

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



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

OPTION : Environnement

Thème :

**Etude et suivi des paramètres physico-
chimiques et sels nutritifs dans les eaux
côtières de la baie de Bou Ismail**

Présenté par :

HARKAT Imed

Soutenu le 15/07/2017 devant le jury suivant :

M. Driche M	Maitre de conférences (ENSSMAL)	Président du jury
M. Boulahdid M	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
M. Aroua M	Doctorant (ENSSMAL)	Co-promoteur
M. Abderrahmani K	Attaché de recherche (CNRDPA)	Examineur
M. Benhalima M	Doctorant (ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2017

Remerciement

Je remercie Allah tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mené à bien ce travail.

Tout d'abord, J'adresse mes sincères remerciements à mon promoteur, Mr. Boulahdid. M de m'avoir fait confiance pour entreprendre ce travail et de lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration. Merci de m'avoir guidé, de m'avoir donné les moyens de mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

Je tiens à remercier chaleureusement Mr Driche Mohamed d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que je remercie Mr Benhalima Moustafa et Mr Abderrahmani Khaled qui ont bien voulu faire partie de jury et qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce modeste travail.

J'exprime toute ma gratitude à Mr. Aroua M qui m'a aidé pendant tout ce travail, je le remercie pour le temps précieux qui m'a consacré toutes les fois que cela était nécessaire, ainsi qu'à Mr. Benhalima. M qui a été avec moi tous le temps, et qui m'a donné fond, merci infiniment.

Merci également à l'ensemble des techniciens et ingénieurs du laboratoire de L'ENSSMAL et de Sidi Fredj particulièrement Mme. Eddalia N qui m'ont très bien reçu, assisté et aidé, je tiens à les remercier aussi pour leur présence, leurs conseils et leurs encouragements. Ainsi qu'aux bibliothécaires de l'école pour leur collaboration.

Enfin, un remerciement tout particulier à mes parents qui m'ont toujours soutenu et surtout de m'avoir supporté.

Dédicace

À mes très, très chers parents Gamra et Mohamed

À mes très chers frères et ma sœur, qui comptent énormément pour moi

À tous mes autres proches exclusivement ma grande famille

À mes chers amis : Borhane, Khalil, Anis, Akram, Seif, Walid, Mohammed, Ahmed, Khadidija, Sarra, Fatima, Baida, Roufeida,; J'espère que je n'ai oublié personne

À toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette année ;
Ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent à l'ENSSMAL et avec qui j'ai passé cinq ans
inoubliables ;

À vous tous qui m'aimez ;

Je dédie ce travail.

12/07/2016 à 16h : 51

Imed

Liste des figures

Figure IV. 1 : La distribution spatiale de la température en surface.	38
Figure IV. 2 : La distribution spatiale de la température au fond.	39
Figure IV. 3 : Variation de la température dans la baie de Bou Ismail.	39
Figure IV. 4 : La distribution spatiale de la salinité en surface.	40
Figure IV. 5 : La distribution spatiale de la salinité au fond.	41
Figure IV. 6: Variation de la salinité dans la baie de Bou Ismail.	41
Figure IV. 7: Distribution spatiale du pH en surface.	42
Figure IV. 8: Distribution spatiale du pH au fond.	43
Figure IV. 9 : Variation du pH dans la baie de Bou Ismail.	43
Figure IV. 10 : Distribution spatiale de la concentration de la MES en surface.	45
Figure IV. 11: Distribution spatiale de la concentration de la MES au fond.	45
Figure IV. 12: Variation de la concentration de la MES dans la baie de Bou Ismail.	46
Figure IV. 13: Distribution spatiale de la concentration de la chlorophylle en surface.	47
Figure IV. 14: Distribution spatiale de la concentration de la chlorophylle au fond.	48
Figure IV. 15 : Variation de la concentration de la chlorophylle dans la baie de Bou Ismail.	48
Figure IV. 16: Distribution spatiale de la concentration des Nitrates en surface.	50
Figure IV. 17: Distribution spatiale de la concentration des Nitrates au fond.	50
Figure IV. 18: Variation de la concentration des nitrates dans la baie de Bou Ismail.	51
Figure IV. 19: Distribution spatiale de la concentration des nitrites en surface.	52
Figure IV. 20 : Distribution spatiale de la concentration des nitrites au fond.	52
Figure IV. 21 : Variation spatiale de la concentration de nitrites dans la baie de Bou Ismail.	53
Figure IV. 22: Distribution spatiale de la concentration des orthophosphates en surface.	54
Figure IV. 23: Distribution spatiale de la concentration des orthophosphates au fond.	55
Figure IV. 24: Variation de la concentration des orthophosphates dans la baie de Bou Ismail.	55

Figure IV. 25: Distribution spatiale de la concentration des silicates en surface.....	56
Figure IV. 26: Distribution spatiale de la concentration des silicates au fond.....	57
Figure IV. 27: Variation de la concentration des silicates dans la baie de Bou Ismail.....	57
Figure IV. 28 : Le diagramme température-salinité.....	58
Figure IV. 29 : Le diagramme N-P.....	59
Figure IV. 30 : La température en surface.....	60
Figure IV. 31 : La température en profondeur.....	53
Figure IV. 32 : La salinité en surface.....	61
Figure IV. 33 : La salinité en profondeur.....	53
Figure IV. 34 : La MES en surface.....	61
Figure IV. 35 : La MES en profondeur.....	54
Figure IV. 36 : La chlorophylle en surface.....	62
Figure IV. 37: La chlorophylle en profondeur.....	55
Figure IV. 38: Les nitrites en surface.....	63
Figure IV. 39: Les nitrites en profondeur.....	55
Figure IV. 40: Les orthophosphates en surface.....	63
Figure IV. 41: Les orthophosphates en profondeur.....	56
Figure IV. 42: Les silicates en surface.....	64
Figure IV. 43: Les silicates en profondeur.....	64
Figure IV. 44: Les nitrates en surface.....	64
Figure IV. 45: Les nitrates en profondeur.....	57

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Les formes chimiques majeures des éléments nutritifs dans l'eau de mer.	10
Tableau I. 2: Caractères trophiques des plans d'eau.	14
Tableau I. 3: Problèmes liés à l'eutrophisation des plans d'eau.	15
Tableau II.1: Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous (ANRH, 1997).....	20
Tableau III. 1: Campagnes de prélèvement.....	25
Tableau III. 2: Localisation des stations et les différentes profondeurs de prélèvement.....	26
Tableau III. 3 :Les volumes des flacons d'échantillonnage.....	28

Table des matières

Remerciement	I
Dédicace	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	V
Table des matières	VI
Introduction	2
1. Généralités	4
1.1 La pollution marine	4
1.1.1 Définition	4
1.1.2 Les principaux types de pollution	4
1.1.3 Origine de la pollution	6
1.1.4 Indicateurs de pollution.....	7
1.2 Descripteurs du milieu marin	8
1.2.1 La température	8
1.2.2 La salinité.....	8
1.2.3 O2 dissous	8
1.2.4 pH.....	9
1.2.5 Conductivité	9
1.3 Les éléments nutritifs.....	9
1.3.1 Définition des éléments nutritifs	9
1.3.2 Rôle des éléments nutritifs.....	10
1.3.3 Différentes formes des éléments nutritifs	10
1.3.4 Origines des sels nutritifs	11
1.3.5 Rapport de Redfield	11

1.3.6	Notions des facteurs limitant	12
1.4	Production primaire	12
1.4.1	Définition	12
1.4.2	La chlorophylle	13
1.4.3	La chlorophylle « a »	13
1.5	Eutrophisation.....	13
1.5.1	Définition	13
1.5.2	Indicateurs et critères d'évaluation	14
1.5.3	Conséquences de l'eutrophisation sur le milieu marin	14
1.5.4	L'aide scientifique à la lutte contre l'eutrophisation	15
2	Zone d'étude	18
2.1	Présentation de la zone d'étude « Baie de Bou Ismail »	18
2.1.1	Localisation géographique	18
2.1.2	Topographie de la baie	19
2.1.3	Sédimentologie de la baie	19
2.1.4	Réseau hydrographique.....	19
2.2	Description des conditions climatiques de la baie de Bou Ismail	21
2.2.1	Climat.....	21
2.2.2	Facteurs hydrodynamiques	21
2.2.3	Pression anthropique sur la baie	21
3	Matériels et Méthodes	25
3.1	Travail réalisé en mer	25
3.2	Stratégie d'échantillonnage	25
3.3	Localisation des stations	26
3.4	Matériel de prélèvement	27
3.4.1	Conditionnement des moyens de prélèvement	27

3.4.2	Prélèvement d'eau de mer.....	27
3.4.3	Echantillonnage et conservation	28
3.5	Mesure in situ « paramètre physicochimique »	29
3.5.1	Mesure de la température.....	29
3.5.2	Mesure de la salinité	30
3.5.3	Mesure du pH.....	30
3.6	Manipulations au laboratoire	30
3.6.1	Matière en suspension.....	30
3.6.2	Chlorophylle « a ».....	32
3.6.3	Sels nutritifs	34
4	Résultats et discussion.....	38
4.1	Paramètres physico-chimique.....	38
4.1.1	Température	38
4.1.2	Salinité	40
4.1.3	pH.....	42
4.1.4	Matière en Suspension (MES)	44
4.1.5	Chlorophylle « a ».....	46
4.1.6	Sels nutritifs	49
4.1.7	Diagramme T-S.....	58
4.1.8	Diagramme N-P	59
4.2	Etude comparative des paramètres mesurés au niveau de la baie de Bou Ismail entre l'année 2012 et 2017.....	59
4.2.1	Station S3	60
	Conclusion.....	66
	Bibliographie.....	69
	Annexes	73

Introduction

Introduction

Le milieu marin est considéré comme l'un des compartiments les plus compliqués de la biosphère terrestre, son exploitation crée de sérieux problèmes en termes de développement durable.

L'explosion démographique anarchique de l'humanité caractérisée par un rythme d'industrialisation très accéléré, sont les facteurs principaux qui bouleversent l'état du milieu marin.

La mer méditerranée n'est pas à l'abri, car elle subit beaucoup d'apports anthropiques ; cela a gravement pollué ses eaux côtières. Les zones côtières algériennes sont soumises également à un problème grave de pollution et caractérisées par la présence de plusieurs facteurs perturbant l'environnement tels que les rejets domestiques et industriels...etc.

A l'instar des autres zones côtières du pays, l'aire métropolitaine d'Alger ainsi son littoral sont fortement exposés à des pressions provenant des établissements humains incontrôlés et des activités socio-économiques non-maîtrisées.

« L'observation et l'analyse du système socio-environnemental de la zone côtière algéroise indiquent des tendances lourdes qui menacent la qualité, la conservation et la disponibilité, à plus ou moins long terme, du milieu naturel et de ses ressources. Dans tous les domaines (urbanisme, sols, eau, zone côtière,...)». (PAC algérois, 2005).

Dans cette optique ; notre travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau et le suivi de son degré de pollution dans la baie de Bou Ismail, en analysant les paramètres physico-chimiques, les sels nutritifs et la chlorophylle. Ce travail rentre dans le cadre du projet intitulé 'Etat et Suivi de la pollution marine dans la région algéroise' agréé par l'Agence Thématique de Recherche Scientifique et Technologique (ATRST).

Notre approche méthodologique s'articule sur les chapitres suivants :

- Le premier chapitre regroupe le nécessaire des connaissances générales en rapport avec notre thème : Définition de la pollution marine, présentation des différents nutriments minéraux dissous présents dans l'eau de mer et de la chlorophylle comme l'un des pigments photosynthétiques de base, ainsi que de l'eutrophisation en milieu côtier.
- Le deuxième chapitre : présentation de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre, matériels et méthodes, qui est consacré à la description des protocoles et des méthodes d'analyses aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire.
- Le quatrième chapitre, résultats et discussion, c'est la partie où nous regroupons, et discutons les résultats obtenus, ainsi qu'une évolution de ces résultats au cours du temps (comparaison avec les résultats de 2012).

Enfin, le dernier chapitre est consacré à la conclusion qui comprend des perspectives et des recommandations.

Généralités

1. Généralités

1.1 La pollution marine

1.1.1 Définition

De nombreuses définitions ont été développées, dont ;

L'**UNESCO**¹ : la définit comme étant, *«tout rejet à la mer direct ou indirect de substances ou d'énergies d'origine humaine qui a un effet nuisible sur les organismes vivants, dangereux pour la santé humaine, empêche l'utilisation de la mer, altère la qualité de l'eau de la mer ou réduit les possibilités de l'utilisation aux fins de loisirs ».*

L'**OMS**² : donne la définition suivante :

« La pollution des milieux aquatiques est définie comme étant, toute modification de propriétés physiques, chimiques ou biologiques ou tout rejet de substances liquides ,gazeuses ou solides dans l'eau d'une façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien-être publics, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique ».

Selon les définitions suscitées, on conclut que la pollution de l'eau est essentiellement due aux activités de l'homme et à de multiples effets qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques.

1.1.2 Les principaux types de pollution

1.1.2.1 Pollution chimique

Ce type de pollution est engendré par des rejets de produits chimiques de toute origine, ces polluants sont scindés en deux catégories :

- **Les micropolluants chimiques organiques** : principalement les hydrocarbures, les pesticides et les détergents .Ces polluants sont appelés les polluants organiques permanents.

¹Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture

²Organisation Mondiale de la Santé

-
- **Les micropolluants chimiques inorganiques** : ils sont essentiellement représentés par les métaux lourds et les substances à concentrations excessives (Ex : l'intoxication au mercure enregistré au niveau du MINAMATA, JAPON).

1.1.2.2 Pollution microbiologique

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ses agents causals, nous citons :

- **Les microorganismes pathogènes (les bactéries et les virus)** : Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer.
- **Les proliférations non pathogènes** : des micro-algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctoniques est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates.

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

1.1.2.3 Pollution physique

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir d' :

- Un rejet liquide ou solide,
- Une substance modifiant la turbidité du milieu,
- Une source radioactive ou d'un rejet d'eau réchauffée.

La pollution physique est répartie en trois types :

1.1.2.4 Pollution mécanique

Due essentiellement à des substances solides, comme les boues, les solides flottants (sac en plastique, morceaux de bois). Ces rejets ont comme première conséquence de l'augmentation de la turbidité.

1.1.2.5 Pollution thermique

La pollution thermique est engendrée par les usines, installées dans la bande littoral, qui utilisent un circuit d'eau de mer pour le refroidissement de certaines installations (centrales

thermiques, nucléaire, raffineries,...).Il entraîne un réchauffement qui peut être brutal ou progressif.

Ce réchauffement a un impact direct qui se traduit par la substitution de la faune et de la flore du milieu marin ; ou indirect tels que le développement bactérien et l'augmentation de la toxicité de certaines substances (**Frujet, 1999**).

1.1.2.6 Pollution atomique

Ce sont des radiations artificielles, elle est due à un apport de radionucléide lié à l'utilisation de l'énergie atomique. La pollution atomique à un impact direct aussi bien sur les organismes aquatiques que sur la santé humaine. Cet impact se traduit par le dérèglement de comportement d'êtres vivants, ce dernier pourrait ne pas se manifester qu'après une période non déterminée.

1.1.3 Origine de la pollution

1.1.3.1 Pollution d'origine domestique

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par (**Gaujous, 1995**) :

- Des germes fécaux ;
- De fortes teneurs en matières organique ;
- Des sels minéraux (Azote, Phosphore, ...) ;
- Des détergents.

1.1.3.2 Pollution d'origine industrielle

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau ; Tous les produits ou les sous-produits de l'activité humaine, se retrouve ainsi dans l'eau, qui est un bon solvant (**Gaujous, 1995**) :

- Matières organique et graisses (industries agro-alimentaires, équarrissages, ...) ;
- Hydrocarbures (raffineries) ;
- Métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
- Eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) ;

1.1.3.3 Pollution d'origine agricole

Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par (**Gaujous, 1995**) :

- 1- De fortes teneurs en sels minéraux (Azote, Phosphore, Potassium, ...) provenant :
 - Des engrais ;
 - Des purins et lisiers (élevage).
- 2- La Présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...).

1.1.4 Indicateurs de pollution

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de la pollution consistera donc à mesurer, par analyses, ces caractéristiques :

1.1.4.1 Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau.

Les MES sont mesurables par filtration (ou centrifugation) et pesées du filtrat après séchage à 105°C – **Norme AFNOR T 90 105** – (en mg/l). (**Gaujous, 1995**).

1.1.4.2 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 et produisent la matière organique considérée comme une source d'énergie et de nutriment pour les micro-organismes (bactérie, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (**Boulaïdid, 1987**).

Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulières, dont les proportions, et le devenir varie beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre. Dans les milieux océaniques, il est rare que la fraction particulaire excède 10% de la matière organique totale. Au contraire, dans le milieu estuarien et côtier, la matière organique particulaire peut devenir la fraction dominante du stock de matière organique (**Aminot et Kérrouel, 2004**).

1.1.4.3 La turbidité

La turbidité traduit la propriété optique responsable de la dispersion et de l'absorption de la lumière plutôt que de sa transmission en ligne droite à travers l'échantillon (**Aminot et Chausse-pied, 1983**). La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : Argiles, limons, grains de silice, matière organique, etc. (**Rodier, 1996**).

1.2 Descripteurs du milieu marin

1.2.1 La température

Elle est mesurée par thermo sonde (ou par thermomètre). La température est un facteur écologique important du milieu, elle influe sur la densité de l'eau et joue un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des mers (thermocline). (**Gaujous, 1995**). Son unité principale est le degré Celsius (°C).

1.2.2 La salinité

La salinité est définie conventionnellement comme la masse en grammes des composés solides séchés à poids constant à 480 °C, obtenue à partir de 1 Kg d'eau de mer. Il est supposé que la matière organique a été oxydée, le brome et l'iode remplacés par leur équivalent en chlore et les carbonates convertis en oxyde. (**Rodier, 2005**). Elle est essentiellement contrôlée par la présence des ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} .

Sa valeur moyenne dans l'océan est de 34.55 g/Kg, elle varie notablement d'un point à l'autre de l'océan. Ces variations sont dues à des phénomènes de surface (**Roy-Barman et Jeandel**). Son unité principale est P.S.U (Practical Salinity Unit).

1.2.3 O₂ dissous

L'oxygène dissous dans l'eau de mer est mesurable par méthode chimique ou électrochimique (sonde). Les rejets polluants sont souvent pauvres en oxygène. Toutefois, dans le milieu récepteur, sa diminution ne se fait pas forcément au niveau du rejet : il y a un retard dû à la dégradation des matières organiques.

Dans les milieux naturels, l'origine de l'O₂ est :

- L'activité photosynthétique des végétaux aquatiques :



- La dissolution à partir de l'O₂ atmosphérique, suivant la loi de Fick. (**Gaujous, 1995**).

