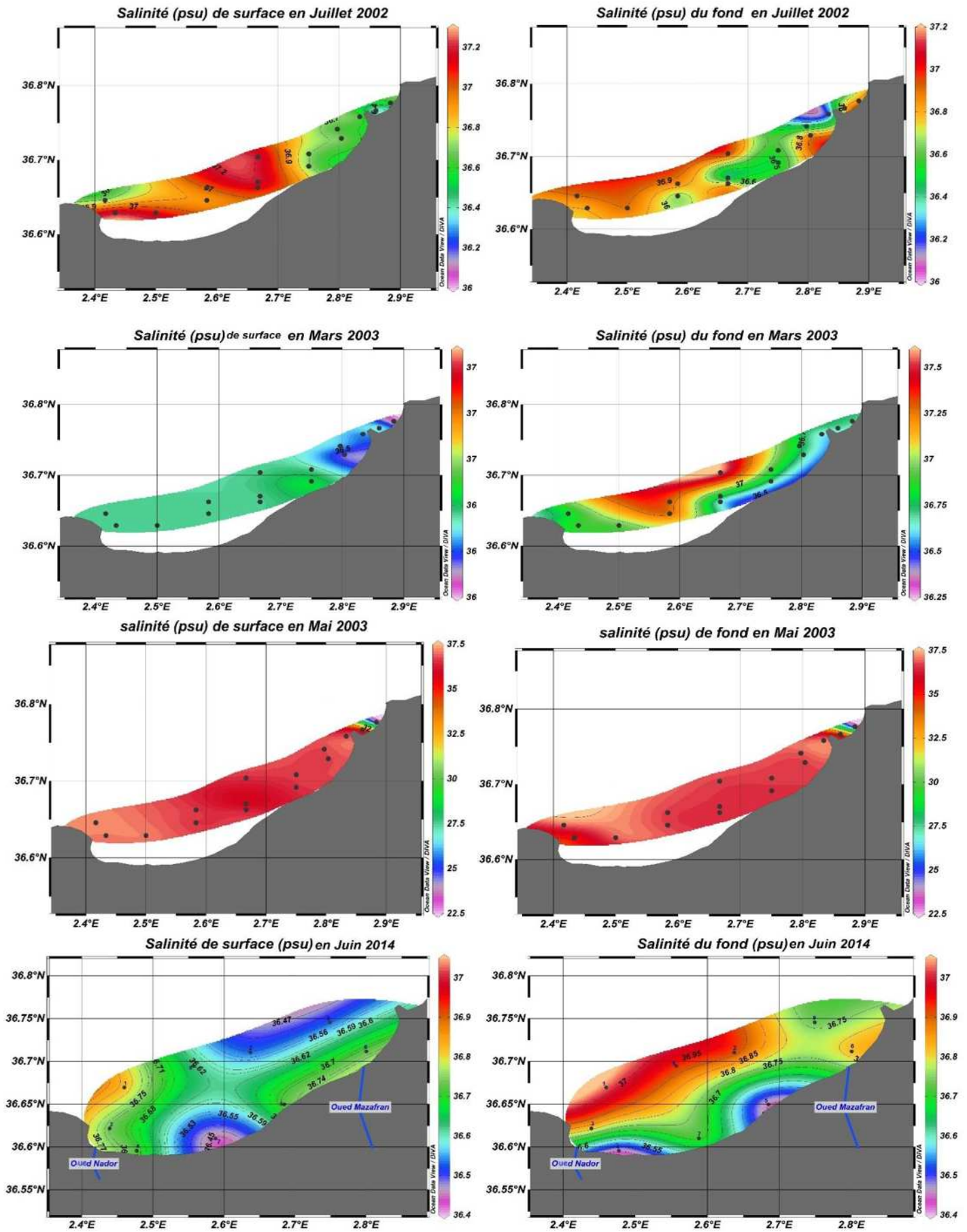


Figure 10: Evolution temporelle de la salinité dans la baie de Bou Ismail

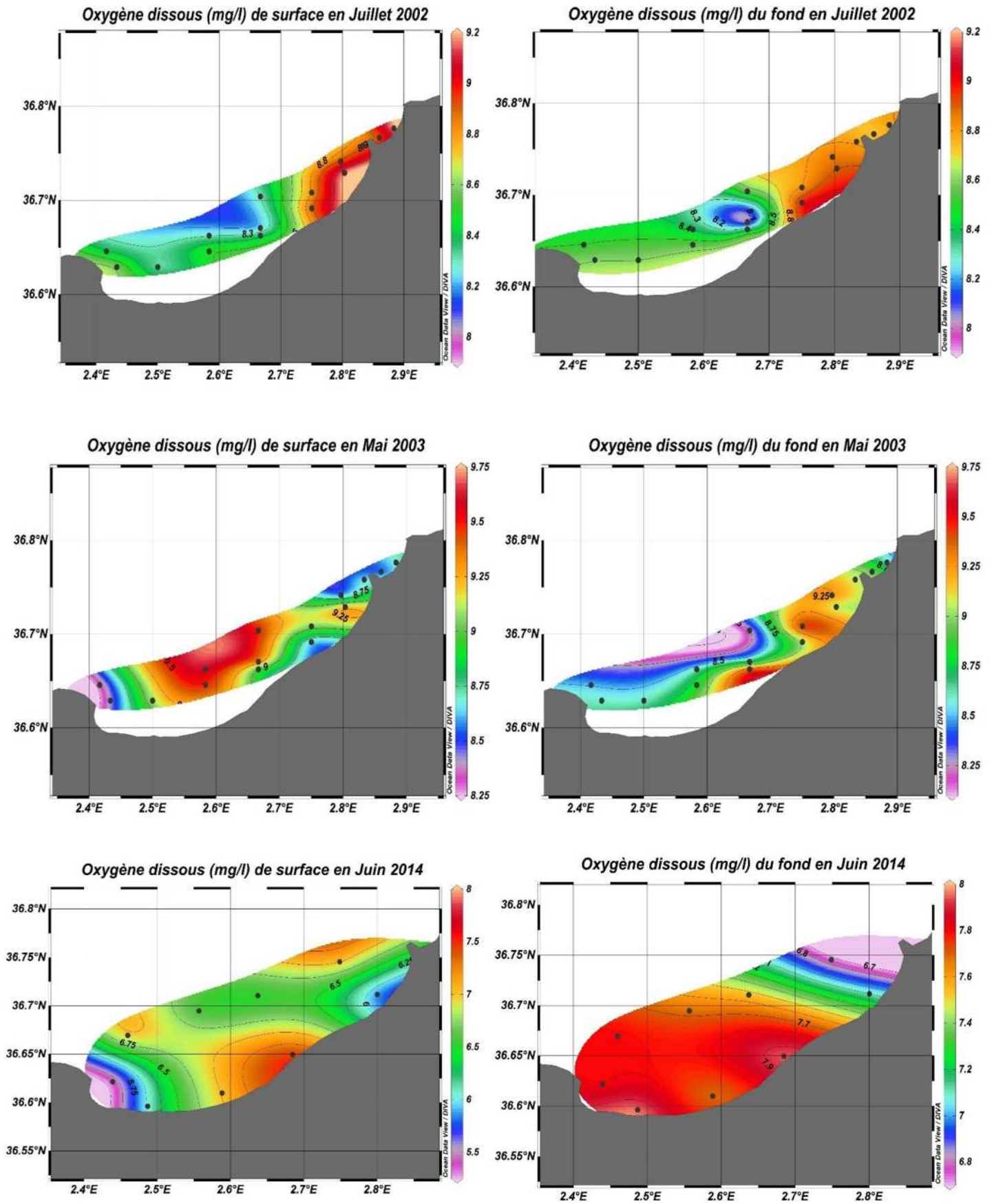
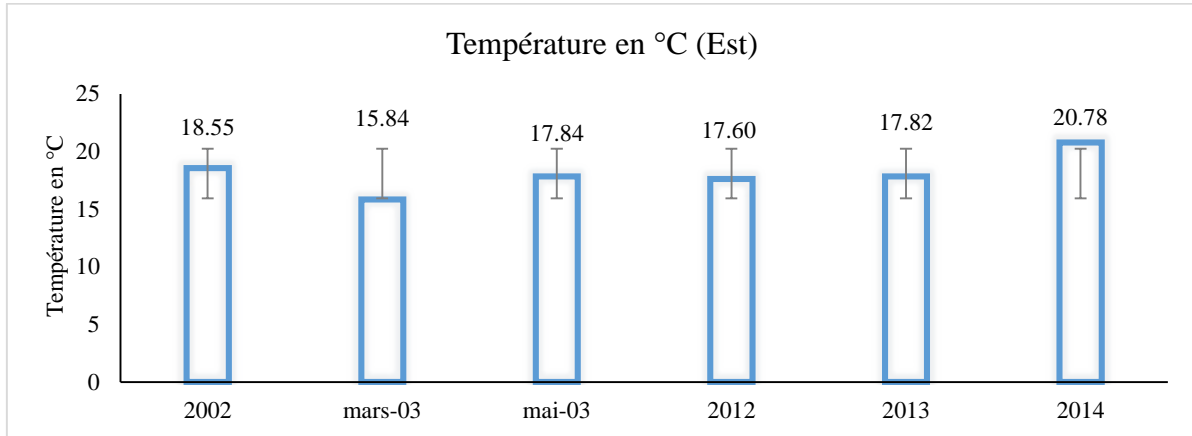


