

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR  
EN SCIENCES DE LA MER**

**Spécialité : ENVIRONNEMENT MARIN**

**Thème :**

**Utilisation des Systèmes d'Information Géographiques pour le suivi  
des paramètres indicateurs de pollution dans la baie de Bouismail.**

Présenté par:

- **CHABI Nacira**
- **DIB Nadhira Imane**

Soutenu le 02/09/2015 devant le jury suivant :

- |                        |                           |                     |
|------------------------|---------------------------|---------------------|
| - M. BELKESSA R.       | Professeur :              | <b>Président</b>    |
| - Mme.HAMDI CHERNAI S. | Maître de conférences A : | <b>Examinatrice</b> |
| - Mme BENZOUAI S.      | Maître assistante B :     | <b>Encadreur</b>    |

**Promotion : 2014/2015**



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR  
EN SCIENCES DE LA MER**

**Spécialité : ENVIRONNEMENT MARIN**

**Thème :**

**Utilisation des Systèmes d'Information Géographiques pour le suivi  
des paramètres indicateurs de pollution dans la baie de Bouismail.**

Présenté par:

- **CHABI Nacira**
- **DIB Nadhira Imane**

Soutenu le 02/09/2015 devant le jury suivant :

- |                        |                           |                     |
|------------------------|---------------------------|---------------------|
| - M. BELKESSA R.       | Professeur :              | <b>Président</b>    |
| - Mme.HAMDI CHERNAI S. | Maître de conférences A : | <b>Examinatrice</b> |
| - Mme BENZOUAI S.      | Maître assistante B :     | <b>Encadreur</b>    |

**Promotion : 2014/2015**



## Remerciements

Arrivées au terme de ce travail, nous tenons à remercier, énormément, tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude. Qu'ils trouvent ici notre profonde gratitude.

Aussi, nous tenons à remercier Madame BENZOUAI. S, pour son encadrement et ses conseils qui nous ont été d'une grande utilité et qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible.

Nos remerciements aussi à Monsieur BELKESSA. R, qui nous fait l'honneur de présider ce jury.

Notre vive reconnaissance s'adresse également à Madame HAMDY CHERNAI. S, qui a très aimablement accepté d'examiner notre travail.

Par ailleurs, nous exprimons notre sincère gratitude à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'ENSSMAL et au personnel de la bibliothèque, plus particulièrement à Madame EDDALIA. N, et à Monsieur MATOUK. Y, pour leur aide et leur grande patience malgré leurs charges professionnelles.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce modeste mémoire en particulier nos familles pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire.

## Liste des acronymes

AFNOR : Association Française de Normalisation  
CEAEQ : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec  
DBO : Demande Chimique en Oxygène  
ENSSMAL : Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral  
EPSG: European Petroleum Survey Group  
ESRI: Environmental Systems Research Institute  
GPS: Global Positioning System  
Gdal: Geospatial Data Abstraction Library  
ICZM: Integrated Coastal Zone Management  
IDW: Inverse Distance Weighted  
INCT: Institut National de Cartographie et de télédétection  
ISO : International Standard Organization  
LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes  
M.A.T.E.T : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme  
MES : Matières En Suspension.  
MOP : Matière Organique Particulaire.  
MGET: Marine Geospatial Ecology Tools  
N: Normalité  
O.D : Oxygène Dissous  
PH : Potentiel d'Hydrogène  
QGIS : Quantum Geographic Information System  
SCG : Système de Coordonnées Géographiques  
P.S.U: Practical Salinity Unit  
S : Salinité  
SARL :  
SGBD : Système de Gestion de Bases de Données  
SN : Sels Nutritifs  
SCR : Système de Coordonnées Repérés  
SCP : Système de Coordonnées Projetées  
SSM : Salinité de Surface de la Mer  
St : Station  
TSM : Température de Surface de la Mer  
SIG : système d'information géographique  
GF/C – GF/F : Glass microFiber filters  
WTW: Wissenschaftlich Technische Werkstätten  
D.O: Densité optique  
U : Unité  
UTM : Universal Transverse Mercator  
WGS84: World Geodetic System 1984  
WRC: Water Research Center

## Liste des figures

Figure II. 1 Situation géographique de la baie de Bou Ismail.....	20
Figure II. 2 Circulation des eaux superficielles dans la Méditerranée (Bachari, 2009).....	21
Figure II. 3 Eaux opaques à côté d'un rejet industriel dans la baie de Bou Ismail.....	22
Figure II. 4 Rejets de thalasso directs en mer sans traitement .....	22
Figure II. 5 Port de Sidi Fredj .....	22
Figure II. 6 Carte des pressions anthropiques dans la baie de Bou Ismail.....	23
Figure III. 1 Localisation des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou Ismail .....	26
Figure III. 2 Flacons de prélèvement.....	27
Figure III. 3 <b>a</b> : conditionnement des filtres ; <b>b</b> : Porte filtre .....	27
Figure III. 4 <b>a</b> : l'embarcation Baba Aroudj, <b>b</b> : glacières, <b>c</b> : fiche .....	29
Figure III. 5 Oxymètre de terrain (type Oxi/WTW 197).....	29
Figure III. 6 PH-mètre de terrain de type (WTW).....	30
Figure III. 7 Conductimètre de terrain (type Cond/WTW, 197).....	30
Figure III. 8 <b>a</b> : Conservation, <b>b</b> : Extraction des filtres, <b>c</b> : Le spectrophotomètre, <b>d</b> : Centrifugeuse .....	32
Figure III. 9 <b>a</b> : Rampe à filtration, <b>b</b> : Balance, <b>c</b> : Etuve.....	33
Figure III. 10 <b>a</b> : Creuset, <b>b</b> : Four à moufle, <b>c</b> : Dessiccateur, <b>d</b> : Balance.....	34
Figure III. 11 Turbidimetre HANNA® de type HI88703.....	35
Figure III. 12 <b>a</b> : Solution mère, <b>b</b> : Solution fille, <b>c</b> : Auto Analyser San Plus (SKALAR® 1996).....	36
Figure IV. 1 Interface du logiciel QGIS.....	38
Figure IV. 3 Le fond de carte.....	41
Figure IV. 4 Grid d'interpolation (Richard, 2014).....	42
Figure IV. 5 Contrôle de l'interpolation IDW (Richard, 2014).....	42
Figure V. 1 Variation spatiale de la température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	46
Figure V. 2 Distribution spatiale de la température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	47
Figure V. 3 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	47
Figure V. 4 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	48
Figure V. 5 Diagramme T-S (°C-PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail.....	49
Figure V. 6 Distribution spatiale de la Température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	49
Figure V. 7 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail .....	50
Figure V. 8 Distribution spatiale de l'O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail ..	50
Figure V. 9 Distribution spatiale de l'O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail ..	51
Figure V. 10 Distribution spatiale de l'O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bouismail .	52
Figure V. 11 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail .....	52
Figure V. 12 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail .....	53
Figure V. 13 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail .....	53

Figure V. 14 Distribution spatiale des MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	54
Figure V. 15 Distribution spatiale des MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	55
Figure V. 16 Distribution spatiale de MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	56
Figure V. 17 Nappe de couleur marron à proximité de la station n° 18 (région de Bou Ismail)	56
Figure V. 18 Eaux usées à proximité de la station n° 27 (Région de Bou Ismail)	56
Figure V. 19 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	57
Figure V. 20 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	57
Figure V. 21 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	58
Figure V. 22 Distribution spatiale de Turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismail	58
Figure V. 23 Distribution spatiale de la turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismail	59
Figure V. 24 Distribution spatiale de la turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismail	59
Figure V. 25 Distribution spatiale des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	60
Figure V. 26 Distribution spatiale des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	61
Figure V. 27 Distribution spatiale des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	61
Figure V. 28 Distribution spatiale des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	62
Figure V. 29 Distribution spatiale des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	63
Figure V. 30 Distribution spatiale des phosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	63
Figure V. 31 Distribution spatiale des phosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	64
Figure V. 32 Distribution spatiale des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	65
Figure V. 33 Distribution spatiale des phosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	65
Figure V. 34 Variations des phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (µmol/l) en fonction de la variation des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	66
Figure V. 35 Distribution spatiale de la chlorophylle (µg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	66
Figure V. 36 Distribution spatiale de la chlorophylle (µg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	67
Figure V. 37 Distribution spatiale de la chlorophylle-a (µg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail	68

## **Liste des tableaux**

Tableau II. 1 les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (M.A.T.E.T, 2006) .....	24
Tableau V. 1 Les valeurs minimales, moyennes et extrêmes des paramètres physico-chimiques dans les eaux côtières de la baie de Bou Ismaïl .....	45
Tableau V. 2 Variation et distribution spatiale des paramètres indicateurs de la pollution .....	45

## Table des matières

INTRODUCTION	9
CHAPITRE I : GENERALITES	10
I.1 GENERALITES SUR LA POLLUTION MARINE	11
I.1.1 DEFINITIONS	11
I.1.2 LES PRINCIPAUX TYPES DE POLLUTION	11
I.1.3 LES SOURCES DE POLLUTION	12
I.1.4 LES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DE MER	13
I.1.5 LES PARAMETRES INDICATEURS DE POLLUTION	15
I.2 GENERALITES SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	16
I.2.1 DEFINITION	16
I.2.2 LES COMPOSANTS DU SIG	16
I.2.3 LES MODES DE REPRESENTATION DES DONNEES	17
I.2.4 LES DONNEES DES SIG	17
I.2.5 LES FONCTIONNALITES DES SIG	17
I.2.6 EXEMPLES D'UTILISATION DES SIG	18
I.2.8 INTERET DES SIG	18
I.2.9 LES LOGICIELS UTILISES DANS LES SIG	18
CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE	19
II.1 LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA BAIE DE BOU ISMAIL	20
II.2 LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	20
II.3 LA SEDIMENTOLOGIE	21
II.4 BATHYMETRIE DE LA BAIE DE BOU ISMAIL	21
II.5 HYDRODYNAMISME	21
II.6 LES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION DANS LA BAIE DE BOU ISMAIL	22
II.6.1 LES PORTS DE LA BAIE DE BOU-ISMAIL	22
II.6.2 LES ACTIVITES POLLUANTES DANS LA BAIE DE BOU ISMAIL	23
CHAPITRE III : CAMPAGNE EN MER ET ANALYSES	25
III.1 PREPARATION DE LA SORTIE EN MER	26
III.1.1 STRATEGIE DE PRELEVEMENT ET LOCALISATION DES STATIONS	26
III.1.2 PREPARATION DU MATERIEL ET PRETRAITEMENT	27
III.2 LA SORTIE EN MER	28
III.2.1 LE PRELEVEMENT	29
III.2.2 LES MESURES IN SITU	29
III.2.3 L'ECHANTILLONNAGE	30
III.3 ANALYSES AU LABORATOIRE	30
III.3.1 L'ANALYSE DE LA CHLOROPHYLLE	30
III.3.2 L'ANALYSE DES MATIERES EN SUSPENSION (MES)	32

III.3.3 L'ANALYSE DE LA MATIERE ORGANIQUE PARTICULAIRE	33
III.3.4 LA TURBIDITE	34
III.3.5 LES SELS NUTRITIFS	35
<b>CHAPITRE IV : METHODOLOGIE D'UTILISATION DU SIG</b>	<b>37</b>
IV.1 INTERET DE L'UTILISATION D'UN SIG POUR LE SUIVI DES PARAMETRES DE POLLUTION	38
IV.2 LOGICIELS UTILISES	38
IV.3 METHODOLOGIE	39
IV.3.1 LA COLLECTE DES DONNEES	39
IV.3.2 PRETRAITEMENT DES DONNEES ET INTEGRATION DANS QGIS	40
IV.3.3 TRAITEMENT DES DONNEES	41
IV.6.2 LES CONTOURS	43
IV.7 L'IMPRESSION	43
<b>CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	<b>44</b>
V.1 LES VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	45
V.1.1 LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER (SST)	46
V.1.2 LA SALINITE DE SURFACE DE LA MER (SSM)	47
V.1.3 L'OXYGENE DISSOUS (O.D)	50
V.1.4 LE POTENTIEL D'HYDROGENE PH	52
V.1.5 LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)	54
V.1.6 LA MATIERE ORGANIQUE PARTICULAIRE MOP	57
V.1.7 LA TURBIDITE	58
V.1.8 LES SELS NUTRITIFS	60
V.1.9 LA CHLOROPHYLLE-A	66
<b>CONCLUSION</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>70</b>

## Introduction

Actuellement, la communauté scientifique s'accorde à admettre que la pollution des mers et des océans ne cesse de s'accroître. Les zones côtières, premier réceptacle des eaux continentales, sont exposées à des risques de plus en plus importants. En effet, elles sont soumises aux rejets des bassins versants pouvant provenir de zones urbaines, de l'agriculture ou des industries.

La baie de Bou Ismail, illustre parfaitement cette situation préoccupante car son littoral est le siège de multiples activités polluantes. La pression anthropique, dans cette région, est caractérisée par une occupation accrue de l'espace et le développement des secteurs agricole, industriel et touristique. Les rejets en mer qui en résultent risquent d'altérer, de plus en plus, la qualité des eaux de la baie de Bou Ismail.

Pour pouvoir apporter des solutions à même d'endiguer cette pollution, il faut la détecter, la caractériser et la quantifier. Afin de répondre à ces objectifs la démarche suivie est basée sur la mesure in-situ des paramètres de pollution des eaux et l'intégration des résultats dans un système d'information géographique. Ce dernier est un outil précieux car il permet de compléter l'interprétation des résultats en améliorant la visualisation par des cartes de répartitions spatiales homogènes ainsi que par la compréhension des interactions entre les processus océaniques et terrestres dans les zones côtières.

A cet effet, notre étude est subdivisée en cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux connaissances théoriques sur la pollution marine, la description des paramètres de pollution et les systèmes d'informations géographiques ;
- Le deuxième chapitre dans lequel sont présentés la zone d'étude et les facteurs pouvant conduire à sa pollution ;
- Le troisième chapitre traite de la préparation de la campagne en mer et de la méthodologie utilisée pour la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer in-situ et des analyses en laboratoire des paramètres de pollution.
- Le quatrième chapitre décrit la méthodologie d'utilisation du système d'information géographique pour la création de cartes d'interpolation ;
- Le dernier chapitre, quant à lui, présente, les statistiques des résultats obtenus à la fin de l'étude par l'utilisation du logiciel R et leur interprétation en s'appuyant sur les cartes d'interpolation issues du logiciel QGIS.

# CHAPITRE I : Généralités

De nos jours, la pollution est devenue un phénomène de préoccupation à l'échelle mondiale car elle constitue la principale cause de dégradation de l'environnement et plus particulièrement du domaine marin.

A cet effet, dans la première partie de ce chapitre sera consacrée aux notions fondamentales de la pollution dans le milieu marin, essentiellement en zone côtière, à ses différentes formes ainsi qu'à ses différentes sources et la seconde à celles des systèmes d'information géographique.

## I.1 Généralités sur la pollution marine

### I.1.1 Définitions

- Pollution marine

Selon la convention de Montego Bay des Nations unies sur le droit de la mer (Caddy & Griffiths, 1996), la pollution du milieu marin est définie comme suit : « l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marines, risques pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément. »

- Pollution en zone côtière

La zone côtière est définie comme étant l'espace géomorphologique de part et d'autre du rivage de la mer où se manifeste l'interaction entre la partie marine et la partie terrestre à travers des systèmes écologiques et systèmes de ressources complexes comprenant des composantes biotiques et abiotiques coexistant et interagissant avec les communautés humaines et les activités socio-économiques pertinentes (Mediterranean ICZM Protocol, 2008).

L'impact croissant de la présence humaine sur cette zone côtière crée un déséquilibre qui risque d'engendrer des pollutions de différents types.

### I.1.2 Les principaux types de pollution

Les pollutions sont très diverses, une classification selon leur nature physico-chimique prédominante peut être établie comme suit :

### a. La pollution physique

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

### b. La pollution chimique

Elle se caractérise par la présence de produits chimiques en solution changeant les propriétés de l'eau (acides, bases...), ou directement toxiques pour les organismes aquatiques tels que les hydrocarbures, les substances organiques de synthèse (composés xénobiotiques) et les pesticides d'origine agricole (Lacaze, 1996). Cette pollution est due à l'entrée d'un ou de plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (Kankou, 2004). Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) soit des composés organochlorés (Ramade, 2000).

#### b.1 Le phénomène d'eutrophisation

L'eutrophisation est un processus naturel ou d'origine anthropique qui modifie un écosystème en l'enrichissant en sels nutritifs tels que les nitrates et les phosphates. L'enrichissement en organismes vivants et en matières organiques qui s'ensuit peut engendrer divers effets négatifs sur l'écosystème, comme, par exemple, une diminution de l'énergie lumineuse disponible dans la zone euphotique. En outre, la décomposition de la matière organique associée à la forte biomasse phytoplanctonique peut créer un déficit en oxygène dans la colonne d'eau et dans le sédiment (Gohin, 2007).

### c. La Pollution microbiologique

La pollution microbiologique est une forme de pollution organique, en particulier, les excréments qui contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Cette pollution a des répercussions sur la qualité sanitaire des produits de la mer et sur les différentes activités maritimes.

### **I.1.3 Les sources de pollution**

Les divers types de pollution cités peuvent avoir différentes sources et provenir soit de :

#### a. Rejets d'effluents domestiques

Ce sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration, et qui sont caractérisées par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux, sels minéraux, détergents ,etc. Les conséquences de cette pollution organique sont catastrophiques pour

presque tous les organismes constituant les peuplements des milieux néritiques (Kankou, 2004).

b. L'activité industrielle

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

c. L'activité agricole

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

### **I.1.4 Les variables physico-chimiques de l'eau de mer**

#### **I.1.4.1 Salinité (S)**

Mesurée en P.S.U (Practical Salinity Unit), la salinité représente la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée.

La mesure de la salinité est indispensable pour l'étude du milieu marin. Elle sert (couplée à la température), à calculer la masse volumique dans l'eau de mer, donc la densité de l'eau. Dans le domaine côtier, la salinité des eaux varie dans de larges proportions, surtout dans les zones soumises à l'influence directe d'un fleuve (Aminot et Kérouel, 2004).

#### **I.1.4.2 Température (T)**

La température est un élément indispensable pour la connaissance du milieu marin. Sa mesure est nécessaire à la détermination de la stratification verticale, la valeur de saturation des gaz dissous (en particulier l'oxygène) et la circulation océanique (Aminot et Kérouel, 2004). Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'élévation de la température (Gaujous, 1995).

#### **I.1.4.3 Oxygène Dissous (O.D)**

L'oxygène dissous est un paramètre important dans le milieu marin car il gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques.

Les processus biologiques ont une influence importante sur la concentration de l'oxygène, ils permettent soit, sa saturation dans les zones eutrophes (accroissement important du phytoplancton), une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène ou la sous-

saturation de l'eau dans les zones riches en matières carbonées dégradables par des micro-organismes (Aminot et Chaussepied, 1983).

#### I.1.4.4 Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. En théorie, le pH est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion  $H^+$ . Il résulte de la composition ionique de l'eau et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (Aminot et Kérouel, 2004).

#### I.1.4.5 Les sels nutritifs

##### a. Les nitrates ( $NO_3^-$ )

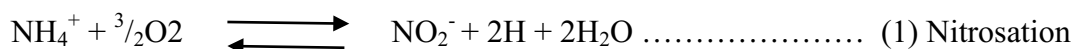
Les nitrates sont une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse et elles sont la forme la plus répandue dans l'océan (65% du stock de l'azote). Les nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (*Nitrobacter* sp.) lors de la réaction de nitratisation. Elles entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance phytoplanctonique (Aminot et Chaussepied, 1983).

##### b. Les nitrites ( $NO_2^-$ )

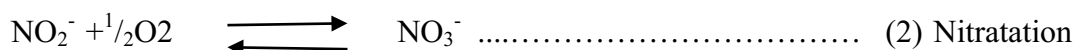
Dans le cycle de l'azote, les nitrites sont des ions en état transitoire au même titre que l'ammonium (Aminot et Chaussepied, 1983).

Les nitrites proviennent des deux réactions suivantes :

- L'oxydation de l'ammonium par la réaction de nitrosation (Réaction1) qui est exothermique opérée par des bactéries (*Nitrosomonas* sp.) :



- La réduction des nitrates (Réaction 2) dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, opérée par les bactéries anaérobiques, selon la réaction de nitratisation:



##### c. Les orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ )

Dans l'eau de mer, le phosphore existe sous formes organique et inorganique, dissous et particulaire, les orthophosphates représentent la forme la plus abondante,  $PO_4^-$  (90 %) et  $HPO_4^-$  (10%) et 1% de  $H_2PO_4$  (Aminot et Chaussepied, 1983).

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources :

- Source externe : elle regroupe tous les apports continentaux se déversant en mer, que ce soit par voie éolienne ou par voie fluviale.
- Source interne : elle représente l'origine la plus importante, elle est assurée par des flux verticaux. La régénération est assurée à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique (Levitus, 1993).

### **I.1.5 Les paramètres indicateurs de pollution**

Parmi les nombreux indicateurs de la qualité des eaux côtières, nous allons présenter :

#### **I.1.5.1 Les Matières En Suspension (MES)**

D'après (Ivanoff, 1972), en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de natures biogénique, terrigène, éolienne ou météoriques. Les matières en suspension dans les eaux de mer sont donc de dimensions très variables. Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45  $\mu\text{m}$  et elles peuvent être un indice de pollution (Aminot et Chaussepied, 1983).

#### **I.1.5.2 La Matière Organique Particulaire (MOP)**

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques contrôlent l'activité biologique des espèces trophiques primaires de l'environnement marin. Les nutriments sont assimilés par le phytoplancton pendant la photosynthèse qui produit la matière organique considérée comme une source d'énergie et de nutriments, elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (Boulaïdid, 1987). Reste la fraction exogène formée par les débris des animaux et des végétaux possédant une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (Aminot et Kérouel, 2004).

#### **I.1.5.3 La turbidité**

Selon la norme ISO 7027 (AFNOR, 1999), la turbidité est définie comme la « réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes ».

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matière organique, etc. (Rodier, 1996). La description d'une masse d'eau ne saurait être satisfaisante sans une référence à la transparence du milieu, c'est-à-dire à la pénétration de la lumière. La connaissance de ce facteur a une double importance, elle détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface et elle permet également une approche de la quantité de particules en suspension (Bachari, 2009). La turbidité des milieux côtiers et des estuaires qui peut être le signe de rejets chargés en particules est le plus souvent le résultat des apports continentaux de matériel solide, de la remise en suspension de dépôts sédimentaires (par la houle et les courants de marée) et aussi parfois de poussées phytoplanctoniques intenses alimentées par les apports nutritifs continentaux (Aminot et Kérouel, 2004).

### **I.1.5.4 La chlorophylle-a**

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles-a, b, c1, c2 et d (CEAE Québec, 2003).

La chlorophylle-a est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (Aminot et Chaussepied, 1983). La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (Jaquet et Weber, 2002).

## **I.2 Généralités sur les Systèmes d'Information Géographique**

### **I.2.1 Définition**

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un ensemble d'outils informatiques conçus pour rassembler, organiser efficacement, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes les formes d'information localisées géographiquement. Un SIG relie généralement des données provenant de différents ensembles, en utilisant le géo-référencement, à savoir, les coordonnées spatiales, comme une clé commune entre les différentes bases de données (Fedra et Feoli, 1998)

### **I.2.2 Les composants du SIG**

Il y a (au moins) six composants principaux du SIG :

- Les utilisateurs : un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique (Fu et Sun, 2010)
- Les applications: les applications sont les usages des SIG ou le but de sa production.
- La méthodologie: ce sont les différentes procédures, les techniques et les moyens d'utilisation des SIG et des données du SIG dans les applications.
- Les données: les données sont au cœur des opérations SIG. L'accent dans les opérations de SIG est mis sur les données, de l'entrée jusqu'à l'analyse, et en finalité à la présentation. La nature des données peut déterminer la méthodologie à utiliser.
- Les logiciels: les programmes informatiques sont nécessaires pour faire fonctionner le SIG, il existe de nombreux programmes de SIG disponibles.
- Le hardware: la machine sur laquelle fonctionne le SIG : ordinateurs, imprimantes, des traceurs, numériseurs et autres types d'équipements. Comme le logiciel, il y a

beaucoup d'options dans les marques de matériel, les types, les fonctions et les coûts (Davis, 2001).

### **I.2.3 Les modes de représentation des données**

#### a. Le mode vecteur

Le mode vecteur est basé sur les trois formes géométriques fondamentales : le point, la ligne et le polygone. Les données de type vecteur sont caractérisées par l'utilisation des points séquentiels pour définir un segment linéaire. Chaque sommet est constitué d'une coordonnée X et une coordonnée Y.

#### b. Le mode raster

Les données raster utilisent une structure de données grille-cellule où la zone géographique est divisée en cellules identifiées par des lignes et des colonnes. Une structure de données raster est en fait une matrice. Comme les cellules-grilles peuvent être manipulées comme des tableaux à deux dimensions dans le codage informatique de nombreuses opérations analytiques sont faciles à programmer. Cela rend ces structures de données un choix populaire pour de nombreux logiciels de SIG (Buckley, 2000).

### **1.2.4 Les données des SIG**

Les SIG utilisent deux types de données basiques :

- Les données spatiales : elles décrivent la position absolue et relative des entités géographiques.
- Les données attributaires : elles décrivent les propriétés quantitatives et / ou qualitatives des entités spatiales.

### **1.2.5 Les fonctionnalités des SIG**

Un SIG intègre généralement cinq fonctionnalités de base. (Salgé et Denègre 1996) évoquent les « 5A », à savoir :

- L'acquisition grâce à des fonctions de saisie des données sous forme numérique
- L'archivage grâce à un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD)
- L'analyse au moyen de requêtes
- L'affichage par des fonctions de mise en forme et de visualisation
- L'abstraction par des fonctions rendant compte de la modélisation de la réalité.

Grâce à ces cinq fonctionnalités, un SIG permet :

- Le prétraitement et la manipulation des données géospatiales par : la validation et l'édition des données, la conversion de la structure (de raster à vectorielle et vice-versa) et la conversion géométrique, la généralisation et la classification, l'intégration

ou la fusion des couches mappées, la mise en valeur des cartes, la recherche de données (requêtes) et l'interpolation et la génération de contours.

- l'analyse des données par : les analyses spatiales, les analyses statistiques, mesures, l'affichage des données et la gestion de base de données (Meaden et Do Chi, 1996).

### **I.2.6 Exemples d'utilisation des SIG**

Le SIG est utilisé presque dans tous les domaines socio-économiques. Les SIG s'avèrent particulièrement utiles en ce qui concerne les questions de gestion des zones côtières critiques telles que l'analyse de sensibilité, la modélisation de l'habitat, la planification des mesures d'urgence (y compris en cas de déversement de pétrole), le suivi et le contrôle de la pollution car ces situations exigent une capacité à prendre des décisions rapides et appropriées (Rodriguez et al., 2008). Par ailleurs, les SIG sont des outils précieux d'aide à la prise de décision.

D'autres utilisations possibles des SIG sont :

- La fabrication de cartes
- L'inventaire et gestion des ressources
- La sélection d'un site
- Les plans d'urgence
- Et la simulation d'effets environnementaux.

### **I.2.8 Intérêt des SIG**

La puissance d'un SIG provient de sa capacité à combiner de nombreux ensembles de données et de les afficher dans un cadre commun comme des cartes thématiques. La carte offre un cadre familier, visuellement attrayant et facile à interpréter qui intègre bien d'autres informations souvent plus abstraites (Fedra et Feoli ,2002). Le (SIG), en plus, d'être un outil utile pour dessiner des cartes à différentes échelles et des projections, constitue un excellent instrument pour l'analyse des données et l'intégration en raison de sa capacité à identifier les connexions spatiales entre les différentes couches d'informations. De cette façon, il est possible de construire des modèles d'évolution géomorphologique et de prédire les changements dans les zones côtières (Rodriguez et al., 2008).

### **I.2.9 Les logiciels utilisés dans les SIG**

De nombreux logiciels sont disponibles pour l'interprétation et l'analyse SIG. La plupart des logiciels de SIG seraient suffisamment souples pour représenter la dimension marine : les principaux logiciels utilisés sont Arc GIS, Quantum GIS, GRASS, SAGA, DIVA GIS, MAXENT pour la modélisation de la distribution des espèces, ErDas et SeaDAS sont de bons logiciels de SIG pour les études écologiques marines. Les outils géospatiaux (MGET), peuvent être installés sur ArcGIS (Mehta, 2014).