1.2.4 pH

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), (**voir équation 01**).

$$pH = -\log_{10} a_{H^+} \dots \dots \dots (1)$$

Le pH caractérise l'acidité du milieu, à savoir :

- **En Equilibre** : $[H^+] [OH^-] = 10^{-14}$.
- **À pH neutre** : $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ soit $pH = -\log [H^+] = 7$.
- **À pH acide** : $[H^+] > [OH^-]$ soit $pH < 7$.
- **À pH basique** : $[H^+] < [OH^-]$ soit $pH > 7$.

En mer, le pH normal est entre 8,2 et 8,3. Le plancton semble perturbé par des pH entre 6,5 et 7,5. (**Gaujous, 1995**).

1.2.5 Conductivité

- 3- La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement, mais très approximativement, la minéralisation globale de l'eau (**MERABET. S, 2010**).
- 4- La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu S/cm$. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres (**MERABET. S, 2010**).

1.3 Les éléments nutritifs

1.3.1 Définition des éléments nutritifs

La production primaire photosynthétique repose sur les composés minéraux (ou inorganiques) essentiels que sont le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate et le silicate. Ces substances nutritives minérales reçoivent souvent le nom de « *sels nutritifs* », bien que l'usage du mot « *sel* » chimiquement est incorrect, puisqu'il ne s'agit que d'entités (ions ou molécules) libres en solution.

Les sels nutritifs sont présents dans le milieu aquatique sous diverses formes organiques en solution ou dans le matériel particulaire. (**Aminot et Kérouel, 2004**).

1.3.2 Rôle des éléments nutritifs

Les sels nutritifs sont considérés comme des descripteurs hydrologiques indispensables à l'étude ou la caractérisation d'un écosystème marin. Indirectement, ils peuvent avoir des répercussions sur les activités humaines telles que la pêche et la conchyliculture, car leur disponibilité conditionne la production primaire sur laquelle se développe ensuite l'ensemble de l'activité biologique du milieu.

La production primaire des eaux de surface est essentiellement autotrophe, autrement dit la synthèse de la biomasse organique s'effectue à partir des constituants minéraux présents en solution dans l'eau (CO_2 , NO_3^- , PO_4^{3-} ...), en utilisant la lumière comme source d'énergie (c'est la photosynthèse). (Aminot et Kérouel, 2004).

1.3.3 Différentes formes des éléments nutritifs

Le tableau suivant montre les principaux éléments nutritifs sur lesquels s'appuient les études des milieux aquatiques ainsi que leurs formules chimiques usuelles.

Tableau I. 1: Les formes chimiques majeures des éléments nutritifs dans l'eau de mer.

Elément chimique	Formules chimiques et abréviations usuelles
Nutriments* minéraux dissous	
Ammonium, ammoniac (azote ammoniacal)	NH_4^+ , NH_3
Nitrite (azote nitreux)	NO_2^-
Nitrate (azote nitrique)	NO_3^-
Orthophosphate, phosphate, phosphate soluble réactif	PO_4^{3-} , PSR
Silicate, acide orthosilicique	$\text{Si}(\text{OH})_4$, H_4SiO_4 , HSiO_4^-
Nutriments organiques dissous	
Azote organique dissous	NOD
Phosphore organique dissous	POD
Nutriments particuliers	

Azote organique particulaire	NOP
Phosphore organique particulaire	POP
Phosphore particulaire (total)	PP
Silicium biogénique	BSi

1.3.4 Origines des sels nutritifs

Les sels nutritifs dissous présents dans l'océan ont plusieurs sources. Principalement, on distingue les sources internes et les sources externes (**Boulaïdid, 1987**) :

1.3.4.1 Source interne

La régénération des sels nutritifs dissous dans l'océan se fait essentiellement à partir de l'oxydation des déchets organiques le long de la colonne d'eau de mer. Dans une moindre mesure, les sels nutritifs sont régénérés à partir du sédiment marin. La régénération à partir de la matière organique dans l'océan est la plus importante ($\approx 97\%$).

1.3.4.2 Source externe

Ce sont les apports continentaux fluviaux, éoliens et hydrothermaux englobant les processus naturels (biologie, géologie,...etc.) et la pollution anthropogénique (industrie, produits fertilisants, détergents...etc.).

1.3.5 Rapport de Redfield

L'azote et le phosphore représentent les deux principaux éléments constitutifs de la matière organique vivante. Ils sont prélevés par les organismes autotrophes dans des proportions requises pour leur croissance, soit, aussi proche que possible de leurs matériels cellulaires. ???

Ce rapport dans un état d'équilibre normal définit un rapport élémentaire en relation avec les processus d'assimilation et de régénération qui demeure globalement constant pour une région donnée, mais peut varier naturellement avec la profondeur (**Minster et Boulaïdid, 1987**) ou encore en fonction des saisons, en accord avec la variation de l'activité biologique (**Berland et al, 1980**).

Redfield et al en (1963) ont défini un rapport N/P constant pour l'océan global estimé à 16. Ce rapport établi pour la méditerranée qui est de l'ordre de 21 (**Rambault et al, 1990 ; 1993**) a permis de détecter un déficit généralisé mais modéré en orthophosphates.

1.3.6 Notions des facteurs limitant

Lorsque des populations phytoplanctoniques se développent, elles consomment les nutriments minéraux dissous et abaissent progressivement leurs concentrations à des niveaux auxquels il devient très difficile aux cellules de les puiser, ce qui ralentit fortement leur croissance.

Les nutriments sont alors les « facteurs limitants » de la croissance algale. Toutefois, les nutriments ne sont pas les seuls facteurs qui limitent potentiellement la croissance du phytoplancton. Un autre facteur essentiel, la lumière, fait parfois défaut à proximité des embouchures fluviales et dans les estuaires en raison de fortes turbidités. Malgré la présence de concentrations de nutriments relativement élevées, la poussée planctonique ne peut alors s'effectuer dans le panache turbide. Ce n'est qu'à une certaine distance de l'embouchure, là où la turbidité est devenue suffisamment faible, qu'il y a assez de lumière pour permettre la poussée de phytoplancton.

Les éléments nutritifs sont rarement tous épuisés simultanément. L'épuisement de l'azote ou du phosphore conduit à l'arrêt de la croissance du phytoplancton, mais l'épuisement du silicium ne limite que la croissance des diatomées, laissant la possibilité à des espèces non siliceuses, parfois causes de nuisances, de continuer à se développer si les deux autres éléments sont encore disponibles (**Conley et al., 1993**).

Donc, la notion de limitation doit être vue comme dépendante des éléments nutritifs et des espèces phytoplanctoniques.

1.4 Production primaire

1.4.1 Définition

La production primaire représente la quantité de matière organique néoformée durant un certain intervalle de temps pour une surface (ou un volume) déterminée, elle s'exprime en $g\ C. m^{-2}. an^{-1}$ (**Jacques et Tréguer, 1986**).

Il s'agit d'évaluer la capacité d'un ensemble essentiellement phytoplanctonique à réaliser des opérations de fixation du CO_2 (productivité primaire) ; l'estimation de la production primaire est basée soit sur la mesure de la production d'oxygène, soit sur la mesure de la fixation du CO_2 (**Le Gal et al., 1988**).

1.4.2 La chlorophylle

Elle est prépondérante dans les chloroplastes et constitue le centre réactionnel des photosystèmes I et II. Elle capture l'énergie lumineuse avec des maxima d'absorption entre 400 et 500 nm et entre 600 et 700 nm (**Vera, 2005**).

La chlorophylle est considérée comme l'un des pigments photosynthétiques de base. C'est la raison pour laquelle on l'utilise pour l'estimation de la biomasse phytoplanctonique ainsi que pour celle de la production primaire (**Le Gal et al., 1988**).

Il existe plusieurs pigments photosynthétiques (chlorophylle a, b, c, carotène, phycocyanine, xanthophylle) mais le pigment le plus commun est la chlorophylle a, car on en retrouve dans toutes les plantes, les algues et les cyanobactéries.

1.4.3 La chlorophylle « a »

La chlorophylle « a » est le principal pigment photosynthétique des plantes. En convertissant l'énergie lumineuse en énergie chimique, elle permet la photosynthèse, c'est-à-dire la fixation de carbone induite par la lumière (la production primaire). Pour cette raison, la chlorophylle « a » est mesurée en tant qu'indicateur de la biomasse des micro-algues organismes qui sont à la base de la chaîne alimentaire. La chlorophylle « a » est probablement le paramètre biochimique le plus fréquemment mesuré en océanographie (**Jeffrey et Mantoura, 1997**) in (**Aminot et Kerouel, 2004**).

1.5 Eutrophisation

1.5.1 Définition

L'eutrophisation est définie, au sens habituel comme l'enrichissement des eaux en nutriments presque essentiellement le phosphore et l'azote qui vont favoriser la croissance des végétaux pour finalement induire des proliférations algales (eaux colorées), des algues flottantes à la surface des eaux et des macrophytes ou des algues sur les rivages ou sur les fonds (**Jean-Claude LACAZE, 1996**).

Outre les nutriments, d'autres facteurs telles les conditions climatiques (lumière, température) et hydrologique (volume et degré de confinement des plans d'eau... etc.) contrôlent le processus d'eutrophisation.

1.5.2 Indicateurs et critères d'évaluation

On classe généralement les plans d'eau comme « oligotrophes » (du grec, « peu de nourris ») ou eutrophes (du grec, « bien nourris »). Le terme « mésotrophe » est fréquemment utilisé pour décrire l'état intermédiaire entre les deux catégories précédentes (**Ryding et Rast, 1994**).

Bien que ces descriptions du degré de trophie n'aient pas une signification précise, elles sont couramment employées pour caractériser les effets des nutriments sur la qualité de l'eau ou pour désigner le potentiel trophique d'un plan d'eau (**Tableau II-2**).

Tableau I. 2: Caractères trophiques des plans d'eau.

Catégories	Ultra-oligotrophie	Oligotrophie	Mésotrophie	Eutrophie	Hypertrophie
Biomasse	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Algues vertes et/ou cyanobactéries abondance :	Faible	Faible	Variable	Forte	Très forte
Macrophytes Abondance :	Faible ou nulle	Faible	Variable	Forte ou faible	Faible
Productivité	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Forte/instable
Altération des différents usages	Faible	Faible	Variable	Forte	-

Source :Meybeck et al., 1989,p.109.(modifié).

1.5.3 Conséquences de l'eutrophisation sur le milieu marin

Le milieu marin subit des dysfonctionnements liés, en partie, à des phénomènes d'eutrophisation. Ceux-ci entraînent des dégradations et des nuisances importantes :

Tableau I. 3: Problèmes liés à l'eutrophisation des plans d'eau.

Problème	Cause	
	Prolifération de micro algues planctoniques	Prolifération de macrophytes et d'algues littorales
Altération de la qualité de l'eau :		
Gout et odeur, couleur, filtration, floculation, sédimentation et autres difficultés de traitement	+++	+
Désoxygénation, formation de fer, manganèse, CO ₂ , NH ₄ , H ₂ S.	++	+
Corrosion de tuyaux et d'autres réalisations humaine	++	+
2-Altération des usages récréatifs de l'eau :		
Aspect inesthétique	++	+
Danger pour les baigneurs	-	++
Risques sanitaires	+	+
3-Altération des produits de la pêche :		
Mortalité de poissons	+	-
Production d'espèces moins « nobles »	++	++
4-Altération de la capacité de résistance des matériaux et des installations		
Envasement, colmatage des tuyaux et des filtres, réduction du débit.	+	+

+++ : Très fréquent, ++ : fréquent, + : quelquefois, - : absent. Source :Meybeck et al., 1989,.108(modifié).

1.5.4 L'aide scientifique à la lutte contre l'eutrophisation

Pour lutter contre l'eutrophisation, il est primordial de détecter l'élément nutritif contrôlant les proliférations algales afin de déterminer la réduction des apports nécessaires à la restauration de la qualité du milieu.

La recherche scientifique peut également intervenir pour quantifier la relation entre ce facteur limitant et l'eutrophisation ; l'emploi de modèles mathématiques dans l'élaboration d'une stratégie de lutte contre l'eutrophisation est alors un précieux outil de prévision (Meybeck **et al.**, 1989).

Zone d'étude

2 Zone d'étude

2.1 Présentation de la zone d'étude « Baie de Bou Ismail »

2.1.1 Localisation géographique

La baie de Bou Ismail (ex golfe de Castiglione) est située à l'ouest d'Alger du Ras Acras (ou Acrata) jusqu'au Cap Mont Chenoua entre $2^{\circ} 54' E$ et $36^{\circ} 48' N$ à $2^{\circ} 24' E$ et $36^{\circ} 38' N$, d'une superficie de 350 Km^2 , est délimitée à l'ouest par le massif de Chenoua et à l'est par le massif de Bouzareah. L'ouverture de la baie s'oriente selon un axe nord-est d'environ 40 km.

La baie de Bou-Ismail peut être divisée en quatre zones géographiques (**Figure II.1**) :

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

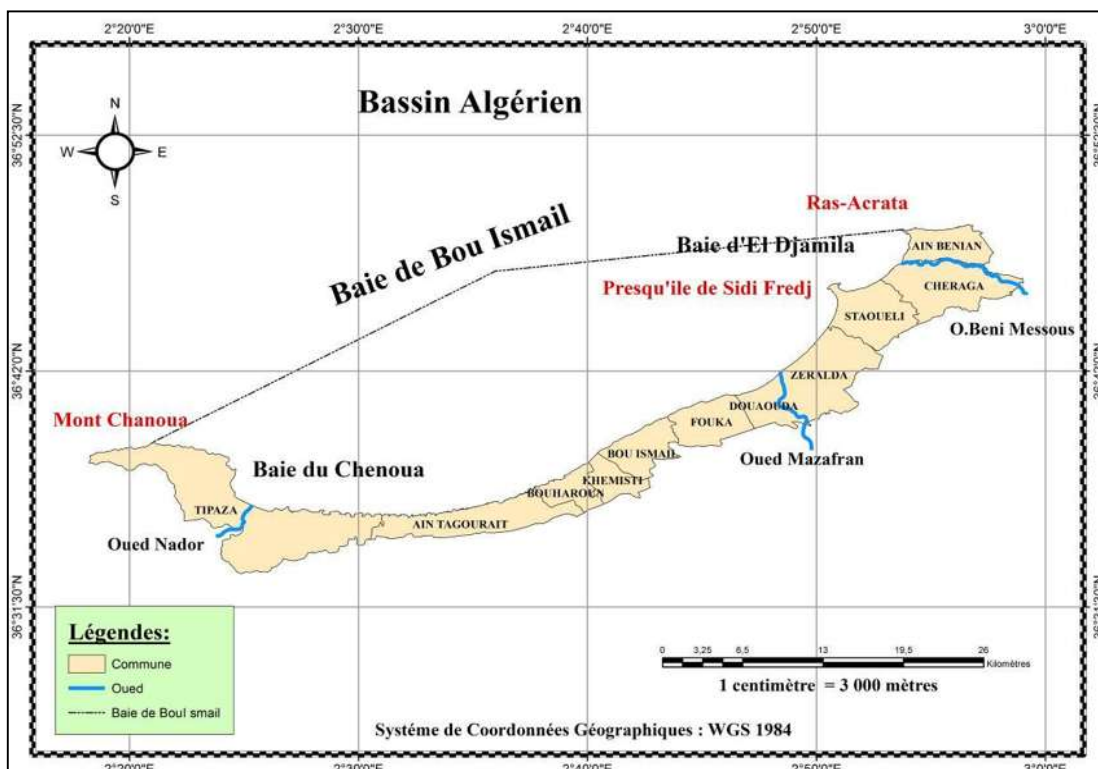


Figure II. 1: Localisation géographique de la baie de Bou Ismail.

2.1.2 Topographie de la baie

Le plateau continental est d'une manière générale très étroit selon (Vaissiere et Fredj ; 1963) (in Asso, 1982). La limite la plus extrême du plateau continental au niveau du mont Chenoua atteint 7 milles. Ainsi, la surface du plateau continental de la baie de Bou Ismail est de 509 km² (chavance et Girardin, 1986) (in Zeghdoudi, 2006). Le plateau continental est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre 1% (Asso, 1982).

2.1.3 Sédimentologie de la baie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismail montre une grande diversité sur le plan sédimentaire, neuf faciès identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux et l'herbier Posidonies océanica (Leclair, 1972).

La dynamique sédimentaire dans la baie de Bou Ismail est régie essentiellement par :

- La dérive littorale due aux houles du Nord-Ouest.
- La dérive littorale due aux houles du Nord Est. (Figure II.2)

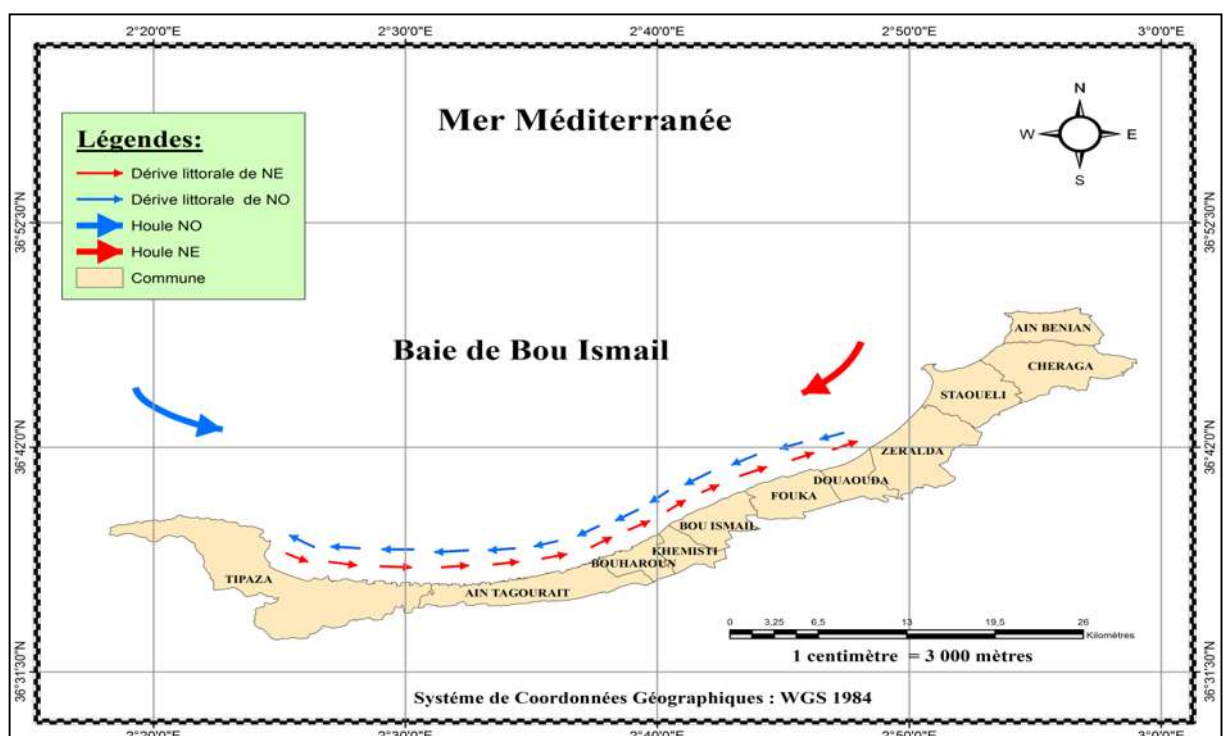


Figure II. 2: Transit sédimentaire dans la baie de Bou Ismail (L.E.M 2005, modifié).