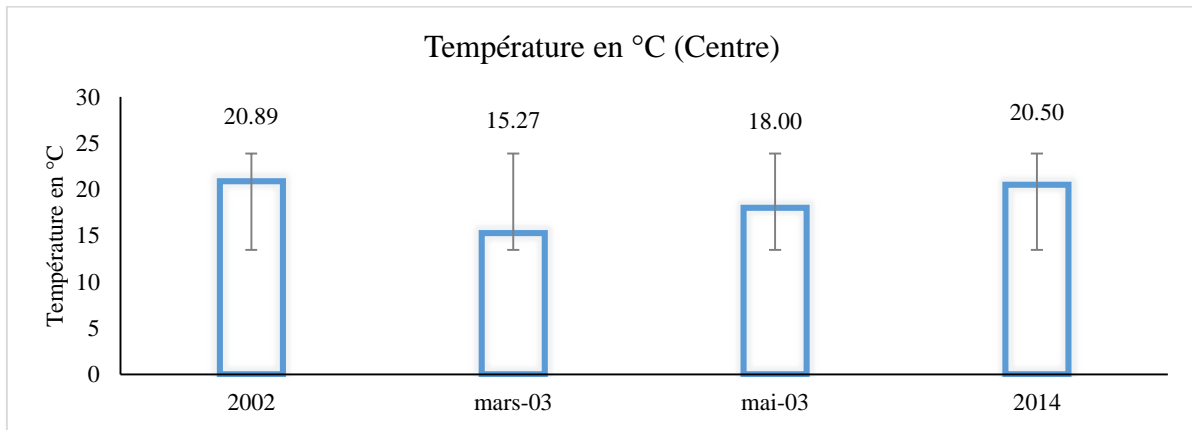
Figure 11: Evolution temporelle de l'oxygène dissous dans la baie de Bou Ismaïl

## 4.1 Hydrologie de la baie de Bou Ismail

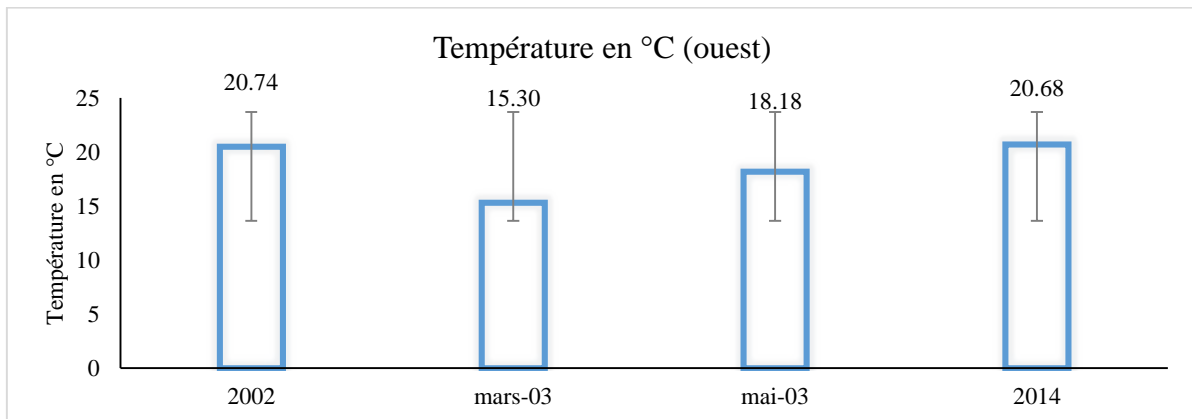
### 4.1.1 Température



**Figure 12:** Evolution temporelle de la température (station 1) dans la baie de Bou Ismail



**Figure 13:** Evolution temporelle de la température (station 2) dans la baie de Bou Ismail

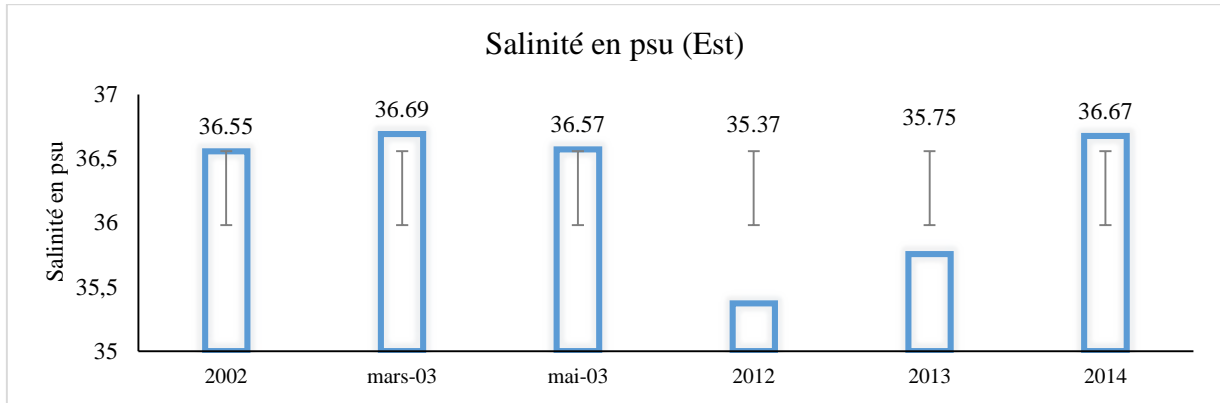


**Figure 14:** Evolution temporelle de la température (station 3) dans la baie de Bou Ismail

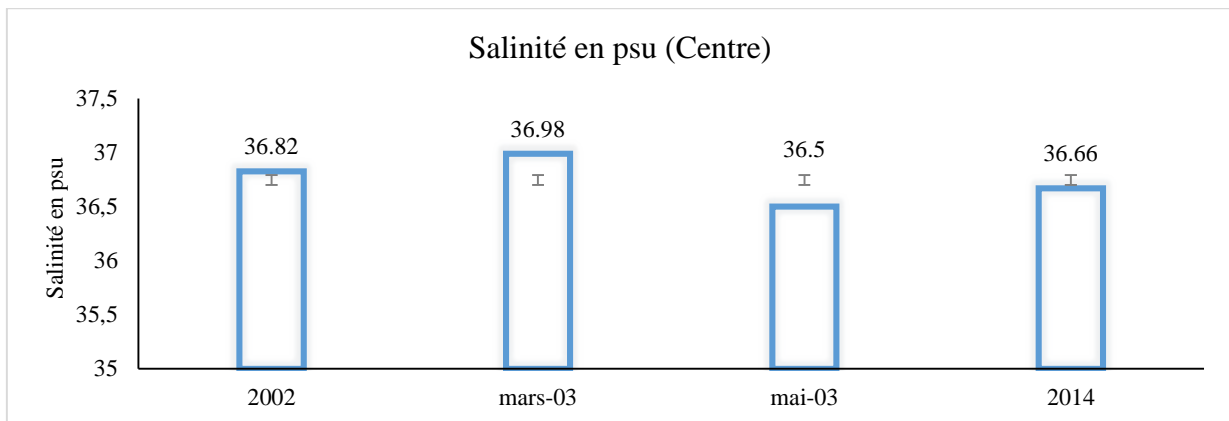
L'évolution temporelle de la moyenne annuelle de la température dans la baie de Bou Ismail révèle une tendance à une légère augmentation aux station (1) à l'Est, station (2) au centre la station (3) à l'Ouest, avec un écart type entre les campagnes de 1,37°C.