## CHAPITRE II : Zone d'étude

## II.1 La situation géographique de la baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail (Fig.II.1) est située à l'Ouest d'Alger, elle est limitée à l'Est par Sidi Fredj ( $2^{\circ} 50' E$ ) dans la wilaya d'Alger et à l'Ouest par le mont Chenoua ( $2^{\circ} 25' E$ ) dans la wilaya de Tipaza. Elle a une superficie de  $509 \text{ Km}^2$ , avec un linéaire de 58 Km. L'ouverture de la baie s'oriente selon un axe nord-ouest d'environ 48 Km (LEM, 1998).

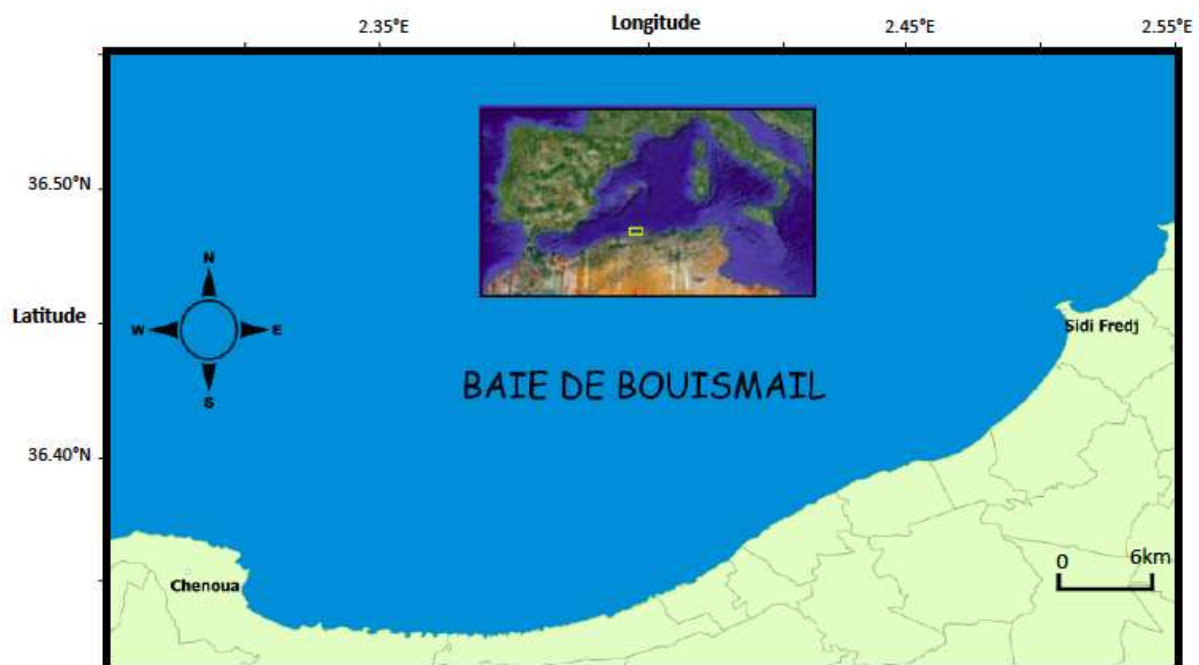


Figure II. 1 Situation géographique de la baie de Bou Ismail

## II.2 Le réseau hydrographique

Deux cours d'eau se déversent dans la baie de Bou Ismail, à un régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigène ; l'oued Mazafran et l'oued Nador (annexe I).

- L'oued Mazafran se situe à 30 km à l'Ouest d'Alger, il prend naissance à la jonction de l'oued Chiffa et de l'oued Djer. Le bassin versant couvre une superficie de  $1850 \text{ km}^2$ . L'oued débouche dans la mer entre Douaouda et Zeralda avec un débit de  $7,566 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant la période de Décembre à Avril avec une moyenne annuelle de  $43,8$  millions de  $\text{m}^3$  /an, cet oued est marqué par un long étiage qui dure de Juin à Décembre représentant  $17,38 \%$  du déversement liquide annuel (Benzohra, 1993).
- L'oued Nador : se situe entre Tipaza et le Mont Chenoua, il regroupe trois oueds, Bou Yersen, Bou Ardon et Merrad, son étendue est de  $230 \text{ km}^2$  avec un débit de  $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ces oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées (Benzohra, 1993).

### II.3 La sédimentologie

Les sables grossiers caractérisent la baie vers l'embouchure de l'oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25 m. Au-delà de ce dépôt fluviomarín et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens ne réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite qui continue jusqu'à Tipaza. (Al Sid Chikh et al., 2009). Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15 m à 25 m tout le long de la baie (LEM, 1998).

### II.4 Bathymétrie de la baie de Bou Ismail

Le plateau continental, très étroit, atteint un maximum de 13km au niveau du Mont Chenoua et un minimum de 3km entre Sidi Fredj et Alger. Il est caractérisé par une pente de l'ordre de 2 à 3% avec une ligne d'inflexion nette autour de l'isobathe 100m. Cette pente est perturbée par quelques pointements rocheux localisés au large du Mazafran et de Bou Ismail.

### II.5 Hydrodynamisme

L'origine du courant algérien, qui vient coller les côtes maghrébines à environ 0° de longitude, provient des eaux atlantiques qui pénètrent à travers le détroit de Gibraltar (Taupier-Letage, 1988). Ce courant, allant d'Ouest en Est, provoque des remontées d'eau importantes à cause de ses tourbillons anticycloniques qui atteignent un diamètre de 100 à 200 km (même plus) avec des courants mobilisant une couche qui peut aller jusqu'à 200 m de profondeur, phénomène qui se produit plusieurs fois par an sur une grande partie du bassin Algérien (Millot et Taupier-Letage, 2005).

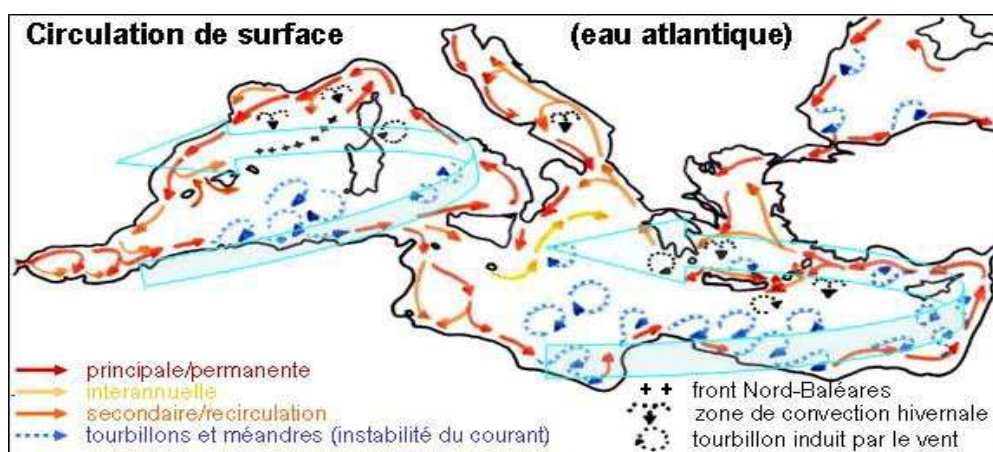


Figure II. 2 Circulation des eaux superficielles dans la Méditerranée (Bachari, 2009)

## II.6 Les sources potentielles de pollution dans la baie de Bou Ismail

La région de Bou Ismail est une zone à vocations touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques (Fig.II.4) qui se déversent directement en mer, sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas. Ajoutant à cela les rejets des eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels (Fig.II.3) dont les entreprises industrielles de plastique et de caoutchouc (LEM, 1998).

### II.6.1 Les ports de la baie de Bou-Ismaïl

1. Le port de Bou Haroun,
2. Le port de Khemisti,
3. Le port de Tipaza,
4. Le port de Sidi Fredj (Fig.II.5)



Figure II. 3 Eaux opaques à côté d'un rejet industriel dans la baie de Bou Ismail



Figure II. 4 Rejets de thalasso directs en mer sans traitement



Figure II. 5 Port de Sidi Fredj

### II.6.2 Les activités polluantes dans la baie de Bou Ismail

La figure suivante présente une carte des pressions anthropiques dans le littoral de la baie de Bou Ismail

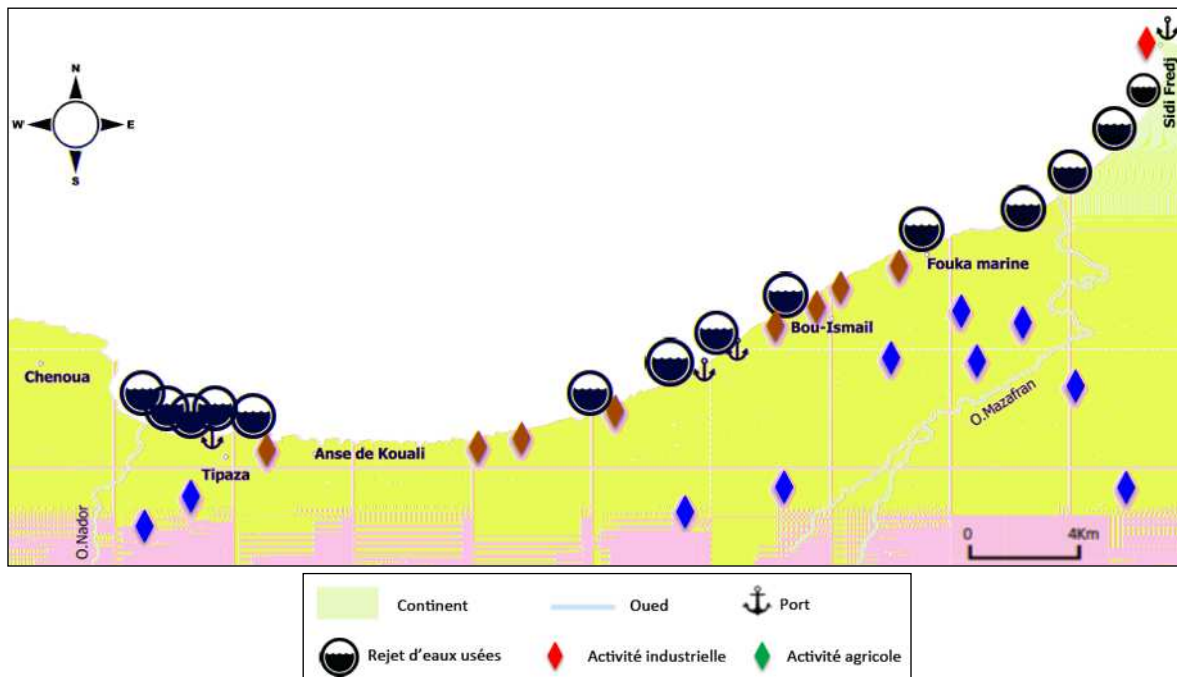


Figure II. 6 Carte des pressions anthropiques dans la baie de Bou Ismail

Le tableau suivant représente les principales activités polluantes dans notre zone d'étude

Tableau II. 1 les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (M.A.T.E.T, 2006)

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution
Sarl Resltek	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
Alufer Aluminal	Métallurgie	Chutes d'Aluminium et poussières de Fer
SARL Prochimal	Fabrication de produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques : rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
Plastram	Transformation plastique	Eaux de nettoyage
PPIZER	Fabrication des produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
Imprimerie SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement de l'encre avec les eaux domestiques
TONIC Emballage	Fabrication de boîtes, gobelets, emballages de différentes dimensions	Rejets d'eaux usées domestiques + chutes de cartons, papiers
TERRA Céramique	Production de céramique et poteries	Lessivage d'argile vers la mer
Autre unités :		
CPKD ECOREP Sarl Irsal KN Mme Matelot	La sahélienne Sarl SOAL BIC Société Algérie Lumière Eurl CCNBH	Sarl Fouka Emballage Touhami Sarl Roxal Sarl Casti hygiène Sarl SAFCF Poterie

## CHAPITRE III : Campagne en mer et analyses

Dans ce chapitre seront décrites les étapes de la campagne en mer réalisée, de la préparation de la campagne à la sortie en mer ainsi que les travaux aux laboratoires de l'ENSSMAL à Dely Ibrahim et à Sidi Fredj.

Nous définirons le principe des différentes mesures, la méthodologie appliquée ainsi que le matériel et les instruments utilisés pour toutes ces étapes.

### III.1 Préparation de la sortie en mer

#### III.1.1 Stratégie de prélèvement et localisation des stations

Afin de répondre à l'objectif primordial de cette étude qui est la caractérisation de la qualité des eaux marines côtières de la baie de Bou Ismail, une stratégie de prélèvements a été établie.

Il est important de rappeler que les milieux côtiers, pour des raisons physiques, chimiques et biologiques, sont des milieux marins extrêmement changeants. De ce fait, la méthodologie adoptée implique une organisation des prélèvements qui tient compte des :

- Conditions météorologiques : elles doivent être favorables au bon déroulement de la sortie et des prélèvements.
- Immersions de prélèvement : elles se doivent d'éviter la couche de mélange atmosphère-océan qui risquerait de fausser nos résultats. Notre étude concerne la répartition horizontale des paramètres de pollution, pour cela une profondeur de 1m a été choisie.
- Choix des sites potentiellement pollués : ils doivent être représentatifs du milieu étudié. Les sites sont choisis en fonction de leur proximité par rapport à des usines, des établissements agroalimentaires, des embouchures d'oued ou d'eaux usées domestiques.

La campagne en mer qui a été effectuée dans le cadre de ce mémoire a concerné la zone de la baie de Bou Ismail (Fig.III.1). Cette carte comporte la répartition des stations au niveau desquelles les prélèvements ainsi que les mesures in-situ ont été réalisées. Le choix des stations a été fait d'une façon à couvrir l'ensemble de la bande côtière de la zone d'étude.

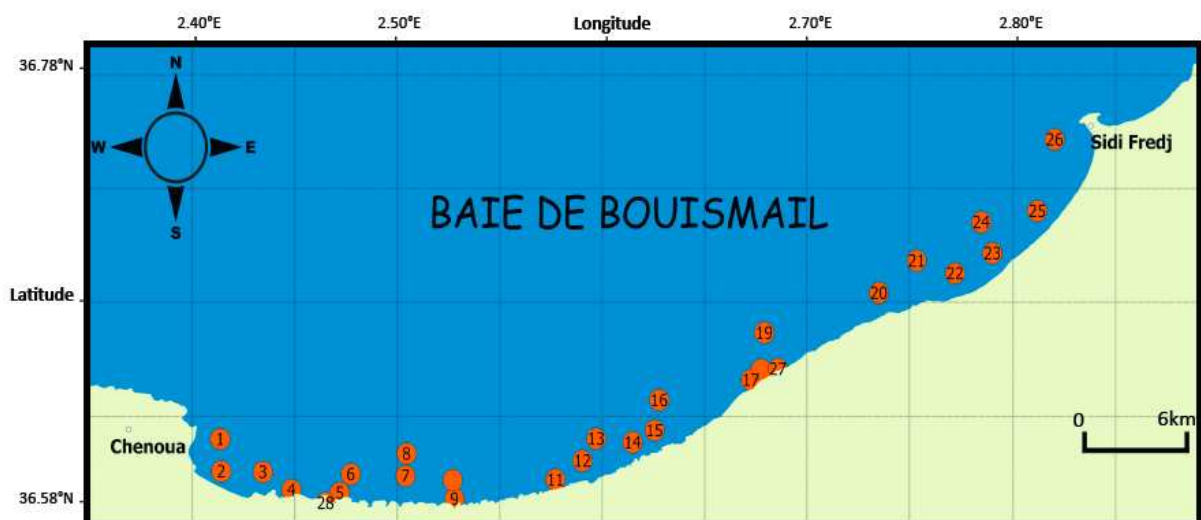


Figure III. 1 Localisation des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou Ismail

### III.1.2 Préparation du matériel et prétraitement

#### III.1.2.1 Le flaconnage

Des flacons en plastique (Fig.III.2) de volume de 250ml, 300ml, et 115 ont été préparés respectivement pour l'échantillonnage des MES, des sels nutritifs et de la chlorophylle. Les flacons de la chlorophylle sont opaques pour éviter la pénétration de la lumière.

Tous ces flacons ont été d'abord lavés à l'eau distillée, le séchage des flacons s'est effectué à l'étuve et ils ont été aussitôt rebouchés. Ensuite, des étiquettes ont été collées sur ces flacons, elles comportaient des renseignements quant au nom du paramètre, date du prélèvement et localisation et cela pour faciliter le travail en mer.



Figure III. 2 Flacons de prélèvement

#### III.1.2.2 Les Filtres

Deux sortes de filtres ont été utilisées :

- Des filtres de type Whatmann GFC de  $0,7\mu\text{m}$  destinés à l'analyse des MES.
- Des filtres de type Whatmann GFF de  $0,45\mu\text{m}$  plus adaptés à l'analyse de la chlorophylle.

Ces deux types de filtres en fibre de verre sont prétraités par trempage dans de l'eau acidulée (HCL 0,1N) pendant 24h (Fig.III.3) puis rincés abondamment avec de l'eau bi distillée. La phase de séchage s'effectue à l'étuve pendant une heure et à une température de 105 degrés. Les filtres prétraités sont ensuite rangés dans des porte filtres (FigIII.3), rincés et préalablement séchés, conditionnés et numérotés puis placés dans le dessiccateur.



Figure III. 3 a : conditionnement des filtres ; b : Porte filtre

### III.1.2.3 La valise multi paramètres

Les valises multi-paramètres permettent de mesurer les paramètres physico-chimiques de l'eau in-situ. L'intérêt des sondes in situ consiste à fournir des valeurs instantanées. Pour des raisons de facilité et de coût d'analyse, elles ont tendance à se substituer à l'échantillonnage classique et à la mesure en laboratoire, notamment en ce qui concerne les paramètres de salinité, d'oxygène dissous et de turbidité.

Il est toutefois important de prendre en compte les considérations suivantes :

Les sondes de terrain doivent faire l'objet d'un suivi métrologique poussé, pour ce faire, les instruments ont d'abord été étalonnés.

## III.2 La sortie en mer

Les travaux en mer ont été réalisés le 17 Avril 2015 à bord de l'embarcation de l'ENSSMAL Baba Aroudj (Fig.III.4.a). Le nombre de stations étudiées est de 28. La campagne a eu lieu dans des conditions d'une mer calme, ciel clair et vent quasiment nul ce qui a permis de couvrir la zone en une seule journée.

Les objectifs de cette sortie étaient d'appliquer une stratégie de prélèvement d'échantillons au niveau de stations préalablement localisées. Ces échantillons d'eau sont recueillis afin de mesurer en laboratoire certains paramètres d'intérêt pour notre étude tels que les concentrations en chlorophylle a, les MES, la turbidité et les sels nutritifs, en plus des paramètres physico-chimiques caractéristiques des eaux échantillonnées et qui ont été mesurés in-situ.

Le matériel embarqué pour cette étude est :

- Une carte géographique de la zone d'étude sur laquelle sont clairement indiqués et numérotés les points de prélèvements (stations), prévus pour le positionnement avec un GPS.
- La bouteille de prélèvement ainsi que les flacons étiquetés et rangés
- Une valise multi-paramètres
- Des glacières (Fig.III.4.b)
- Des fiches techniques : La traçabilité des résultats est assurée via une feuille de mer (Fig.III.4.c) sur laquelle sont notées toutes les informations nécessaires à chaque station, qu'il s'agisse d'observations générales ou de données directement liées au prélèvement des échantillons.



Figure III. 4 a : l'embarcation Baba Aroudj, b : glacières, c : fiche

L'ensemble de la baie de Bou Ismail a été parcouru d'Ouest en Est et le travail s'est fait en réalisant les opérations suivantes :

### III.2.1 Le prélèvement

Il s'agit d'une opération consistant à prendre un certain volume représentatif du milieu à étudier, remonté à bord à l'aide d'une bouteille de prélèvement (Rodier, 2009).

Une bouteille de type Niskin de 5L a été utilisée pour nos opérations, celle-ci est fixée par un câble, rincée en la descendant à plusieurs mètres de profondeur puis remontée, et fermée à la profondeur de 1m à l'aide d'un messenger. Afin d'éviter les risques de contaminations, les prélèvements d'eau de mer ont été effectués à l'avant du navire en arrêt.

### III.2.2 Les mesures in situ

Les paramètres : température, salinité, oxygène dissous et potentiel d'hydrogène sont mesurés in situ. En effet ce sont des paramètres qui évoluent rapidement et qui nécessitent donc une mesure sur le terrain dès que la bouteille de prélèvement est remontée.

#### III.2.2.1 La mesure de l'oxygène dissous et la température

Nous avons utilisé l'oxymètre (Figure III.5) de type OXI 330I/SET (WTW) pour mesurer l'oxygène dissous et la température. Cet appareil est muni d'une sonde électrolytique qui est plongée dans l'eau de mer prélevée et remontée; les valeurs de l'oxygène dissous et de la température s'affichent par une unité de mg/l et °C avec une précision de  $\pm 0,5$  % de lecture.



Figure III. 5 Oxymètre de terrain (type Oxi/WTW 197)

#### III.2.2.2 La mesure du pH

Le potentiel a été mesuré à l'aide d'un pH mètre de terrain (Figure III.6) de type 315/SET (WTW) d'une précision de  $\pm 0,01U$  muni d'une électrode de verre à compensation de température. Les résultats sont exprimés en unités de pH.



Figure III. 6 PH-mètre de terrain de type (WTW)

### III.2.2.3 La mesure de la salinité

Les mesures de salinité ont été réalisées par la méthode conductimétrie grâce à un salinomètre à induction portable (Fig. III.7) de type Beck manindustriale d'une précision de 0,5%.

L'étalonnage préalable de l'outil est réalisé à l'aide d'un thermomètre indiquant la température d'une eau normale à 35 PSU.



Figure III. 7 Conductimètre de terrain (type Cond/WTW, 197)

### III.2.3 L'échantillonnage

Il consiste, suite au prélèvement, à soutirer des fractions. Les échantillons étant destinés chacun à une ou plusieurs analyses (Rodier, 2009).

L'orifice de vidange de la bouteille de prélèvement et les flacons prétraités sont utilisés pour l'échantillonnage. Pour les sels nutritifs, nous avons porté des gants pour éviter toute contamination. Le remplissage des flacons est effectué après leurs conditionnements. Pour cela, il faut laisser couler quelques ml d'eau de mer prélevée et rincer les flacons.

Les échantillons sont ensuite conservés au froid et à l'abri de la lumière dans des glacières puis transportés au niveau du laboratoire de l'ENSSMAL.

## III.3 Analyses au laboratoire

Aussitôt arrivés au laboratoire, les échantillons sont soumis à une série d'analyses qui permet d'apprécier la qualité de l'eau de mer prélevée.

### III.3.1 L'analyse de la chlorophylle

D'une manière générale, la mesure des pigments phytoplanctoniques est basée sur leurs propriétés optiques : absorption de la lumière (spectrométrie) ou fluorescence (fluorimétrie). La chlorophylle-a est un constituant intracellulaire, sa mesure nécessite la récupération des

cellules en suspension dans le milieu par filtration. Le matériel cellulaire récolté sur le filtre subi une extraction par solvant. Les pigments chlorophylliens sont très sensibles à la lumière et au pH. En milieu acide, la dégradation de la chlorophylle produit de la phéophytine-a (Rodier, 2009)

Pour nos échantillons, nous avons utilisé la méthode spectrophotométrie de type UV-1800

a. Matériel et réactifs :

- Dispositif de filtration
- Filtres en fibre de verre porosité de 0,45 µm (GF/F \_ 47 mm)
- Tubes à centrifuge en verre et centrifugeuse
- Spectrophotomètre de type UV-1800 (CHIMQDZU) équipé d'un double faisceau
- Cuves en quartz
- Acétone à 90 %
- Eau déionisée
- Acide chlorhydrique concentré (0.3 mol/l)
- Suspension de carbonate de magnésium (mgCO<sub>3</sub>).

b. Méthode :

L'échantillon homogénéisé est filtré puis le filtre est récupéré, plié et placé sur du papier aluminium. Afin d'assurer une bonne conservation (Fig. III.8.a), on procède à l'ajout de quelques gouttes de carbonate de magnésium qui prévient la dégradation de la chlorophylle et on stocke au congélateur.

Pour l'extraction (Fig. III.8.b), les filtres sont récupérés, mis dans des tubes à centrifuge puis traités avec le solvant (l'acétone 90%) pendant 24h dans un réfrigérateur. L'extraction menée à son terme, on procède à une centrifugation (Fig. III.8.d) à 4000tr/min.

Cette séparation nous permet d'obtenir un surnageant prêt à la mesure spectrophotométrique (Fig. III.8.c) aux longueurs d'ondes 665 et 750 nm avant et après acidification par la solution chlorhydrique.

c. Expression des résultats :

Le calcul des concentrations en chlorophylle-a et pheopigments-a se fait selon les équations suivantes (Eq.2 et Eq.3) :

$$(\text{Chlorophylle a}) (\text{ug.l}^{-1}) = (26.7 (A^{na}_{665} - A^a_{665}) * v) / (V * l) \dots \dots \dots (2)$$

$$(\text{Pheopigments}) (\text{ug.l}^{-1}) = (26.7 (1.7 A^a_{665} - A^{na}_{665}) * v) / (V * l) \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

Avant acidification

$$A^{na}_{665} = (Ab^{na}_{665} - bc_{665}) - (Ab^{na}_{750} - bc_{750})$$

Après acidification

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

- V : Volume d'eau filtrée (litres)
- v : Volume de solvant d'extraction (millilitres)
- l : Longueur du trajet optique de la cuve de mesure (centimètres)



Figure III. 8 a: Conservation, b: Extraction des filtres, c: Le spectrophotomètre, d: Centrifugeuse

### III.3.2 L'analyse des Matières En Suspension (MES)

La mesure de MES se base sur le passage d'un échantillon d'eau de volume V à travers un filtre en fibre de verre de 0,7  $\mu\text{m}$ . Le poids de la matière retenue par le filtre est déterminé par la différence de pesée avant et après filtration.

a. Matériel :

- Dispositif de filtration Millipore® (Figure III.9.a)
- Balance de précision  $10^{-4}$  g; (Figure III.9.b)
- Capsules
- Filtres en fibre de verre porosité de 0,7  $\mu\text{m}$
- Etuve (Figure III.9.c)
- Epruvettes graduées de 250ml
- Des pinces

b. Méthode :

La méthode utilisée consiste à peser le filtre sec avec la balance et estimer le volume de l'échantillon à l'aide d'une éprouvette. Ce dernier est filtré puis le filtre est récupéré, séché, refroidi pour être, à nouveau, pesé.

c. Expression des résultats :

La concentration de la matière en suspension en mg/l dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante (Eq.4):

$$[\text{MES}] = ((P2 - P1)/V) \dots\dots\dots(4)$$

P1 : Poids du filtre sec avant filtration (en mg) ;

P2 : Poids du filtre sec après filtration (en mg) ;

P2 - P1: Poids de la matière retenue par le filtre sec ;

V : Volume de la prise d'eau (en ml).



Figure III. 9 a : Rampe à filtration, b : Balance, c : Etuve

### III.3.3 L'analyse de la Matière Organique Particulaire

Une mesure directe de la MOP par pesée peut se faire après passage au four (450 °C) des filtres de MES afin de brûler toute la matière organique. La « perte au four » est alors assimilée à la charge organique (Aminot et Kerouel, 2004)

a. Matériel :

- Creusets en porcelaine
- Balance de précision  $10^{-4}$ g
- Four a moufle Wisetherm®
- Dessiccateur (Figure III.10.c)
- Pincettes

b. Méthode :

Les filtres issus de l'analyse de MES sont mis dans des creusets numérotés (Fig.III.10.a), le tout est pesé (Fig.III.10.d) puis ils sont placés au four à moufle (Fig.III.10.b) à 450°C pendant deux heures. Une fois refroidis, ils sont pesés une deuxième fois.

c. Expression des résultats :

La concentration de la matière organique particulaire en mg/l dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation (Eq.5) suivante :

$$\text{MOP (mg/l)} = \text{M1-M2} / \text{V} \dots\dots\dots(5)$$

Avec :

M1: Poids du creuset et du filtre avant séchage en (mg)

M2: Poids du creuset et du filtre après séchage en (mg)

V : volume d'eau filtré (l)



Figure III. 10 **a:** Creuset, **b:** Four à moufle, **c:** Dessiccateur, **d:** Balance

### III.3.4 La turbidité

Pour la turbidité, des appareils ont été mis au point, opérant en lumière mono ou polychromatique et détectant, soit la lumière transmise en ligne droite par rapport à la lumière incidente, soit la lumière diffusée par les particules. La diffusion de la lumière (effet Tyndall) a lieu dans toutes les directions mais, selon le type d'appareil, elle est mesurée sous différents angles. On parle de néphélométrie lorsque l'on mesure la lumière diffusée, technique considérée, dans la plupart des cas, comme plus satisfaisante que la mesure d'absorbance. (WRC, 1979).

a. Matériel :

Turbidimètre HANNA® de type HI88703 (Figure III.11)

b. Méthode :

Les échantillons destinés à la mesure de la turbidité doivent d'abord être homogénéisés en les agitant intensément. Ils sont transvasés par la suite dans la cuve de mesure du turbidimètre pour effectuer rapidement la lecture dès que le signal est stabilisé.