2.1.4 Réseau hydrographique

Les principaux oueds qui se jettent dans la baie de Bou Ismail sont :

- **Oued Nador** dans la baie du Chenoua.
- **Oued Mazafran** au centre de la baie.
- **Oued Beni Messous** dans la baie d'El Djamila (**Annane et al, 2007**).

Oued Mazafran

Possède un bassin versant de 1850 km².il est formé des oueds Chiffa,Djer et Bouroumi et débouche dans la mer entre Douaouda et Zeralda. Le débit massique est estimé entre 1400 et 1800 t/km²,tandis que le débit volumique à 43.8 millions m³/an (**Grovel,1961**).Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued :long étiage (six mois),crues hivernale et printanière soudaines, fortes et de courte durée.

Oued Nador

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 km² avec un débit de 0,89 m³/s. Ces oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées (**Benzohra, 1993**).

Oued de Beni Messous

Il prend naissance dans le massif de Bouzareah, reçoit un grand nombre d'affluents et se jette dans la baie d'El Djamila. Son bassin versant s'étend sur 33 km², près de 7 km²,soit 21.2% de l'aire occupée par le bassin est perméable, 11km² (33.3%) semi-perméables et 15 km² (45.5%) imperméables (**M.A.DERGALI, 1997**), (**Tableau III.1**).

Le sol du bassin versant d'oued Beni Messous est considéré comme semi-perméable, avec une tendance imperméable. Ce caractère hydrologique limite l'infiltration et réduit l'importance des nappes phréatiques, ce qui favorise le lessivage du sol par les eaux de ruissellement.

Tableau II. 1: Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous (**ANRH, 1997**).

Surface du bassin versant (km ²)	Longueur (km)	Pente (%)	Altitude (m)		Perméabilité		
			Min	Max	Perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	7 km ²	11 km ²	15 km ²
					21.2%	33.3%	45.5%

2.2 Description des conditions climatiques de la baie de Bou Ismail

2.2.1 Climat

Le climat est l'un des facteurs principaux qui contrôlent l'état général des masses d'eau dans la baie de Bou Ismail du point de vue chimique, physique et biologique.

Comme la plupart des baies qui se trouvent dans la mer méditerranée, la baie de Bou Ismail est caractérisée par un climat subhumide ; un hiver humide et un été chaud et sec (CNDPA, 2005).

Les précipitations sur l'ensemble du territoire se présentent d'une manière assez diverse, d'une part par leurs causes et d'autre part par les quantités recueillies. Elles diminuent d'Est en Ouest et du Nord au Sud (ONM, 2010).

2.2.2 Facteurs hydrodynamiques

Les courants liés aux vents

Dans la baie de Bou Ismail, une bonne proportionnalité s'établit entre la fréquence et la direction des vents dominants et l'intensité de courants. Ceci est d'autant plus évident en période estivale où les courants de surface adoptent pratiquement la direction du vent.

Les courants liés à la houle

On distingue deux courants dominants ; les directions de ces courants présentent une nette variabilité saisonnière en relation avec celle des houles inductrices.

Les courants de retour

Ils sont générés par des houles à direction oblique par rapport à la côte (d'orientation NW et NNW). Le déferlement de ces dernières sur la côte crée des courants de retour qui distribuent le sédiment vers le large.

Les courants de dérive littorale

Produits par des houles tangentiels à la côte (pendant le régime NE) et sont à l'origine du transfert sédimentaire latéral.

2.2.3 Pression anthropique sur la baie

Avec ses richesses agricoles, son développement touristique et industriel ; la baie de Bou Ismail connaît une accentuation notable et exponentielle de la pollution sous diverses formes.

L'oued Mazafran est un vecteur important de la pollution de cette zone car il draine vers la mer tous les rejets issus des zones urbaines, industrielles et agricoles se trouvant dans la

plaine de la Mitidja. A ces sources de pollutions potentielles, il convient d'ajouter les rejets de l'ensemble des unités industrielles de la zone côtière de la baie de Bou Ismail.

La région de Bou Ismail est une zone à vocation touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable, dans la plupart des cas s'accroissant en période estivale.

Ajoutant à cela, les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels. Enfin, l'activité de pêche est considérée comme une autre source de pollution s'ajoute aux précédentes. (Figure II.3 et II.4).

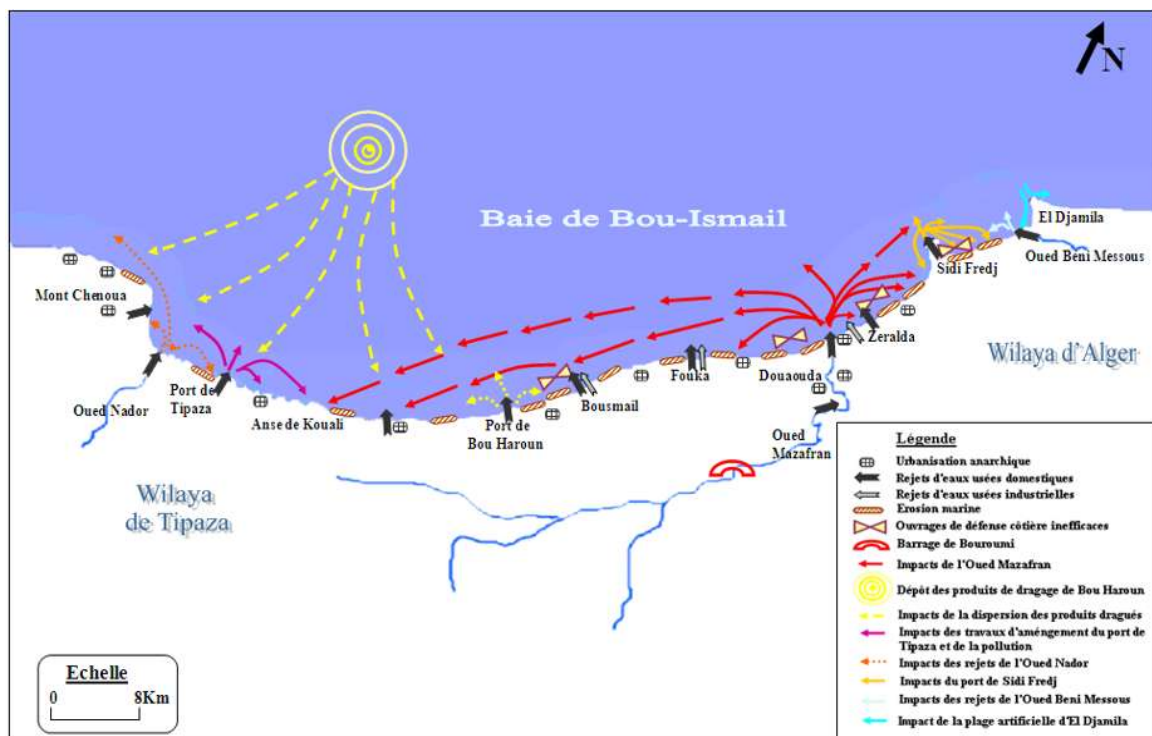


Figure II. 3: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de BouIsmaïl., (Source : AlSidChiKh et al., 2009).



Figure II. 4: Pollution par les rejets industriels, urbains et les huiles au niveau de la baie de Bousmail (Source : Al Sid Chikh et al., 2009).

Matériels et Méthodes

3 Matériels et Méthodes

3.1 Travail réalisé en mer

Afin de déterminer les paramètres physico-chimiques, l'évaluation du degré de la pollution chimique de l'eau de mer et le contrôle de la qualité des zones concernées ainsi que le suivi des tendances temporelles et spatiales à moyen et à long terme des zones marines côtières en relation avec les pressions anthropiques et/ou les changements climatiques.

Deux sorties en mer étaient réalisées Comme le montre le tableau suivant :

Tableau III. 1: Campagnes de prélèvement.

Sortie N°	Date	Nombre de station	Zone	Nombre d'échantillons	Navire/embarcation scientifique
01	13/05/2017	10	la baie de Bou Ismail	60	Baba Aroudje

Au cours de cette sortie, des mesures de 3 paramètres (Température, ph, salinité) ont été faites à bord du navire, alors que les autres échantillons ont été conservés pour l'analyse du Chlorophylle « a », des sels nutritifs et de la MES au laboratoire de l'ENSSMAL.

- **Brève description du navire scientifique Baba Aroudje**

C'est un navire scientifique, équipé d'un échosondeur pour la mesure de la bathymétrie et d'un GPS (Global Positioning System) qui nous a permis d'avoir les coordonnées géographiques (longitude et latitude) à chaque station de prélèvement.

3.2 Stratégie d'échantillonnage

Dans le but d'avoir une bonne évaluation de la pollution de l'eau de mer au niveau de la baie de Bou Ismail, la localisation des stations ainsi que son nombre ont été essentiellement choisis en fonction des critères suivants :

- La localisation géographique devrait être en face des villes.
- Tenir en compte les zones les plus sensibles qui sont exposées directement ou indirectement aux activités anthropiques comme les embouchures des eaux usées et les oueds, les rejets industriels et ceux issus des projets de constructions installés sur les plages de la baie.
- Prélèvement au large de la baie pour avoir des résultats de référence.

Des prélèvements d'eau de surface (5m) et de profondeur (en fonction de la bathymétrie) ont été effectués dans toutes les stations.

3.3 Localisation des stations

La localisation géographique des stations ainsi que les profondeurs de prélèvement sont présentées dans le tableau et la carte ci-dessous.

Tableau III. 2: Localisation des stations et les différentes profondeurs de prélèvement.

Station	Les coordonnées géographiques		Les profondeurs de prélèvement	
	Latitude	Longitude	Surface (m)	Fond (m)
1	36°48'00,50"	2°50'99,20"	5	10
2	36°45'21,60''	, 2°49'44,40'	5	20
3	36°42'57,6''	, 2°48'10,80'	5	10
4	36°38'00,00"	2°34'00,00"	5	10
5	36°39'28,80''	, 2°42'03,60'	5	10
6	36°39'20,84''	, 2°41'57,69'	5	10
7	36°38'20,40''	, 2°40'08,40'	5	10
8	36°37'57,37''	, 2°39'20,91'	5	10
9	36°36'44,30''	, 2°36'12,26'	5	10
10	36°37'85,40"	2°35'53,10"	5	25

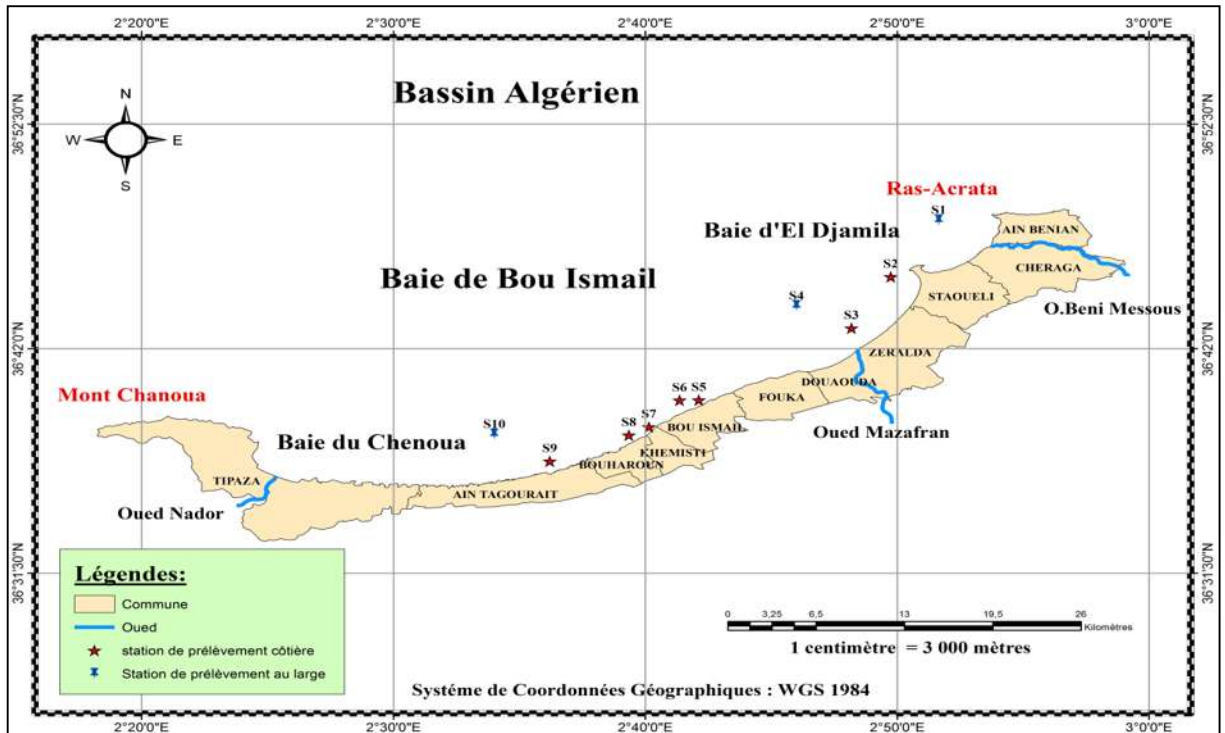


Figure III. 1 : Présentation de la localisation géographique des stations.

3.4 Matériel de prélèvement

3.4.1 Conditionnement des moyens de prélèvement

Afin de minimiser les risques de contamination, les flacons de prélèvement d'eau ont subi le prétraitement suivant :

1. Rinçage à l'eau du robinet ;
2. Rinçage à l'eau acidulée (HCl à 5%) ;
3. Rinçage à l'eau bidistillée deux fois et fermeture hermétique et immédiate du flacon ;
4. Lors du prélèvement à bord, chaque flacon est rincé deux fois avec l'eau de l'échantillon avant son remplissage.

3.4.2 Prélèvement d'eau de mer

A chaque station, le prélèvement de l'eau se faisait à deux niveaux de profondeur en utilisant une bouteille à renversement de 5l de type **Niskin**.

Ces prélèvements vont ensuite servir à l'analyse des paramètres (Température, salinité, pH, sels nutritifs, chlorophylle « a » et MES).

Des mesures de précautions de propreté ont été sévèrement adoptées afin de pouvoir diminuer le taux d'une éventuelle contamination lors du prélèvement, pour cela nous avons suivi les étapes suivantes :

1. la bouteille à clapet est ouverte juste avant sa mise dans l'eau.
2. Une fois la bouteille est mise dans l'eau, elle sera fermée à la profondeur voulue à l'aide d'un messenger (**model HydroBios**), qui coulisse le long du câble hydrographique qui tient la bouteille.
3. Le positionnement exact de chaque station est assuré par un système G.P.S (Global Positioning System) à bord du navire.

Les volumes des différents flacons d'échantillonnage sont montrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 3 : Les volumes des flacons d'échantillonnage.

Paramètre	SN	Chl « a »	MES
Type de flacon	125 ml	1.5l	0.5l

Pour le bon déroulement de l'échantillonnage, tous les flacons sont étiquetés pour indiquer le paramètre, la station et la profondeur de prélèvement.



Figure III. 2 : Bouteille de prélèvement de type Niskin.

3.4.3 Echantillonnage et conservation

Une fois la bouteille est à bord, un versement d'eau est effectué pour tous les flacons.

Les flacons destinés pour l'analyse de chlorophylle « a » sont couverts avec un sachet noir pour inhiber la pénétration de la lumière qui pourrait fausser les résultats, ils sont ensuite conservés

avec les flacons des sels nutritifs et la MES à basse température dans une glacière portative avec 2 « **Ice Box** » assurant une température faible.

La filtration pour la chlorophylle « a » et la MES est faite dès le retour au laboratoire. Les flacons destinés à l'analyse des sels nutritifs sont conservés dans un congélateur pour une analyse ultérieure au sein des laboratoires de recherche de l'ENSSMAL à Sidi Fredj.

3.5 Mesure in situ « paramètre physicochimique »

Pour les paramètres (température, salinité, pH), un multi paramètres de type **HANNA** a été utilisé pour mesurer leurs valeurs in situ, pour ce fait l'électrode du multi paramètre était plongée dans l'eau contenue dans la bouteille **Niskin** et la valeur de chaque paramètre n'est prise qu'après la stabilité de l'afficheur.



Figure III. 3 : Multi paramètre de type HANNA.

3.5.1 Mesure de la température

La température de l'eau a été mesurée in situ à l'aide d'un conductimètre de terrain de la marque **WTW**, qui était préalablement calibré. La température est donnée en °C.

3.5.2 Mesure de la salinité

La salinité de l'eau de mer a également été mesurée in situ à l'aide d'un conductimètre de la marque **WTW** préalablement calibré. La salinité est donnée en P.S.U (Practical Salinity Unit).

3.5.3 Mesure du pH

Le potentiel d'hydrogène de l'eau de mer a été mesuré in situ à l'aide d'un multi paramètre de type **HANNA**. L'électrode en verre, rincée à chaque fois à l'eau distillée et légèrement essuyée, est immédiatement plongée dans la bouteille.

3.6 Manipulations au laboratoire

3.6.1 Matière en suspension

La charge en matière en suspension est mesurée par pesé après filtration.

a. Principe

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur une membrane filtrante afin de retenir les particules de taille supérieure à 0.5 micro mètre environ (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**).

La membrane est rincée, séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant.

Le matériel pesé doit être parfaitement sec. Dans la plupart des méthodes (**Afnor, 1999f ; APHA-AWWA-WEF, 1998b**), les filtres sont séchés à 105 °C, température induisant un risque de perte de matériel biologique. **Strickland & Parsons(1972)** considèrent qu'à partir d'une heure à 70 °C le séchage est satisfaisant.

b. Matériels utilisés

- Rompe de filtration de marque **Millipore®**.
- Disques filtrants en fibre de verre (ou filtre **Whatman®GF/F**).
- Etuve de type **WTB BINDER**, à 65 °C.
- Four à moufle de marque **Wisetherm®**.
- Balance de précision de type **Denver Instrument M-220 D** (au 1/10000 g).
- Eprouvette graduée de 500 ml et de 1 L et des pinces.
- Dessiccateur.
- Matériels courants de laboratoire.

c. Mode opératoire

1- Préparation des filtres au laboratoire

- Les filtres GF/F sont mis dans un four à moufle de marque *Wisetherm* à 450 °C pendant une heure, ce traitement renforce la rigidité et la solidité des membranes, les filtres sont ensuite rincés à l'eau distillée, puis séchés à l'étuve pendant 2 heures à 70°C ;
- Placer chaque filtre dans une boîte à filtre préalablement étiquetée, et placer dans un dessiccateur pour refroidir ;
- Peser le filtre pour avoir la masse P1 en mg ;
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la poussière.