Par ailleurs, l'analyse des données hydrologiques et climatologiques acquises pendant les mois de prélèvement, nous indiquent que les valeurs de la température correspondent aussi à la saison d'échantillonnage (ONM, 2014).

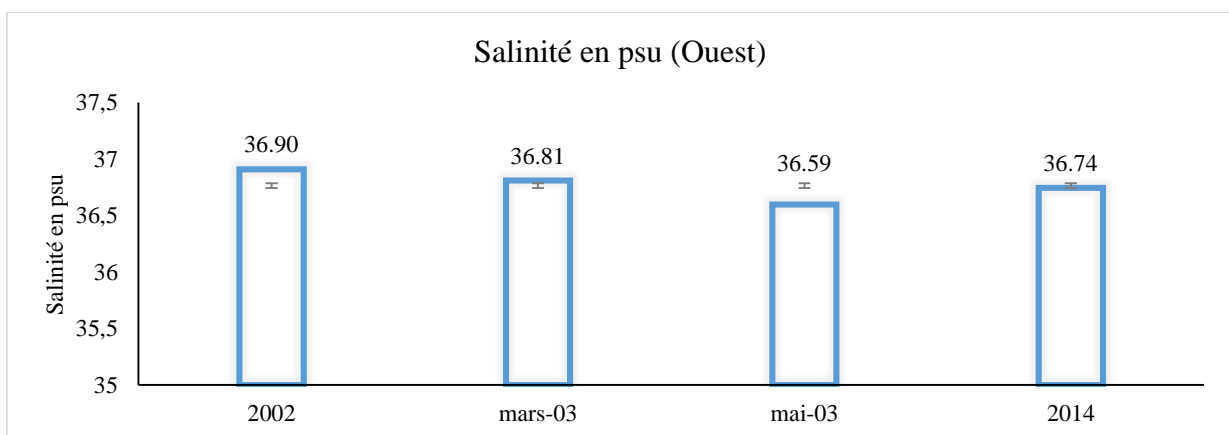
#### 4.1.2 Salinité



**Figure 15:** Evolution temporelle de la salinité (station 1) dans la baie de Bou Ismail



**Figure 16:** Evolution temporelle de la salinité (station 2) dans la baie de Bou Ismail



**Figure 17:** Evolution temporelle de la salinité (station 3) dans la baie de Bou Ismail

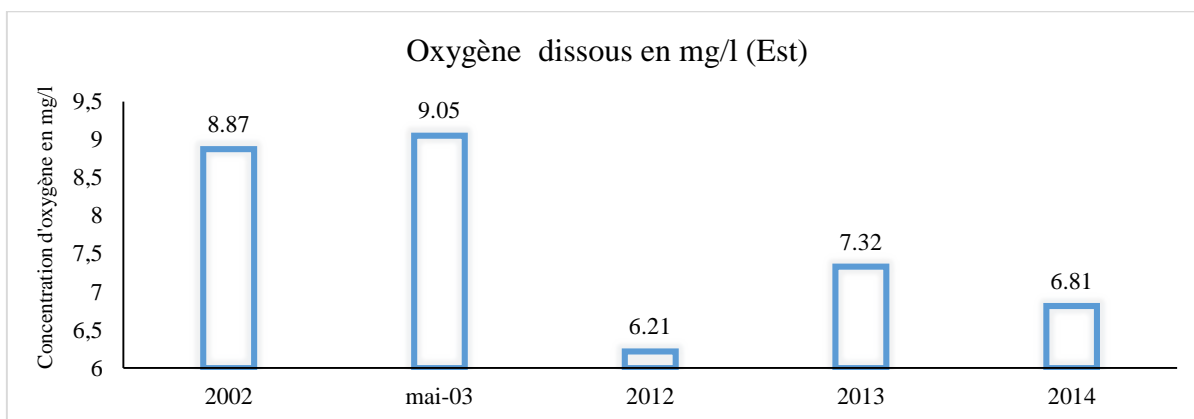
A l'exception de l'année 2012, où on note une diminution au niveau de la station (1) (Est de la baie) qui pourrait s'expliquer par l'augmentation du débit de oued Mazafran dû à la forte pluviométrie de l'hiver 2012 (ONM, 2014), les valeurs de la salinité sur toutes les campagnes (stations 1, 2, 3) sont presque homogènes et comprises entre 36,59 psu et 36,90 psu (dans la

couche de surface). L'évolution temporelle de la moyenne annuelle de la salinité dans la baie de Bou Ismail révèle une tendance à une légère variation correspondre à la saison d'échantillonnage et les apports côtiers d'eaux douce.

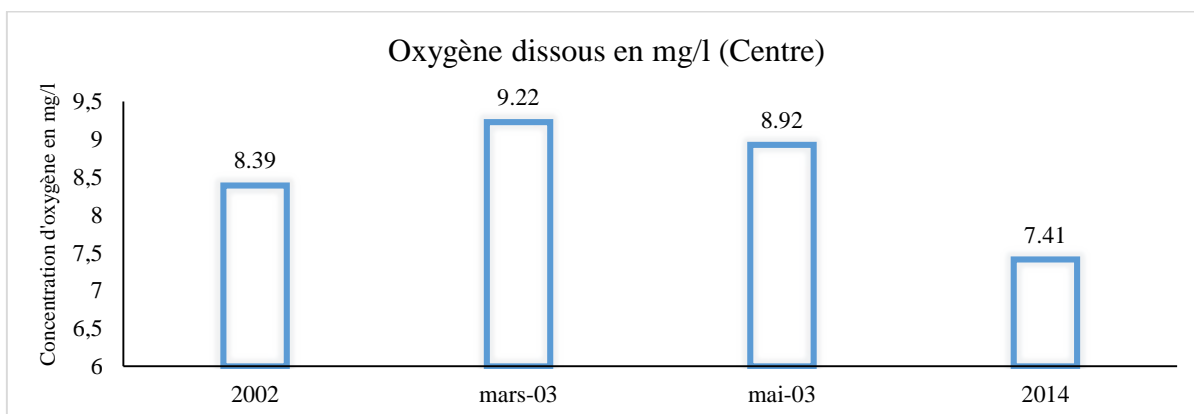
## 4.2 Analyse de la biogéochimie et l'état d'eutrophisation dans baie de Bou Ismail

L'analyse biogéochimique serve à évaluer le comportement des paramètres étudiés et l'état d'eutrophisation de baie de la Bou Ismail par rapport aux résultats obtenus.