Remarque : Il est nécessaire de s'assurer de la propreté de toutes les faces optiques de la cuve de mesure ainsi que de l'absence d'humidité.



Figure III. 11 Turbidimetre HANNA® de type HI88703

### III.3.5 Les sels nutritifs

L'analyse des sels nutritifs est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-analyser San Plus) (troisième génération) (Fig III.12), selon les protocoles décrits par le constructeur SKALAR (SKALAR, 1996) (annexe II).

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (Fig.III.12) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant de l'énergie lumineuse qui dépend de l'intensité de la coloration, de même, ce dernier est d'autant plus important que la solution est concentrée en sel dosé.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), obéit à la loi de Beer-Lambert (Eq.6) qui est exprimée par la relation suivante :

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

Avec :

$I_0$  et  $I$  : les intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant

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

$l$  : la longueur du milieu traversé exprimé (cm)

$C$  : concentration de la solution absorbante exprimée (mole/l)

$A$  : absorbance de la solution

D.O : densité optique de la solution





Figure III. 12 **a** : Solution mère, **b**: Solution fille, **c**: Auto Analyser San Plus (SKALAR® 1996)

## Chapitre IV : Méthodologie d'utilisation du SIG

L'objectif de notre étude est la caractérisation de la qualité des eaux côtières dans la baie de Bou Ismail par les paramètres de pollution pouvant être associées aux activités anthropiques dans cette zone pour laquelle nous avons utilisé le logiciel SIG . Dans ce chapitre, nous allons décrire l'intégration des résultats des mesures in situ et des analyses de ce logiciel pour réaliser des cartes thématiques et effectuer des analyses spatiales.

#### IV.1 Intérêt de l'utilisation d'un SIG pour le suivi des paramètres de pollution

L'évaluation et la visualisation spatiales des polluants sont importantes pour mieux comprendre comment les sources de risque, les récepteurs et les voies d'exposition sont distribués dans l'espace (Bien, 2004). Ceci est la raison de l'intérêt récent de l'utilisation de techniques de SIG dans les études de répartition de la pollution de l'environnement (Zhou et al., 2007). Cependant, ces techniques ne sont pas efficaces à elles seules, mais doivent être appliquées après une enquête appropriée de l'environnement. C'est pourquoi l'utilisation de l'outil SIG est complémentaire et permet de mettre en valeur et d'aider à l'interprétation des résultats de notre étude terrain.

#### IV.2 Logiciels utilisés

A cet effet les logiciels utilisés sont les suivants :

- Un logiciel de type tableur Microsoft Excel qui utilise des fichiers portant l'extension xls ou xlsx mais qui permet également d'exploiter ses feuilles de calcul dans diverses applications en exportant les fichiers dans d'autres formats.
- Un logiciel SIG Quantum GIS (Fig.IV.1) version 2.8 qui est un Logiciel de SIG entièrement libre et gratuit fonctionnant sur quasiment tous les systèmes d'exploitation, Il a l'avantage de pouvoir manipuler de nombreux formats de fichiers vecteurs et rasters (.tab, .gpx, .shp, .tif, .ecw...) grâce à l'utilisation de la bibliothèque Gdal et une offre une excellente possibilité d'interactions avec d'autres logiciels (SAGA, GRASS...). Il présente de nombreuses fonctions de manipulation des informations géographiques comme la création, l'édition, l'analyse et la personnalisation de cartes.

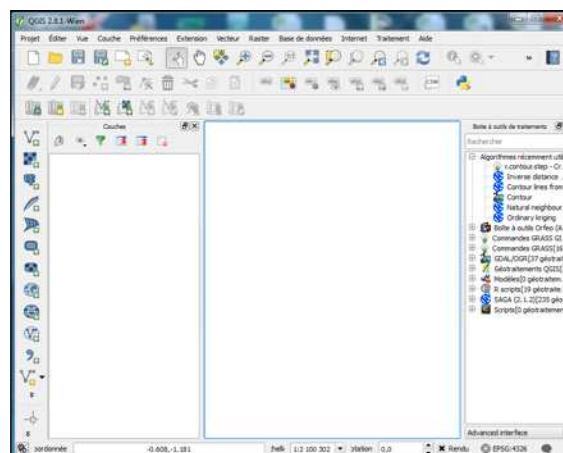


Figure IV. 1 Interface du logiciel QGIS

## IV.3 Méthodologie

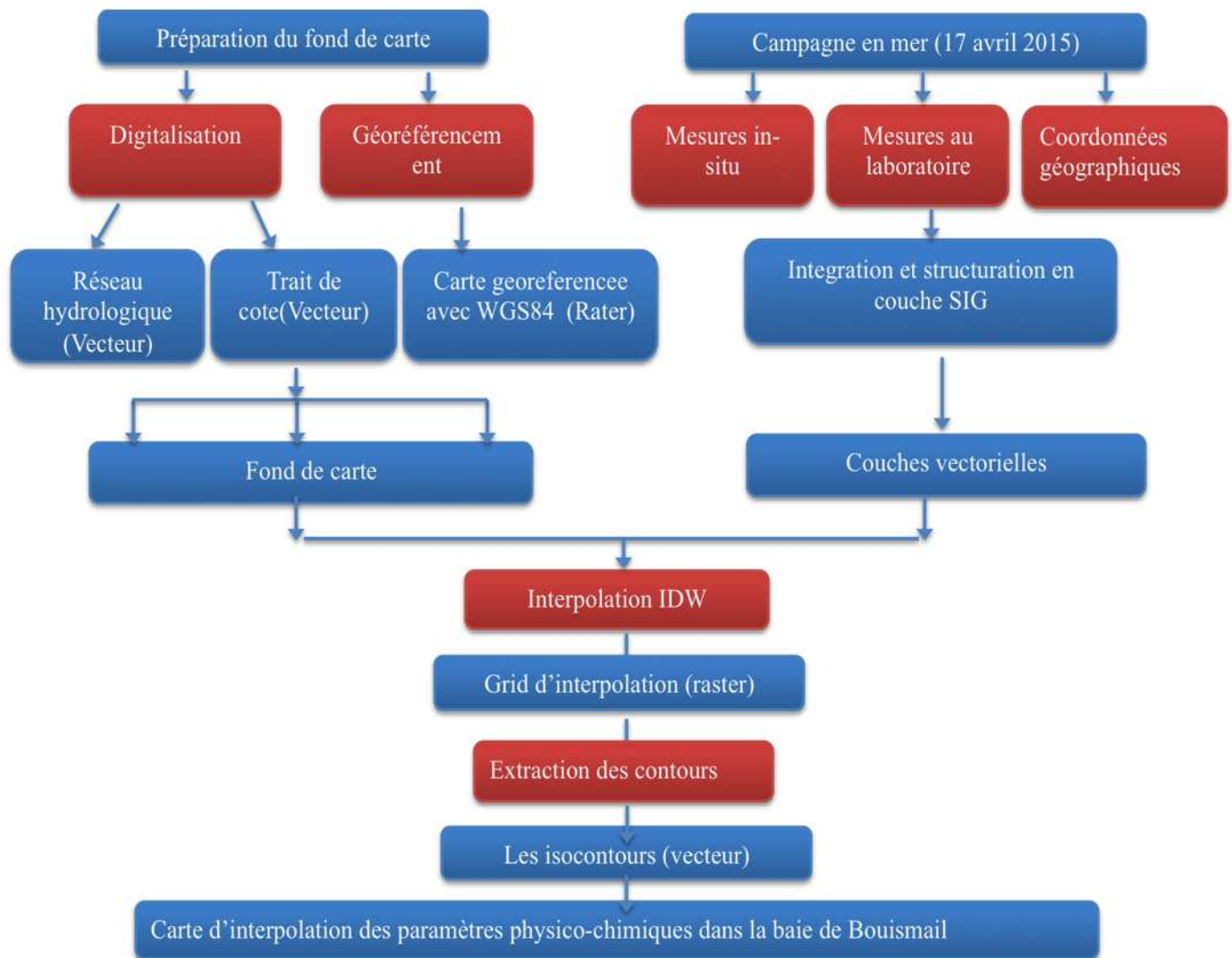


Figure IV. 2 Méthodologie de travail

## IV.3.1 La collecte des données

Un SIG ne peut fonctionner sans les données et généralement, plus il y a de données, plus grande seront sa polyvalence et ses fonctionnalités potentielles. Actuellement, la mise en œuvre des SIG rencontre plus de difficultés quant à l'acquisition des données que dans l'acquisition du hardware ou des logiciels.

La base de données utilisée pour notre projet est constituée :

- Des résultats analytiques des différentes mesures effectuées in-situ, des analyses au laboratoire ainsi que les données spatiales représentées par les coordonnées géographiques des points de prélèvements acquises grâce à un GPS lors de notre campagne en mer dans la baie de Bou Ismail ;
- Une carte marine scannée géo référencée représentant la baie de Bou Ismail (Bibliothèque de l'ENSSMAL) ;

- Le fichier des limites administratives COMGEO (INCT).

### **IV.3.2 Prétraitement des données et intégration dans QGIS**

#### **IV.3.2.1 Préparation du fond de carte :**

La méthode de projection cartographique ou système de coordonnées consiste en un ensemble de techniques géodésiques permettant de représenter la surface de la terre (sphérique) dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte. Chaque système de projection a un code unique appelé code EPSG. Ce SCG fait appel à une surface sphérique en trois dimensions pour définir des emplacements sur la Terre. Il comprend une unité angulaire de mesure, un méridien principal et un datum (basé sur un ellipsoïde) (Doucet, 2012).

Les SCR (non projetés) sont incapables de représenter correctement les formes à des fins de mesures (aires, distances,...), Contrairement à ceux-ci, un système de coordonnées projetées possède des longueurs, des angles et des surfaces constants dans les deux dimensions (Richard, 2014)

C'est pourquoi il est préférable d'associer aux SCR des SCP qui peuvent conserver quelques propriétés (formes, angles, distances, aires).

L'extension du géo référencement de QGIS ainsi que les coordonnées des points de contrôle établis nous ont permis de géo référencer la carte topographique de Bou Ismail et notre choix s'est porté sur la projection WGS84 en vigueur en Algérie, associé au SCP UTM31N qui offre de très bons compromis pour préserver l'ensemble des propriétés géométriques. Dans le logiciel QGIS Un nouveau projet se voit assigner la projection de la première couche ouverte dans QGIS. Les autres couches sont projetées « à la volée ».

#### **IV.3.2.2 Importation des données de base du projet**

L'intégration des données numériques et géographiques dans le logiciel SIG peut requérir d'effectuer certaines modifications comme des conversions en format adéquat.

Le prétraitement de nos données consiste à les organiser sous forme de tableau Excel dont les deux premières colonnes contiennent les coordonnées X et Y de nos points de prélèvements. Puis ce tableau est enregistré sous format de fichier texte avec tabulation comme séparateur. L'importation des données dans le logiciel QGIS peut alors se faire grâce à la fonction « ajouter une couche de texte délimitée » et nos stations s'affichent dans le canevas de QGIS.

#### **IV.3.2.3 La digitalisation**

La digitalisation à l'écran requiert une carte raster numérisée et géocodée qui est affichée. Tout objet intéressant de la carte sera vectorisé à l'aide de la souris. L'avantage de cette méthode est le support du zoom, et donc une précision accrue peut être atteinte. Chaque fichier vecteur est composé de données géographiques (les points, polygones ou lignes) et de

données attributaires, visibles sous forme de tableaux, qui décrivent les attributs de chaque entité géographique, Il est essentiel de bien choisir le type d'entité.

Le logiciel QGIS a de puissantes capacités de digitalisation à l'écran et d'édition. Nous avons utilisé la carte topographique scannée et géo référencée comme support de digitalisation, La première étape consiste à créer une nouvelle couche vecteur et le type d'entité choisi est le point pour certains lieux dans la baie de Bou Ismail et la ligne pour représenter le trait de côte ainsi que le réseau hydrographique lié à cette baie.

Ces différentes manipulations nous ont permis d'obtenir le fond de carte ainsi que les stations et les mesures prêtes à l'analyse (Fig.IV.3)

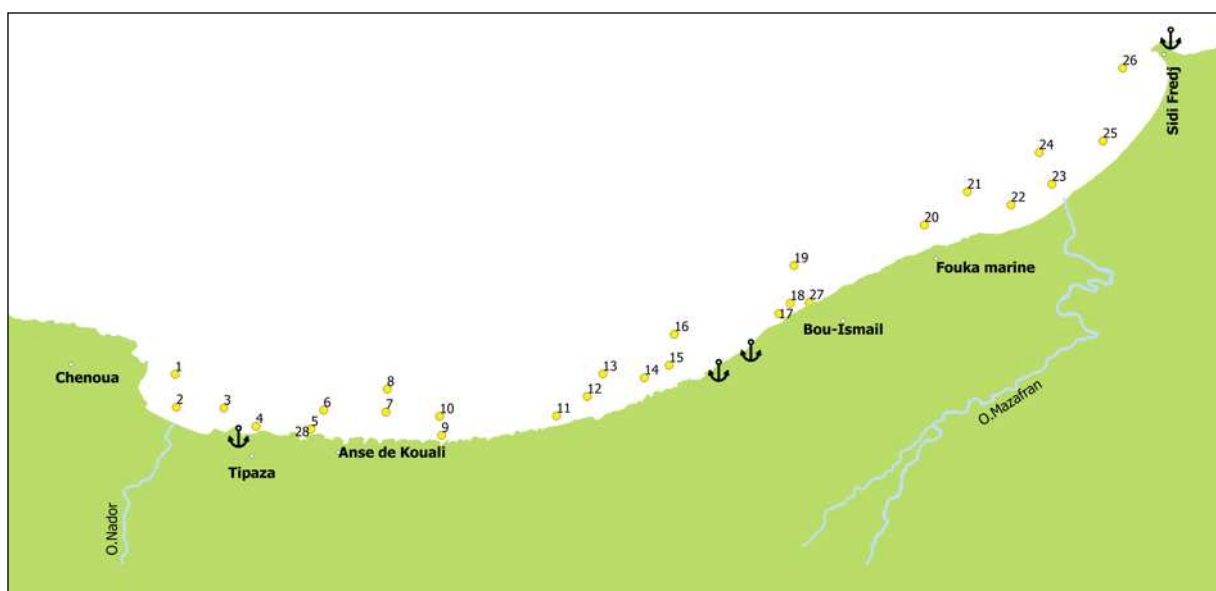


Figure IV. 3 Le fond de carte

### IV.3.3 Traitement des données

#### IV.3.3.1 L'interpolation par la méthode IDW

L'interpolation est une procédure consistant à estimer les valeurs des propriétés continues (plutôt que discrètes) sur des sites non échantillonnés le long d'une ligne ou d'une région. L'interpolation des points d'échantillonnages crée une surface ou une grille (grid) (Fig. IV.4) où la valeur du point inconnu sera estimée sur la base des points connus aux alentours (Fig.IV.4). Elle doit être basée sur des données d'observation de points existants au sein de la zone, qui elles-mêmes sont dérivées en utilisant des techniques de mesure et d'échantillonnage valides (Meaden et Do Chi ,1996).

Le principe de l'interpolation spatiale est la première loi de la géographie formulée par Waldo Tobler, selon laquelle « Tout interagit avec tout, mais deux objets proches ont plus de chances de le faire que deux objets éloignés. » (Tobler, 1970).

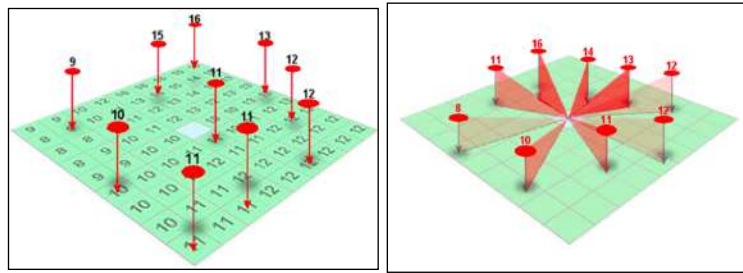


Figure IV. 4 Grid d'interpolation (Richard, 2014)

L'interpolation par « Distance Weighted Inverse (IDW) » ou la « Pondération par l'inverse de la distance » est la méthode d'interpolation la plus utilisée (Waters), elle intègre le concept de l'autocorrélation spatiale littéralement en prenant en compte les valeurs des points d'échantillonnage et la distance les séparant de la cellule à estimer de telle sorte que les points échantillonnés soit pondérés et que l'influence d'un point par rapport à l'autre diminue avec sa distance du point inconnu que l'on veut créer. L'influence relative de chaque échantillon peut cependant être contrôlée en déterminant le nombre de points inclus dans le calcul ou le rayon de recherche (Fig. IV.5).

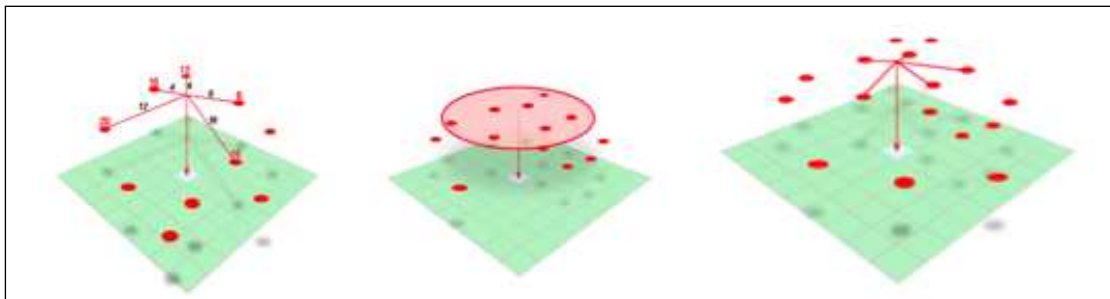


Figure IV. 5 Contrôle de l'interpolation IDW (Richard, 2014)

Dans QGIS, l'interpolation est obtenue en utilisant l'extension intégrée (plugin) « interpolation ». L'input ou la couche vecteur utilisée en entrée pour l'interpolation représente les données des différents paramètres importées associées aux données géographiques.

En choisissant la méthode d'interpolation IDW, le logiciel QGIS nous permet d'avoir un certain contrôle sur l'algorithme de traitement, notamment par le choix du coefficient de distance « P » qui permet de déterminer le degré d'influence de l'échantillon connu en fonction de l'augmentation de la distance. Il est conseillé de créer peu de surfaces différentes et d'ajuster ce nombre en fonction du type d'analyse. Dans notre cas, la valeur du coefficient varie entre 2 et 2,7 en fonction du paramètre à interpoler.

Un autre moyen de contrôle de l'opération dans le logiciel QGIS est la définition de la taille de cellule X et la taille de cellule Y. Celle-ci est utilisée pour spécifier le nombre d'unités incluses dans la largeur et la hauteur de chaque cellule. Notre unité est le mètre car on a assigné une SCP UTM lors de la projection, le nombre de colonnes et de lignes est alors ajusté automatiquement.

Enfin, on peut déterminer l'étendue de la surface à générer et commencer l'interpolation,

l'output obtenu est une couche raster en niveau de gris qui contient une valeur en tout point dans l'étendue des données. La dernière étape consiste à symboliser cette couche pour visualiser le résultat, nous avons choisi de créer des pseudocouleurs à bande unique qui nous permettent d'obtenir un dégradé proportionnel à la valeur des points interpolés.

#### **IV.6.2 Les contours**

Un contour ou iso-ligne qui est une ligne raccordant les points d'égale valeur de surface. Elles révèlent le taux de changement des valeurs à travers une zone pour les phénomènes spatialement continus. Les lignes de contour sont dessinées à un intervalle que l'on spécifie.

A partir du fichier raster représentant l'interpolation, nous avons utilisé l'extension de création de contours du logiciel QGIS puis l'intervalle a été choisi en fonction du paramètre interpolé et de la distribution de celui-ci.

#### **IV.7 L'impression**

Une carte géographique doit contenir un titre (variable, lieu,...), une légende et une échelle, on peut également y ajouter la projection, un cadre, une indication du Nord et une grille des coordonnées ou des étiquettes. Ces éléments essentiels sont incorporés dans la mise en page, appelée «Composeur d'impression» dans le logiciel QGIS.

Elle débute par l'ajout de toutes les couches nécessaires à notre carte puis le logiciel offre une multitude de fonctions pour ajouter des éléments à la carte, le résultat final peut alors être exporté dans plusieurs formats.

## Chapitre V : Résultats et discussions

Suite à la campagne en mer dans la zone côtière de la baie de Bou Ismail, les analyses au laboratoire ainsi que les différents traitements de données, nous présentons dans ce chapitre :

- Les statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques.
- Les représentations graphiques des variations de chaque paramètre et leurs distributions spatiales créées avec le logiciel statistique le R.
- Les cartes de distribution spatiale des paramètres obtenues par l'utilisation du logiciel QGIS et l'interprétation.

### V.1 Les variations des paramètres physico-chimiques

Les données des paramètres physico-chimiques dans la baie de Bou Ismail sont résumées ci-dessous, sous forme de tableau de statistiques descriptives.

Tableau V. 1 Les valeurs minimales, moyennes et extrêmes des paramètres physico-chimiques dans les eaux côtières de la baie de Bou Ismail

Paramètre	Température (°C)	Salinité (PSU)	pH	O2 dissous (mg/l)
Minimum	16.6	36.00	8.14	8.1
Maximum	18.6	36.60	8.70	9.3
Moyenne	17.34	36.41	8.39	8.6
Ecart type	0.57	0.14	0.17	0.27
Erreur	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,01U	± 0,5 %

Tableau V. 2 Variation et distribution spatiale des paramètres indicateurs de la pollution

Paramètre	Chlorophylle-a (µg/l)	(MES). (mg/l)	(MOP) (mg/l)	Turbidité (NTU)	Sels nutritifs (mg/l)		
					NO2	NO3	PO4
Minimum	0.2136	100.2	35.00	0.25	0.0028	0.0281	0.1334
Maximum	1.068	126.4	48.40	2.11	0.0824	0.8721	0.2199
Moyenne	0.397	116.1	40.19	0.67	0.017	0.270	0.189
Ecart type	0.233	4.24	1.78		0.016	0.195	0.016

### V.1.1 La Température de Surface de la Mer (SST)

Les valeurs de la température de surface des eaux (Fig.V.1) sont comprises entre un minimum de 16,6°C au niveau des stations 5,7 et 8 et un maximum de 18,6°C au niveau de la station 27, avec une moyenne de 17,34 °C et un écart type de 0,57.

D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et témoignent du niveau thermique de la saison d'échantillonnage.

En surface, la température suit les variations climatiques. En effet, les eaux superficielles sont directement influencées par les conditions météorologiques et sont en contact direct avec l'atmosphère, ceci est particulièrement visible dans la carte des variations de la TSM au niveau de la baie de Bou Ismail (Fig.V.2). Nous avons remarqué un changement de la TSM proportionnel à l'élévation de la température atmosphérique aux différentes périodes de la journée. Des cas particuliers concernent des noyaux d'eaux particulièrement chaudes comme le maximum enregistré au niveau de la Station numéro 27. Ceci peut être dû au mélange avec les eaux continentales notamment les rejets d'eaux usées industrielles et de l'embouchure de l'oued Mazafran.

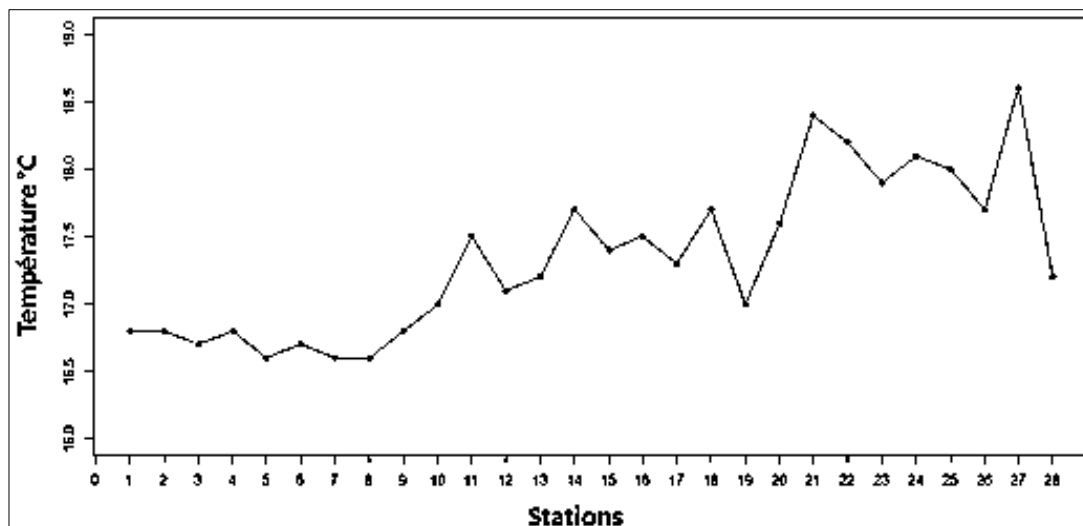


Figure V. 1 Variation spatiale de la température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail

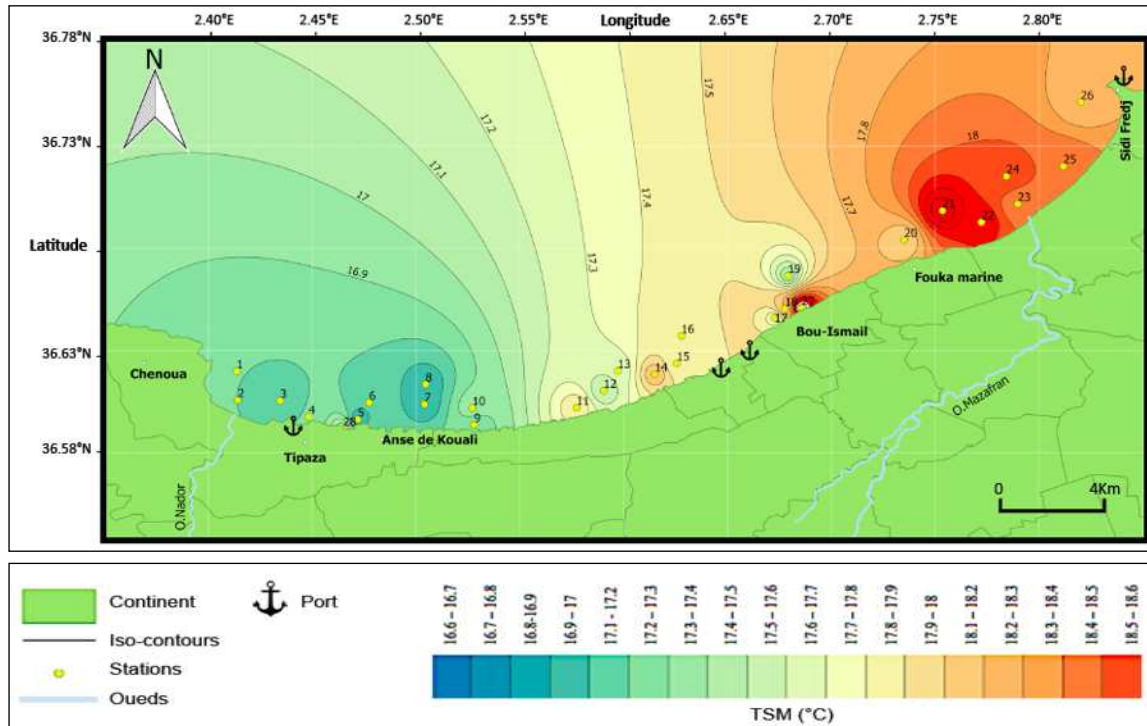


Figure V. 2 Distribution spatiale de la température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail

### V.1.2 La Salinité de Surface de la Mer (SSM)

Les valeurs de la salinité de surface des eaux (Fig.V.3) sont comprises entre une valeur minimum de 36PSU enregistrée dans la station 16 et une valeur maximum de 36,6 PSU au niveau de plusieurs stations dont les stations 18 et 23, avec une moyenne de 36,41PSU et un écart type de 0,14.