2- Filtration de l'eau de mer

Cette étape consiste à :

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration ;
- Mesurer aussitôt le volume à filtrer (VF= 500 ml) ;
- Placer un filtre et le centrer dans le dispositif de filtration ;
- Verser l'échantillon sur le filtre et appliquer le vide et filtrer progressivement tout le volume mesuré ;
- Verser sur le filtre une solution isotonique à l'eau de mer (formiate d'ammonium à 69 %) pour rincer le filtre et le filtrat du sel ;
- Désactiver l'aspiration dès que le filtre est à sec ;
- Remettre chaque filtre dans sa boîte numérotée ;
- Mettre les boîtes à sécher dans l'étuve.

3- Séchage et pesée des filtres

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans le couvercle, dans une étuve exempte de poussières à 70°C pendant 2 h (**Apha, 1980 in Aminot et Chausse-Pied, 1983**).
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et ne sortir les filtres que juste avant la pesée.
- Peser chaque filtre pour avoir la masse P2 en mg.

d. Calculs et expression des résultats

La concentration des **MESs** est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = \frac{(P_2 - p_1)}{V_F}$$

Soit :

P₁ : poids du filtre avant filtration (mg) ;

P₂ : poids du filtre après filtration (mg) ;

V_F : volume filtré de l'échantillon (l).

3.6.2 Chlorophylle « a »

Les mesures de concentrations des pigments photosynthétiques sont des paramètres importants pour l'étude de la production primaire dans les eaux douces et les océans. Parmi l'ensemble des pigments phytoplanctoniques reconnus, la chlorophylle « a » (Chl-*a*), commune à tous les organismes photooxygéniques, est particulièrement étudiée, car elle est la plus abondante et joue un rôle clé dans le processus de la photosynthèse. Ainsi, la concentration en termes de chlorophylle est certainement l'indicateur de biomasse phytoplanctonique le plus utilisé en océanographie. Il permet de définir la fertilité d'un milieu et de calculer l'index de productivité ou l'efficacité photosynthétique des organismes en présence (**Raimbault et al. 2004**).

La mesure de pigments phytoplanctonique repose sur leurs caractéristiques spectroscopiques non séparatives : absorption de lumière (spectrophotométrie) ou fluorescence (fluorimétrie).

a. Matériel et appareillage

- Dispositif de filtration et des filtres GF/F 0,45µm de porosité.
- Tubes de dosages de 10ml, et des tubes de 10ml pour la préparation des standards.
- Centrifugeuse *Hettich ZENTRIFUGEN* de type *EBA 30*, avec 12 postes de porte-Filtre.
- Spectrophotomètre fluorescence, modèle TURNER DESIGNER 10-AU.
- Matériels courant de laboratoire.

b. Réactifs

- Suspension carbonate de magnésium MgCO₃ à 1 %.
- Solvant d'extraction : acétone à 90%.
- Solution d'acide chloridrique 0,5N.

c. Mode opératoire

1- Analyse au laboratoire

L'analyse de la chlorophylle nécessite une protection permanente contre la lumière à toutes les étapes du protocole analytique, car ces pigments sont photosensibles.

2- Filtration et conservation

- Dès le retour au laboratoire on filtre l'eau le plus rapidement possible et on ajoute quelques gouttes de MgCO₃ sur le filtre.
- Le filtre est plié en quatre et enrobé dans un papier aluminium préalablement étiqueté.
- Mettre les filtres dans le congélateur pour une analyse ultérieure.

3- Extraction des pigments

- L'extraction se fait par l'addition de 10 ml d'acétone à 90% (90/10 acétone/eau).
- On mesure l'absorbance dans une cuve de 1 cm de trajet optique à l'aide d'un spectrophotomètre de marque **CECIL type CE 1021 Série 10000**, à une longueur d'onde de 665 nm et cela dans un premier temps sans acidification, puis en deuxième lieu avec acidification (acide chlorhydrique à 0,3mol/l soit 25 ml d'HCL pour 1000 ml d'eau distillée) pour obtenir la mesure des phéopigments.
- Deux autres mesures d'absorbance ont été réalisées, l'une est celle du blanc de cuve qui a été obtenue par la mesure de l'absorbance de la paroi de la cuve avec de l'eau distillée et la seconde mesure est celle du blanc de filtre (acétone à 90%) avec filtre avant et après acidification.
- **Les calculs**

$$[\text{Chlorophylle « a »}] (\mu\text{g/l}) = 27,7. (A665_{\text{na}} - A665_{\text{a}}).v/V.L$$

$$[\text{Phéopigments « a »}] (\mu\text{g/l}) = 27,7. (1.5A665_{\text{a}} - A665_{\text{na}}).v/V.L$$

Avec:

V: volume d'eau filtré en (litre).

v : volume d'acétone en (millilitre).

L : longueur du chemin optique de la cuve de mesure, (1cm).

Aussi :

$A665_{\text{na}} = A665_{\text{a}} - A675_{\text{na}}$.

$A665_{\text{a}} = A665_{\text{a}} - A675_{\text{a}}$.

Avec :

Ab 665 na: Absorbance à 665 nm avant acidification.

Ab 665 a: Absorbance à 665 nm après acidification.

Ab 750 na: Absorbance à 750 nm avant acidification.

Ab 750 a: Absorbance à 750 nm après acidification.

3.6.3 Sels nutritifs

L'analyse de sels nutritifs a été faite avec la méthode automatique SKALAR (Auto-Analyzer sur SAN PLUS) pour les sels nutritifs suivants : NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 .

a. Principe de la méthode automatique

Les protocoles suivis l'analyse des sels nutritifs est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-analyzer SAN PLUS) (troisième génération), sont décrits par le constructeur SKALAR (**Figure 3.4**).

Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en flux continu : une veine liquide propulsée en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression. L'analyse des échantillons est réalisée par séquence, ce qui permet une grande cadence de travail. Cette chaîne de mesure automatisée est totalement pilotée par un microordinateur doté d'un logiciel spécifique.

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



Figure III. 4: Auto Analyser San Plus (SKALAR®, 1998).

b. Analyse automatique des sels nutritifs

Les réactifs, les solutions étalons, et les protocoles de dosage pour chaque élément nutritif sont réalisés selon les protocoles décrits par (Aminot et al.,1983).

- **Principe de dosage des Nitrates et Nitrites (NO_3^- et NO_2^-)**

La méthode est basée sur la réduction des nitrates en nitrites par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre (Wood et al. 1967, in Aminot et Kérouel, 2004). Après cette réduction les nitrites sont dosés selon les conditions réactionnelles décrites par Bendshneider et Robinson (1952)(in Aminot et Kérouel 2004). Cette méthode automatisée s'applique à des concentrations allant de 1 à 100 ppb de N. En effet, les nitrites forment un diazoïque par réaction avec la sulfanilamide en milieu acide ($\text{pH} < 2$). Ce composé formera ensuite, en présence de N-naphtylethylene diamine, un composé azoïque de couleur rosée absorbant un maximum de lumière à 540 nm (SKALAR®,1998).

- **Principe du dosage des Orthophosphates (PO_4^{3-})**

Sa méthode d'analyse est la colorimétrie du bleu phosphomolybdique, qui est basée sur la réaction de Deniges selon la méthode de Murphy & Reily (1962)(in Aminot et Kérouel, 2004).

Le molybdate d'ammonium et le tartrate d'antimoine de potassium réagissent à une température de 40°C dans un milieu acide avec les solutions diluées du phosphate pour former un composé d'antimoine-phospho-molybdate. Ce composé est réduit à un composé intensément bleu-coloré par l'acide ascorbique à un maximum d'absorption à 880nm.

- **Principe du dosage des silicates (SiO_2)**

Le dosage de l'acide orthosilicique dans l'eau de mer est basé sur la méthode de Mulin et Reily (1955). Cette méthode a été adaptée à l'analyse automatisée et nous avons utilisé la technique du constructeur SKALAR. Cette dernière repose sur la formation de l'acide silicomolybdique, non affectée par la salinité proposée par Smith et Milne (1981) (in Aminot et Kérouel, 2004). Sa mesure est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique par la réaction des silicates avec le molybdates d'ammonium en milieu acide. Ce complexe sera par la suite réduit par l'acide ascorbique en donnant naissance à un composé coloré en bleu absorbant à 810nm. L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates.

c. Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser. Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes.

Résultats et discussion

4 Résultats et discussion

4.1 Paramètres physico-chimique

Tous les paramètres qui ont été mesurés au niveau de la baie de Bou Ismail sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV. 1: Les valeurs moyennes et extrêmes des paramètres physico-chimiques dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	T (°C)		S (PSU)		pH	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	17,15	16,73	36,43	36,39	8,26	8,28
Ecart type	0,22	0,29	0,07	0,15	0,11	0,11
Max	17,4	17	36,5	36,6	8,35	8,34
Min	16,7	16	36,3	36,1	8,02	8,02

4.1.1 Température

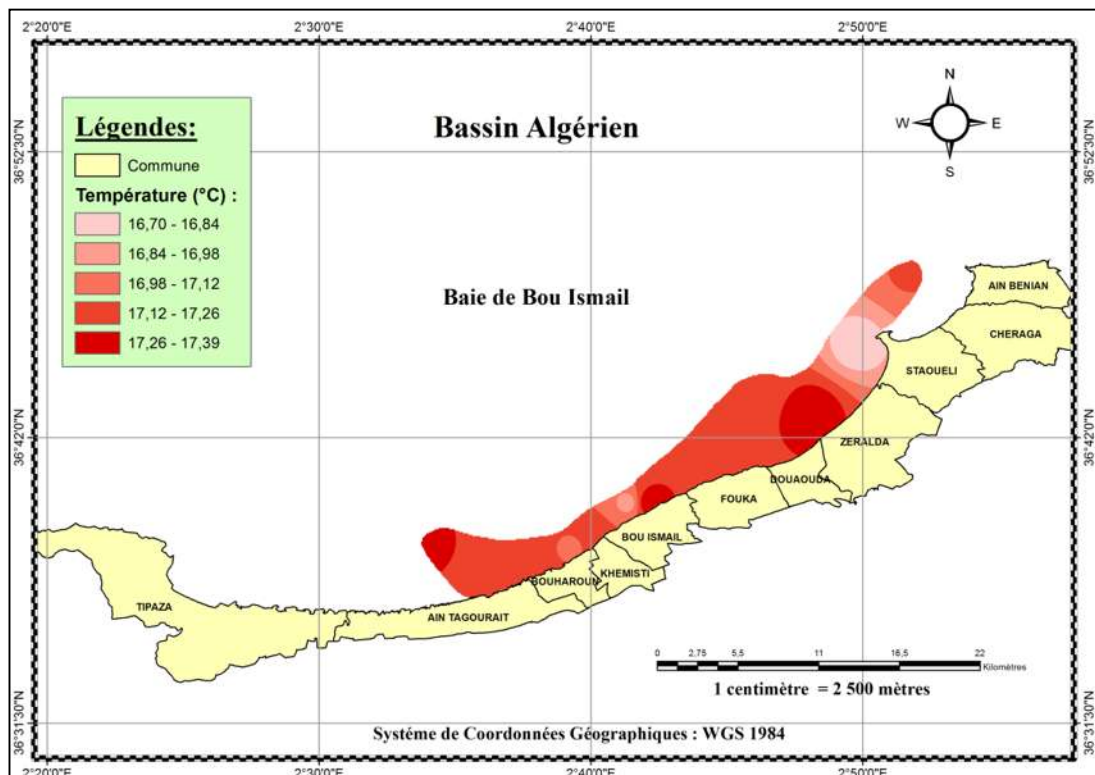


Figure IV. 1 : La distribution spatiale de la température en surface.

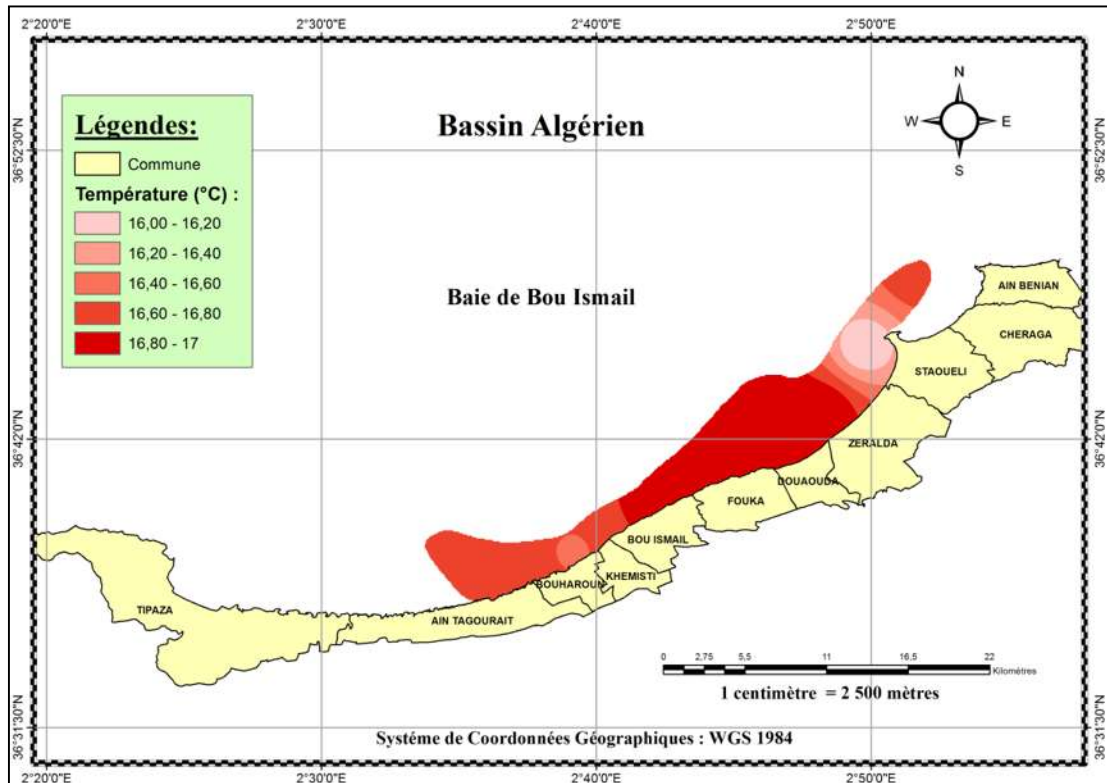


Figure IV. 2 : La distribution spatiale de la température au fond.

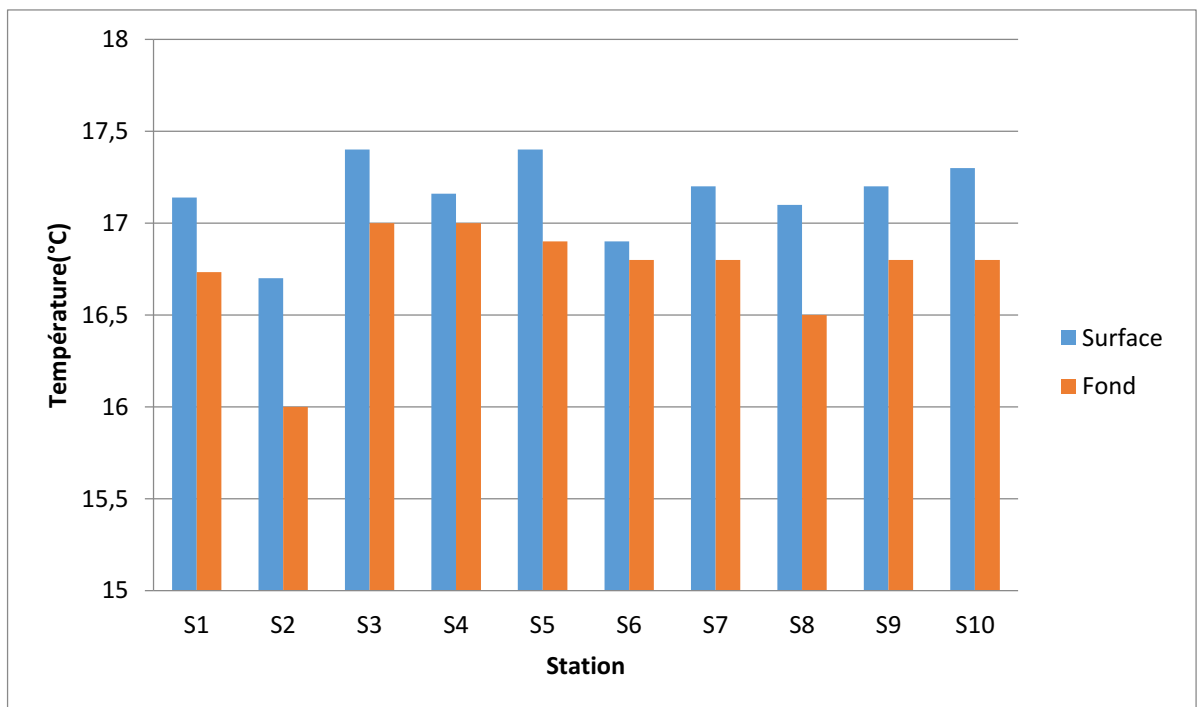


Figure IV. 3 : Variation de la température dans la baie de Bou Ismail.

Les valeurs de la température en surface sont plus supérieures que celles du fond dans toutes les stations de prélèvement, sa moyenne en surface est de 17,15°C, alors qu'au fond, elle est de 16,73°C, cela reflète une situation normale de la transmission de l'énergie solaire le long de la colonne d'eau lors de la période printanière.

En surface, la température maximale est 17,4 °C, enregistrée dans les stations S3 et S5 au niveau de l'embouchure d'oued Mazafran et en face de la commune de Bou Ismail. En ce qui concerne la température minimale, elle est à l'ordre de 16,7°C, enregistrée dans la S2 (au niveau des ilots de Sidi Fredj).

En profondeur, les valeurs thermiques varient dans une marge plus importante avec un écart-type de 0,29, Les plus grandes valeurs sont enregistrées dans les stations S3 et S4 avec une valeur de 17 °C, cela pourrait être dû aux différents rejets d'eaux industrielles et domestiques transportés par l'oued Mazafran ou déversés directement dans les eaux côtières ,qui sont caractérisés par des températures élevées.

Sa valeur minimale est 16 °C, enregistrée dans la station S2 qui est un peu à l'abri des pressions anthropiques par rapport aux autres stations.