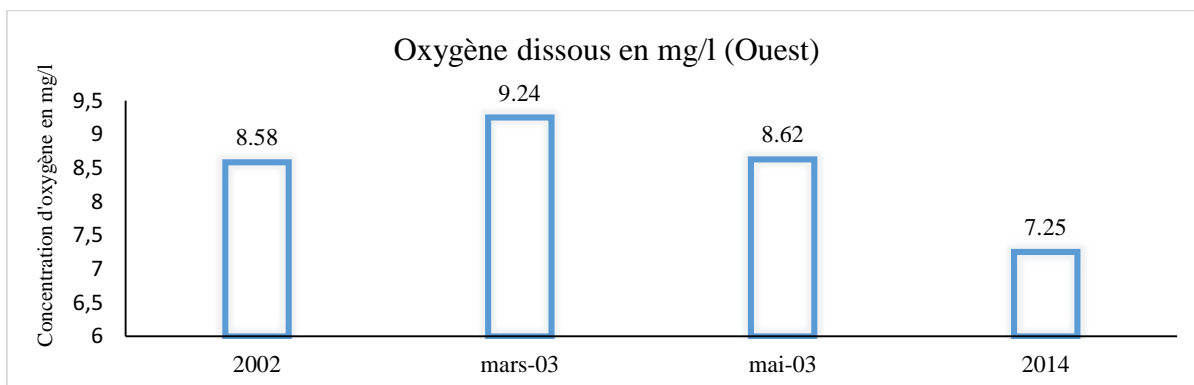
### 4.2.1 Oxygène dissous



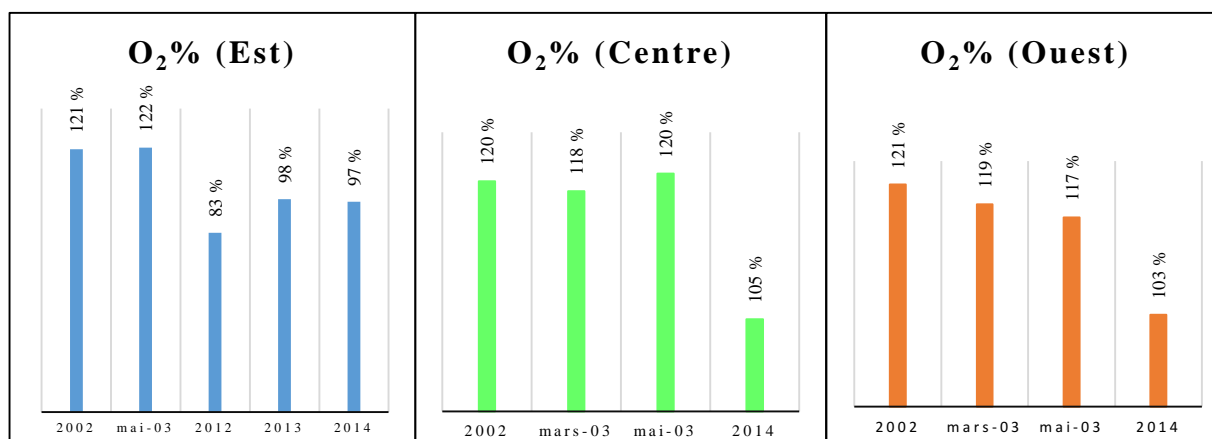
**Figure 18:** Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station 1) dans la baie de Bou Ismail



**Figure 19:** Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station 2) dans la baie de Bou Ismail



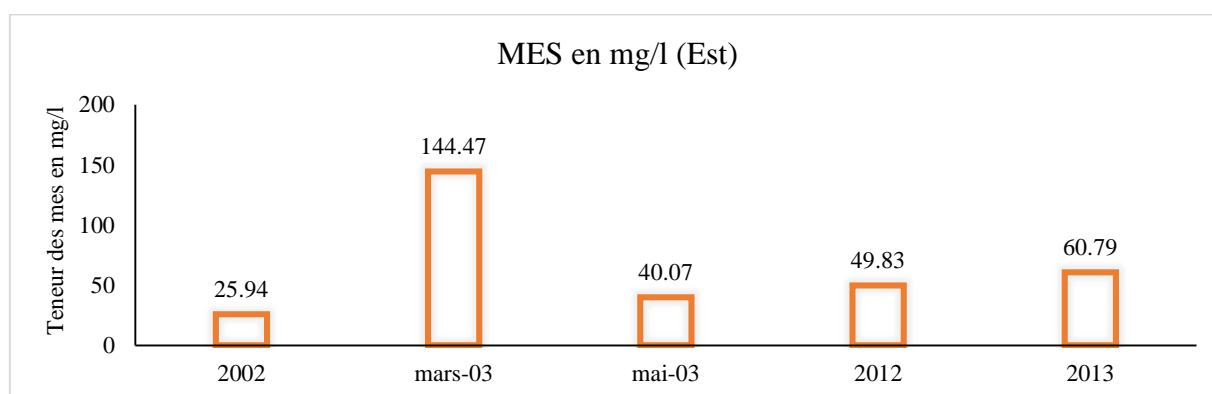
**Figure 20:** Evolution temporelle de l'oxygène dissous (station 3) dans la baie de Bou Ismail



**Figure 21:** Evolution temporelle de pourcentage d'oxygène dissous dans la baie de Bou Ismail

A l'exception de Mars et Mai 2003 (printemps), où on remarque un pic au niveau des 3 stations, qui pourrait être dû à une production biologique importante et qui aurait un rôle dans l'enrichissement des eaux en oxygène dissous, l'évolution temporelle de la moyenne annuelle de l'oxygène dissous dans la baie de Bou Ismail révèle une tendance à une diminution dans la station (1) à l'Est, station (2) au centre et la station (3) à l'Ouest, avec un écart type entre les campagnes de 1 mg/l, cette tendance à la diminution (figure 21) pourrait être due à la consommation d'oxygène liée au recyclage de la matière organique apportée (par les rejets) et produite dans la colonne d'eau.

#### 4.2.2 Matières en suspension

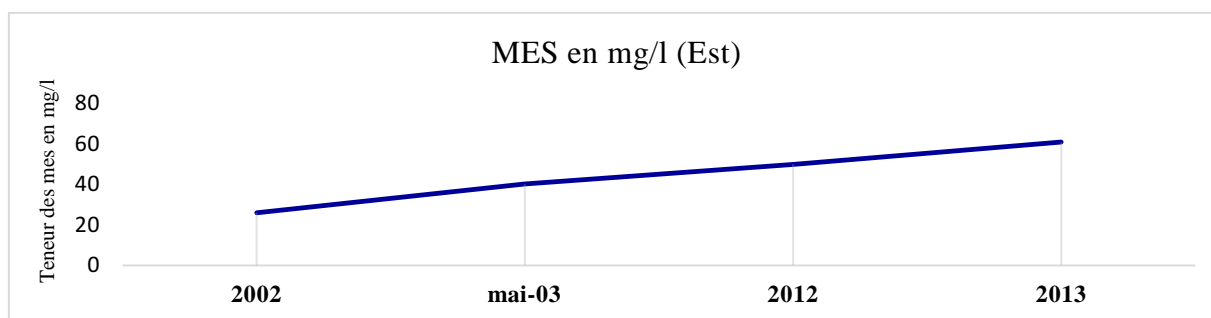


**Figure 22:** Evolution temporelle de MES (station 1) dans la baie de Bou Ismail

Les mesures de MES sont importantes pour l'étude des milieux marins. Ces matières en suspensions réduisent la transparence des eaux. Ce sont des matières organiques ou minérales, vivantes ou détritiques, qui se trouvent en faibles quantités dans les eaux profondes (Aminot, et al., 1983).

La répartition temporelle de la matière en suspension dans la baie de Bou Ismail montre une faible hétérogénéité temporelle, à l'exception de Mars 2003 où il y a une forte teneur en matière en suspension, cette augmentation pourrait être due aux transports des particules terrestres après les fortes pluies (figure 19) qui ont précédés les jours de la campagne (Khaoui, 2003).