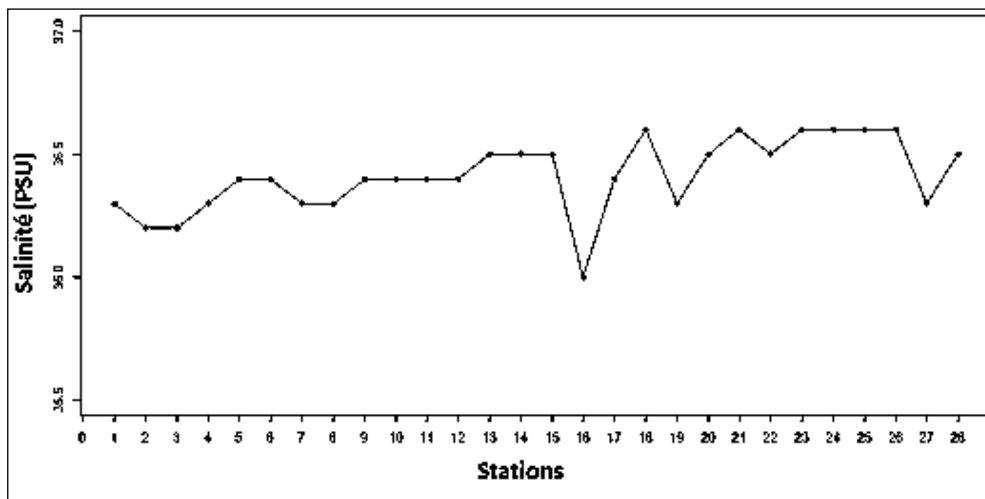


Figure V. 3 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail

La salinité des eaux méditerranéennes est comprise entre 37.80 et 39.39PSU (Bachouche, 2010) et elle se situe dans l'intervalle de 36,79-37PSU dans les eaux superficielles sur les côtes algériennes (Guibout, 1987).

L'apport des eaux continentales douces (eaux pluviales, rejets urbains et industriels) a une grande emprise sur la baisse de la salinité de l'eau de mer. En effet, les valeurs moyennes de SSM au niveau de notre zone d'étude sont assez faibles (maximum de 36,6 PSU) et ceci peut être expliqué par le nombre important de rejets dans cette zone côtière en plus des embouchures d'oueds et des ruissellements qui déversent de l'eau douce.

Plus précisément, la distribution de la SSM montre une tendance générale en augmentation de l'Ouest vers l'Est (Fig.V.4) de la baie avec des eaux très adoucies au niveau de l'embouchure de l'oued Nador, zone aussi caractérisée par une concentration très importante de rejets à proximité du port de Tipaza. Nous avons remarqué aussi un noyau d'eau très adoucie au niveau de la station 16, située en face du port de Bou Haroune et qui peut être due à une remontée d'eau profonde.

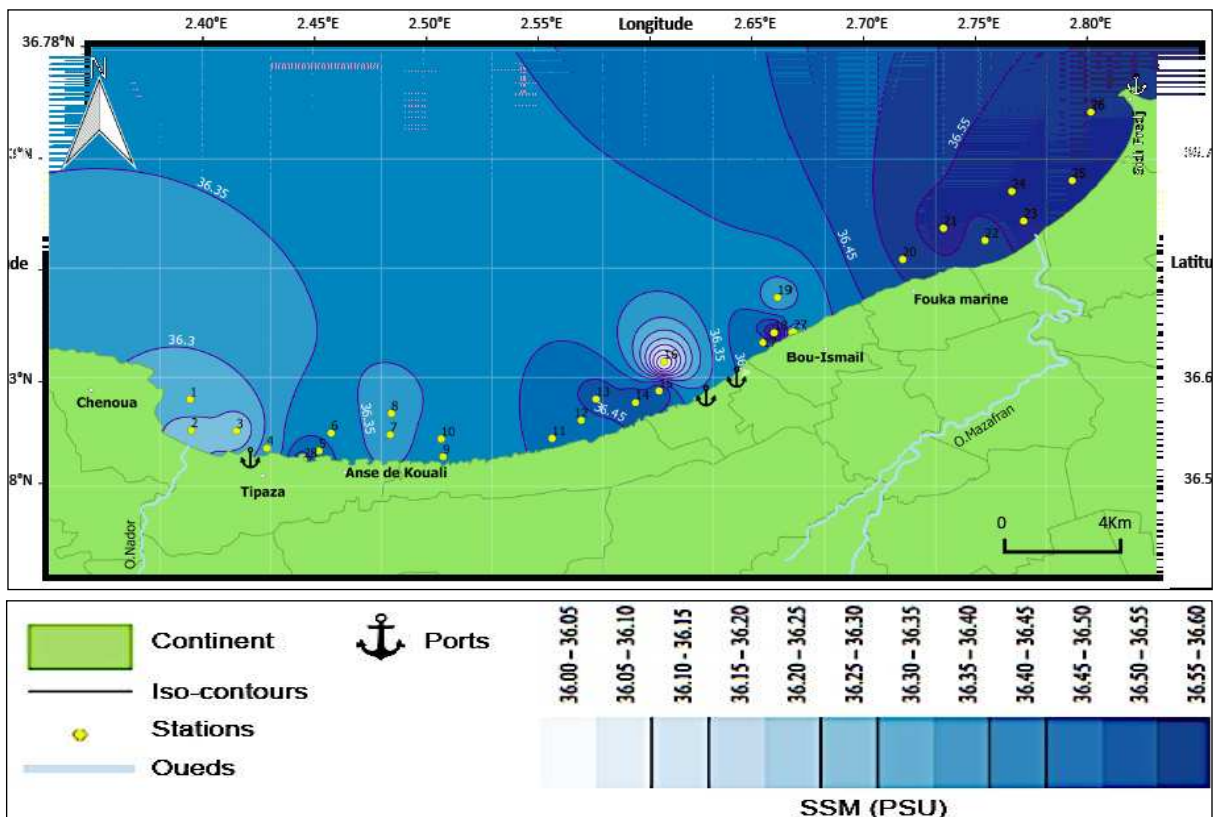


Figure V. 4 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

- **La température et la salinité**

D'après le diagramme T-S (Fig.V.5), nous pouvons distinguer plusieurs groupes de points : Parmi ceux-ci, des points ayant des faibles salinités comprises entre 36 PSU, 36.4 PSU représentant l'eau de mer froide (température inférieure à 17.5°C) et adoucie par l'eau continentale.

Le deuxième nuage de points est constitué d'eaux plus chaudes atteignant les 18.5°C et qui présentent également des salinités plus élevées entre 36.4 et 36.6 PSU.

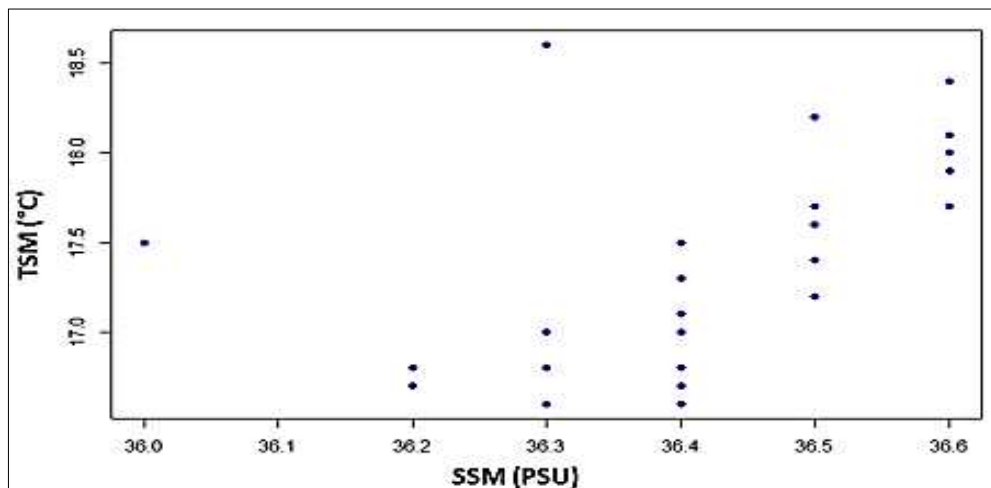


Figure V. 5 Diagramme T-S (°C-PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail

Ceci démontre une corrélation positive entre ces deux paramètres qui est également claire dans les cartes de distribution (Fig.V.6 et Fig.V.7)

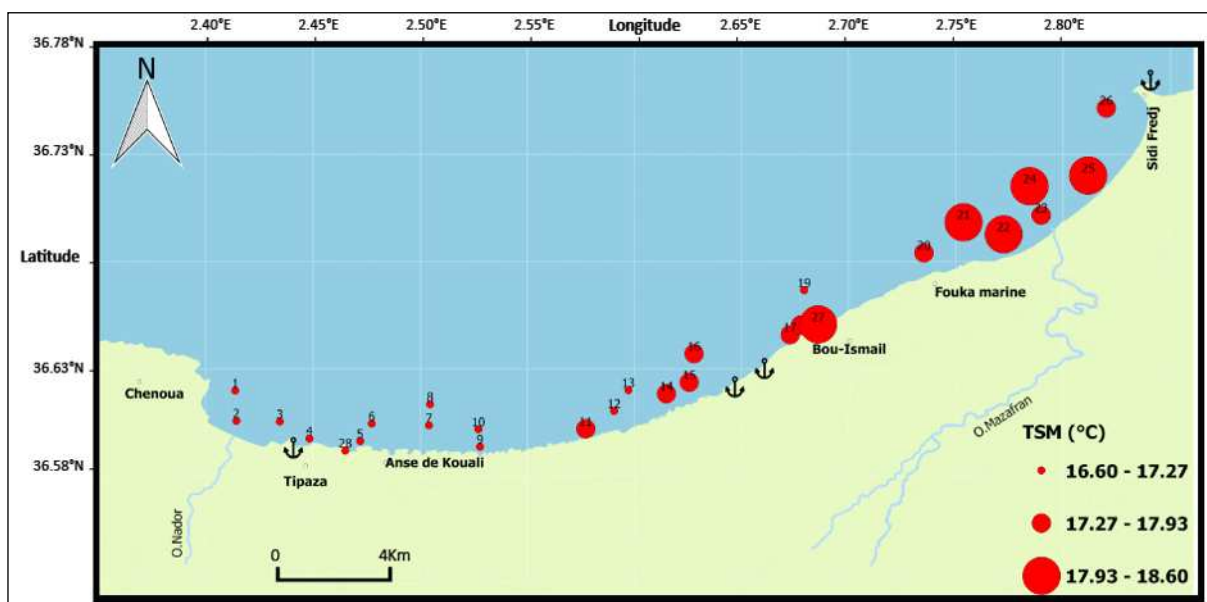


Figure V. 6 Distribution spatiale de la Température (°C) en surface dans la baie de Bou Ismail

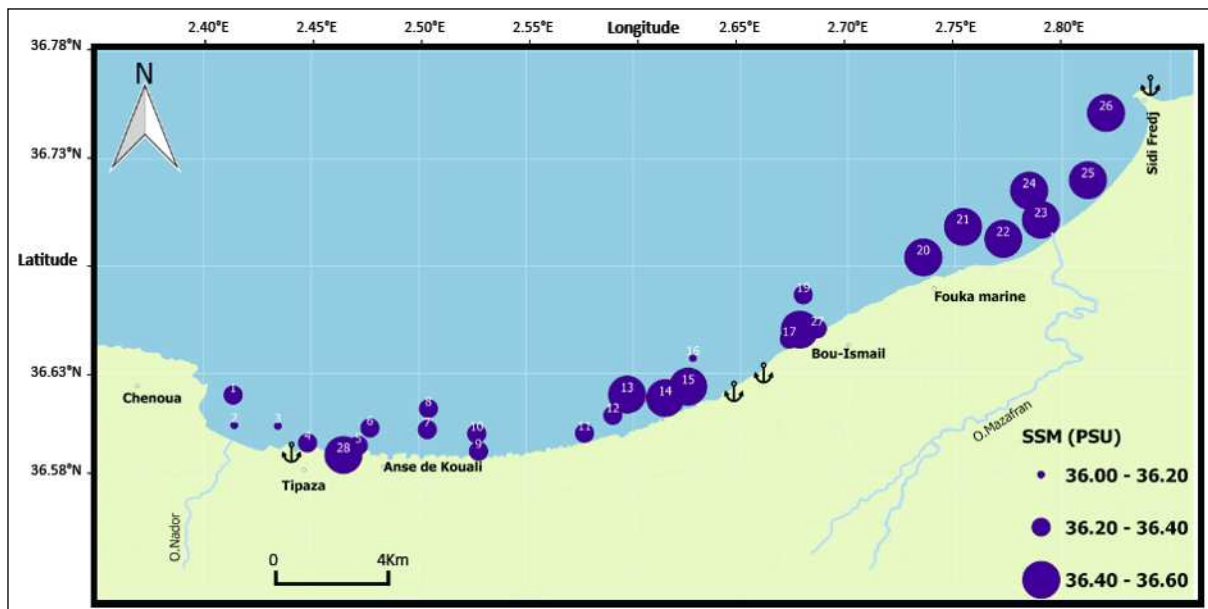


Figure V. 7 Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bou Ismail

### V.1.3 L'Oxygène Dissous (O.D)

La teneur la plus basse des eaux en oxygène dissous est de 8.1 mg/l au niveau des stations 4 et 27 (Fig.V.8) et la plus élevée est de 9.3mg/l au niveau de la station 18 avec une valeur moyenne de 8.6 mg/l et un écart-type de 0,27.

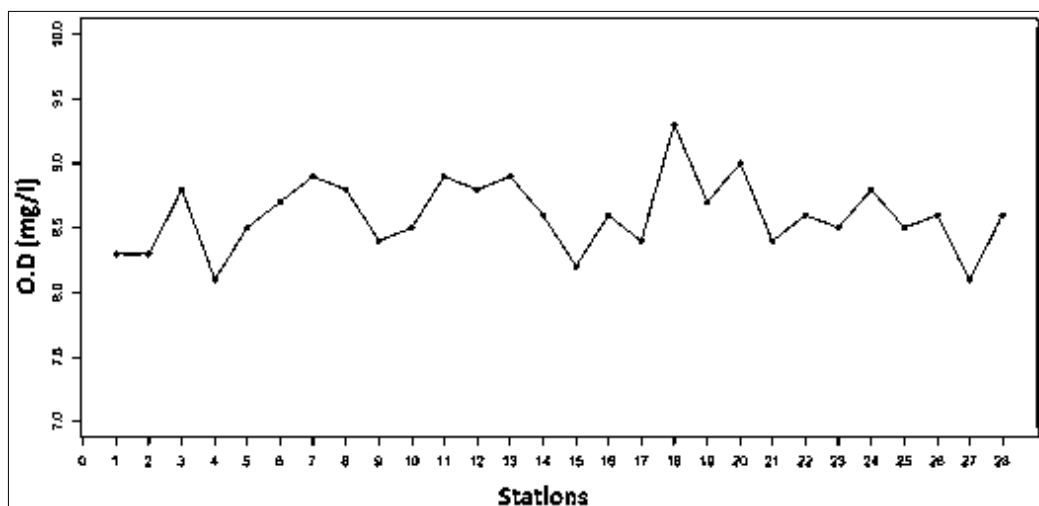


Figure V. 8 Distribution spatiale de l'O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

Les concentrations en oxygène dissous dans l'eau de mer dépendent de nombreux facteurs. En effet sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

Les teneurs en O.D sont aussi fonction de l'origine de l'eau, ainsi, les eaux superficielles

peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation (Barnabe, 1997). Selon (Rodier, 2009), la teneur en oxygène dans l'eau dépasse rarement 10mg/l. Dans notre cas, comme les prélèvements ne concernent que les eaux de surface sous influence de l'échange air-mer, les concentrations en O.D sont assez élevées.

Nous remarquons cependant des changements assez importants avec des eaux plus ou moins saturées (figure V.9). Ces variations peuvent être dues aux phénomènes de photosynthèse, du brassage important de ces eaux durant la saison d'échantillonnage ou à la présence de MES. Par exemple, l'anse de Kouali (stations 7 et 8), zone de productivité primaire importante présente une teneur relativement élevée en O.D alors que les stations de prélèvement proches des zones portuaires confinées : port de Tipaza, Bouharoune et Khemisti ont une saturation faible en O.D.

Par ailleurs, La discussion des résultats de distribution d'autres paramètres complètera l'interprétation des variations de l'O.D.

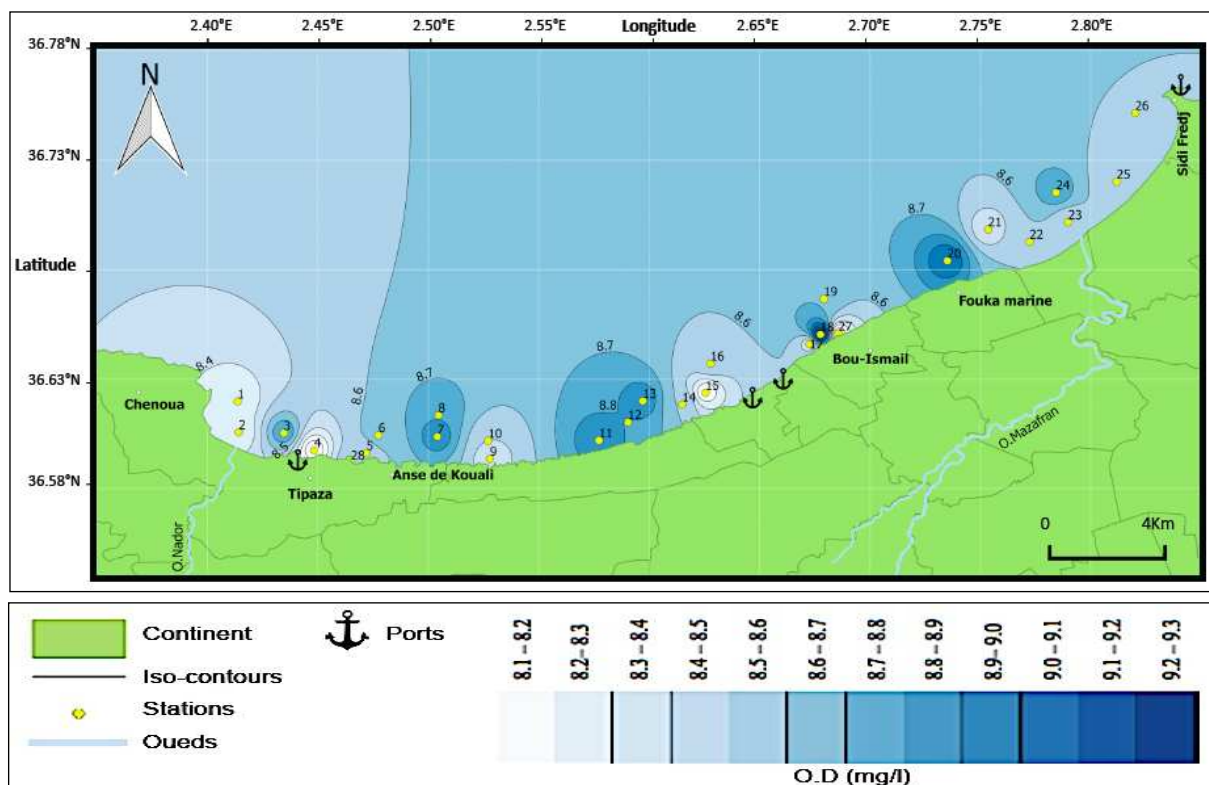


Figure V. 9 Distribution spatiale de l'O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

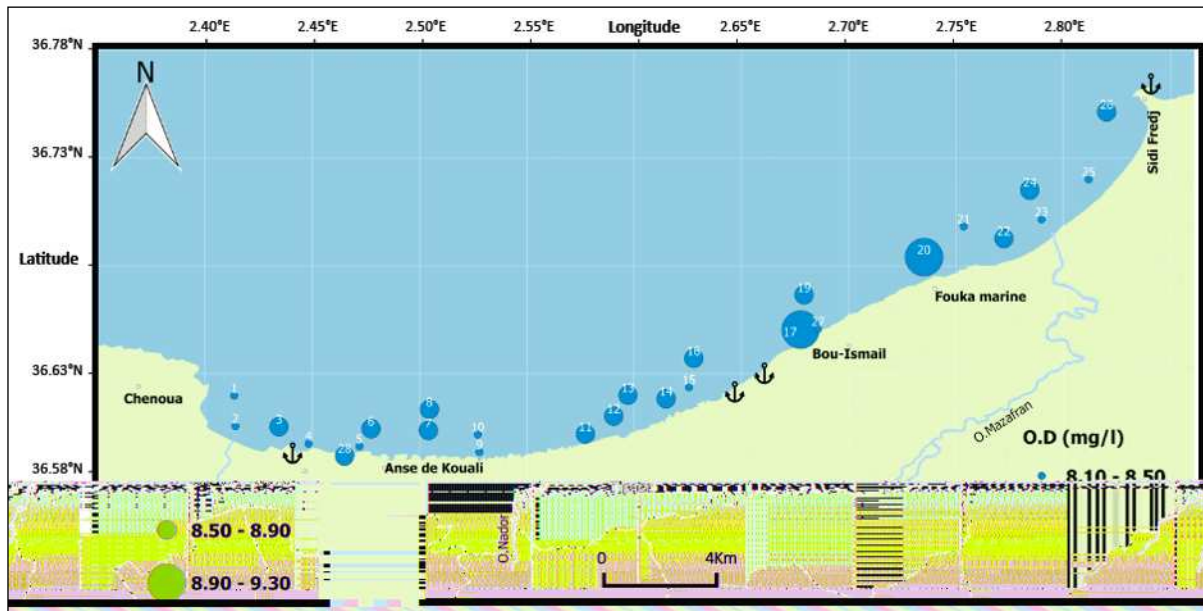


Figure V. 10 Distribution spatiale de l’O.D (mg/l) en surface dans la baie de Bouismaïl

### V.1.4 Le potentiel d’Hydrogène pH

Les valeurs du pH sont comprises entre un minimum de 8,14 au niveau de la station 14 et un maximum de 8,70 au niveau de la station 24 ; avec une moyenne 8.39 et un écart-type de 0,17 (Fig.V.11).

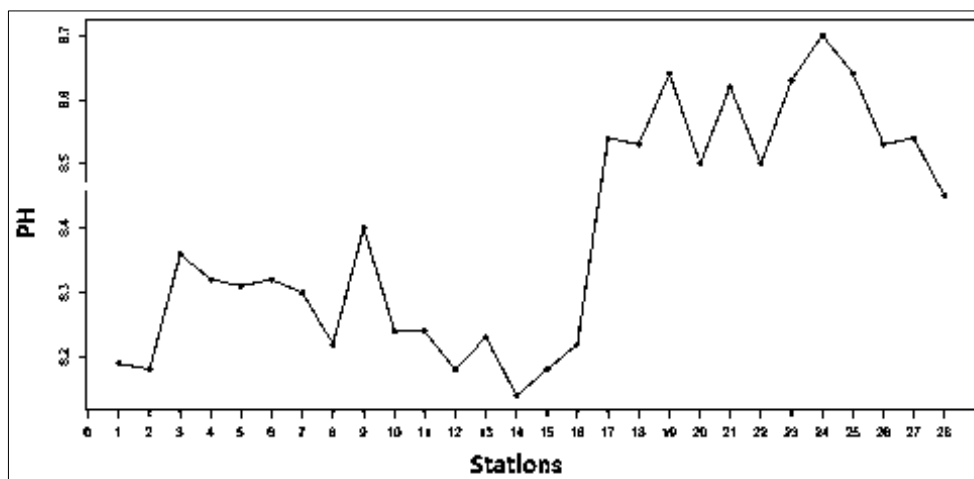


Figure V. 11 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail

Le pH de l’eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones (Barnabe, 1997). Les valeurs de pH sont relativement homogènes sur l’ensemble des stations (Fig.V.12).

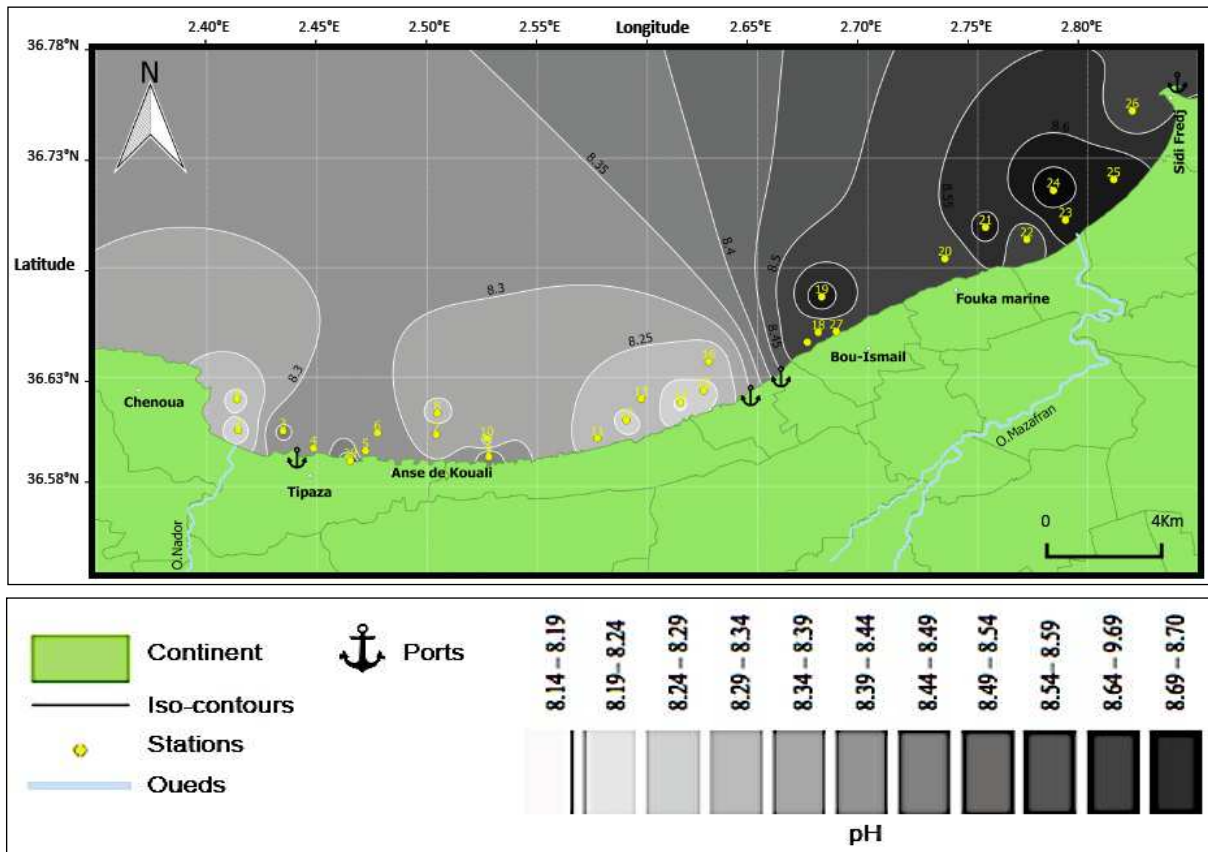


Figure V. 12 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail

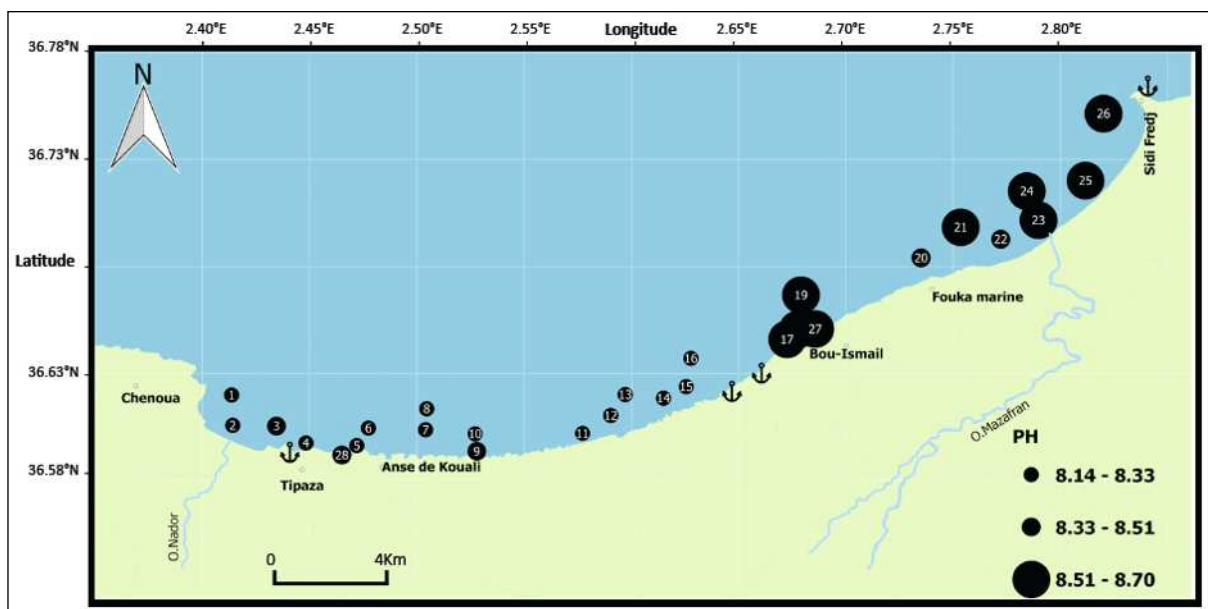


Figure V. 13 Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bou Ismail

Cependant la plus faible valeur observée à proximité des ports de Bouharoune (figure V.7 et V.8) et de Khemisti témoigne d’une légère acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique.