4.1.2 Salinité

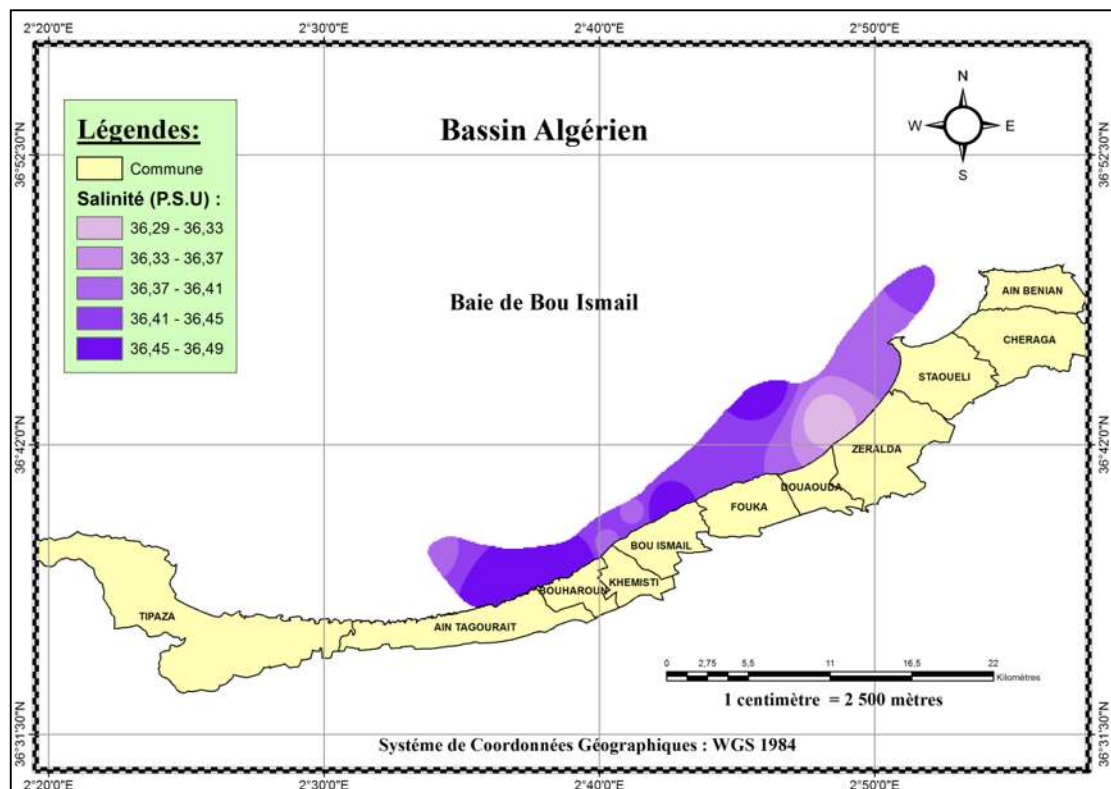


Figure IV. 4 : La distribution spatiale de la salinité en surface.

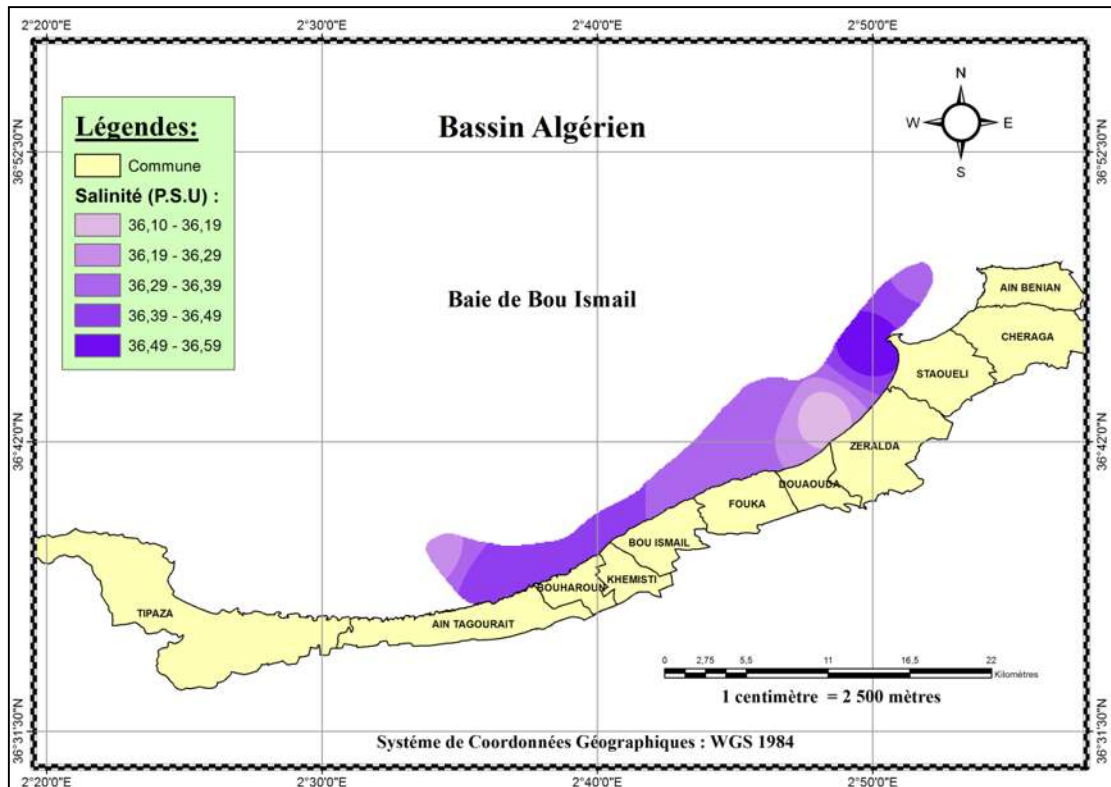


Figure IV. 5 : La distribution spatiale de la salinité au fond.

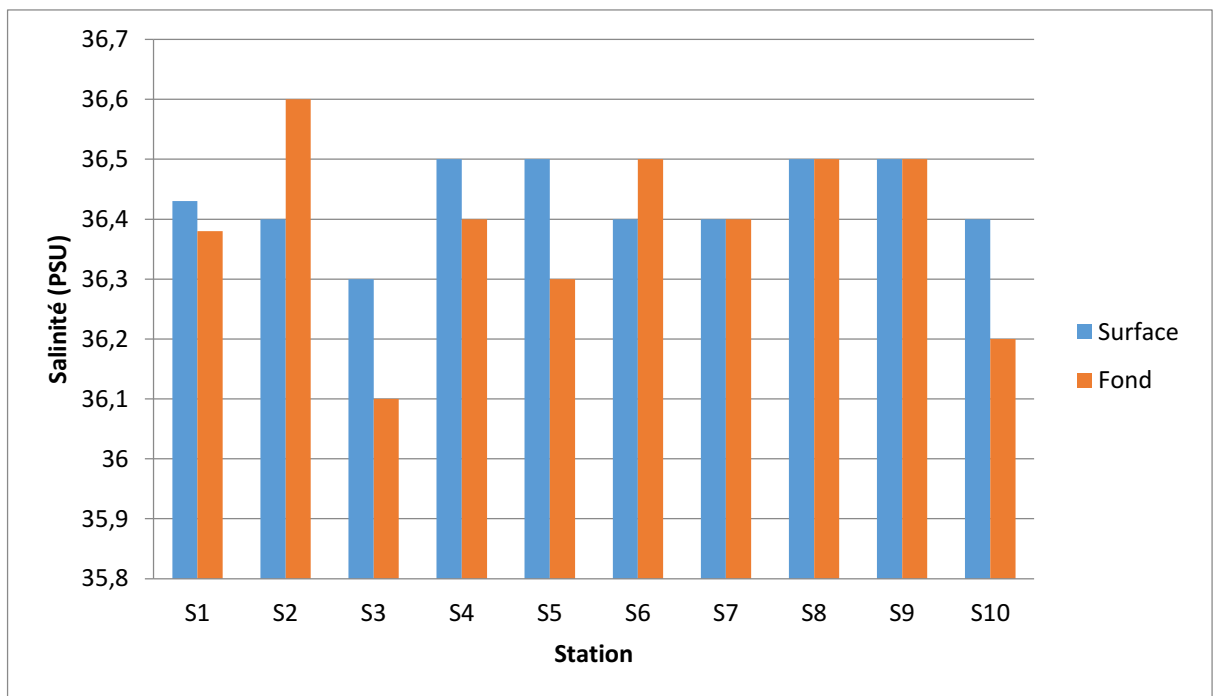


Figure IV. 6: Variation de la salinité dans la baie de Bou Ismail.

La valeur moyenne de salinité en surface est à l'ordre de 36,43 PSU avec un écart-type de 0,07, alors qu'en profondeur, elle est à l'ordre de 36,39 PSU avec un écart-type de 0,15.

En surface, sa valeur maximale est environ 36,5 PSU au niveau des stations S4, S5, S8, S9 (le large de l'est de la baie et, en face de la commune de Bou Ismail, Bouharoun et Ain Tagourait), cette valeur est due aux faibles apports d'eaux d'origine terrigène.

En profondeur, la salinité maximale est de 36,6 PSU, enregistrée dans la station S2 (îlots de Sidi Fredj).

La station S3 présente les valeurs minimales de salinité (36,3 PSU en surface et 36,1 PSU en profondeur). Ceci pourrait être expliqué par l'effet de dessalure d'eaux douces qui proviennent d'oued Mazafran.

Donc, l'effet anthropique sur la salinité est plus ressenti dans les eaux côtières de la baie de Bou Ismail qu'au large.

4.1.3 pH

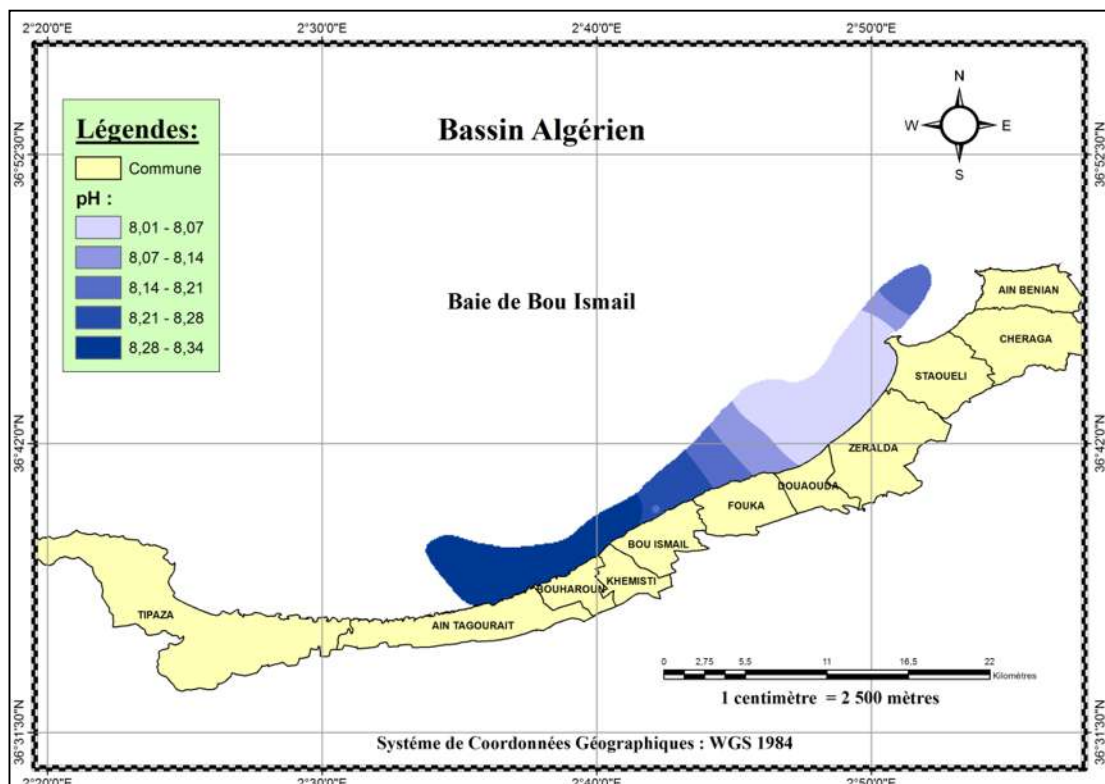


Figure IV. 7: Distribution spatiale du pH en surface.

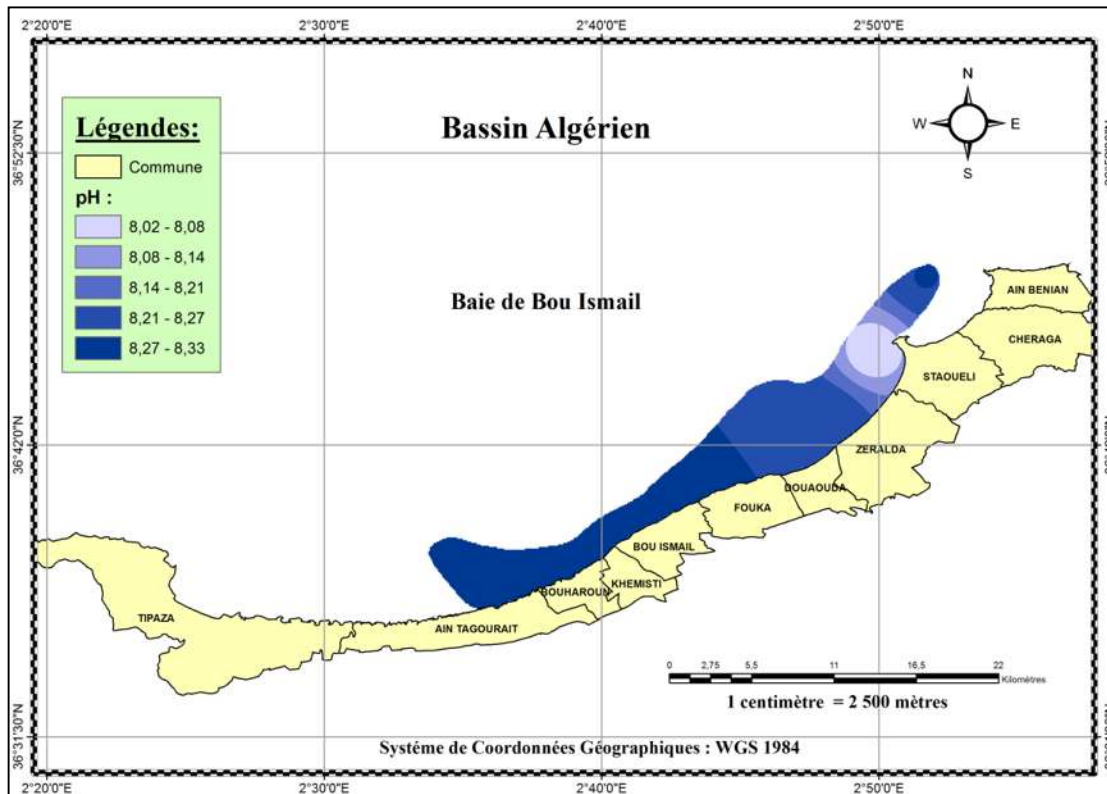


Figure IV. 8: Distribution spatiale du pH au fond.

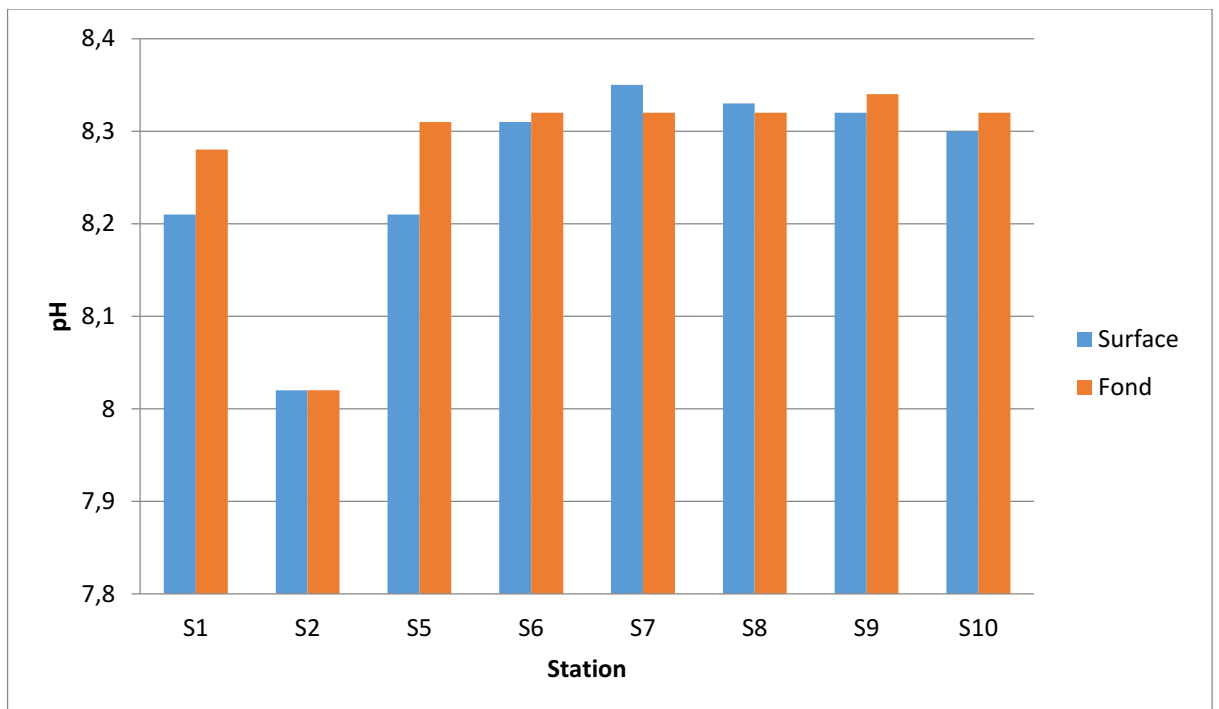


Figure IV. 9 : Variation du pH dans la baie de Bou Ismail.

En surface, La valeur moyenne du pH mesurée avoisine les 8,26 avec un écart-type de 0,11. Le minimum est observé au niveau de la S2 (ilots de Sidi Fredj), il est de l'ordre de 8,02 ; alors que le maximum est enregistré au niveau de la station S7 (dans les eaux côtières de la commune de Khemisti) avec une valeur de 8,35.

En profondeur, La valeur moyenne du pH mesurée est de 8,28 avec un écart-type de 0,11. Le minimum est observé au niveau de la S2, il est de l'ordre de 8,02 ; alors que le maximum est enregistré au niveau de la station S9 avec une valeur de 8,34.