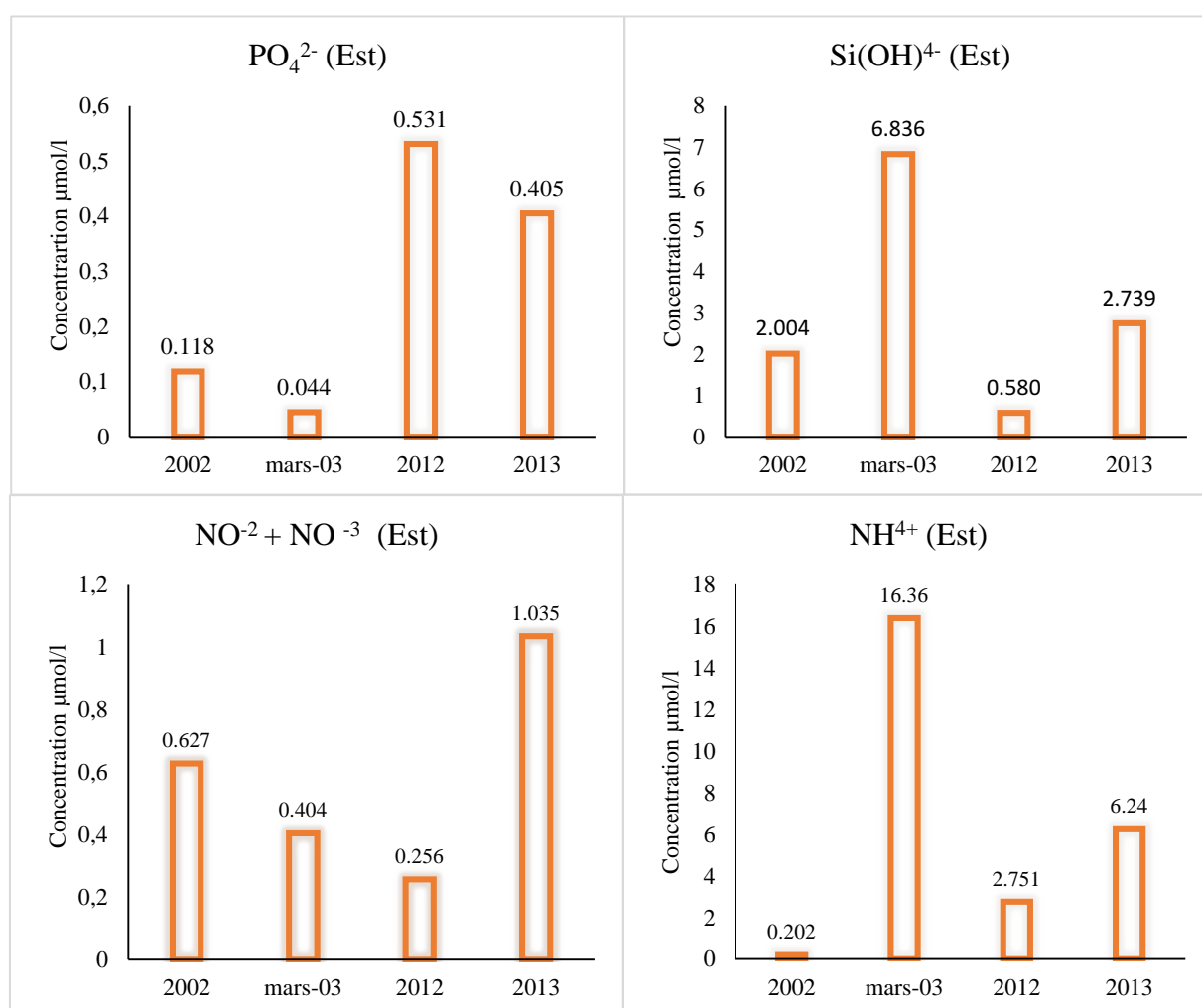
Si on ne prend pas en compte la teneur en MES de la campagne de Mars 2003 (figure 23). L'évolution temporelle de la moyenne annuelle de MES dans l'Est de la baie de Bou Ismail révèle une tendance à une légère augmentation, qui pourrait être due à l'hydrodynamisme avec une remise en suspension des sédiments par les courants côtiers.



**Figure 23:** Evolution temporelle de MES (station 1) sans la campagne de Mars 2003

### 4.2.3 Les sels nutritifs

#### 4.2.3.1 Les différents sels



**Figure 24:** Evolution temporelle des sels nutritifs (station 1) dans la baie de Bou Ismaïl

Dans la partie Est de la baie de Bou Ismaïl (où il y a l'embouchure d'oued Mazafran), les deux pics de l'ammonium et de silicate en Mars 2003 (printemps) sont associée au pic de MES (figure 22), l'augmentation des teneurs en ammonium pourrait être expliquée par les rejets des égouts urbains riche en  $NH_4^+$  (influence côtière).

Les teneurs nitrate/nitrite en Mai 2012 prennent des valeurs faibles qui correspondent à des teneurs importantes en phosphate, cela est expliqué par des apports d'eaux domestiques riches en phosphate. Dans les autres années, les concentrations de l'azote sont plus importantes alors que les phosphates sont plus faibles.

L'évolution temporelle de la moyenne annuelle des sels nutritifs dans la baie de Bou Ismail révèle une tendance à une augmentation dans la partie Est de la baie (où se concentrent les différents types des rejets urbains acheminés par oued Mazafran, ainsi que l'ensemble des complexes touristiques et d'industrie).

#### 4.2.3.2 Rapport de Redfield

Dans le but de déterminer l'origine des sels nutritifs dans la baie de Bou Ismail (sources internes ou sources externe), nous avons analysé l'évolution temporelle des rapports N/P.

##### ❖ Juillet 2002

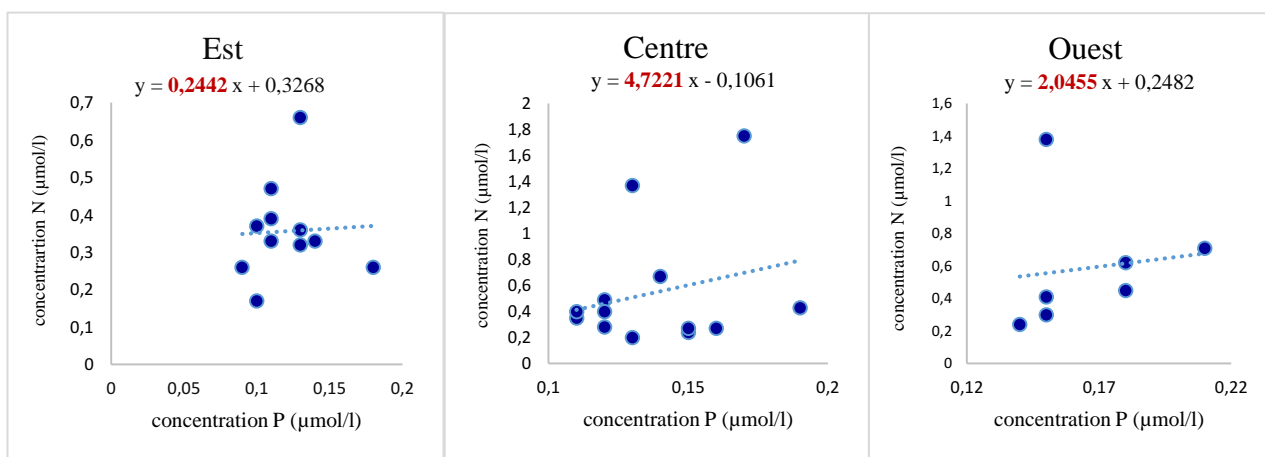


Figure 25: le rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Juillet 2002

##### ❖ Mars 2003

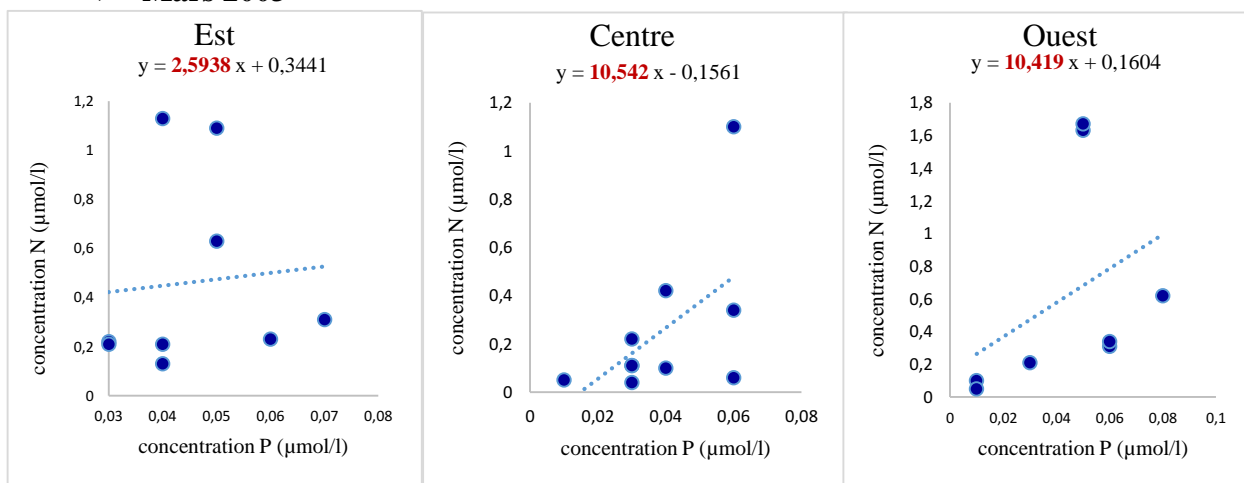
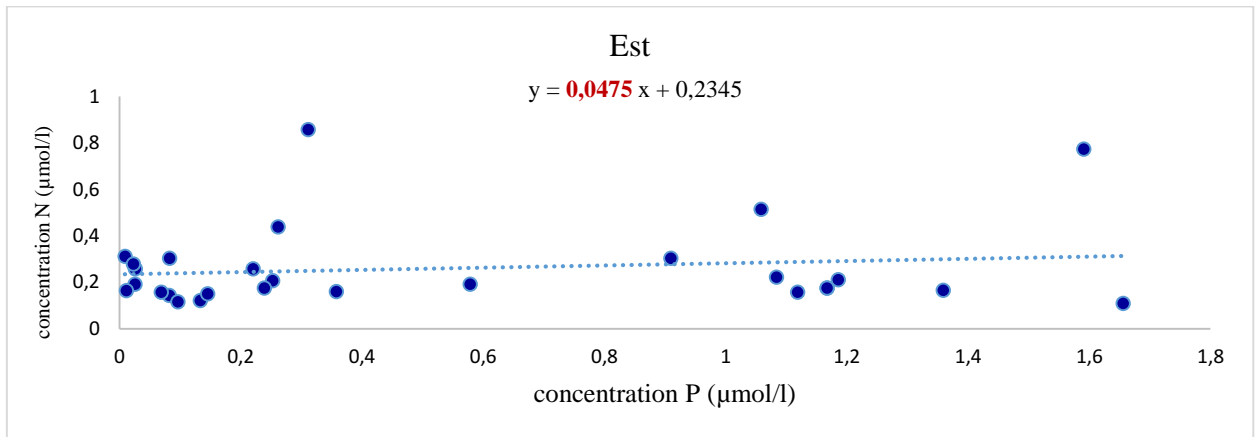