### V.1.5 Les Matières En Suspension (MES)

Les teneurs en matières en suspension (Fig.V.14) varient de 100.2 au niveau de la station 28 à 126.4 mg/l au niveau de la station 19 avec une valeur moyenne de 116.1 mg/l et un écart type de 4.24.

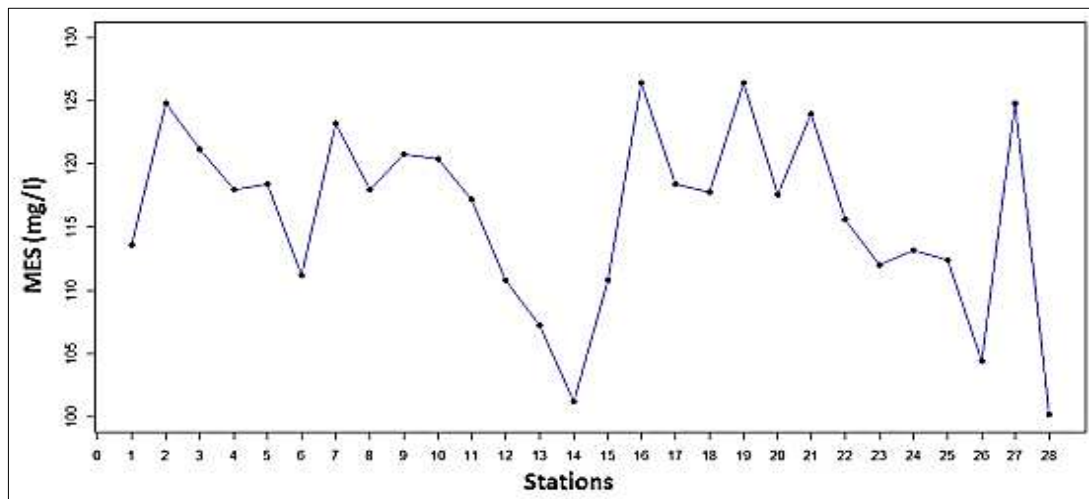


Figure V. 14 Distribution spatiale des MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

Les variations saisonnières, le plancton, les apports terrigènes et les tempêtes peuvent entraîner une modification sur la teneur de la matière en suspension (Aminot et Kérouel, 2004). Bien que notre sortie se soit déroulée dans des conditions de mer calme, il faut préciser que les jours précédents la période des prélèvements certaines modifications comme des conversions en format adéquat au niveau de la baie de Bou Ismail certaines modifications comme des conversions en format adéquat ont été marquées par une forte agitation de la mer.

L'hydrodynamisme qui cause la remise en suspension du sédiment peut expliquer que les concentrations en matières en suspension enregistrées soient très supérieures à la norme, ceci a été constaté également par (Samari, 2008).

La plus faible teneur en MES est enregistrée dans la station de la Corne d'or (Fig.V.15), reconnue comme zone de référence (Tarmoul, 2010).

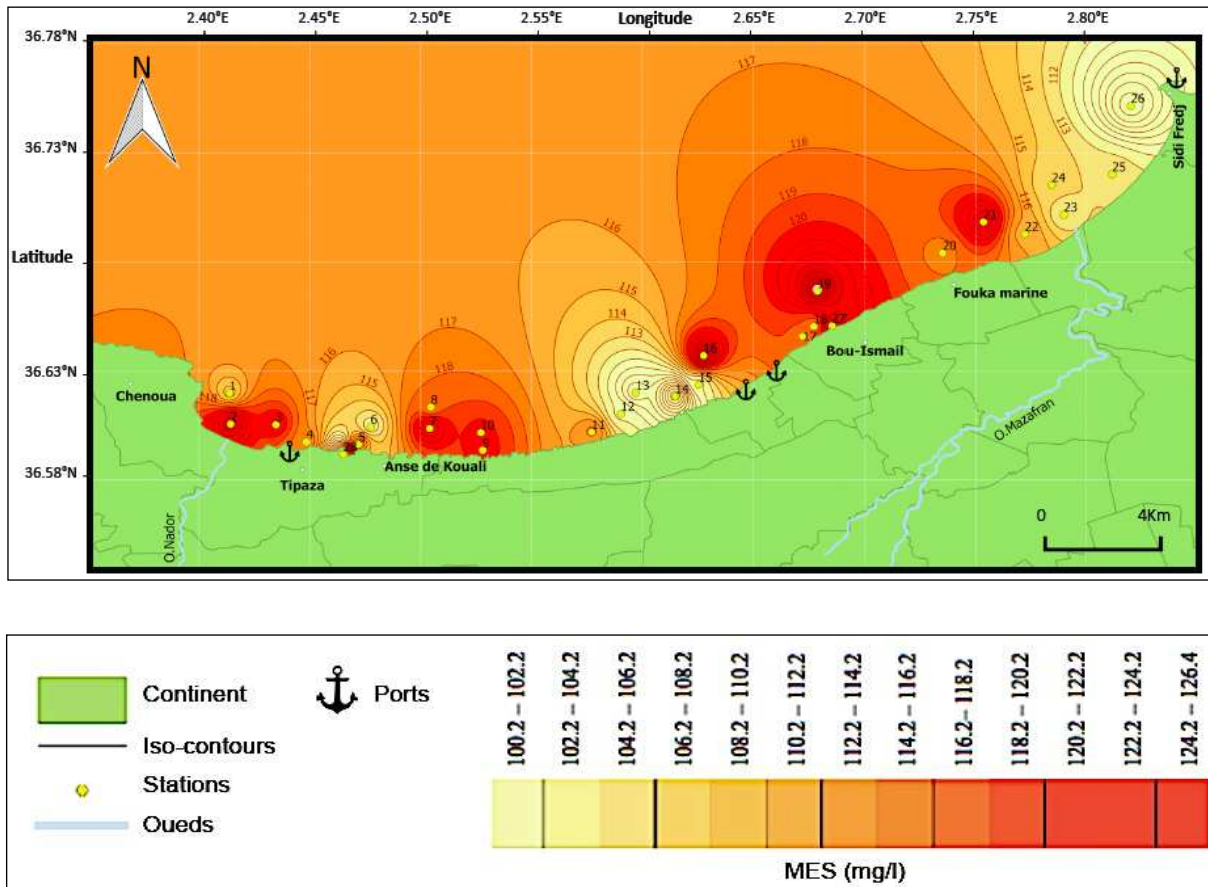


Figure V. 15 Distribution spatiale des MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

Les variations importantes de la bathymétrie, au niveau de notre zone d'échantillonnage, jouent aussi un rôle important dans les fluctuations de la concentration en MES de ses eaux côtières.

La plus forte teneur se localise au niveau de la station 19 (Fig.V.16). Par ailleurs l'interpolation montre que toute cette zone est riche en MES, Ceci s'expliquerait par sa localisation à proximité de nombreux rejets urbains et industriels provenant de la zone de Bou Ismail ainsi que de la faible hauteur de la colonne d'eau dans ces stations variant entre 3m (St 27) à 18m (St 18). L'embouchure de l'oued Nador semble également avoir une importante influence polluante sur les eaux côtières où il se déverse.

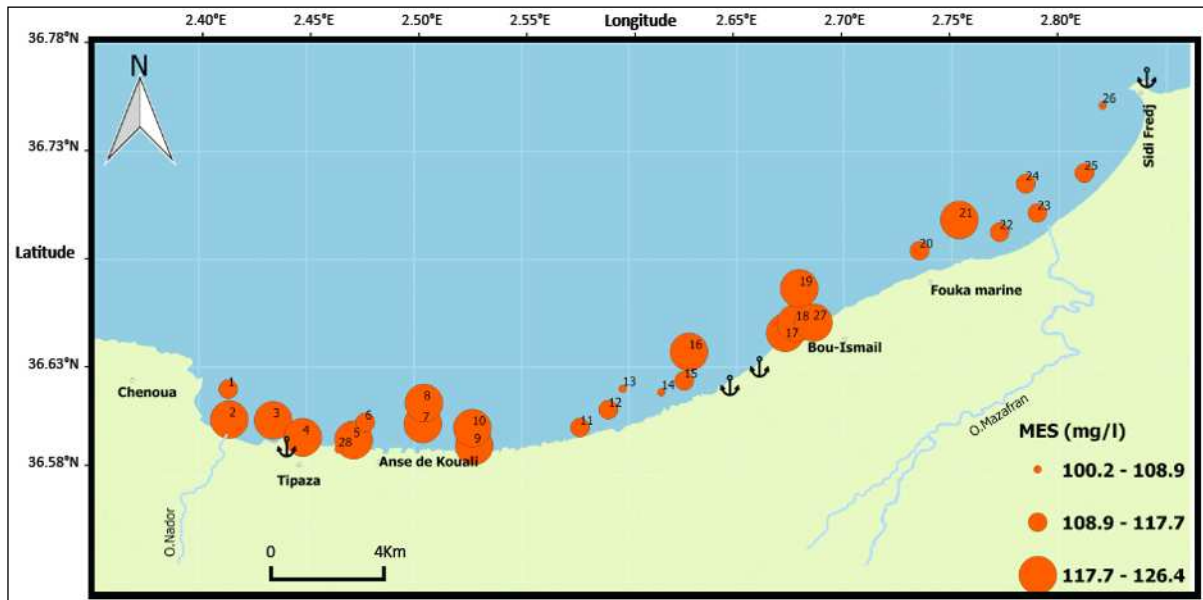


Figure V. 16 Distribution spatiale de MES (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

Ces fortes concentrations de MES peuvent aussi expliquer la diminution de l’O.D rencontrée aux mêmes zones (Fig.V.9) et qui indiqueraient sa consommation accrue lors du processus de reminéralisation.

Par ailleurs, lors de l’échantillonnage, nous avons remarqué une très forte turbidité de l’eau de mer dans cette zone, due à la présence visible de traces d’effluents (traces de matières et débris flottants, nappes de couleur marron et verdâtre) (Fig.V.17 et V.18).



Figure V. 17 Nappe de couleur marron à proximité de la station n° 18 (région de Bou Ismaïl)



Figure V. 18 Eaux usées à proximité de la station n° 27 (Région de Bou Ismaïl)

### V.1.6 La Matière Organique Particulaire MOP

Le taux de matière organique particulaire dans la baie de Bou Ismail varie entre 35 mg/l au niveau, entre autre, de la station 28 à 48.4 mg/l (Fig.V.19) au niveau de la station 2 avec une moyenne de 40.19 mg/l et un écart type de 1.78.

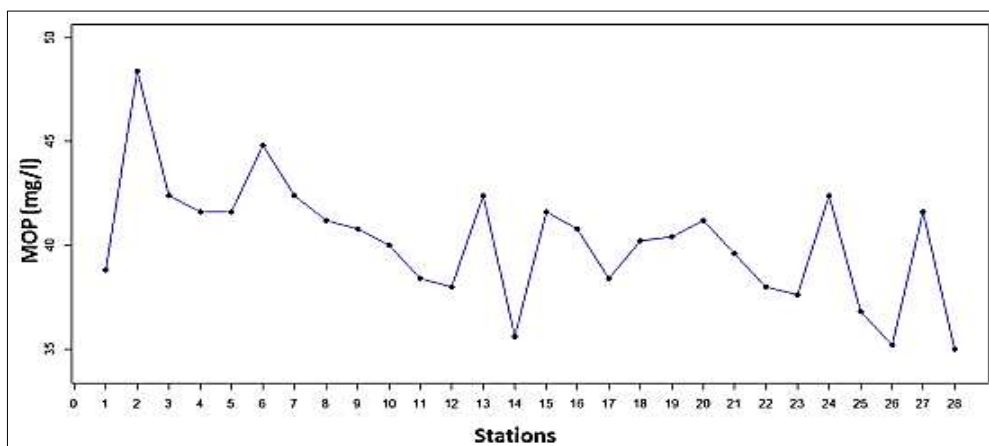


Figure V. 19 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

En général, nous avons remarqué que la distribution de la MOP est similaire à celle des MES et que les MES sont plus chargées en matières minérales qu’organiques (Figure V.20).

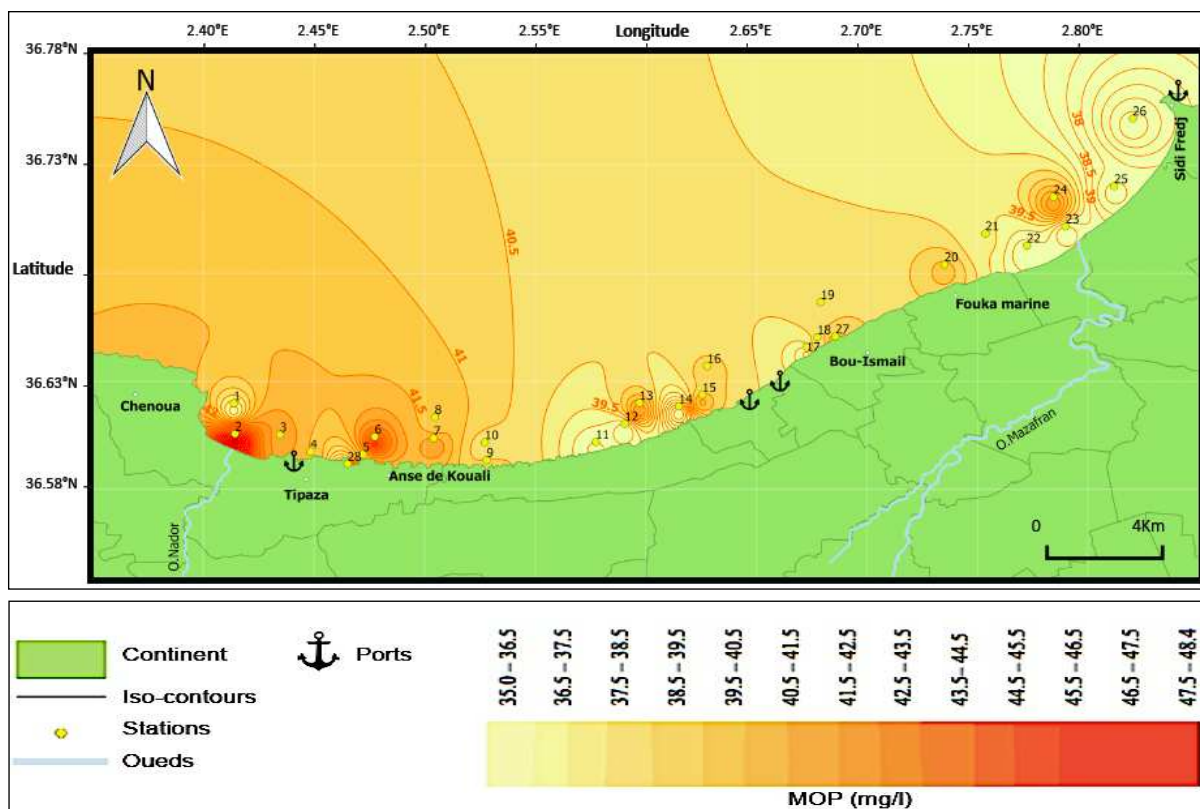


Figure V. 20 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

L'augmentation de la fraction minérale par rapport à la fraction organique semble indiquer une baisse de la qualité trophique des eaux. Comme pour les MES, les valeurs maximales de MOP sont enregistrées dans la zone des embouchures d'oueds, alors que les faibles valeurs sont concentrées dans les zones où il y a peu de rejets (Fig.V.21).

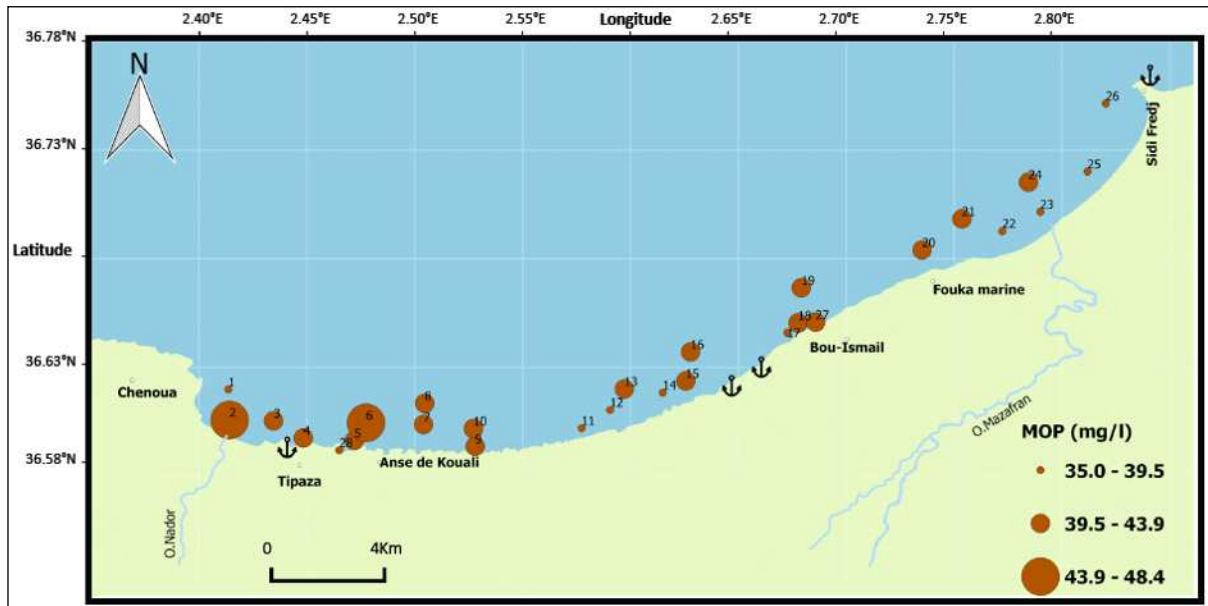


Figure V. 21 Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

### V.1.7 La turbidité

La turbidité varie entre 0,25 NTU au niveau de la station 28 (Fig.V.22) et 2,11 NTU au niveau de la station 23 avec une moyenne de 0,91 NTU et un écart type de 1,37.

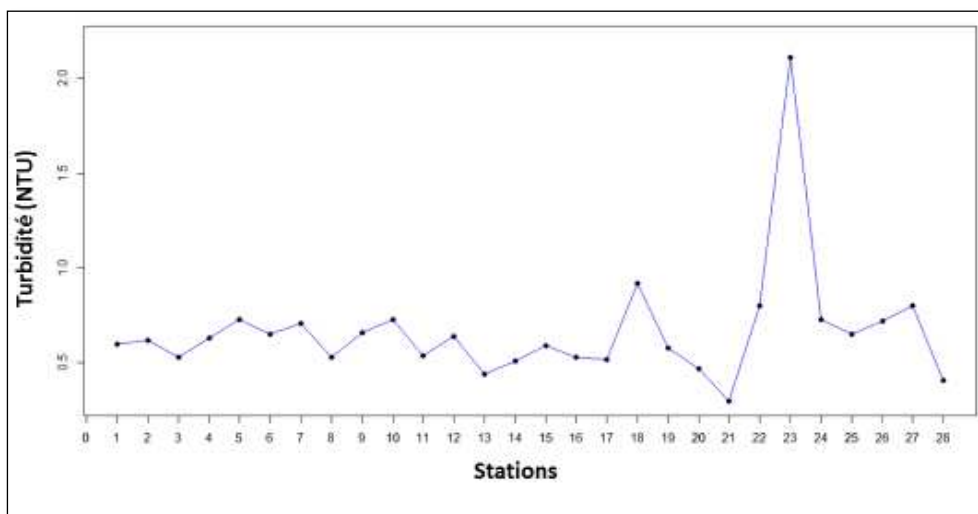


Figure V. 22 Distribution spatiale de Turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

La valeur minimum de turbidité a été enregistrée, comme pour les MES dans la st. 28 (Corne d'or) ainsi qu'au niveau de la zone de Kouali (Fig.V.23). Alors que les eaux les plus turbides sont situées au niveau de l'embouchure de l'oued Mazafran (st. 23) et de l'oued Nador (st. 2),

les apports importants de ceux-ci expliquent la faible transparence des eaux côtières à cet endroit.

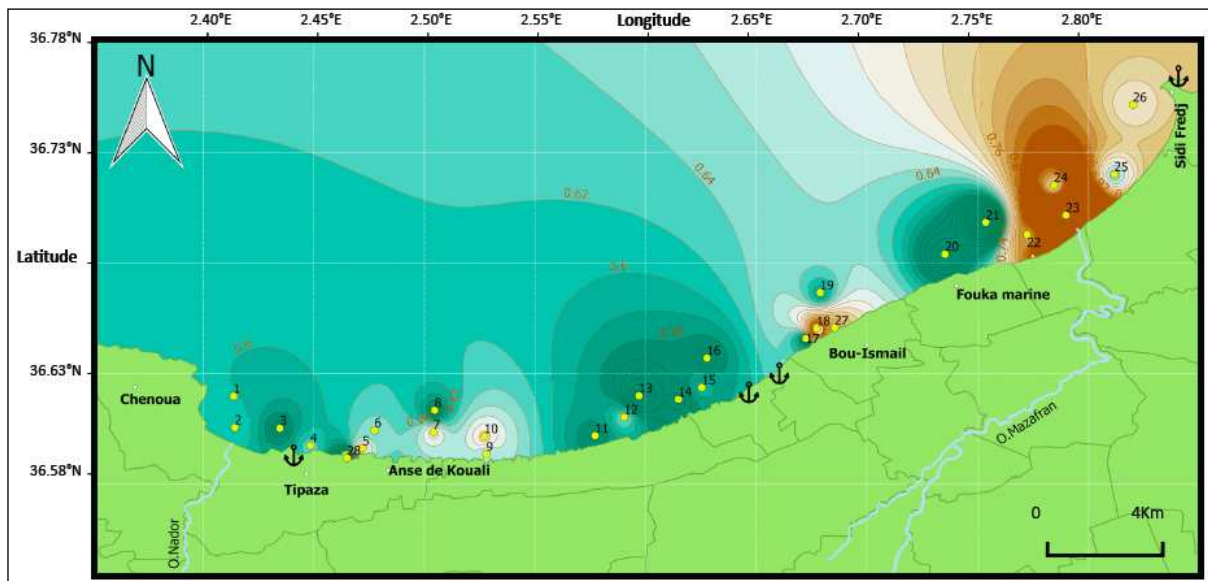


Figure V. 23 Distribution spatiale de la turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismail

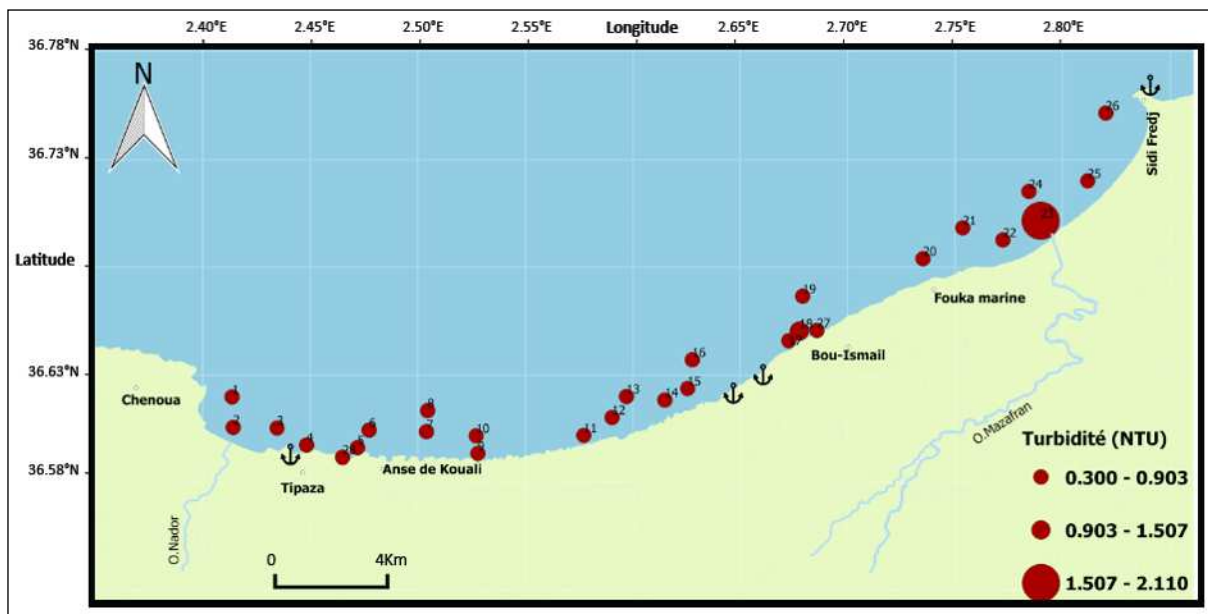


Figure V. 24 Distribution spatiale de la turbidité (NTU) en surface dans la baie de Bou Ismail

### V.1.8 Les sels nutritifs

#### c. Les nitrites $\text{NO}_2^-$

Les valeurs de nitrites sont comprises entre une valeur minimum de  $0.0028 \mu\text{mol/l}$  enregistrée dans la station 11 et une valeur maximum de  $0.0824 \mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 27, avec une moyenne de  $0,017 \mu\text{mol/l}$  et un écart type de  $0,016$  (Fig.V.25).

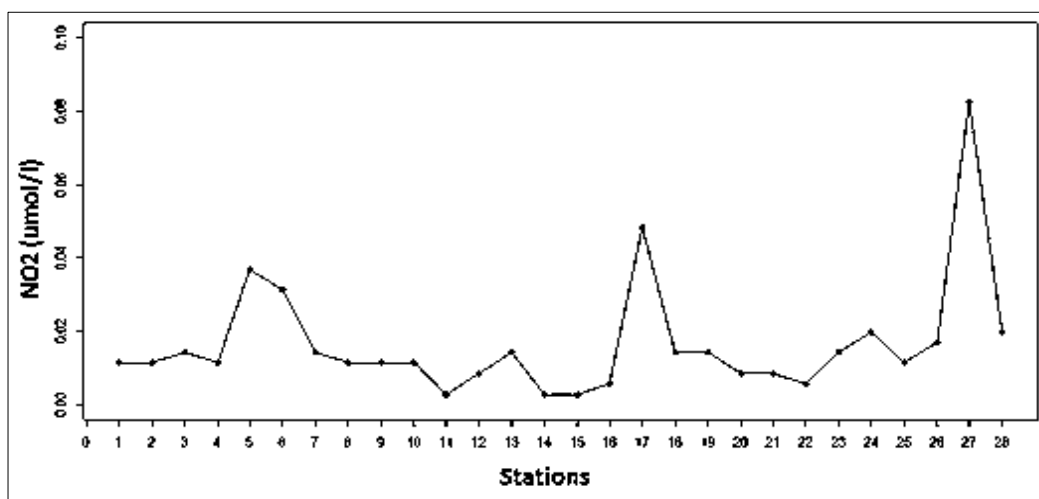


Figure V. 25 Distribution spatiale des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismail

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante (Rodier, 2009). Leur concentration atteint des valeurs très faibles ( $< 0.01 \mu\text{mol/l}$ ) suite au développement du phytoplancton (Aminot et Chaussepied, 1983). En effet, nous avons trouvé une concentration plutôt faible en nitrites dans la baie de Bou Ismail avec une moyenne de seulement  $0,017 \mu\text{mol/l}$ .

Les faibles valeurs de nitrites peuvent être dues au fait que cette forme d'azote soit transitoire entre la nitrosation et la nitratisation. En présence d'oxygène dissous, les nitrites s'oxydent en nitrates, de même que dans le système en état d'oligotrophie, les nitrites sont consommés par le phytoplancton. Les variations locales de ces concentrations peuvent être expliquées par l'oxydation de la matière organique comme dans le cas de la station 2 (oued Nador) (Fig.V.26) riche en MOP.