4.1.4 Matière en Suspension (MES)

La variation de la concentration de la MES diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présente les valeurs moyennes et extrêmes de la matière en suspension dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 2: Les valeurs moyennes et extrêmes de la matière en suspension dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface (mg/l)	Fond (mg/l)
Moyenne	51,66	40,89
Ecart type	18,37	21,87
Max	65,3	62,3
Min	3,7	5

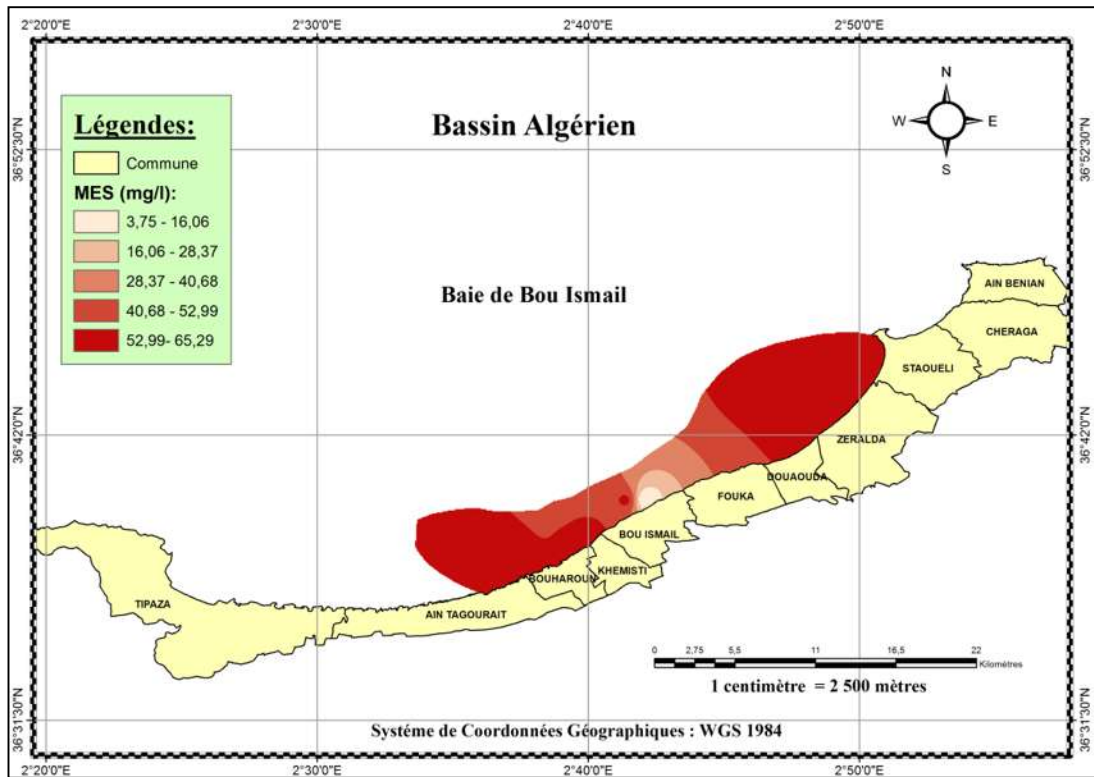


Figure IV. 10 : Distribution spatiale de la concentration de la MES en surface.

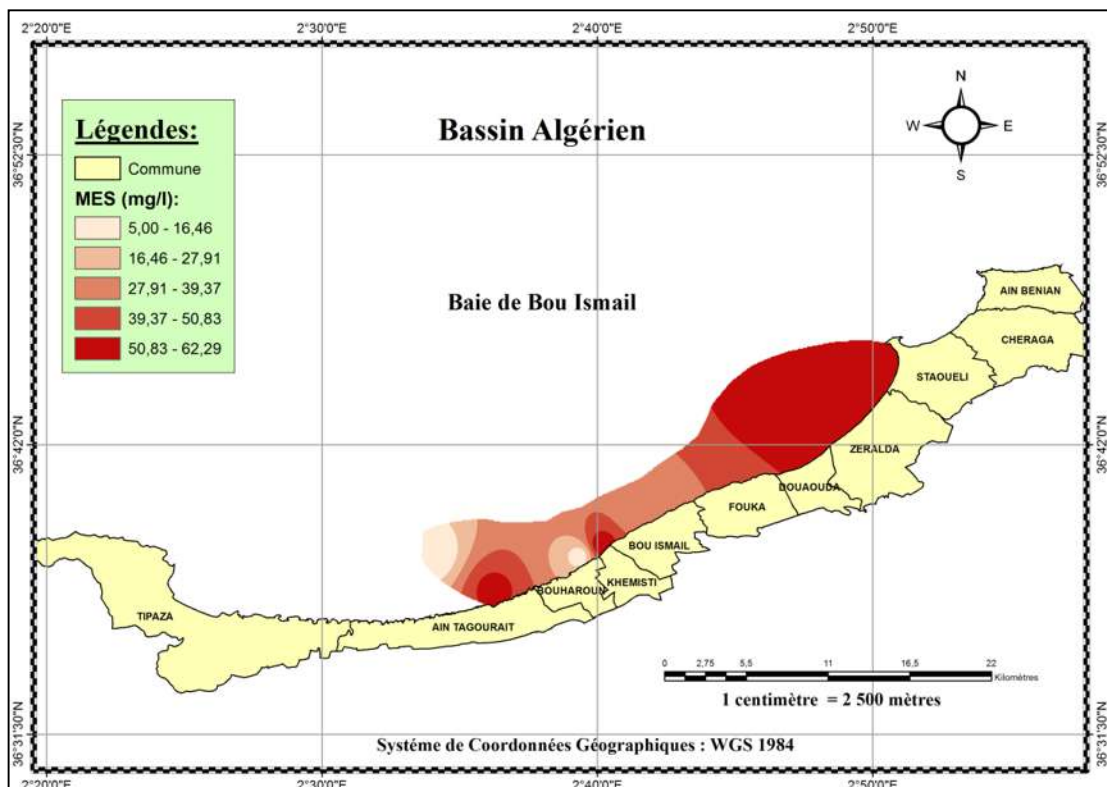


Figure IV. 11: Distribution spatiale de la concentration de la MES au fond.

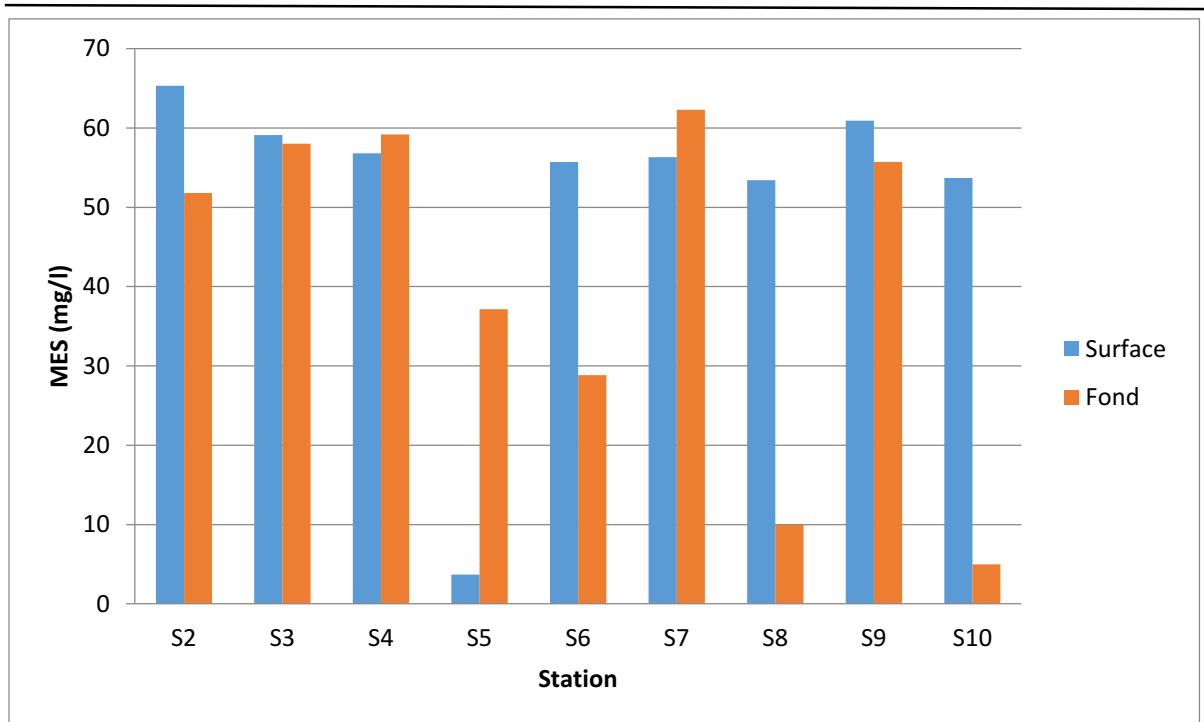


Figure IV. 12: Variation de la concentration de la MES dans la baie de Bou Ismail.

En surface, elle présente une moyenne de 51,66 mg/l et un écart type de 18,37, ses teneurs sont comprises entre un maximum de 65,3 mg/l dans la station S2 (les îlots de Sidi Fredj) et un minimum de 3,7 mg/l dans la station S5 (dans les eaux côtières de la commune de Bou Ismail), ce dernier pourrait être dû à une sédimentation rapide de la MES à cause de la faible profondeur.

Au fond, la concentration de la MES varie dans une marge plus grande que celle de la surface avec un écart type de 21,87 mg/l. Sa moyenne avoisine les 40,89 mg/l, ses valeurs sont comprises entre un maximum de 62,3 mg/l dans la station S7 (en face de la commune de Khemisti) et un minimum de 5mg/l dans la station S10 (en face de la commune de Ain Tagourait).

4.1.5 Chlorophylle « a »

La variation de la concentration de la chlorophylle diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présent les valeurs moyennes et extrêmes de la chlorophylle dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 3 : Les valeurs moyennes et extrêmes de la chlorophylle dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface (µg/l)	Fond (µg/l)
Moyenne	0,22	0,37
Ecart type	0,08	0,11
Max	0,34	0,52
Min	0,09	0,19

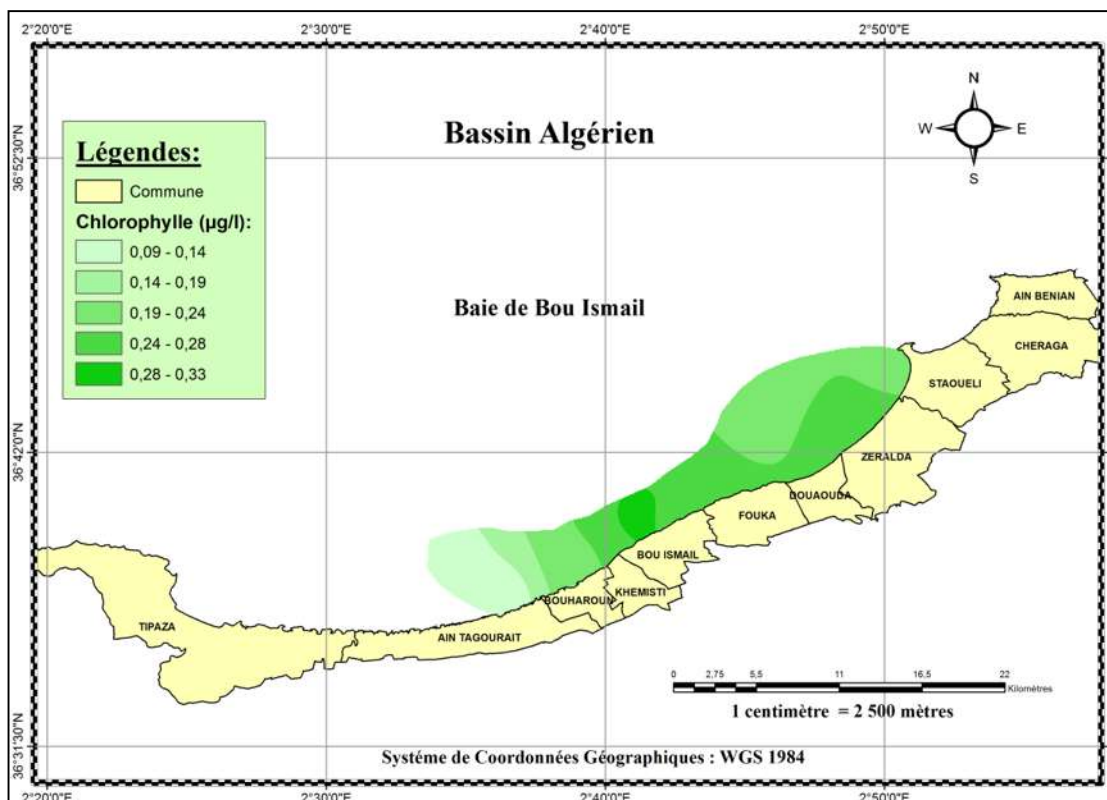


Figure IV. 13: Distribution spatiale de la concentration de la chlorophylle en surface.

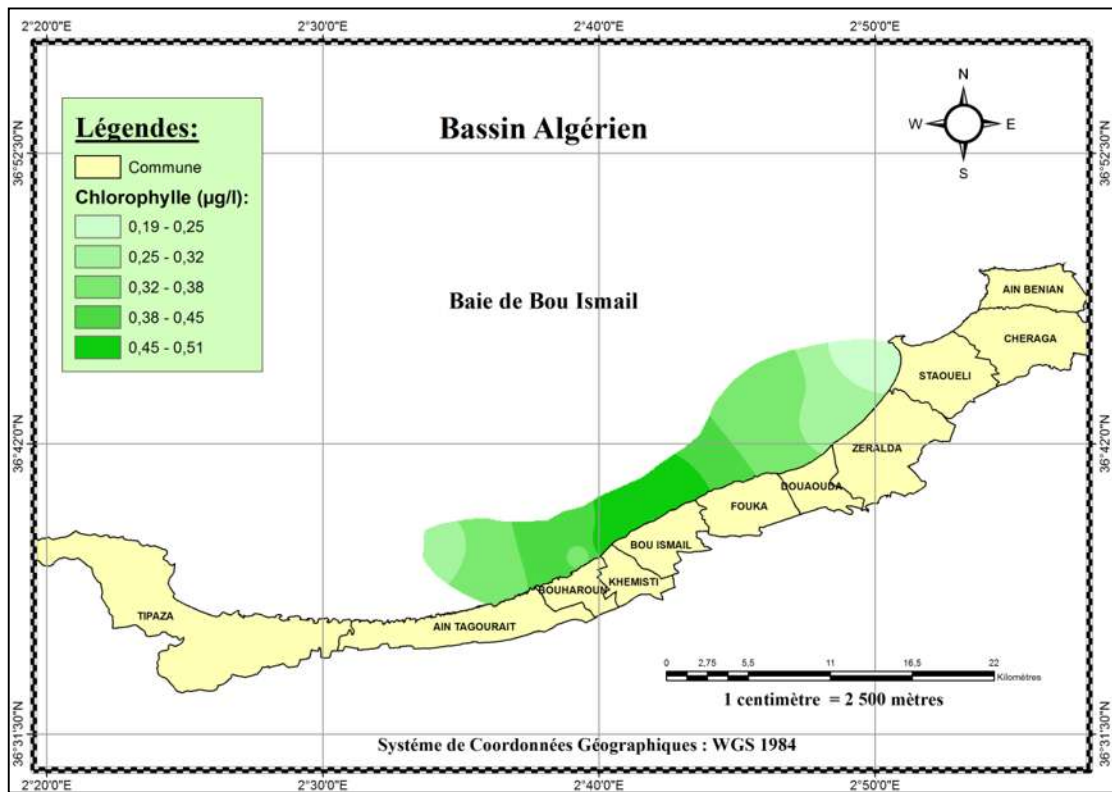


Figure IV. 14: Distribution spatiale de la concentration de la chlorophylle au fond.

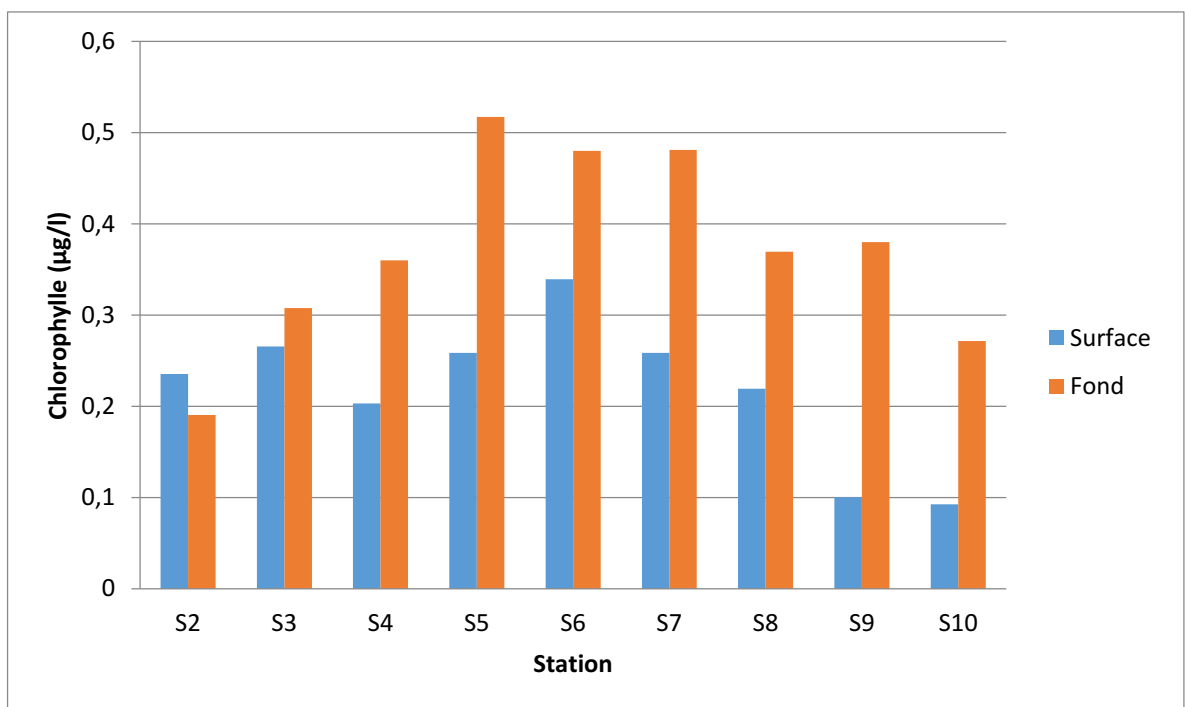


Figure IV. 15 : Variation de la concentration de la chlorophylle dans la baie de Bou Ismail.

En surface, les valeurs de la chlorophylle présentent des concentrations comprises entre 0,09 µg/l dans la station S10 (au large en face de la commune de Ain Tagourait) et 0,34 µg/l au niveau de la station S6 (en face de la commune de Bou Ismail). Ces grandes teneurs pourraient être dues à l'enrichissement de la zone par des apports anthropiques riches en sels nutritifs ou/et une lente consommation de la biomasse phytoplanctonique par le zooplancton.

Au fond, les teneurs de la chlorophylle varient entre un minimum de 0,19 µg/l au niveau de la station S2 et un maximum de 0,52 µg/l au niveau de la station S5, avec une moyenne de 0,37 µg/l et un écart type de 0,11 µg/l.