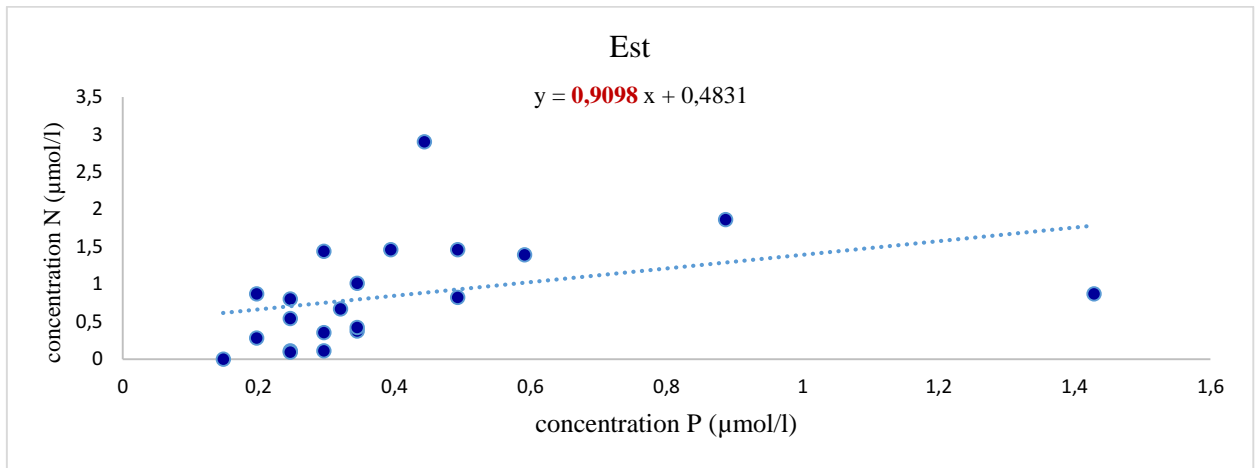
Figure 26: le rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Mars 2003

❖ **Mai 2012**

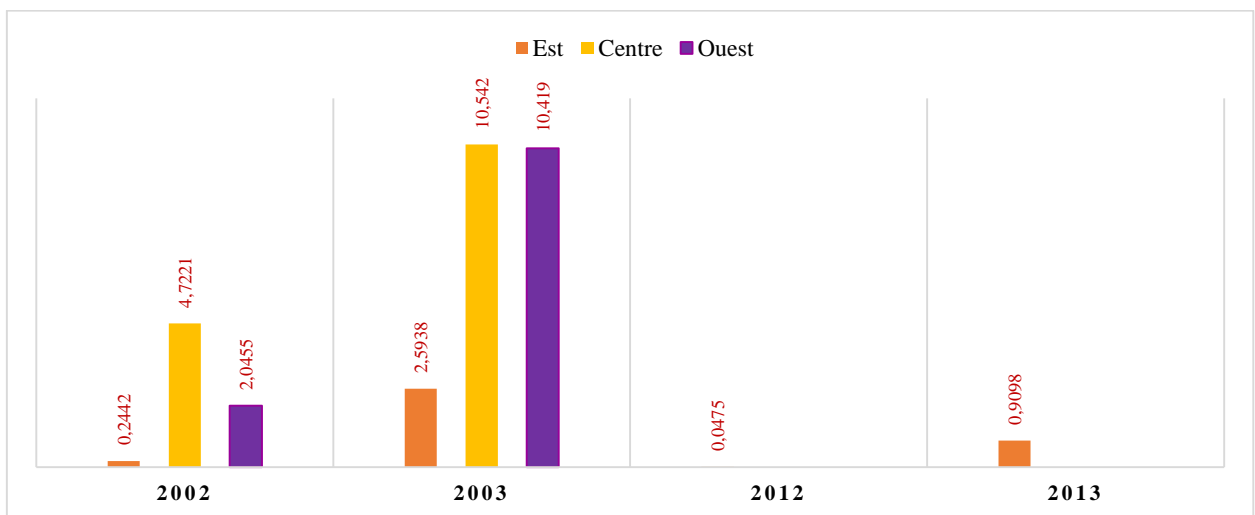


**Figure 27:** le rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Mai 2012

❖ **Avril - Mai 2013**



**Figure 28:** le rapport N/P dans la baie de Bou Ismail en Avril-Mai 2013



**Figure 29:** rapport N/P dans la baie de Bou Ismail

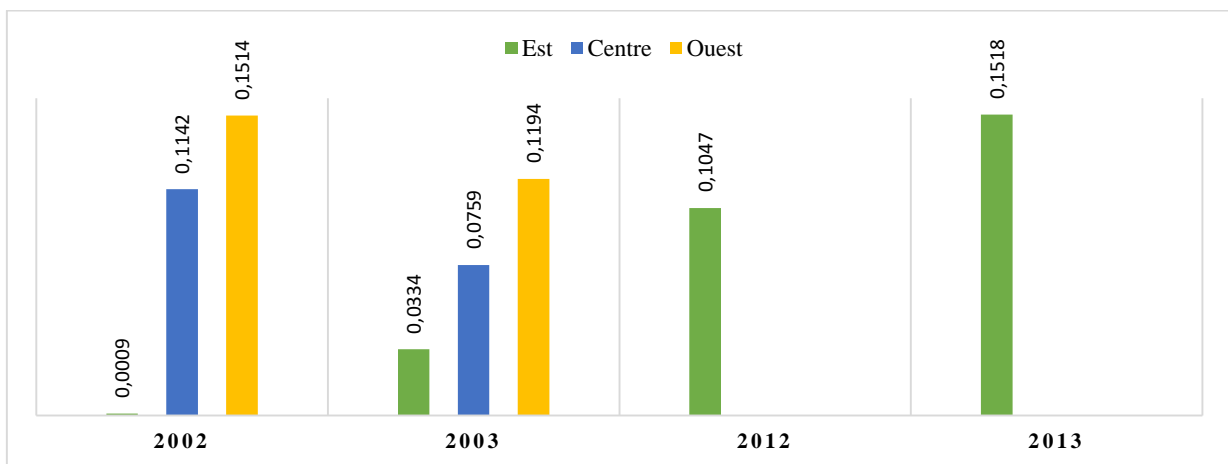
D'après les pentes des droites de régressions représentées en dessus, le rapport N/P est très hétérogène sur toute la baie, son explication doit résider dans l'évolution de la composition de la matière particulaire conduite dans la colonne d'eau par les rejets côtiers.

Dans la baie de Bou Ismail, le rapport est petit et n'est pas significatif si on le compare avec celui de Redfield qui est égale à 16 pour l'océan mondial et égale à 22 pour la méditerranée.

En revanche, nos rapports sont inférieurs ou égale à 10 (figure 29), ce qui peut s'expliquer comme suit :

- Soit le rapport est relatif à la valeur qui porte pour les rejets domestique (Lacaze, 1996) (dans la partie Est et Ouest de la baie, le rapport N/P est inférieur à 6), ou celle des rejets proviennent de lessivage des terres agricoles (Lacaze, 1996) (dans la partie centrale de la baie, N/P est d'environ 10).
- Soit le bloom printanier a épuisé :
  - Le phosphate, qui implique des teneurs un peu faible en phosphate dans la partie centrale et Ouest de la baie.
  - L'azote, qui implique des teneurs un peu faible en azote dans la partie Est de la baie.