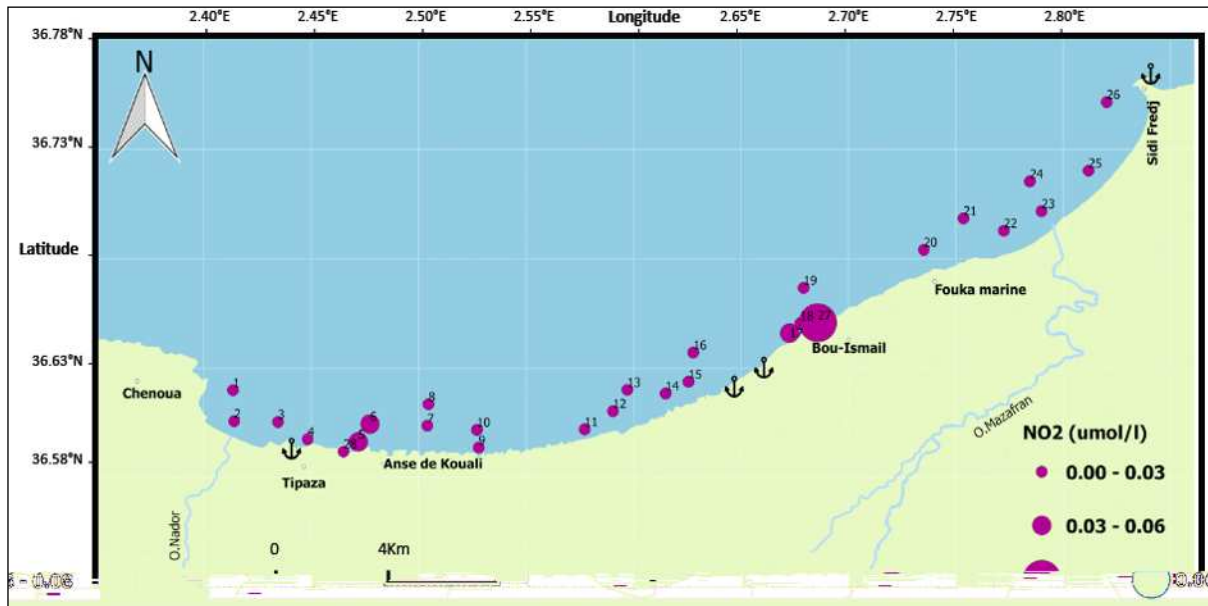


Figure V. 26 Distribution spatiale des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

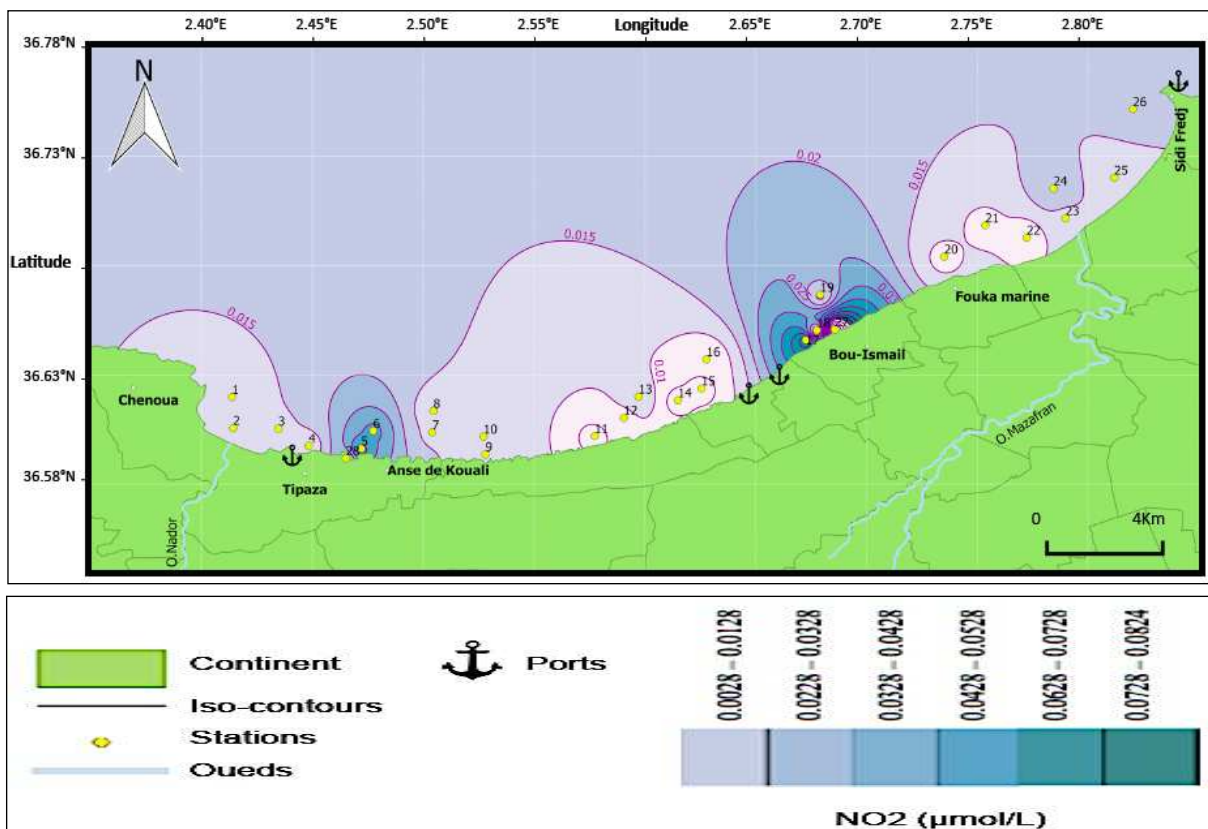


Figure V. 27 Distribution spatiale des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

d. Les nitrates  $\text{NO}_3^-$  :

Les valeurs de nitrates sont comprises entre une valeur minimum de  $0.0281 \mu\text{mol/l}$  enregistrée dans la station 2 et une valeur maximum de  $0.8721 \mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 27, avec une moyenne de  $0.270 \mu\text{mol/l}$  et un écart type de  $0.195$  (Fig.V.28).

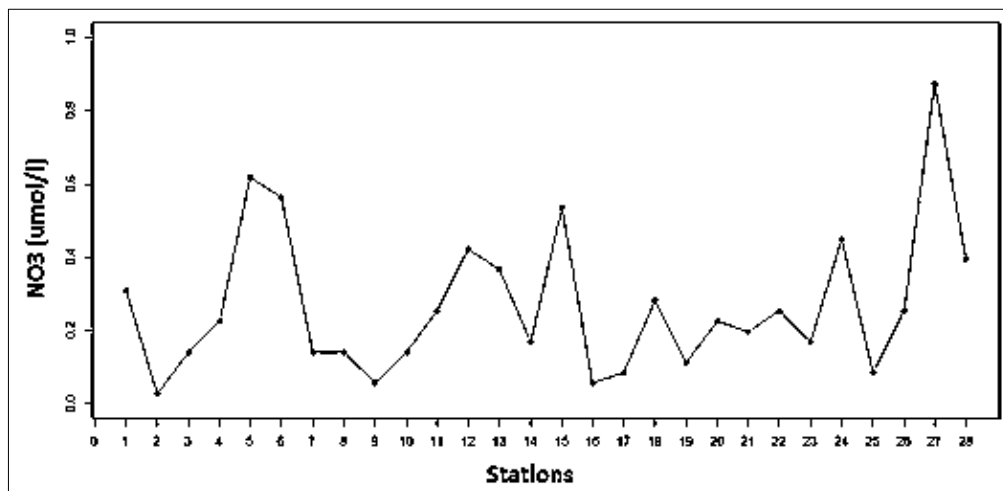


Figure V. 28 Distribution spatiale des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismail

La couche superficielle des mers est, en général, appauvrie en nitrates. Les teneurs pouvant être inférieures à  $1 \mu\text{mol/l}$ . Aussi, d'après nos prélèvements en surface, les concentrations sont faibles pratiquement au niveau de toute la zone (Fig.V.29). Par ailleurs, nos résultats sont proches de ceux trouvés par (Tarmoul, 2010) dans la baie de Bou Ismail.

Les variations locales de nitrates dans la baie montrent certaines zones de concentrations plus ou moins élevées. Selon (Rodier, 2009), l'élévation de la teneur en nitrates des eaux superficielles est souvent liée au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les fientes et fumiers divers. En effet, les stations 5, 6 situées à proximité de nombreux rejets (Fig.V.29) dont des effluents agricoles, ont des teneurs plus importantes en nitrates. En général, les faibles teneurs enregistrées peuvent être expliquées par le résultat du mélange des eaux et l'importance de l'activité photosynthétique (exemple station 3), les fortes valeurs de l'oxygène dissous aux mêmes endroits étayant cette hypothèse.

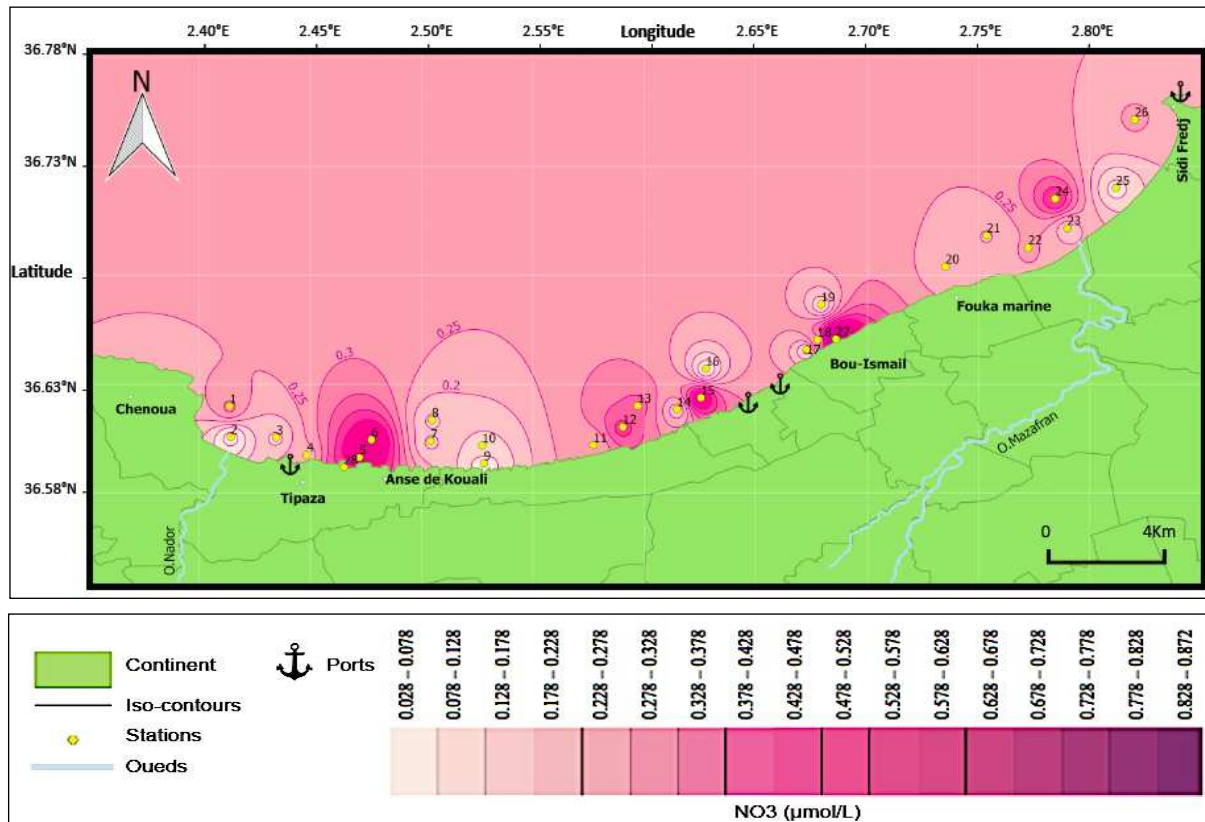


Figure V. 29 Distribution spatiale des nitrates (NO<sub>3</sub>) (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

e. Les phosphates PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> :

Les valeurs de phosphates sont comprises entre une valeur minimum de 0.1334 µmol/l enregistrée dans la station 4 (Fig.V.30) et une valeur maximum de 0.2199 µmol/l au niveau de la station 17, avec une moyenne de 0.189 µmol/l et un écart type de 0.016.

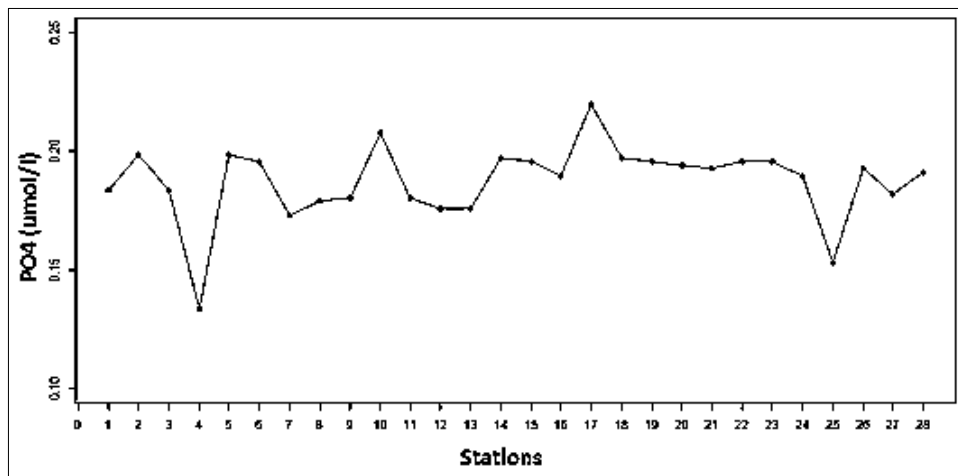
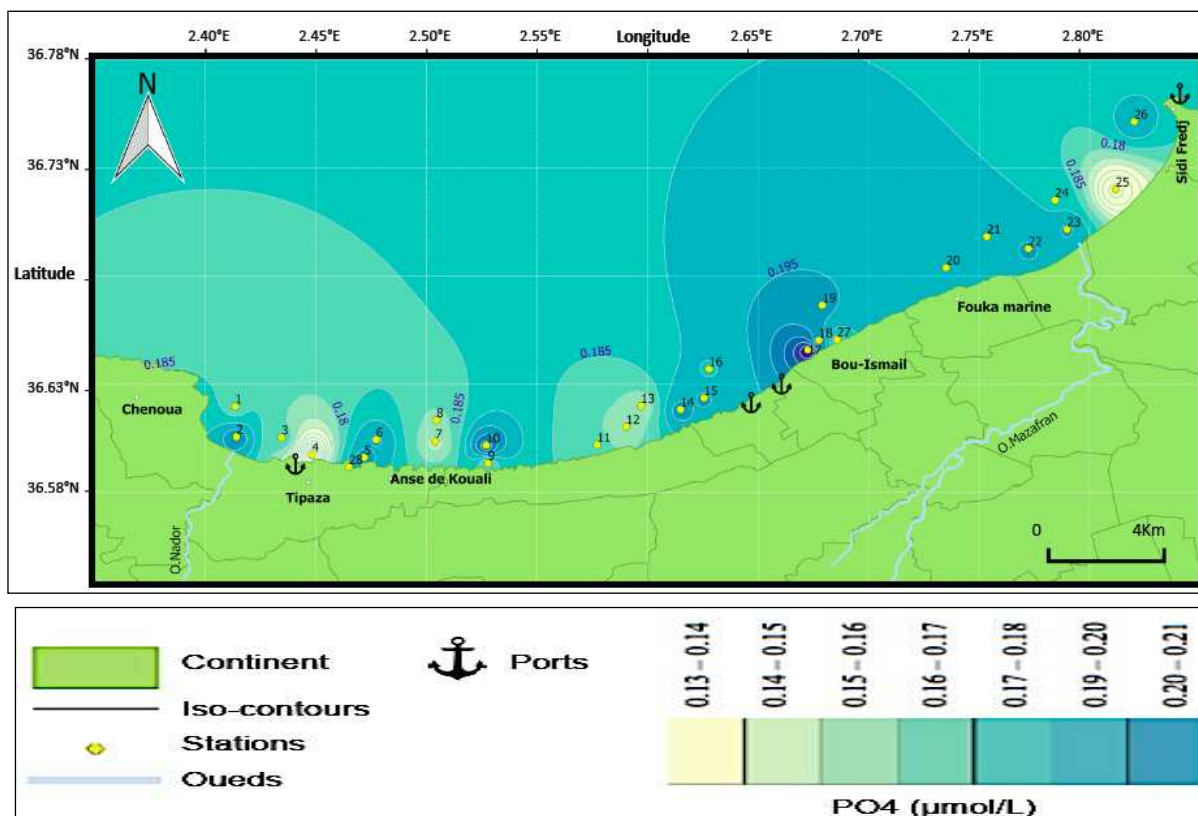


Figure V. 30 Distribution spatiale des phosphates PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bou Ismail

Le phosphore minéral est rapidement assimilé, cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de phosphore minéral mais qu'il est rapidement recyclé. Bien que nos prélèvements montrent des valeurs de phosphates assez proches, nous avons remarqué néanmoins certaines élévations significatives de ces teneurs.

Une zone de forte concentration en phosphates apparaît sur la carte d'interpolation (Fig.V.31), elle est située entre les stations 14 et 23. C'est une zone soumise à de nombreuses pressions anthropiques avec les deux ports de Bouharoun et de Khemisti, les nombreux rejets d'eaux usées provenant de Bou Ismail et Fouka. Par ailleurs des concentrations élevées en phosphates ont été enregistrées dans cette zone par (Achiche et Larbi, 2010).

Par contre, les concentrations en nitrates, dans ces mêmes endroits, ne sont pas significativement élevées. La relation entre les résultats obtenus pour les phosphates et les nitrates nous apporteront plus d'indications pour l'interprétation.



- Les nitrates et les phosphates :

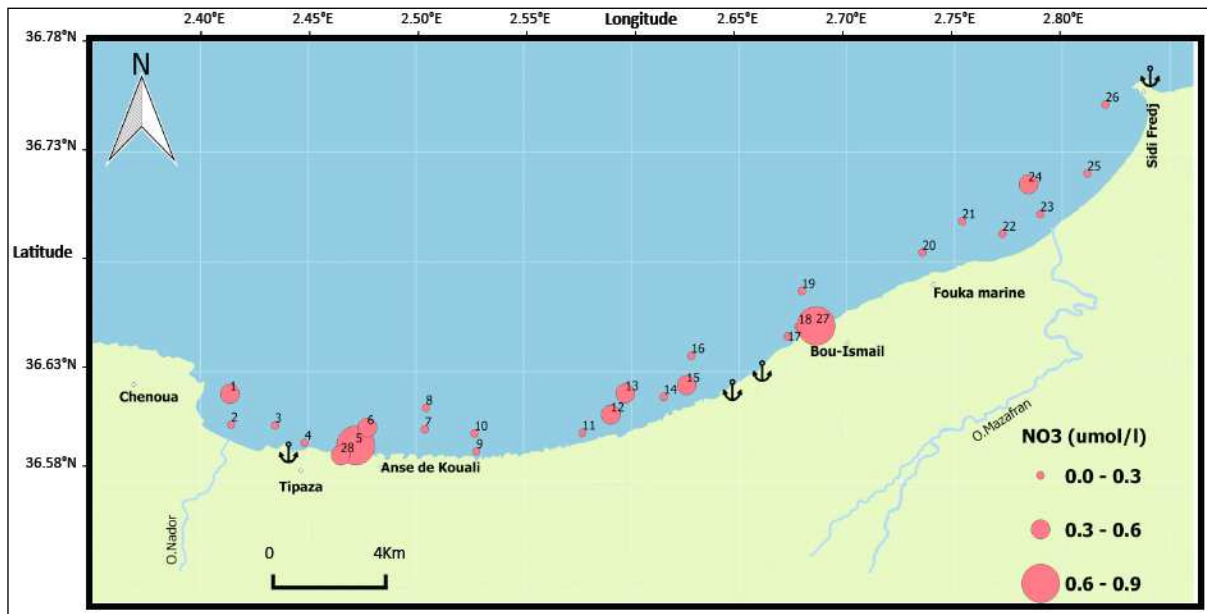


Figure V. 32 Distribution spatiale des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

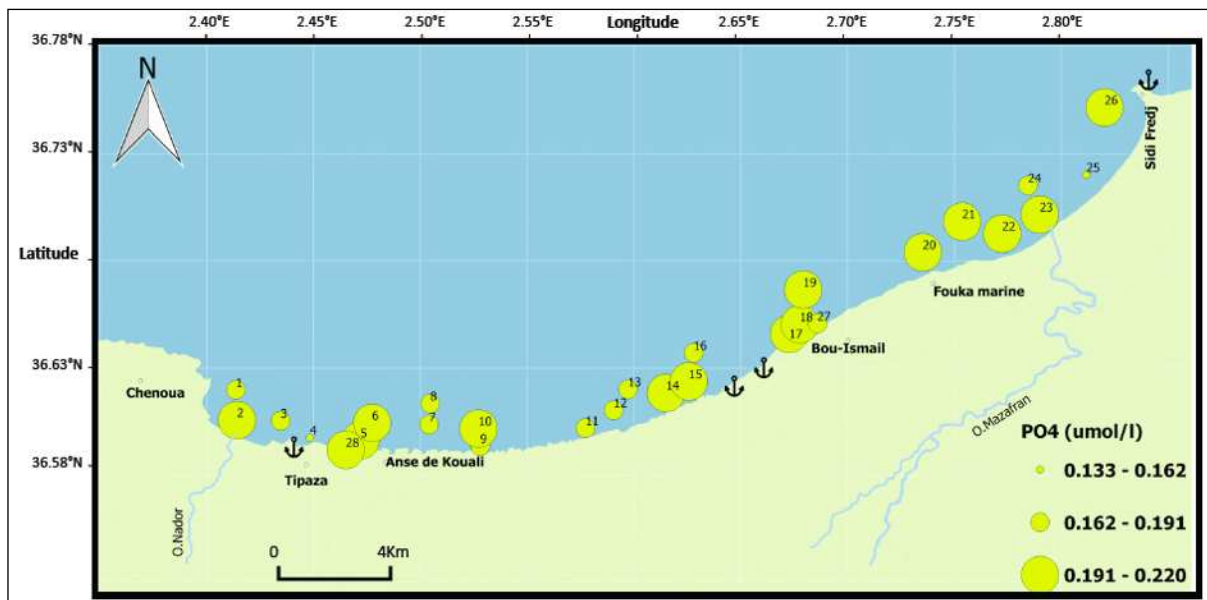


Figure V. 33 Distribution spatiale des phosphates  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

Le rapport N/P (rapport de Redfield) (Fig.V.35) nous donne des indications sur la source de pollution dans la zone où nous avons remarqué de fortes concentrations en phosphates. Redfield et al., 1963 trouvent un rapport N/P = 16 dans l'eau de mer (Boulaïdid, 1987). Nous remarquons dans notre cas un rapport N/P très perturbé et une mauvaise corrélation entre les nitrates et les phosphates. Ceci peut être du, entre autre, à l'influence continentale.

Selon (Rodier, 2009), les phosphates peuvent provenir de diverses sources dont les traitements de vaccination des eaux industrielles contre la corrosion et l'entartrage ou des

adjuvants actifs ajoutés aux détergents. Dans les eaux usées, 50 à 70 % du phosphore total provient des produits de nettoyage.

En effet, nous avons remarqué que la zone de concentrations importantes en phosphates correspond aux rejets d'eaux usées de nombreuses industries implantées sur le littoral au niveau de Zeralda et de Bou Ismail. Ceci peut indiquer que la source de pollution est probablement industrielle.

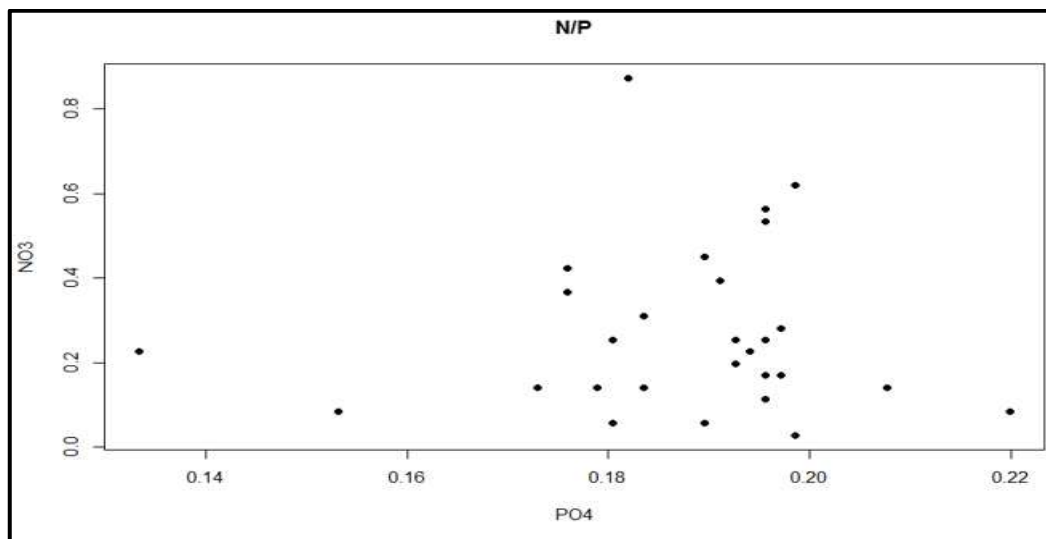


Figure V. 34 Variations des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en fonction de la variation des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismail

### V.1.9 La chlorophylle-a

Les valeurs de la chlorophylle sont comprises entre une valeur minimum de  $0,214 \mu\text{g/l}$  rencontrée dans de nombreuses stations (Fig.V.36) et une valeur maximum de  $1,068 \mu\text{g/l}$  au niveau de la station 20, avec une moyenne de  $0,4 \mu\text{g/l}$  et un écart type de  $0,230$ .

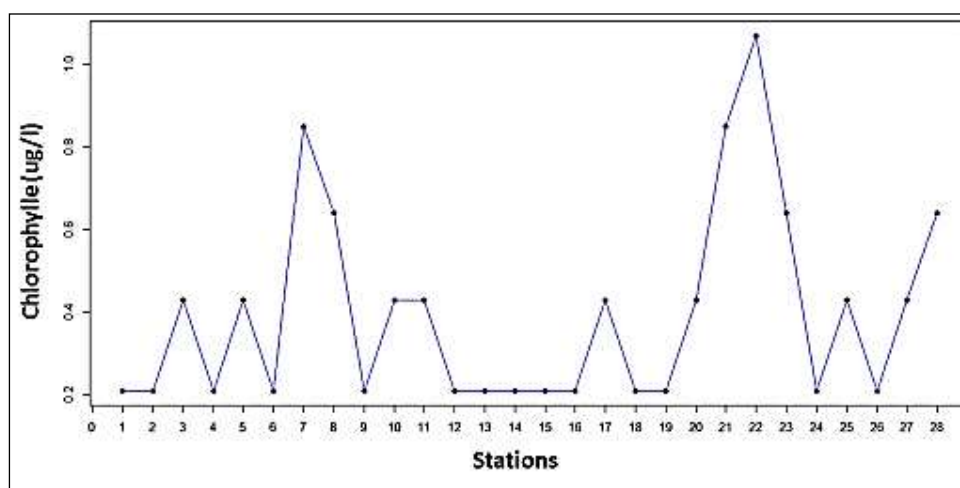


Figure V. 35 Distribution spatiale de la chlorophylle ( $\mu\text{g/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismail

La chlorophylle-a est un paramètre clé en hydrologie car il existe de nombreux liens entre son développement dans les cellules phytoplanctoniques et les variations de paramètres tels que l'intensité lumineuse, la turbidité, les nutriments et l'oxygène dissous.

La biomasse phytoplanctonique varie de manière saisonnière, elle atteint généralement des valeurs maximales au printemps et en été, mais la floraison printanière est fréquemment la plus importante (Barnabe, 1997). La période de prélèvement étant le printemps ceci peut expliquer les importantes concentrations de chlorophylle-a trouvées en plus de la situation géographique de certaines stations à proximité des rejets d'eaux usées (Fig.V.37).

Nous avons remarqué que les fortes concentrations en chlorophylle-a correspondent à la zone de faible teneur en nitrites trouvés aux mêmes endroits (figure V.37). Selon (Gaujous, 1995), les nitrites disparaissent vite en milieu naturel, la diminution de leur teneur est la conséquence de la consommation de ces nitrites par les micro-organismes lors de leur croissance. Les concentrations importantes de l'O.D confirment aussi l'importance de la productivité primaire dans ces stations.