4.1.6 Sels nutritifs

4.1.6.1 Les Nitrates

La variation de la concentration des nitrates diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présente les valeurs moyennes et extrêmes des nitrates dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 4: Les valeurs moyennes et extrêmes de NO₃ dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface (µmol/l)	Fond (µmol/l)
Moyenne	0,33	0,38
Ecart type	0,09	0,13
Max	0,47	0,57
Min	0,18	0,17

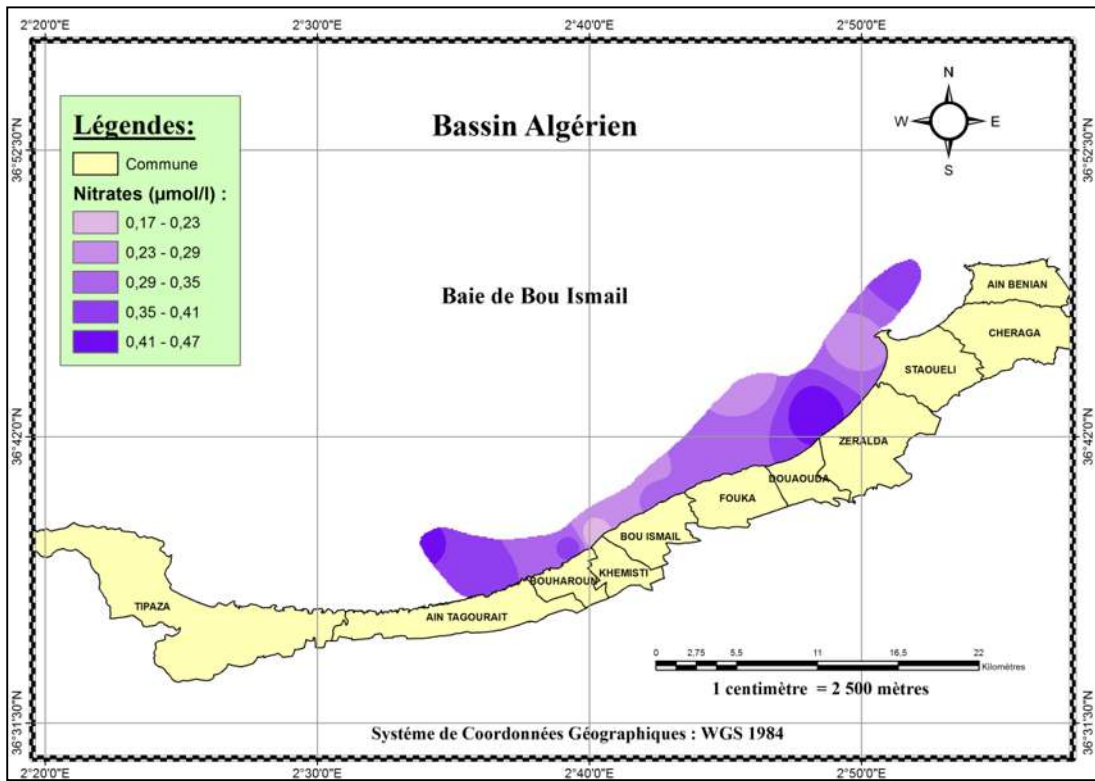


Figure IV. 16: Distribution spatiale de la concentration des Nitrates en surface.

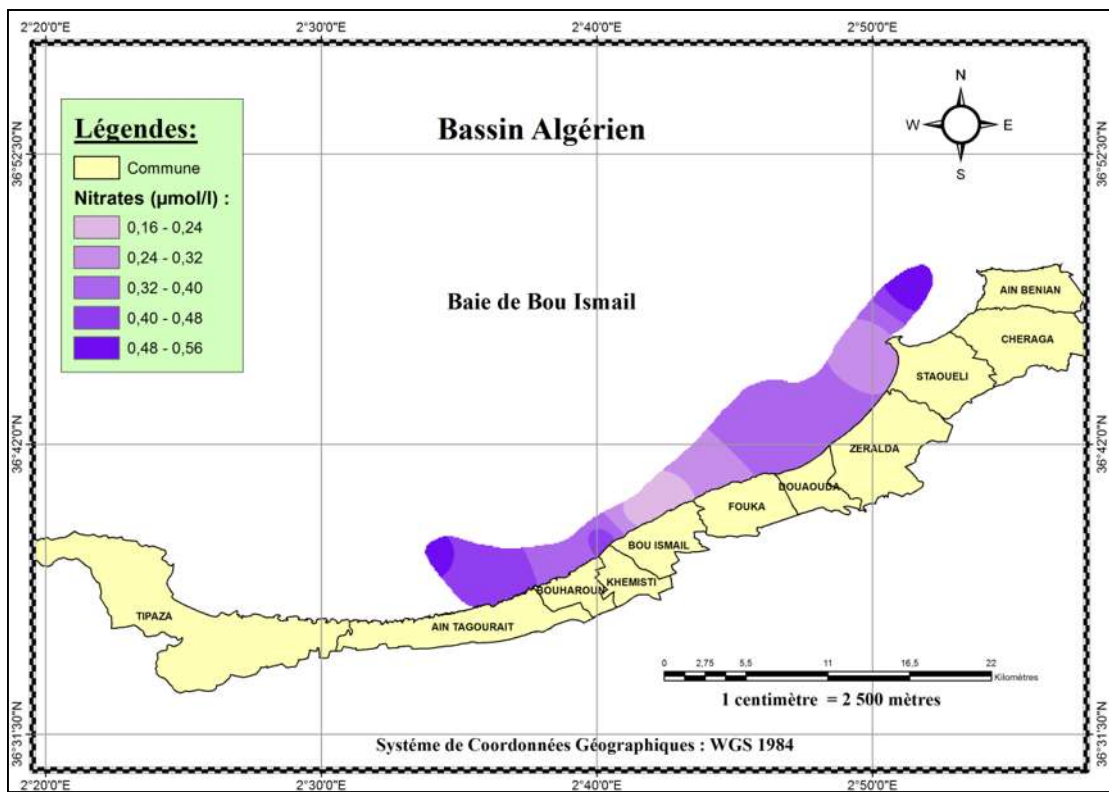


Figure IV. 17: Distribution spatiale de la concentration des Nitrates au fond.

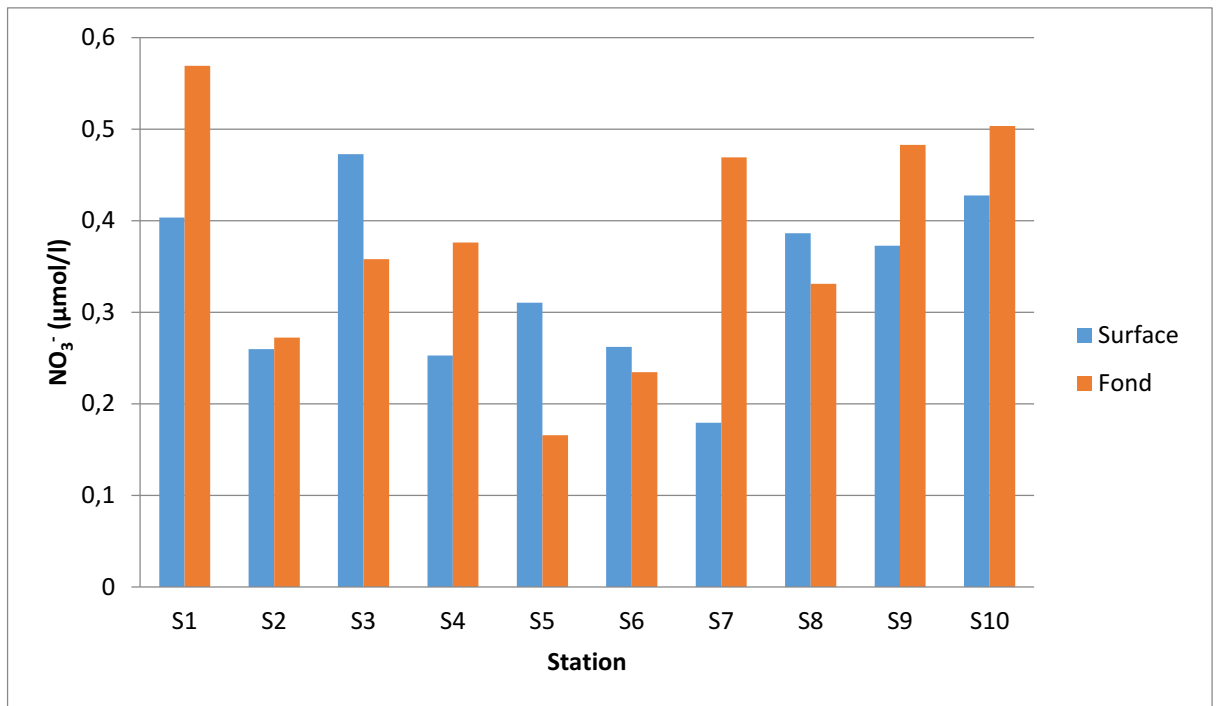


Figure IV. 18: Variation de la concentration des nitrates dans la baie de Bou Ismail.

En ce qui concerne les nitrates, les valeurs moyennes en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 0,33 $\mu\text{mol/l}$ et 0,38 $\mu\text{mol/l}$ avec des écarts-types de 0,09 et 0,13.

En surface, les concentrations des nitrates sont comprises entre 0,18 $\mu\text{mol/l}$ (S7) et 0,47 $\mu\text{mol/l}$ (S3).

En profondeur, la plus faible concentration est dans la station S5 (0,17 $\mu\text{mol/l}$), tandis que la plus grande est dans la station S1 (0,57 $\mu\text{mol/l}$).

4.1.6.2 Les Nitrites

La variation de la concentration des nitrites diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présente les valeurs moyennes et extrêmes des nitrites dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 5: Les valeurs moyennes et extrêmes de NO_2 dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface ($\mu\text{mol/l}$)	Fond ($\mu\text{mol/l}$)
Moyenne	0,069	0,074
Ecart type	0,056	0,057
Max	0,17	0,19
Min	0,02	0,03

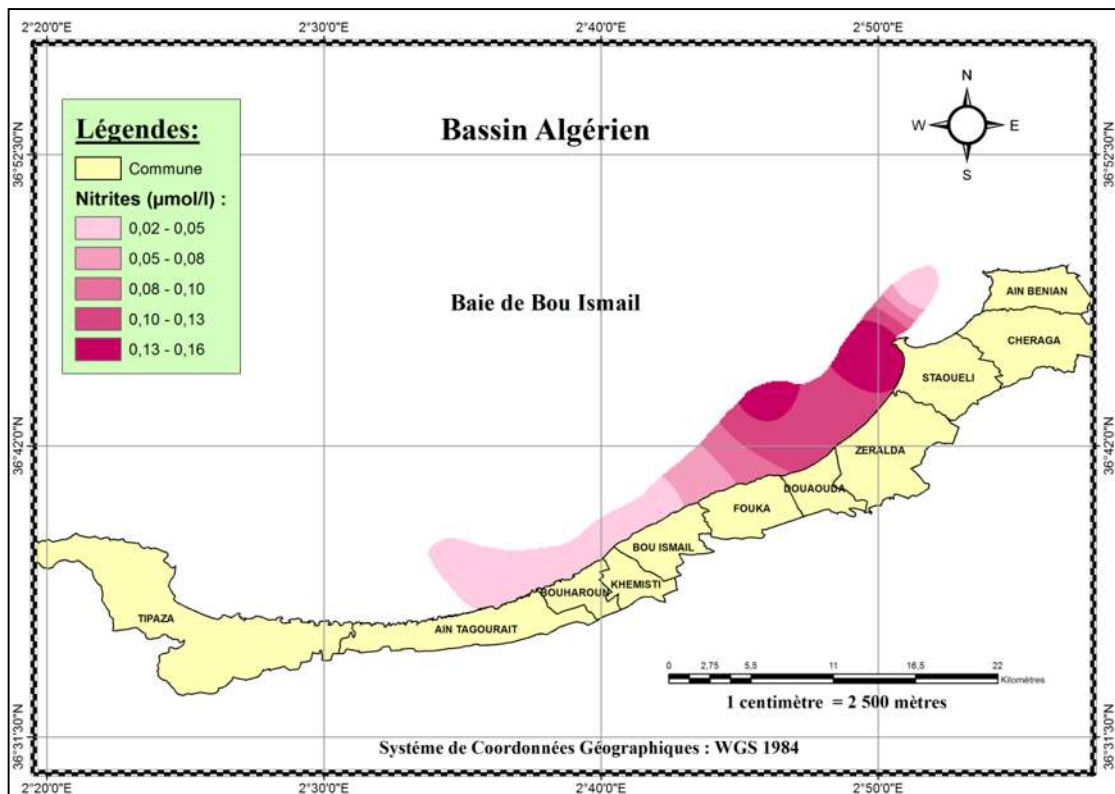


Figure IV. 19: Distribution spatiale de la concentration des nitrites en surface.

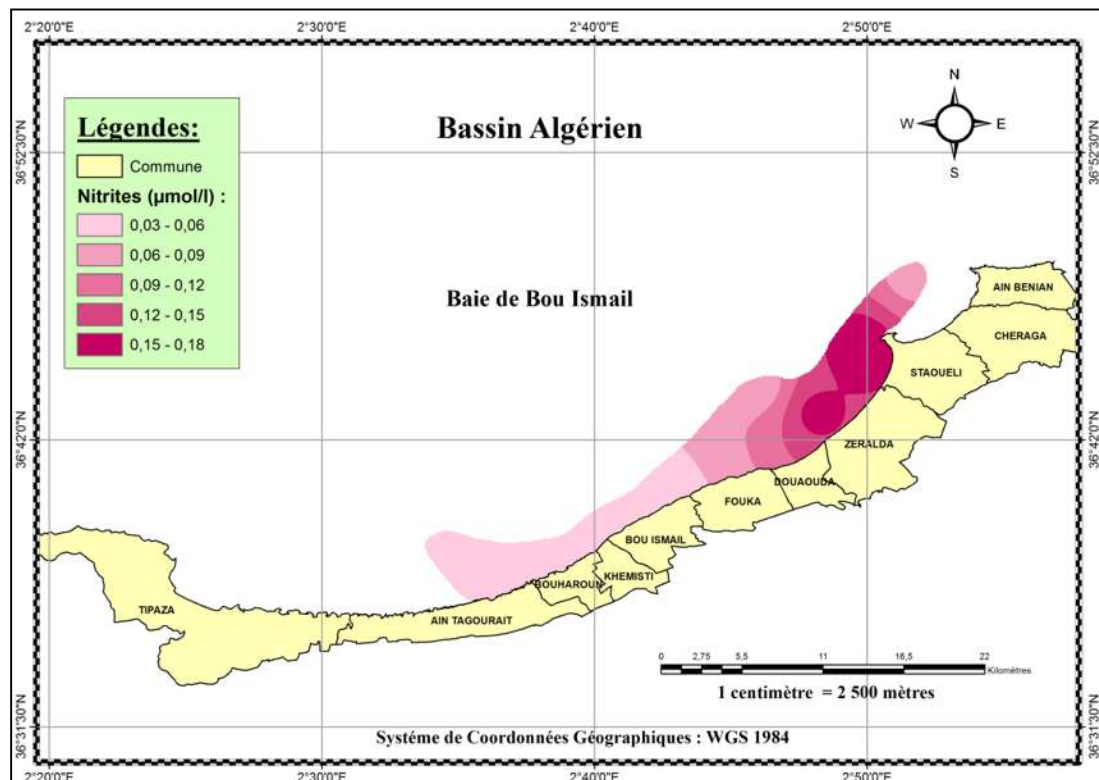


Figure IV. 20 : Distribution spatiale de la concentration des nitrites au fond.

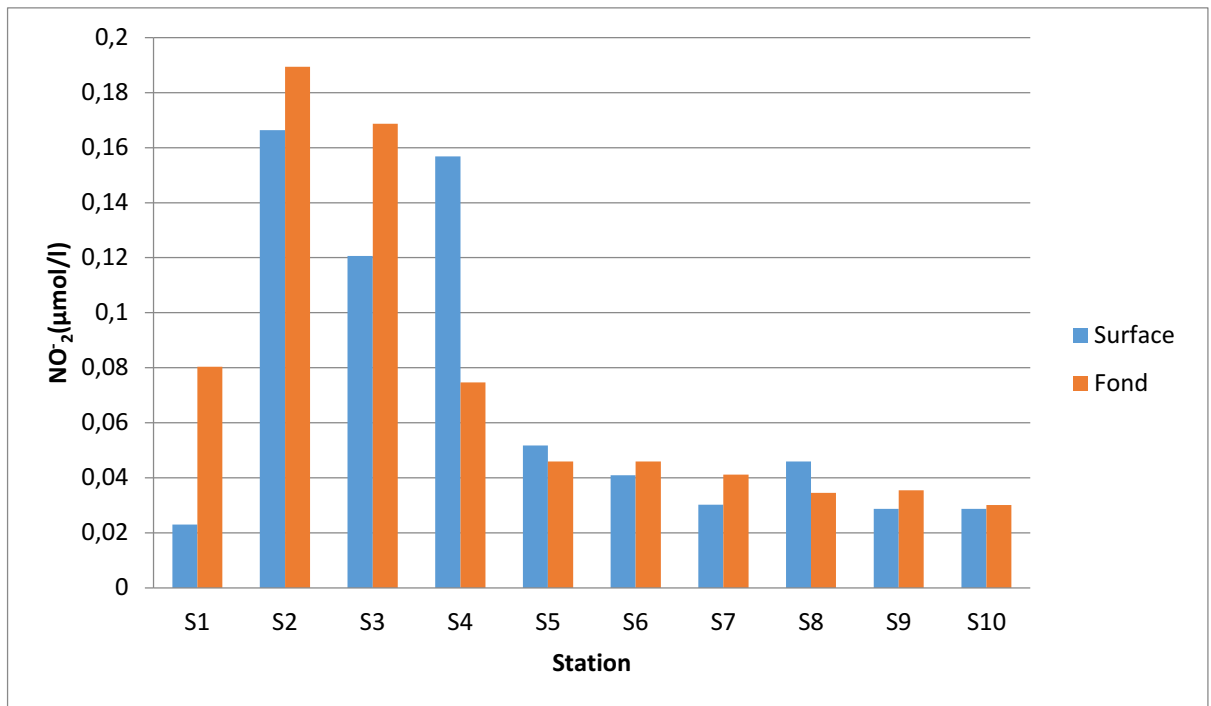


Figure IV. 21 : Variation spatiale de la concentration de nitrites dans la baie de Bou Ismail.

Les concentrations des nitrites sont très faibles en surface et en profondeur, avec des moyennes qui sont respectivement de l'ordre de $0,069 \mu\text{mol/l}$ et de $0,074 \mu\text{mol/l}$ et des écart-types, pratiquement égaux, de l'ordre de $0,056$ et $0,057$. Le mécanisme qui pourrait expliquer ces faibles quantités c'est que le nitrite est un élément instable en mer ; il est en phase intermédiaire entre l'ammonium et le nitrate.

Les plus grandes valeurs sont enregistrées au niveau de la station S2 avec des valeurs de l'ordre de $0,17 \mu\text{mol/l}$ en surface et de $0,19 \mu\text{mol/l}$ en profondeur.

Les valeurs les plus faibles sont comprises entre $0,02 \mu\text{mol/l}$ en surface et $0,03 \mu\text{mol/l}$ en profondeur.