#### 4.2.3.3 Le rapport Si/N

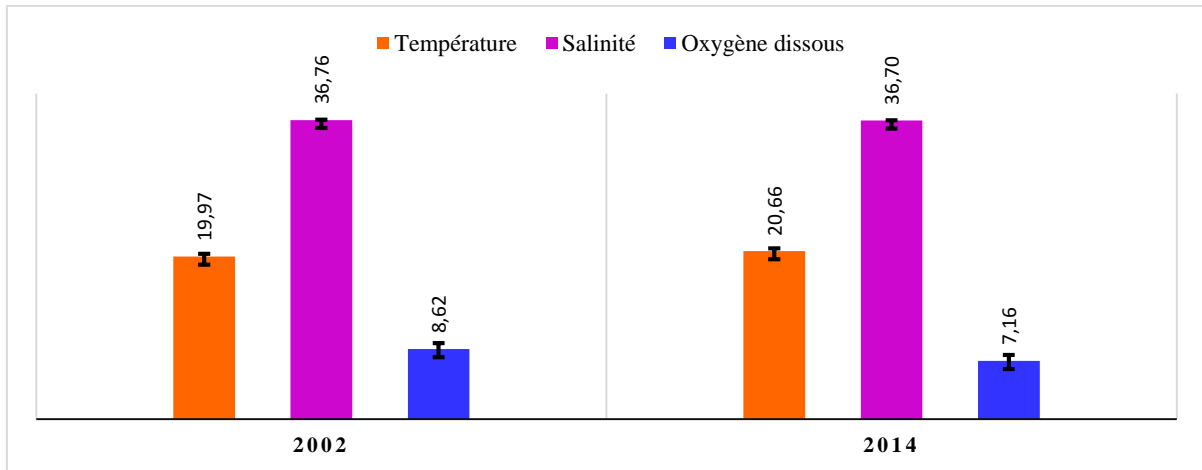


**Figure 30:** Rapport Si/N dans la baie de Bou Ismail

Une très nette augmentation depuis 2002 jusqu'à 2013 du rapport silicium dissous/azote inorganique dissous dans la partie Est de la baie liée aux apports d'eaux douces (augmentation de débit de oued Mazafran (ONM, 2010)) qui sont très souvent riche en silicium que les eaux marine (Aminot, et al., 1983). Par contre, une diminution régulière du rapport Si/N dans les parties centrale et Ouest de la baie entre 2002 et 2003 (pas de données pour 2012 et 2013) est bien marquée.

#### 4.3 Comparaison entre les campagnes de Juillet 2002 et Juin 2014

La répartition des stations pour les deux campagnes (2002 et 2014) sont presque les mêmes, elles couvrent toute la baie. La figure 31, montre l'évolution de la température, salinité et l'oxygène dissous, après le calcul de la moyenne pondérée dans la couche de surface (0-50 m).



**Figure 31:** La variation de la température, salinité et l'oxygène dissous entre les deux années 2002 et 2014

Si on compare les moyennes des trois paramètres, on remarque qu'il n'y a pas une grande variation des valeurs entre Juillet 2002 et Juin 2014 :

- La température a augmenté de 0,69°C.
- La salinité a diminué de 0,06°C.
- L'oxygène dissous a diminué de 1,46 mg/l.

#### 4.4 Les indicateurs d'eutrophisation dans la baie de Bou Ismail (entre 2002 et 2014)

D'après l'analyse des données collectées dans la baie de Bou Ismail, nous sommes arrivés à déterminer quelques indicateurs d'eutrophisation durant les différentes campagnes :

- Dans la partie Est de la baie (où se trouve l'embouchure d'oued Mazafran), des apports importants en matières en suspension (riche en matière organique) via l'oued et les rejets domestiques et urbains, accentuent le phénomène de minéralisation et donc de la consommation d'oxygène.
- Des apports en nutriments (apports externes) en excès par rapport à la capacité d'évacuation des espèces. Les teneurs en éléments nutritifs est variable dans l'espace et dans le temps.
- L'apparition de bloom d'espèces phytoplanctoniques comme celle observé en Mai 2013 dans la baie de Bou Ismail (en face d'oued Mazafran).

# *Conclusion*

## Conclusion

Le premier objectif du travail présenté dans ce manuscrit était d'analyser l'ensemble des données récoltées à partir des travaux effectués antérieurement dans la baie de Bou Ismail.

Le second objectif était d'évaluer les tendances des paramètres physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous, MES et les sels nutritifs) afin d'obtenir une vue sur l'effet des changements physiques, chimiques et biologiques induits par des facteurs anthropiques et par le changement climatique dans la baie de Bou Ismail.

Cette étude s'est faite avec des données récoltées des différentes campagnes effectuées dans la baie de Bou Ismail par une équipe de l'ENSSMAL (Haddouche (2002), Khaoui (2003), Djaoudi & M'zyne (2012), Djahnit & Yefsah (2013) et Harid (2014)).

L'analyse de l'évolution des différents paramètres étudiés, nous a permis de répondre à notre problématique, A partir de cette analyse, nous résumons ci-dessous, les conclusions majeures de ce travail :

- Une tendance à la désoxygénation est observée dans la baie de Bou Ismail, qui pourrait être due au phénomène de la dégradation de la matière organique qui serait stimulée par des rejets urbains croissants. Ainsi que la légère hausse de la température et de la salinité (liées à la période d'échantillonnage), pourraient être à l'origine d'une diminution de la pénétration de l'oxygène (pompe de solubilité).
- Des apports considérables en sels nutritifs par les rejets côtiers qui enrichissent :
  - Le centre et l'Ouest de la baie en azote, avec des faibles teneurs en phosphate et augmente le rapport N/P.
  - L'Est de la baie en phosphate, avec des teneurs un peu faibles en azote et diminue le rapport N/P.
- Dans la baie de Bou Ismail le manque de donnée en nitrate, nitrite et phosphate sur toute la baie ne permet pas de conclure sur l'éventuelle tendance pour ces nutriments. Leurs teneurs dans la partie Est de la baie semblent croître légèrement dans le temps. On pourrait penser qu'il s'agit d'un apport continental (particulièrement des eaux urbaines) qui participeraient à une éventuelle eutrophisation des eaux Est de la baie.

### *Perspectives et recommandations :*

- Les apports en sels nutritifs étant la cause principale de l'eutrophisation du milieu, il est impératif de travailler en amont des Oueds pour réduire les flux de nitrates et du phosphore.
- Une meilleure couverture spatiale et un échantillonnage plus dense dans la baie de Bou Ismail permettrait d'améliorer les relations entre les différents paramètres mesurés.
- L'extrapolation des relations établies dans les différentes campagnes à tous les mois de l'année, demande à être validée par des mesures pour chaque mois afin de tenir compte de la variabilité mensuelle des différents paramètres.
- Face à l'accroissement des apports côtiers et de la forte activité anthropique dans cette région dynamique (surtout en période estivale), l'évolution temporelle des paramètres physicochimiques reste encore à déterminer, Un suivi à long terme de ces paramètres permettrait de quantifier l'évolution de chaque paramètre.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