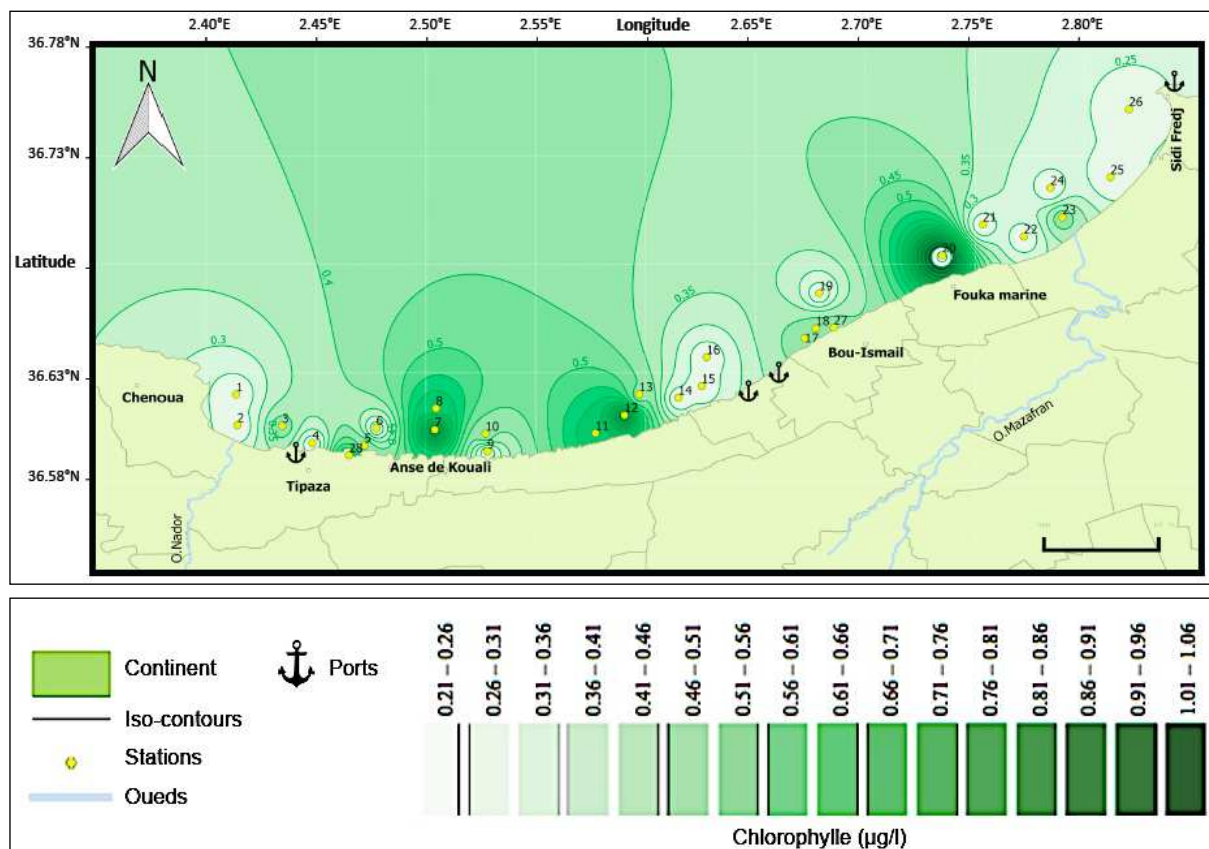


Figure V. 36 Distribution spatiale de la chlorophylle ( $\mu\text{g/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismail

- La chlorophylle-a et les Pheopigments-a :

Le calcul des pheopigments montre que les concentrations en phaeopigments-a dans les eaux de la baie de Bou- Ismail varient de 0,036  $\mu\text{g/l}$  déterminés pour la majorité des stations à un maximum de 0,182  $\mu\text{g/l}$  au niveau de la station 20, avec une moyenne de 0,077  $\mu\text{g/l}$  et un écart-type de 0,039.

Pour interpréter les variations de la chlorophylle (Figure V.38), des connaissances sur les concentrations des pheopigments aux mêmes endroits s'avèrent indispensables. Dans les milieux strictement marins, les pheopigments résultent du broutage et de la dégradation des cellules et, par conséquent, ne sont pas physiologiquement actifs. La mesure de pheopigments est utilisée comme critère de l'état physiologique des populations phytoplanctoniques. Plus la proportion de pheopigments est élevée par rapport à la chlorophylle a, plus les cellules algales sont vieilles, dégradées ou broutées par le zooplancton. Les pheopigments sont rarement absents dans les eaux côtières, les débris de plantes supérieures peuvent contribuer à la concentration en pheopigments (Aminot et Kerouel, 2004).

Les faibles valeurs des pheopigments peuvent s'expliquer par une faible dégradation de la chlorophylle-a due à la période d'échantillonnage (période printanière) caractérisée par une production primaire importante.

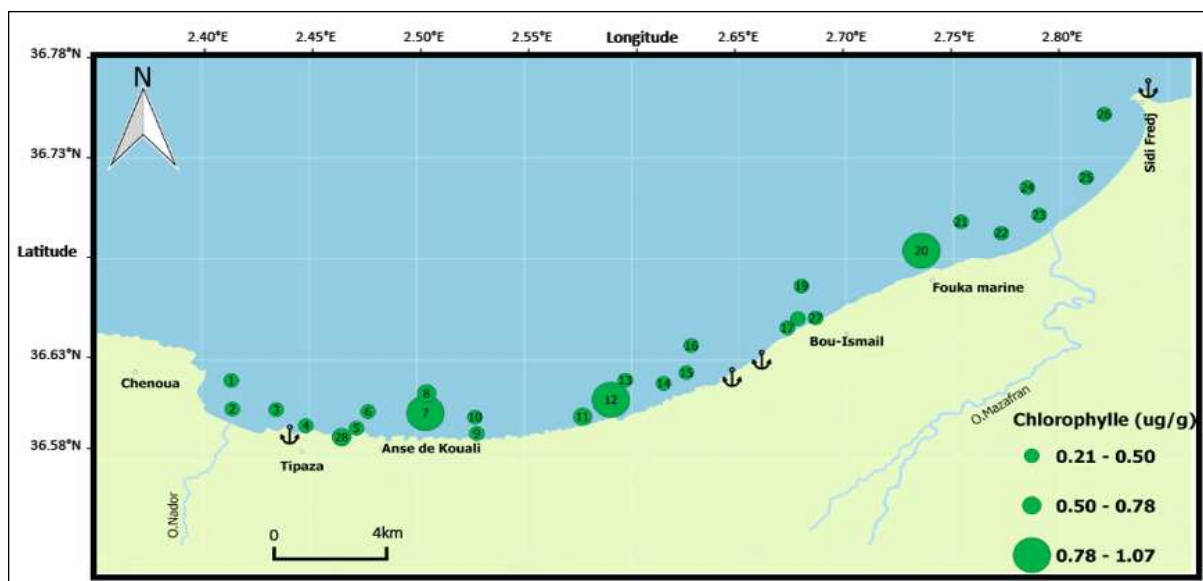


Figure V. 37 Distribution spatiale de la chlorophylle-a ( $\mu\text{g/l}$ ) en surface dans la baie de Bou Ismaïl

### Conclusion

Dans notre étude, nous avons tenté d'interpréter les résultats des différentes mesures et analyses en les intégrant dans un système d'information géographique.

Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été obtenues suite à une campagne en mer effectuée sur la zone côtière de la baie de Bou Ismail en avril 2015.

Quant à l'outil de Système d'Information Géographique QGIS, il a été d'une grande utilité pour notre étude car il nous a permis d'améliorer la visualisation des données et leurs répartitions spatiales par des cartes d'interpolation et d'établir des liens entre les résultats des différents paramètres de pollution et les activités anthropiques dans la zone côtière de la baie de Bou Ismail.

Les traitements de données effectués nous ont permis de conclure que :

- La baie de Bou Ismail présente un taux de pollution élevé et ses eaux côtières sont largement influencées par leur proximité avec les nombreux rejets et embouchures des oueds Mazafran et Nador.
- La température de surface suit les variations de la température atmosphérique. La salinité de surface assez faible sur l'ensemble de la zone montre l'influence des eaux atlantiques à l'Ouest de la baie et le mélange important avec les eaux continentales.
- La principale pollution résulte d'une forte charge en matières en suspension caractérisées par leur richesse en particules non organiques qui ont pour origine la remise en suspension des sédiments du fond et ceux apportés par les effluents. Par ailleurs, la turbidité atteint un maximum aux embouchures d'oueds.
- Les rapports entre les concentrations des sels nutritifs semblent être très perturbés, principalement celui entre les nitrates et les phosphates. Les analyses ont montré une pollution de la zone Est de la baie par les phosphates. En outre, les concentrations importantes en chlorophylle-a suggèrent la consommation des nitrites par cette dernière lors de sa croissance.
- Les nombreux rejets d'eaux usées domestiques et industrielles et les activités anthropiques sur le littoral de la baie de Bou Ismail ont causé la dégradation de la qualité de ses eaux.

Il s'avère donc primordial de trouver des solutions adéquates pour la conservation de l'environnement dans cette zone, principalement par la mise en place de stations de traitements des eaux opérationnelles.

## Bibliographie

Achiche k., Larbi S., 2010. Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur d'état. Option Environnement marin. ENSSMAL.

AFNOR ,1999. Analyses chimiques de l'eau : Mesure de turbidité : Référence R2355. Éd. Techniques de l'ingénieur, Paris, France.

Al Sid Chikh S., Belkessa R., Houma F., Amrouche L., 2009. Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée; The 5th International Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco 19-23 October 2009.

Aminot A., Chaussepied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Éd. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France.

Aminot A., Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, Paris, France.

Bachouche S., 2010. Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage : Ports d'Alger et de Bouharoun, mémoire de magister ENSSMAL.

Barnabe G., 1997. Ecologie et aménagement des eaux côtières, Ed Lavoisier 1997. 391 p.

Benzohra M., 1993. Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille, France, 33 p.

Bien J., 2004. A GIS-based approach for the long-term prediction of human health risks at contaminated sites. Environmental Modeling Assessment Issue 9, 221p.

Boulahdid M., 1987. Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude du mélange des masses d'eaux et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France, 266 P.

Buckley D., 2000. The GIS Primer : An introduction to Geographic Information Systems. Ed Pacific Meridian Ressources, USA.

Caddy J.F., et Griffiths R.C., 1996. Les ressources marines vivantes et leur développement durable: quelques perspectives environnementales et institutionnelles. FAO Document technique sur les pêches, No. 353, FAO, Rome, Italie, 174 p.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (CEAE), 2003. Lignes directrices concernant l'application des contrôles de la qualité en chimie, DR-12-SCA-01, Ministère de l'Environnement du Québec, Édition courante.

Davis B., 2001. GIS: A Visual Approach. Ed. Delmar Cengage Learning; 2nd Revised edition, Sydney Onword Press.

Doucet G., 2012. Aide mémoire SIG, Conservatoire d'espaces naturels de Bourgogne, France, 12p.

Fedra K., Feoli E., 2002. GIS technology and spatial analysis in coastal zone Management. EEZ Technology, Ed. 3, 171-179 p.

Fu P., et Sun J., 2010. Web GIS: principles and applications, ESRI Press, Redlands, Calif.

Gaujous D., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Ed. Technique & Document, Paris, 220 P.

Gohin F., 2007. Intégration dans un SIG de données issues de capteurs satellites en comparaison de données in situ pour le suivi de la qualité des eaux côtières. Rapport IFREMER, Loire-Bretagne, 19 p.

Guibout P., 1987. Atlas Hydrologique de la Méditerranée, Rapport IFREMER 1987. 150 p.

Houma-Bachari F., 2009. Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir d'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat en Science de l'univers et environnement, Université de Val de Marne, Paris XII, France, 257 p.

Ivanoff A., 1972. Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. Ed. Librairie Vuibert. Tome I, 208p.

Jaquet J.-M., et Weber B., 2002. Suivi multi-temporel de la concentration de la chlorophylle en Méditerranée Orientale à l'aide de SeaWiFS et de Landstat TM. Rapport de stage au GRID, Université de Genève, 86 p.

Kankou M., 2004. Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de Docteur de l'Université de Limoges, France, 159 P.

Lacaze J.-C., 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales : Cause, manifestations, conséquences et moyens de lutte. Éd. Ellipses, Paris, France, 191 p.

LEM, 1998. Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. Laboratoire d'Etudes Maritime, Alger, Algérie.

- Leroy J.-B., 1999. La pollution des eaux. Éd. le point des connaissances actuelles, France, 126 P.
- Levitus S., 1993. Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. Programme Océanographique, Vol. 31, 245-273 P.
- Lourguioui H ; 2006 : Etude hydro biologique du barrage de Bou Kourdane (wilaya de Tipaza), Mémoire de magister en Environnement et Ecosystèmes littoraux, option : Aquaculture , ISMAL 2006 .
- Meaden G., Do Chi T., 1996. Geographical Information Systems. FAO fisheries technical paper, No. 356, Rome, Italie.
- Mehta P., 2014. GIS Application in Oceanography. Research Paper Volume : 3 ,Issue : 1.
- Millot C., Taupier-Letage I., 2005. Circulation in the mediterranean sea. Hdb Env Chem Vol. 5, Part K (2005), pp. 29–66
- Ramade F., 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Éd. Ediscience International, France, 690 p.
- Richard L., 2014. Cours d'initiation à QGIS, université LAVAL, France, 30 p.
- Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau ; eau naturelle, eau résiduelles, eau de mer. Ed. DUNOD. Paris, France.
- Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau ; eau naturelle, eau résiduelles, eau de mer. Ed. DUNOD. Paris, France, 1383p.
- Rodriguez I., Montoya I., Sanchez M., Carreño., F., 2008. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. 2008. Geomorphology, Volume 107, Issue 1, p. 100-105
- Salgé F., Denègre J., Les Systèmes d'Information Géographique, PUF, coll. Que sais-je? n° 3122.
- Samari N., 2008. Qualité physico-chimiques, sels nutritifs et bactériologique dans la baie de Bou-Ismaïl et le port de Bou-haroun. Mémoire d'ingénieur d'état. Option Environnement marin. ENSSMAL.
- Skalar analytical®, 1996. Manual. San Plus Analyser. S.F.A.S., Publication no. : 0101008 A. US.

Tarmoul F., 2010. Contribution à l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à posidonie dans la baie de Bou-Ismaïl. mémoire d'ingénieur d'état. Option Environnement marin. ENSSMAL.

Tobler W., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, vol. 46, no 2, 1970, p. 234-240.

WRC, 1979. Measurement of colour and turbidity. Water Research Center (England), *Notes on water research*, 22, 4 p.

Zhou, F., Huaicheng, G., Zejia, H., 2007. Spatial distribution of heavy metals in HongKong's marine sediments and their human impacts: a GIS-based chemometric approach. *Marine Pollution Bulletin* Issue 54, 1372 p.

# Annexes

## Annexe I

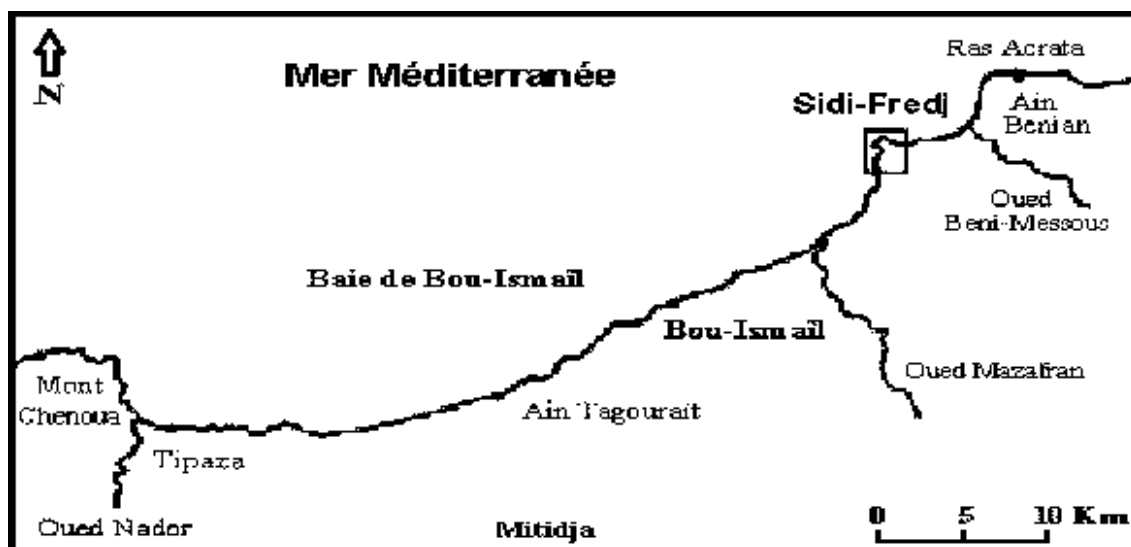


Figure 1: Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail.

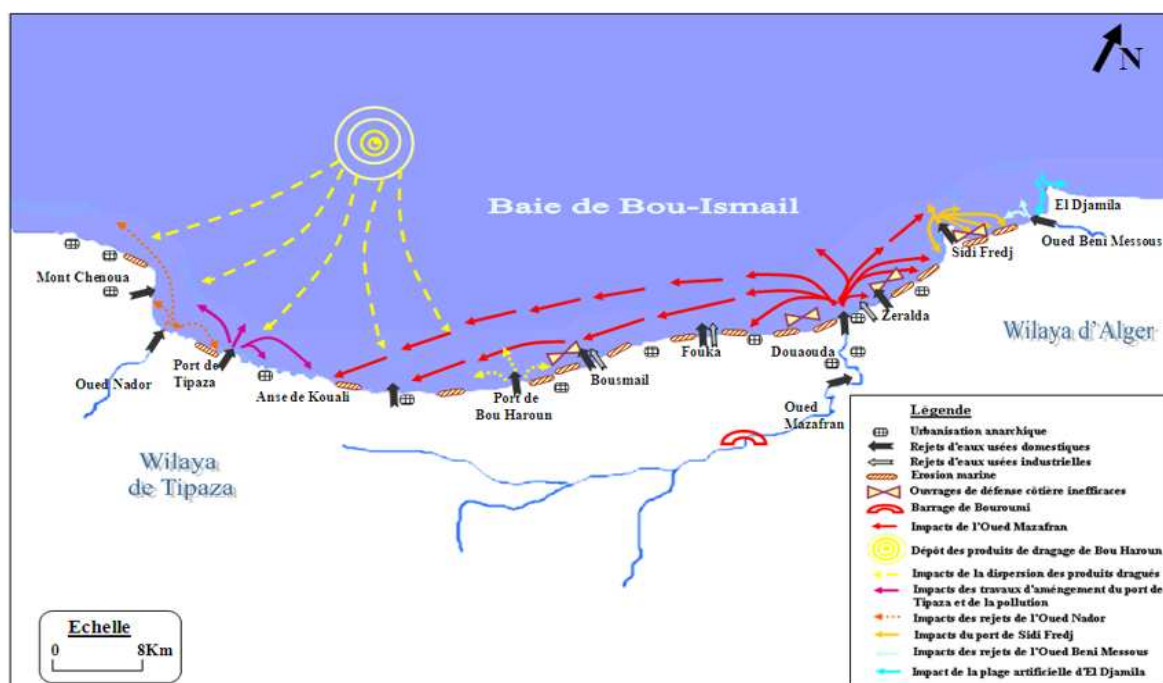


Figure 2: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bousmail.  
(Belkessa et al.,2008; AlSid ChiKh et al.,2009)

## Annexe II

### Dosage des nitrites + nitrates.

#### I) Réactifs

##### I.1 Solution tampon

###### Produits chimiques exigés :

Chlorure d'ammonium NH <sub>4</sub> Cl.....	50g.
Solution d'ammonium NH <sub>4</sub> OH (25%).....	±1 ml.
Hydroxyde de sodium NaOH.....	5g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O.....	1000ml.
Bridj 35 (30%).	

###### Préparation :

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 8.2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

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

##### I.2 Réactif colorant :

###### Produits chimiques exigés :

Acide o-phosphorique H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%).....	50 ml.
Sulfanilamide C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S.....	10g.
α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>2</sub> .....	0.5g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O.....	850 ml.

### Dosage des nitrites + nitrates.

###### Préparation :

Diluer l'acide o-phosphorique dans ± 750 ml d'eau distillée. Ajouter le sulfanilamide et le α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

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

##### I.3 Liquide de rinçage :

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

#### II. Préparation des solutions étalons

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

###### Produits chimiques exigés :

Nitrates de sodium NaNO <sub>3</sub> .....	0.6068 g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O.....	1000 ml.

###### Préparation

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

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

##### 2.2. Solution fille de 10 ppm N

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

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

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de N-NO<sub>3</sub>

- ou de NNO<sub>2</sub>

- puis en  $\mu\text{mols/l}$  de NO<sub>3</sub>

- ou de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

## Dosage des orthophosphates.

### I. Réactifs

#### I.1 Solution de molybdate d'ammonium

##### Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et d'antimoine

K (SbO) C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.5H<sub>2</sub>O.....230 mg.

Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (97 %) .....69.4 ml.

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

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

FFD6.....2 ml.

##### Préparation:

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre.

Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

##### Note :

Ne pas employer de cuillère en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69.4 ml.

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

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

#### I.2 Solution d'acide ascorbique

##### Produits chimiques exigés :

Acide ascorbique C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>.....6g.

Acétone C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O.....60g.

Eau distillée .....1000ml.

FFD6.....2ml.

##### Préparation

Dissoudre l'acide ascorbique dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

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

#### I.3 Liquide de rinçage

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

## II. Préparation des solutions étalons

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

#### Produits chimiques exigés :

Dihydrogène o-phosphate de potassium  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....0.4394 g.

Eau distillée  $\text{H}_2\text{O}$ .....1000 ml.

#### Préparation :

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

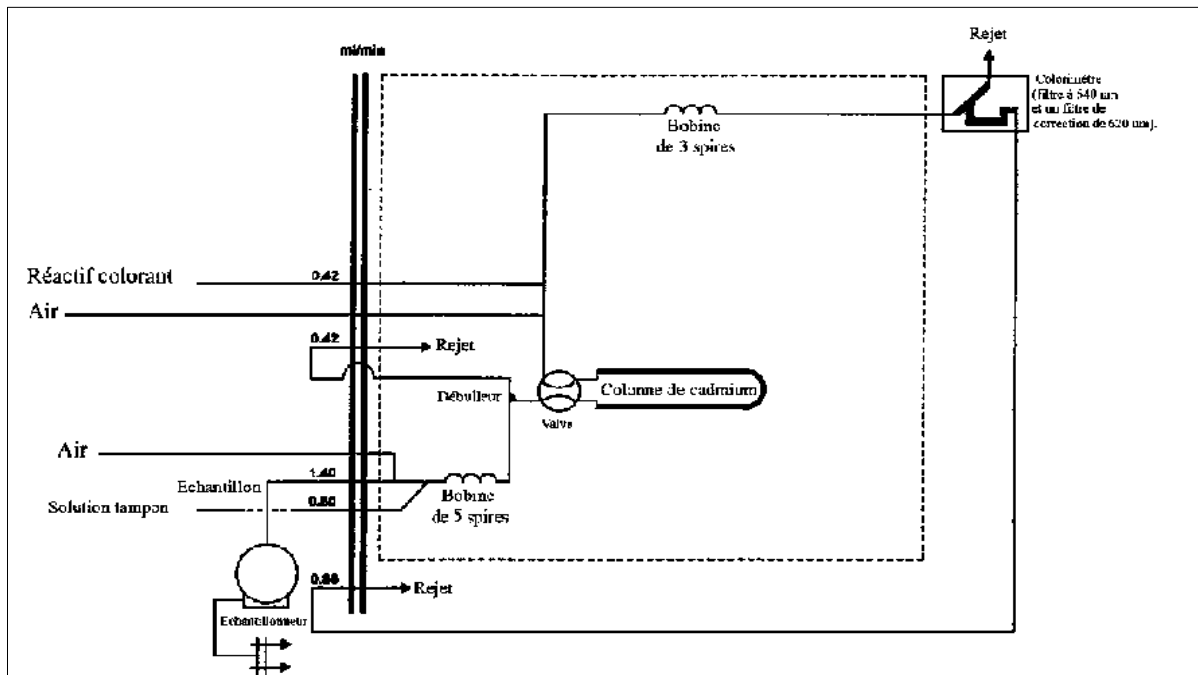
**Note** : la solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

### 2.2 Solution fille de 10 ppm P

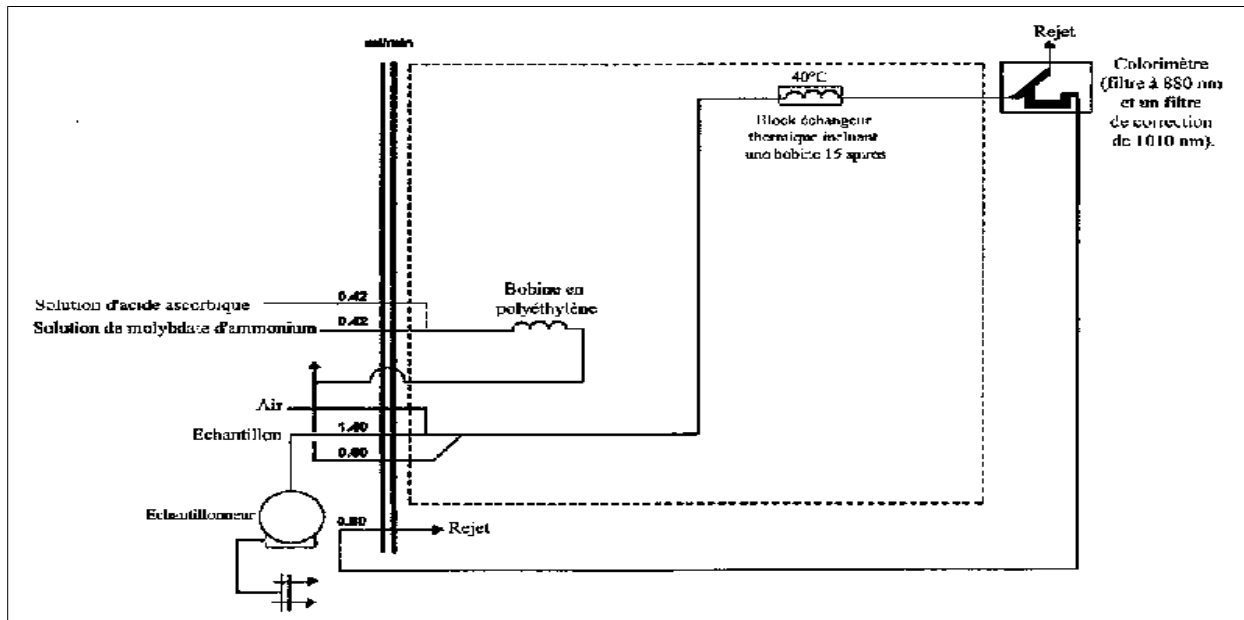
Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.

**Note** : préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.(\*) : les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $\text{PO}_4^-$ .

### Annexe III



**Figure III.1 :** Circuit analytique pour le dosage de l'ammonium (SKALR) (Lourguioui, 2007)



**Figure III.2 :** Circuit analytique pour le dosage des orthophosphates (SKALAR) (Lourguioui, 2007)

## Annexe IV

**Tableau IV.1.** Gamme d'étalonnage des nitrates.

<b>N° des Standards</b>	<b>concentrations des nitrates (NO<sub>3</sub>) µmol/l</b>	<b>Hauteur des pics (unité digitale) (NO<sub>3</sub>)</b>
Wash	0.000000000	0
ST1	0,277812785	10
ST2	0,583758512	21
ST3	1,255432462	45
ST4	1,533245248	54
ST5	1,923589795	68
ST6	2,313934342	82

**Tableau IV.2 :** Gamme d'étalonnage des nitrites.

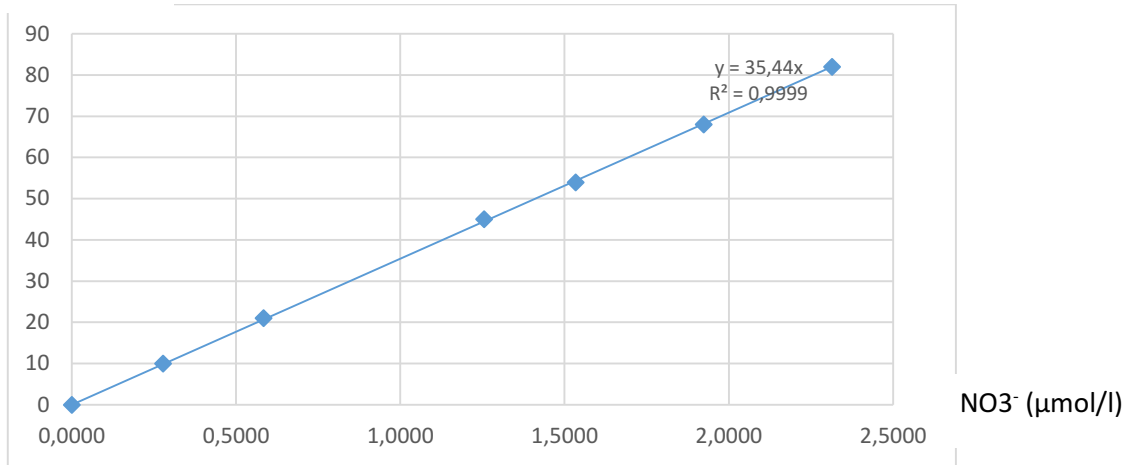
<b>N° des Standards</b>	<b>concentrations des nitrites (NO<sub>2</sub>) µmol/l</b>	<b>Hauteur des pics (unité digitale) (NO<sub>2</sub>)</b>
Wash	0.000000000	0
ST1	0,1343283582	30
ST2	0,3492537313	78
ST3	0,6089552238	136
ST4	0,7880597014	176
ST5	1,1507462686	257
ST6	1,2313432835	275

**Tableau IV.3 :** Gamme d'étalonnage des orthophosphates.

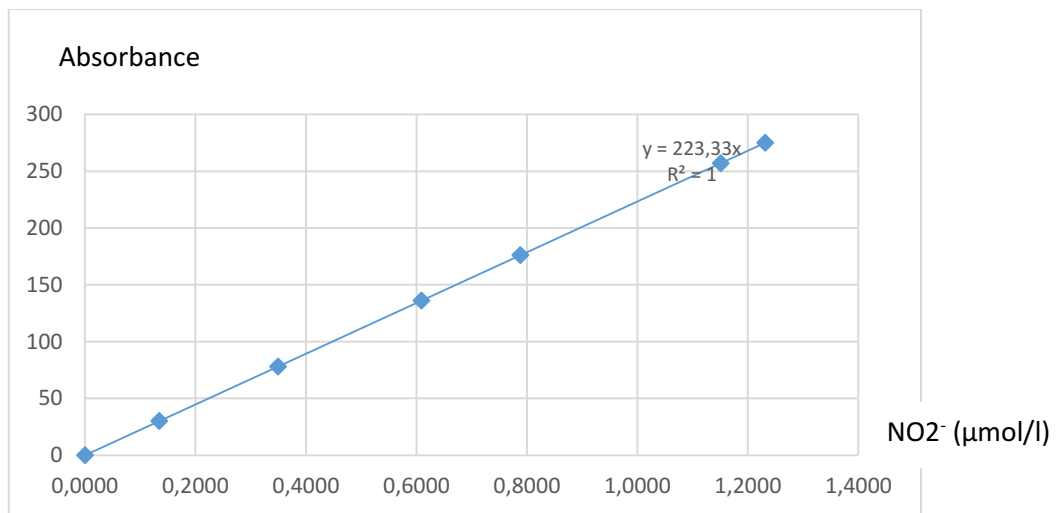
<b>N° des Standards</b>	<b>concentrations des nitrites (PO<sub>4</sub>) µmol/l</b>	<b>Hauteur des pics (unité digitale) (PO<sub>4</sub>)</b>
Wash	0.000000000	0
ST1	0,1486	98
ST2	0,4503	196
ST3	0,5837	295
ST4	0,8006	392
ST5	1,011	490
ST6	1,257	588

## Annexe V

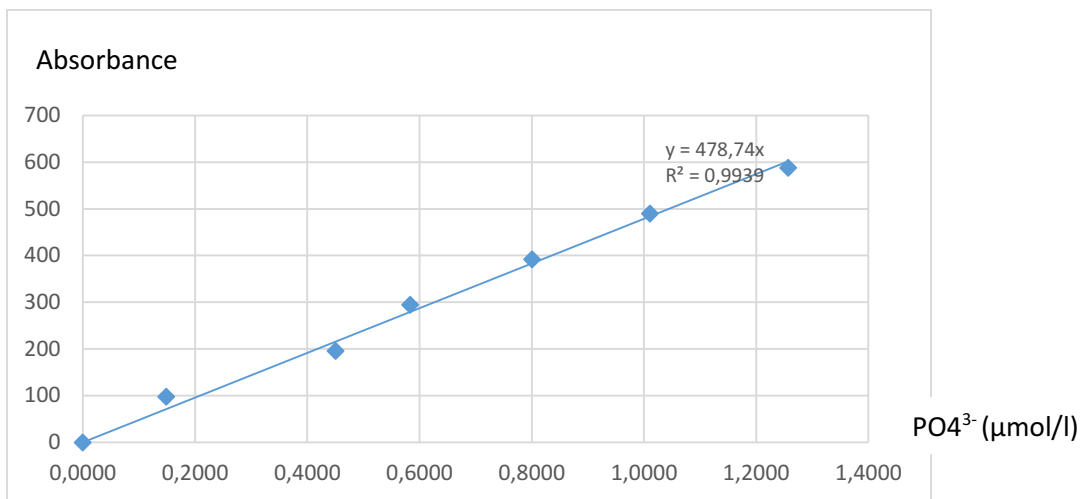
Absorbance



**Figure.VI.11.** courbe d'étalonnage des nitrates.

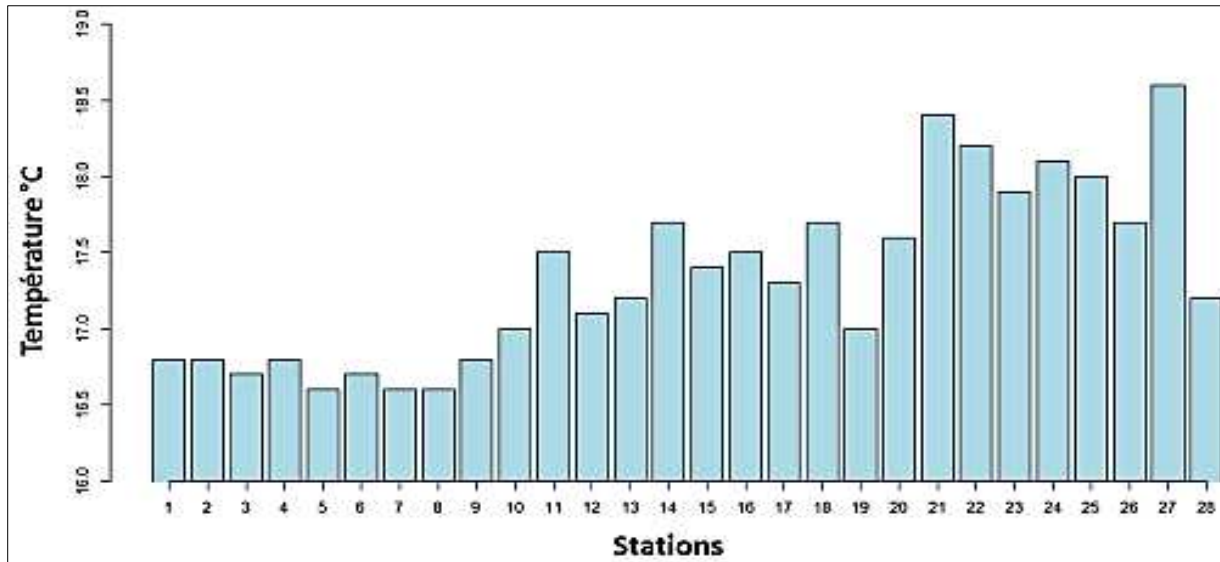


**Figure.VI.12** courbe d'étalonnage des nitrites.

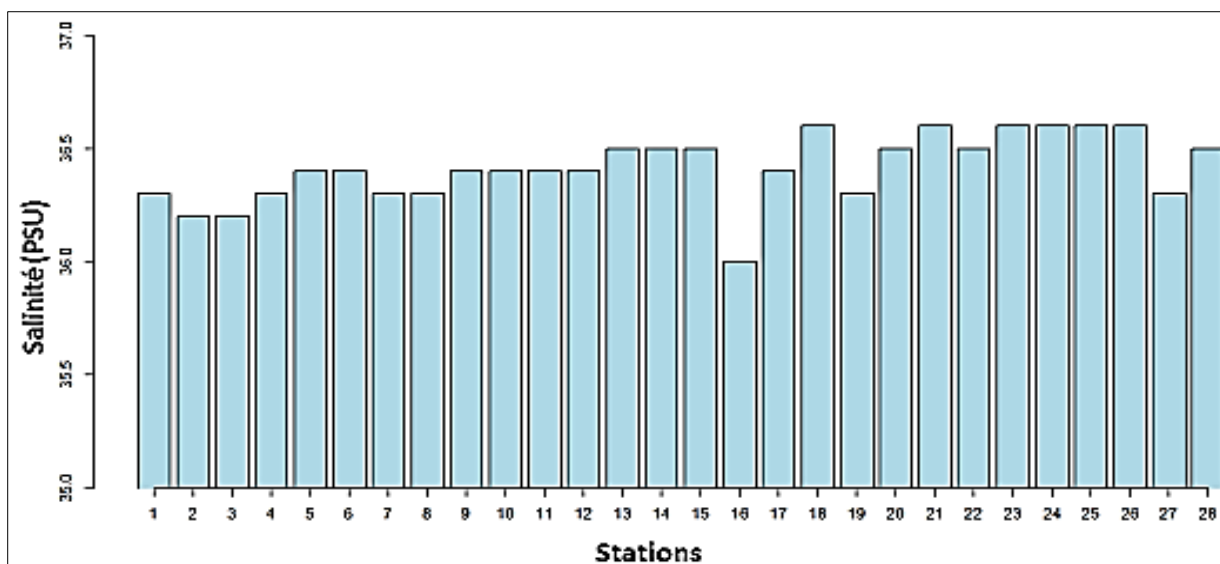


**Figure.VI.13** : courbe d'étalonnage des orthophosphates.

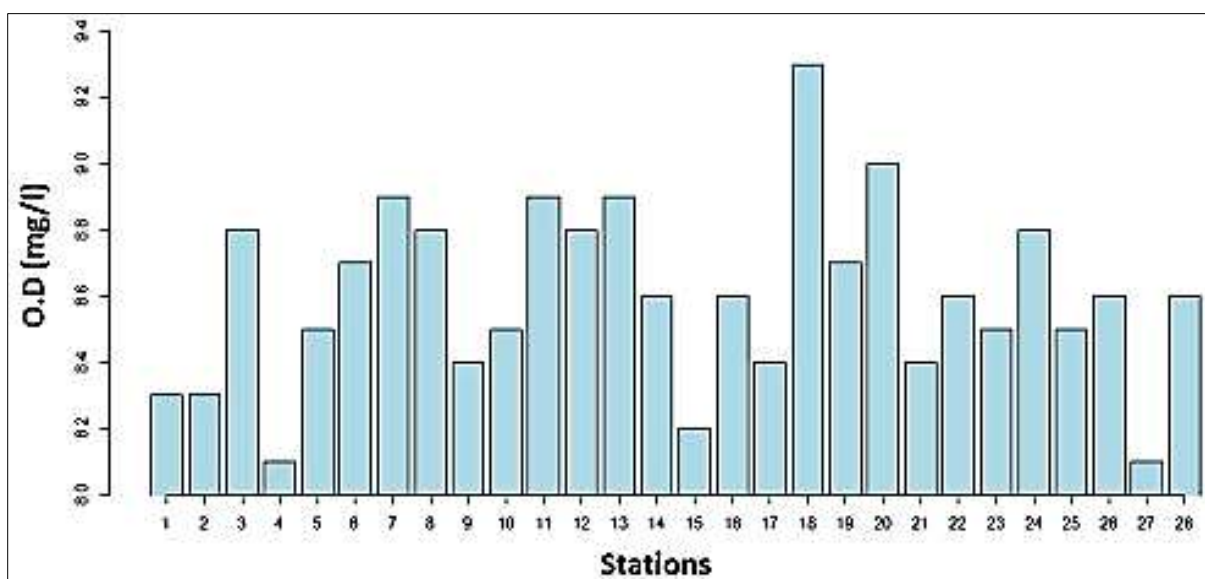
## Annexe VI



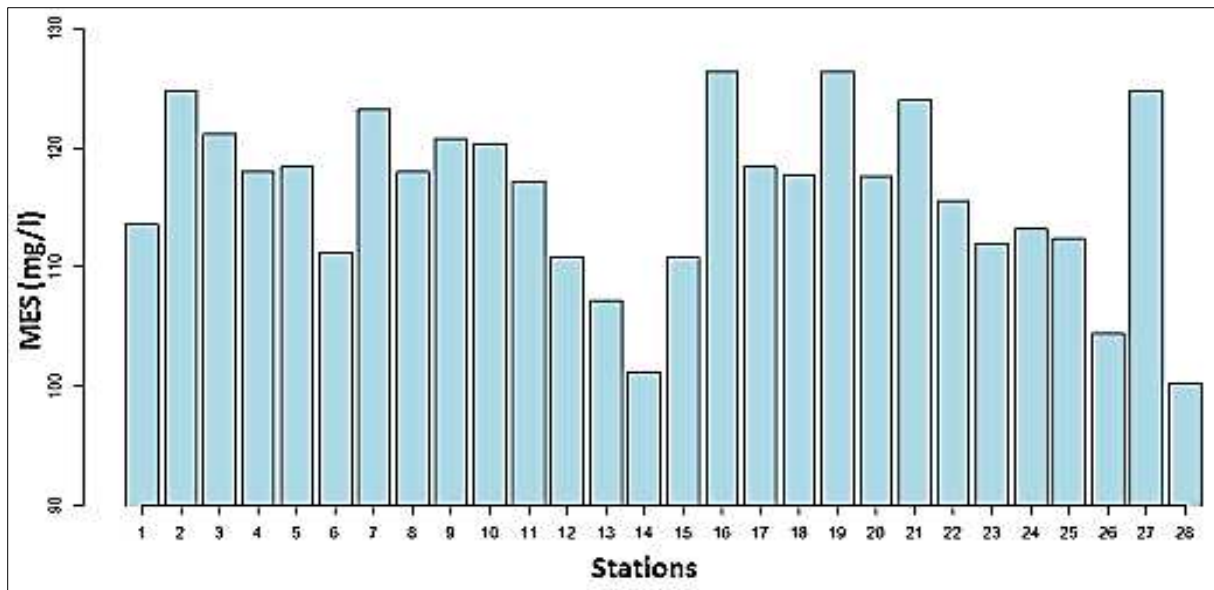
**Graph V.1** : Variation spatiale de la température (°C) en surface dans la baie de Bouismail.



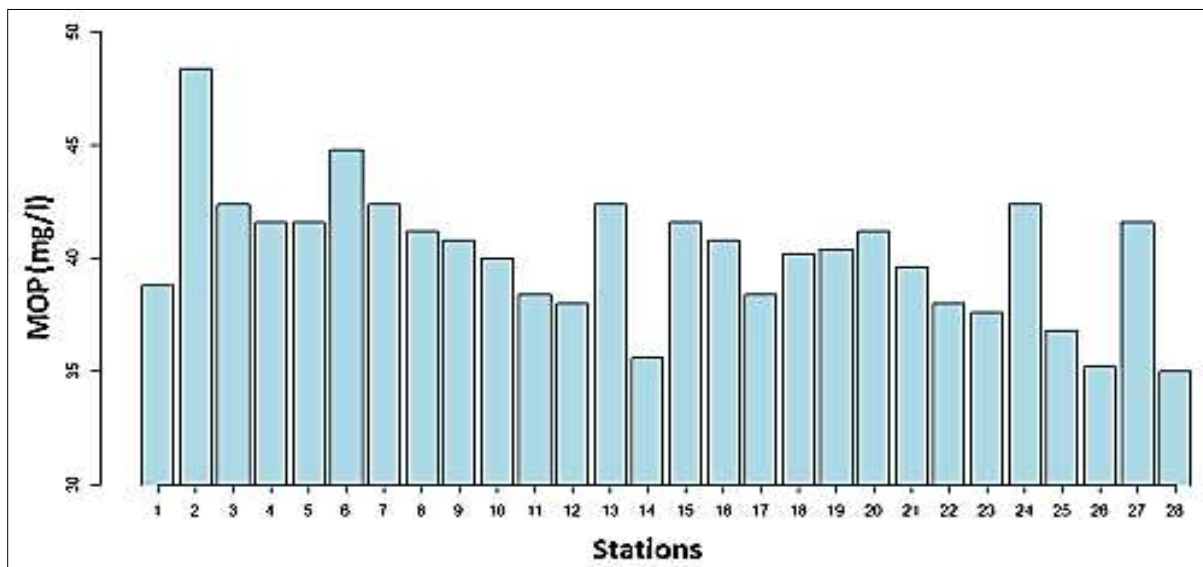
**Graphe VI.2 :** Distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface dans la baie de Bouismaïl.



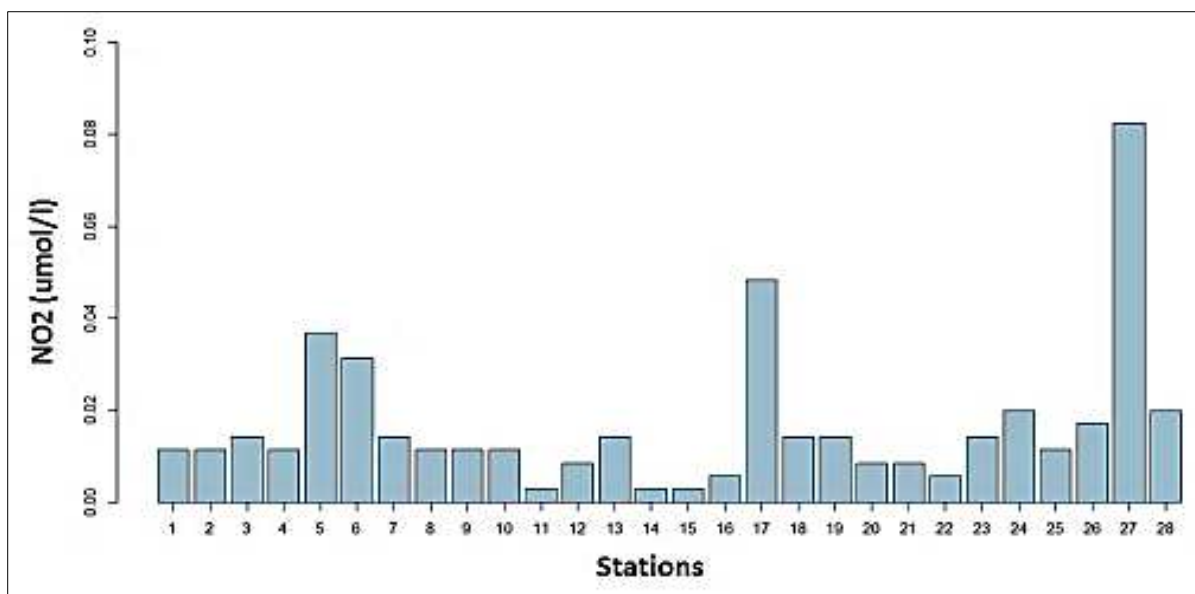
**Graphe VI.3 :** Distribution spatiale de l'OD (mg/l) en surface dans la baie de Bouismaïl.



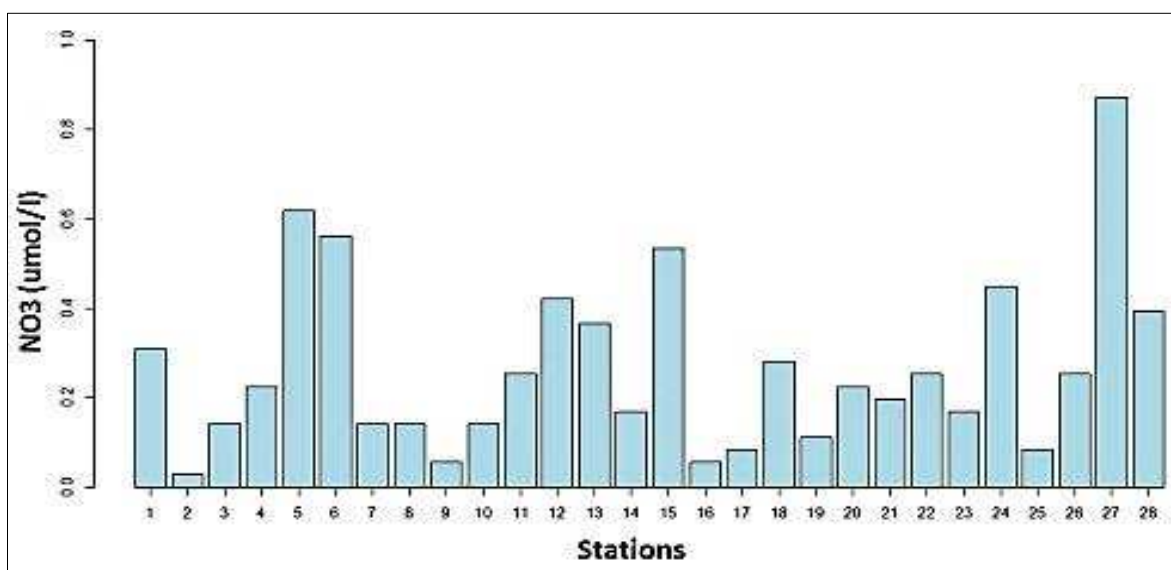
**Grphe VI.4:** Distribution spatiale de MES (mg/l) en surface dans la baie de Bouismail.



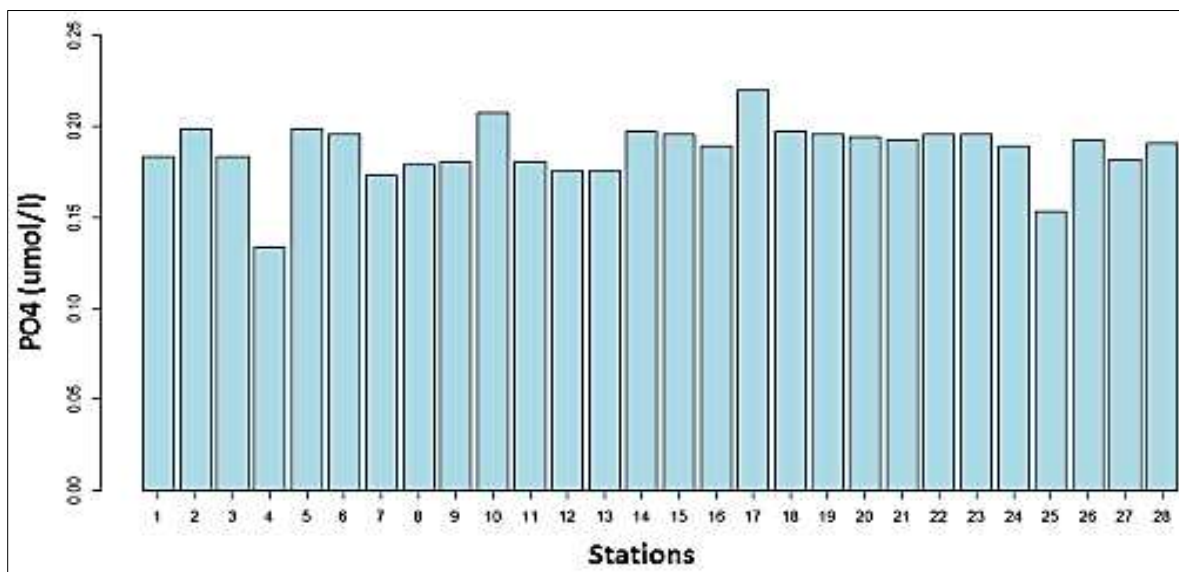
**Grphe VI.5:** Distribution spatiale de MOP (mg/l) en surface dans la baie de Bouismail.



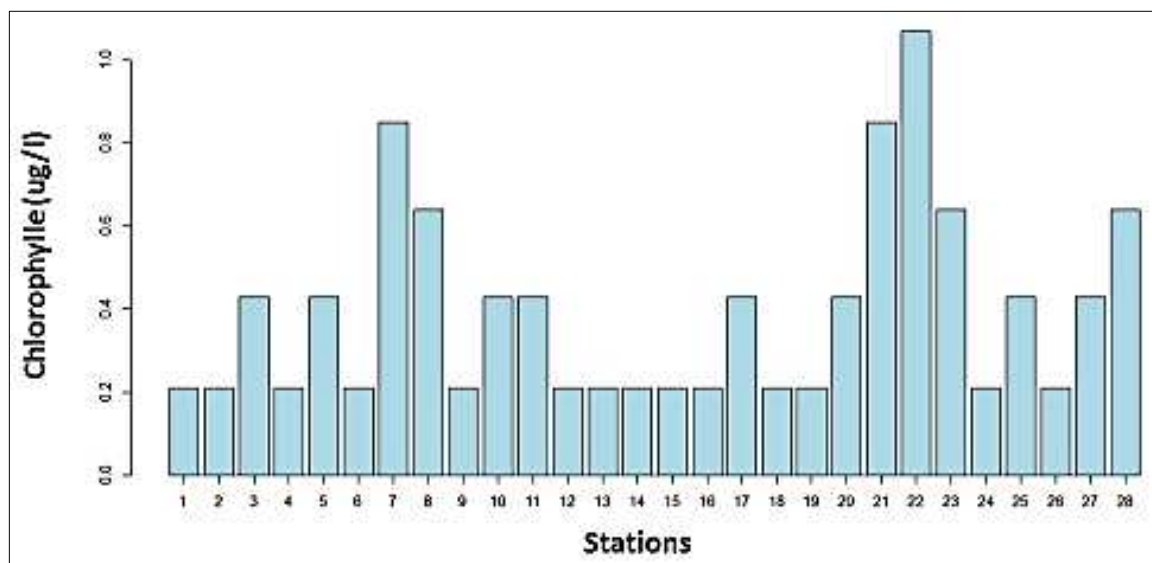
**Grphe VI.6:** Distribution spatiale de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bouismail.



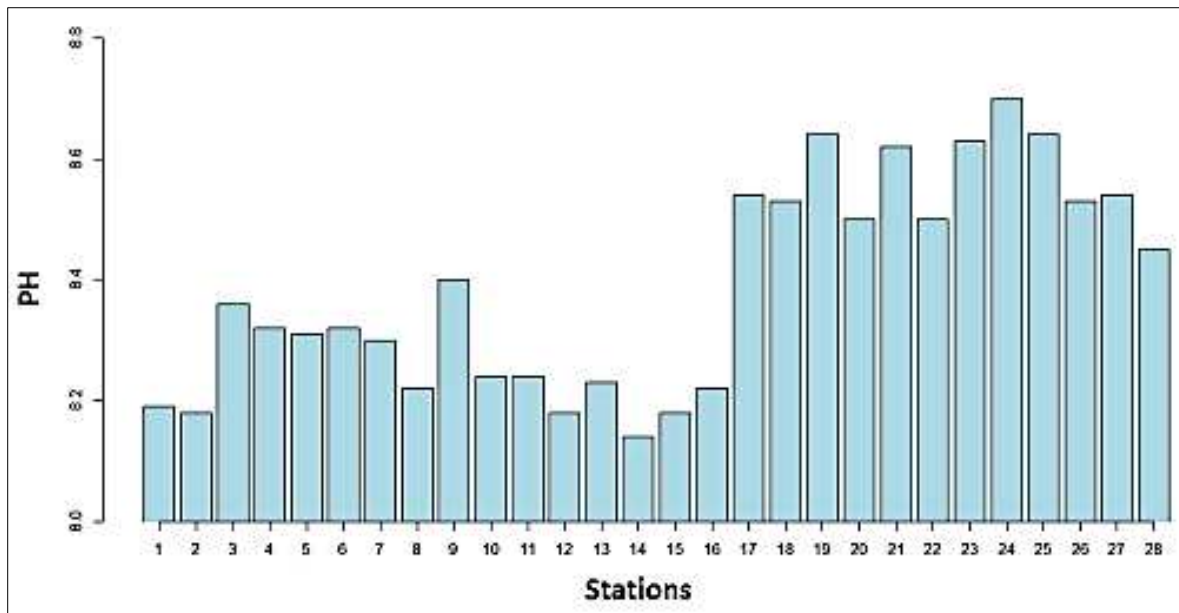
**Grphe VI.7:** Distribution spatiale de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (µmol/l) en surface dans la baie de Bousmail.



**Graphe VI.8:** Distribution spatiale de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (umol/l) en surface dans la baie de Bouismail.



**Graphe VI.9:** Distribution spatiale de chlorophylle (ug/l) en surface dans la baie de Bouismail.



**Graphe VI.10:** Distribution spatiale de PH en surface dans la baie de Bouismaïl.