- AMINOT, A., & CHAUSSEPIED, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Paris: CNEXO.
- AMINOT, A., & KEROUEL, R. (2004).** *Hydrologie des Ecosystèmes Marins : Paramètres et Analyses*. France: IFREMER.
- AMINOT, A., & KEROUEL, R. (2007).** *Dosage automatique des nutriments dans les eaux marine* . France: IFREMER.
- ANRH. (2013).** *Agence Nationale des Ressources Hydrauliques*. Alger: ANRH.
- BILLEN, G., et al. (1999).** *L'Oxygène : Un Témoin du Fonctionnement Microbiologique*. France: IFREMER.
- BOULAHIDJ, M. (1987).** *Analyse des sels nutritifs dans le milieu marin: Etude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan.Th.:Géochimie fondamentale*. Paris: Université de Paris VII.
- BRAIK, D. J. (1989).** *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail -Sédimentologie-Problèmes d'érosion du littoral-Aménagement. thèse Magistrale en Géologie*. Alger: U.S.T.H.B.
- BREWER, P. G., & RILEY, J. P. (1965).** The automatic determination of nitrate in sea water. *Deep-Sea Research*, 12, pp. 765-772.
- CALDEIRA, K., & WICKETT, M. E. (2003).** Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, pp. 425-365.
- CAULET, J. (1972).** *Les Sédiments Organogènes de Précontinent Algérien*. Paris: MUSEUN.
- COPIN-MONTEGUT, G. (1996).** *Chimie de l'Eau de Mer*. Paris: Institut Océanographique.
- DJOUADI, K., & M'ZYENE, S. (2012).** *Etude des paramètres physico-chimiques et du système des carbonates dans la partie Est de la baie de Bou Ismail: Etat des lieux. Mémoire Ingénieur: Environnement*. Alger: ENSSMAL.
- GOMEZ, F., et al. (2000).** Distribution and flux of dissolved nutrients in the strait of Gibraltar and its relationships to microphytoplankton biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*(51), pp. 439-449.
- HO, M.-M. (2006).** Global Warming is happening. *Institute of Science in Society*.
- INAL, A. (2011).** *les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou Ismail: surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques.Mémoire de Magister: Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral*. Alger: ENSSMAL.
- KHAOUNI, L. (2003).** *Etude des variations spacio-temporelle des sels nutritifs et de l'oxygène dissous en baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur*. Alger: ENSSMAL.
- LACAZE, J. C. (1996).** *L'eutrophisation des eaux marines et continentales*. Paris: ellipses.
- LE MENN, M. (2007).** *Instrumentation et métrologie en océanographie physique*. Paris: Lavoisier.

**LECLAIRE, L. (1972).** *La Sédimentation Holocène Sur le Versant Méridional du Bassin Algéro-Baléares*. Paris: MUSEUM.

**MIGON, C., et al. (1989).** Etude de l'apport atmosphérique en sels nutritifs au milieu côtier méditerranéen et implications biogéochimiques. *Oceanologica Acta*, 12(2).

**MILLERO, F. J. (2013).** *Chemical Oceanography*. New York: CRC Press.

**ONM. (2010).** *Office National de Météorologie*. Alger: ONM.

**PAUC, H. (1989).** L'Intrusion saline et la dynamique des matériaux en suspension au contact fluvio-marin: Regime de crue et regime d'etiage dans l'Oued Mazafran (Ouest Algérois). *Elsevier science publishers. Marine Geology*, 87, pp. 95-102.

**RODIER, J., LEGUBE, B., & MERLET, N. (2009).** *L'analyse de l'eau*. Paris: DUNOD.

**ROY-BARMAN, M., & JEANDEL, C. (2011).** *Géochimie Marine: Circulation Océanique, Cycle de Carbone et Changement Climatique*. Paris: Vuibert.

# *Annexes*

**Annexes****Débit Mazafran****Tableau 7: Débit mensuel en m<sup>3</sup>/s d'Oued Mazafran entre 2003-2012**

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>2003-2004</b>	0,16	0,18	0,94	2,80	4,53	1,81	3,91	1,86	3,33	1,12	0,19	0,18
<b>2004-2005</b>	0,23	0,28	1,15	2,77	3,20	9,84	9,45	2,65	0,79	0,17	0,15	-
<b>2005-2006</b>	0,19	0,35	0,45	-	-	-	6,96	1,35	-	0,46	0,32	-
<b>2006-2007</b>	0,43	0,28	0,38	2,31	0,73	1,43	22,26	12,44	3,36	0,56	0,62	0,21
<b>2007-2008</b>	0,86	1,71	16,96	7,33	5,76	2,68	3,31	1,89	1,01	0,8	0,25	0,22
<b>2008-2009</b>	0,15	0,82	3,52	9,15	15,81	4,54	4,39	5,12	1,57	0,43	0,28	0,24
<b>2009-2010</b>	0,90	0,5	1,25	4,55	4,02	11,48	18,00	2,21	0,94	0,42	0,2	0,3
<b>2010-2011</b>	0,37	1,33	5,49	4,65	4,94	35,41	20,12	10,16	28,73	5,79	0,38	0,25
<b>2011-2012</b>	0,37	0,82	3,68	2,91	2,77	42,34	41,80	41,26	5,15	1,1	0,33	0,57

**Tableau 8: Débit mensuel moyen au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran**

<b>Années</b>	<b>Débit mensuel moyen (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>2003-2004</b>	1,754859358
<b>2004-2005</b>	2,794548173
<b>2005-2006</b>	1,441167486
<b>2006-2007</b>	3,751141083
<b>2007-2008</b>	3,56486615
<b>2008-2009</b>	3,833525567
<b>2009-2010</b>	3,7304726
<b>2010-2011</b>	9,802772142
<b>2011-2012</b>	11,92517539

**Tableau 9:** *coordonnées géographique du positionnement des stations des campagnes de Juillet 2002, Mars 2003 dans la baie de Bou-Ismaïl.*

<b>N° Station</b>	<b>Latitude(°)</b>	<b>Longitude(°)</b>
<b>3</b>	36,629	2,433
<b>4</b>	36,629	2,5
<b>1</b>	36,646	2,417
<b>6</b>	36,646	2,583
<b>7</b>	36,663	2,583
<b>9</b>	36,663	2,667
<b>10</b>	36,671	2,667
<b>12</b>	36,692	2,75
<b>11</b>	36,704	2,667
<b>13</b>	36,708	2,75
<b>15</b>	36,729	2,803
<b>16</b>	36,742	2,797
<b>17</b>	36,758	2,833
<b>18</b>	36,767	2,86
<b>20</b>	36,777	2,883

**Tableau 10:** *coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Mai 2012 dans la baie de Bou-Ismaïl.*

<b>N° station</b>	<b>Latitude(°)</b>	<b>Longitude(°)</b>
<b>1</b>	36,76613333	2,804783333
<b>2</b>	36,7627	2,795816667
<b>3</b>	36,74783333	2,79935
<b>4</b>	36,73746667	2,801333333

<b>5</b>	36,72636667	2,8011
<b>6</b>	36,71515	2,8021
<b>7</b>	36,70638333	2,804166667
<b>8</b>	36,70105	2,803666667
<b>9</b>	36,69018333	2,789833333
<b>10</b>	36,68216667	2,760366667
<b>11</b>	35,6806	2,760366667
<b>12</b>	36,68155	2,760916667
<b>13</b>	36,68015	2,756216667
<b>14</b>	36,69321667	2,754333333
<b>15</b>	36,7004	2,751333333
<b>16</b>	36,70665	2,763183333
<b>17</b>	36,71161667	2,773666667
<b>18</b>	36,71696667	2,784866667

**Tableau 11:** *coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Mai 2013 dans la baie de Bou-Ismaïl*

<b>N° station</b>	<b>Latitude(°)</b>	<b>Longitude(°)</b>
<b>1</b>	36,72006667	2,827666667
<b>2</b>	36,71925	2,826583333
<b>3</b>	36,7235	2,8255
<b>4</b>	36,73006667	2,8205
<b>5</b>	36,73676667	2,8205
<b>6</b>	36,73928333	2,7934
<b>7</b>	36,73675	2,799633333
<b>8</b>	36,74768333	2,80515
<b>9</b>	36,73033333	2,805316667

<b>10</b>	36,72391667	2,809866667
<b>11</b>	36,71803333	2,815383333
<b>12</b>	36,7138	2,81985
<b>13</b>	36,70751667	2,812316667
<b>14</b>	36,71178333	2,807933333
<b>15</b>	36,71771667	2,8018
<b>16</b>	36,72351667	2,795666667
<b>17</b>	36,73208333	2,786266667
<b>18</b>	36,70073333	2,805083333
<b>19</b>	36,70546667	2,8008
<b>20</b>	36,71165	2,794183333
<b>21</b>	36,75745	2,7841
<b>22</b>	36,73928333	2,810066667

**Tableau 12:** *coordonnées géographique du positionnement des stations de la campagne de Juin 2014 dans la baie de Bou-Ismaïl.*

<b>N°Station</b>	<b>Latitude(°)</b>	<b>Longitude(°)</b>
<b>1</b>	36,66944444	2,459722222
<b>2</b>	36,71055556	2,637222222
<b>3</b>	36,62166667	2,439166667
<b>4</b>	36,59555556	2,476944444
<b>5</b>	36,64972222	2,684722222
<b>6</b>	36,71166667	2,800277778
<b>7</b>	36,61	2,588333333
<b>8</b>	36,69472222	2,556944444
<b>9</b>	36,74555556	2,748888889