4.1.6.3 Les orthophosphates

La variation de la concentration des orthophosphates diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présente les valeurs moyennes et extrêmes de la concentration des orthophosphates dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 6: Les valeurs moyennes et extrêmes de PO_4^{3-} dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface ($\mu\text{mol/l}$)	Fond ($\mu\text{mol/l}$)
Moyenne	0,36	0,32
Ecart type	0,11	0,09
Max	0,60	0,41
Min	0,20	0,11

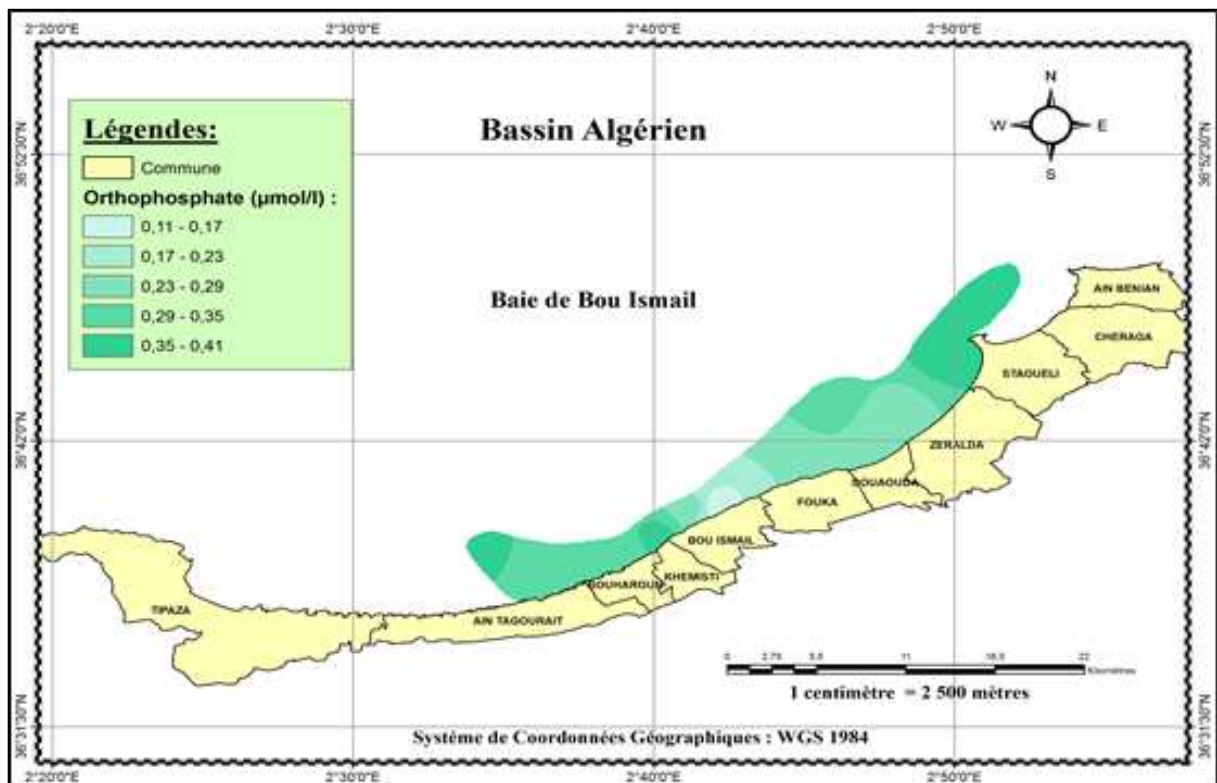


Figure IV. 22: Distribution spatiale de la concentration des orthophosphates en surface.

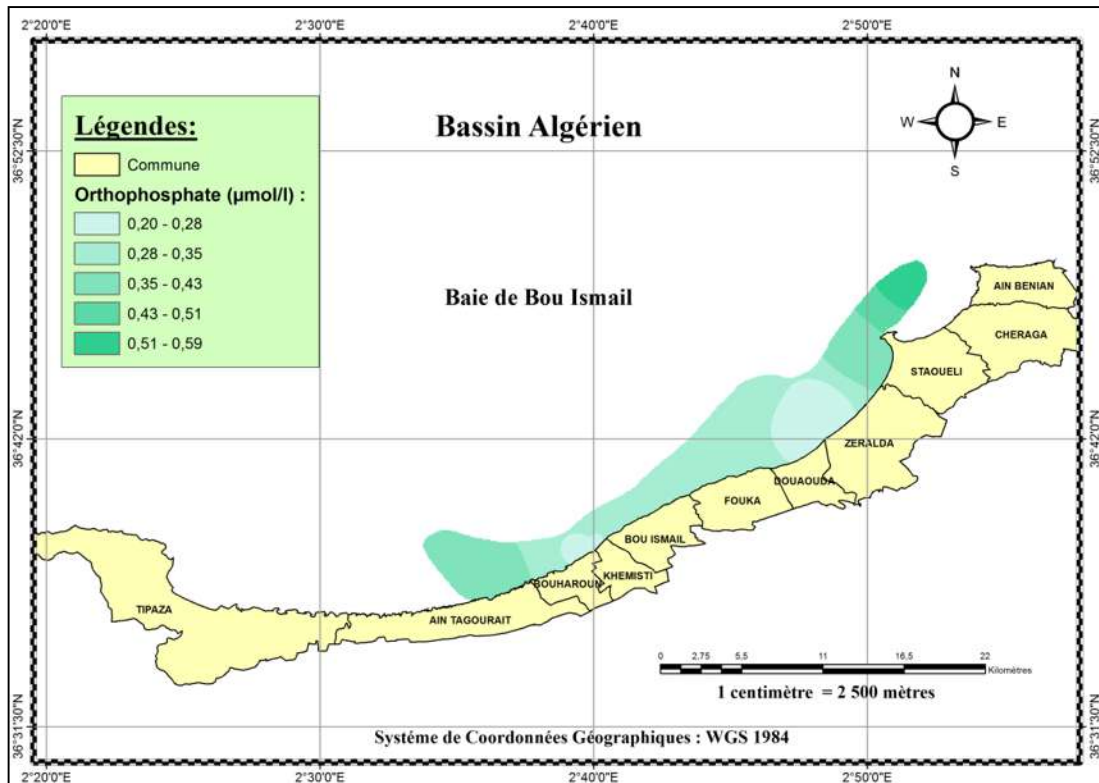


Figure IV. 23: Distribution spatiale de la concentration des orthophosphates au fond.

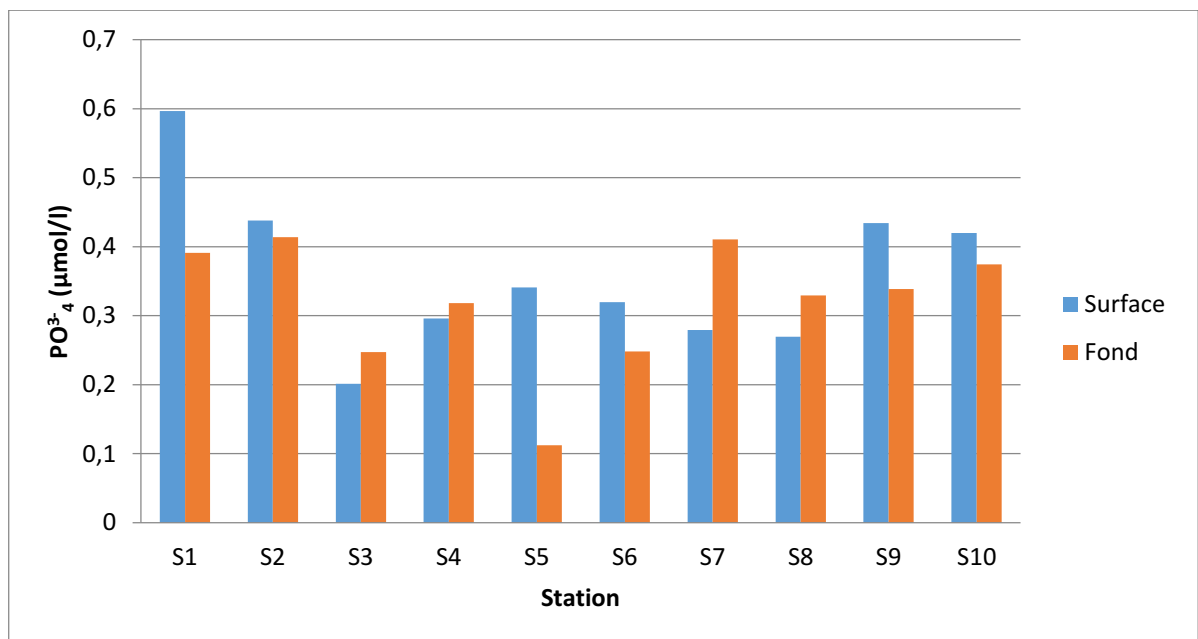


Figure IV. 24: Variation de la concentration des orthophosphates dans la baie de Bou Ismail.

Les concentrations moyennes des orthophosphates, en surface qu'en profondeur, sont respectivement de l'ordre de $0,36 \mu\text{mol/l}$ et $0,32 \mu\text{mol/l}$ avec des écarts types variant entre 0,11 et 0,09.

En surface, les valeurs de la concentration sont comprises entre 0,20 $\mu\text{mol/l}$ et 0,60 $\mu\text{mol/l}$. En profondeur, les valeurs de la concentration s'étalent entre 0,11 $\mu\text{mol/l}$ et 0,41 $\mu\text{mol/l}$.

Nous remarquons que tous les résultats obtenus varient entre [0 et 1 $\mu\text{mol/l}$], cet intervalle est caractérisé les eaux côtières non polluées.

4.1.6.4 Les silicates

La variation de la concentration des silicates diffère d'une station à une autre, en surface qu'au fond, le tableau ci-après présente les valeurs moyennes et extrêmes des silicates dans la baie de Bou Ismail.

Tableau IV. 7: Les valeurs moyennes et extrêmes de SiO₄ dans la baie de Bou Ismail.

Paramètre statistique	Surface	Fond
Moyenne	0,62	1,14
Ecart type	0,42	0,84
Max	1,30	2,83
Min	0,09	0,10

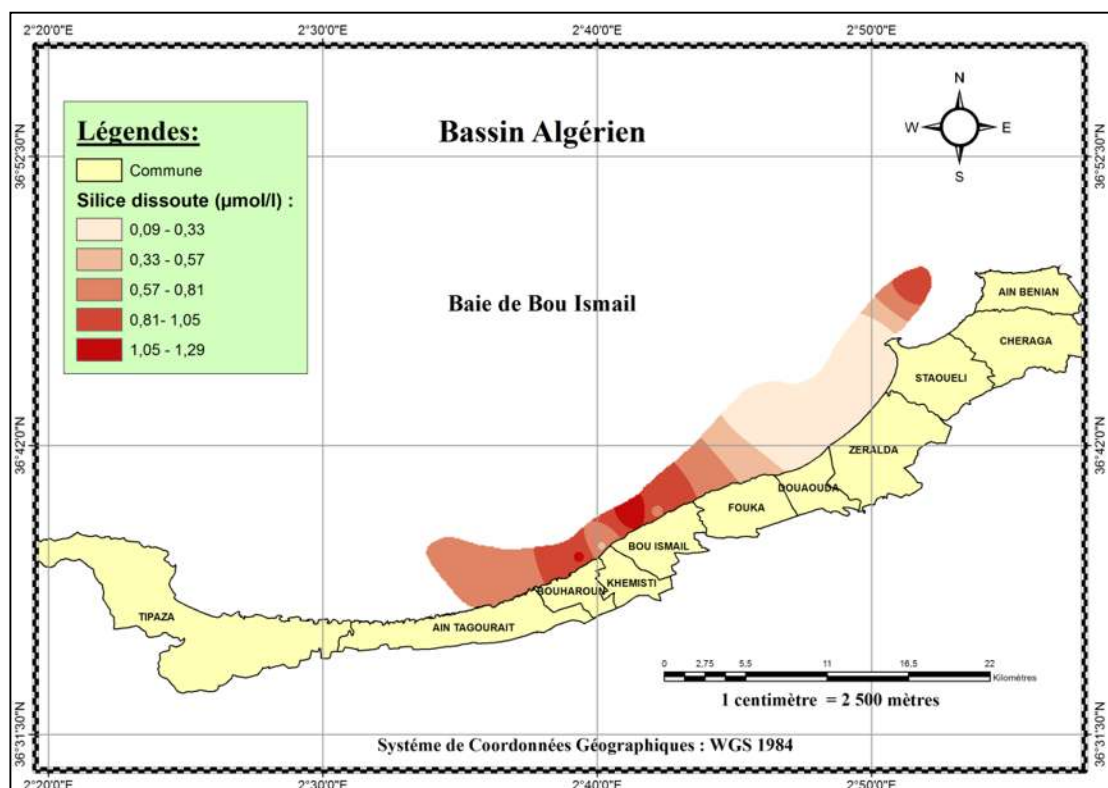


Figure IV. 25: Distribution spatiale de la concentration des silicates en surface.

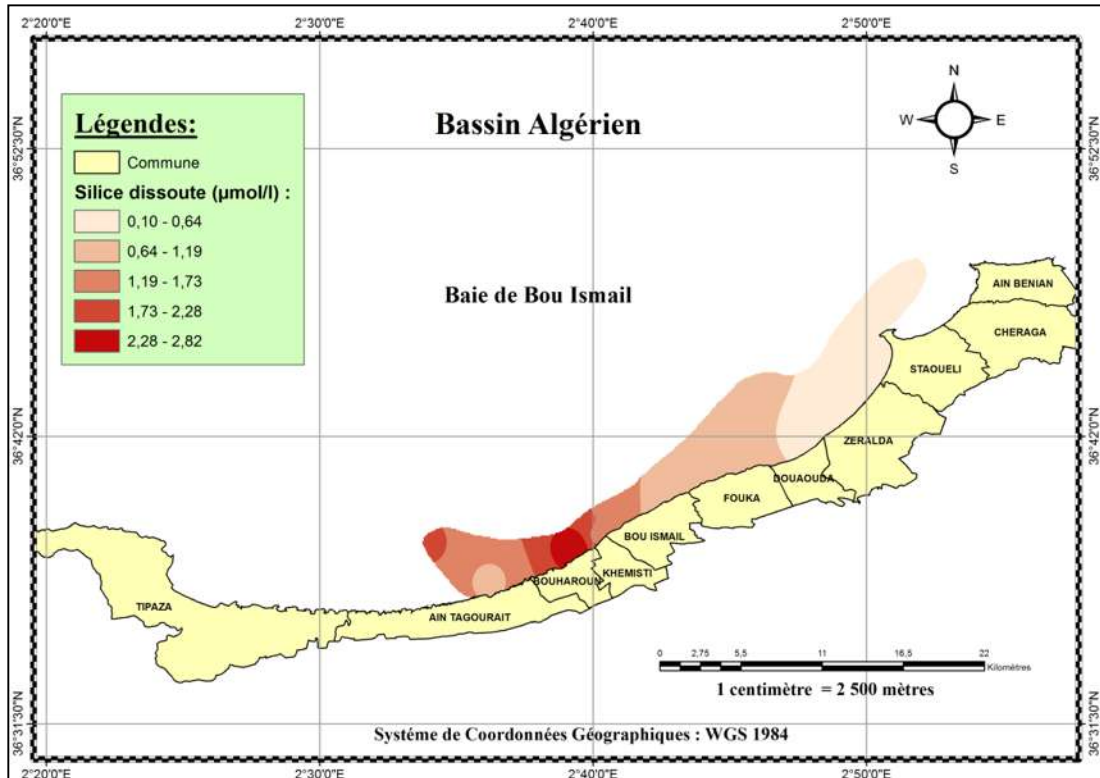


Figure IV. 26: Distribution spatiale de la concentration des silicates au fond.

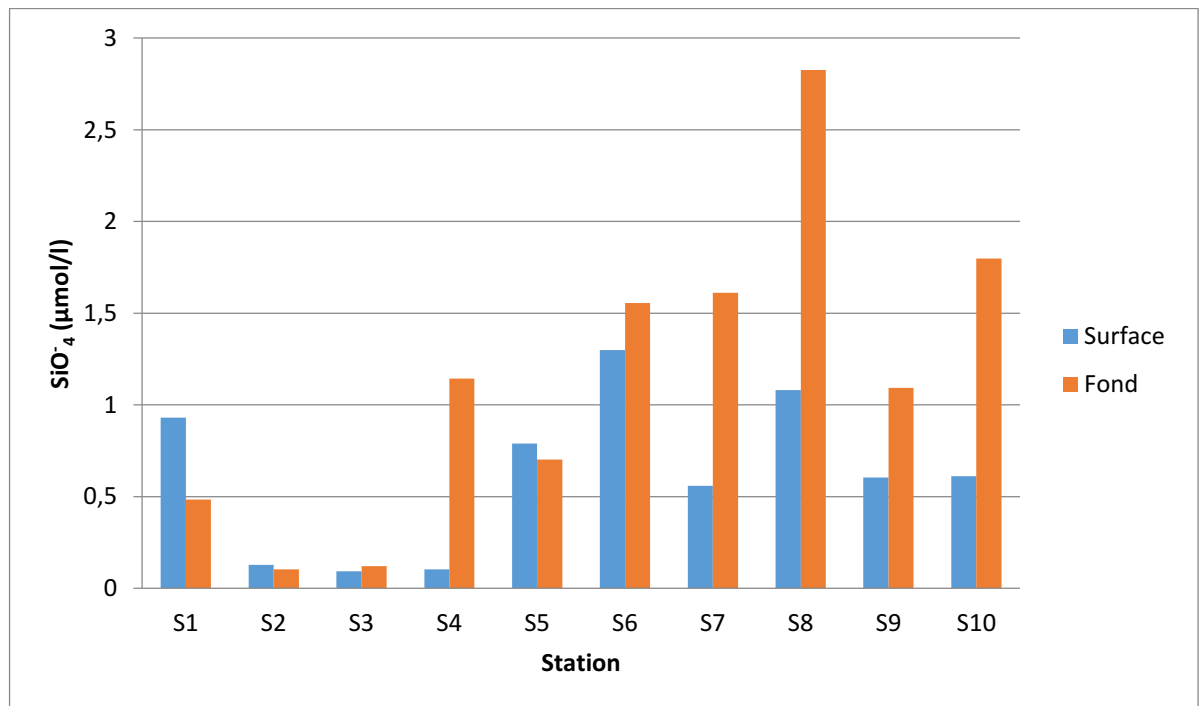


Figure IV. 27: Variation de la concentration des silicates dans la baie de Bou Ismail.

En surface, les concentrations des silicates varient entre 0,09 $\mu\text{mol/l}$ (S3) et 1,30 $\mu\text{mol/l}$ (S6). Alors que la concentration moyenne avoisine les 0,62 $\mu\text{mol/l}$, avec un écart-type de 0,42.

En profondeur, Les concentrations s'étalent entre 0,10 $\mu\text{mol/l}$ (S2) et 2,83 $\mu\text{mol/l}$ (S8). Cependant, la concentration moyenne est de l'ordre de 1,14 $\mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de 0,84.

4.1.7 Diagramme T-S

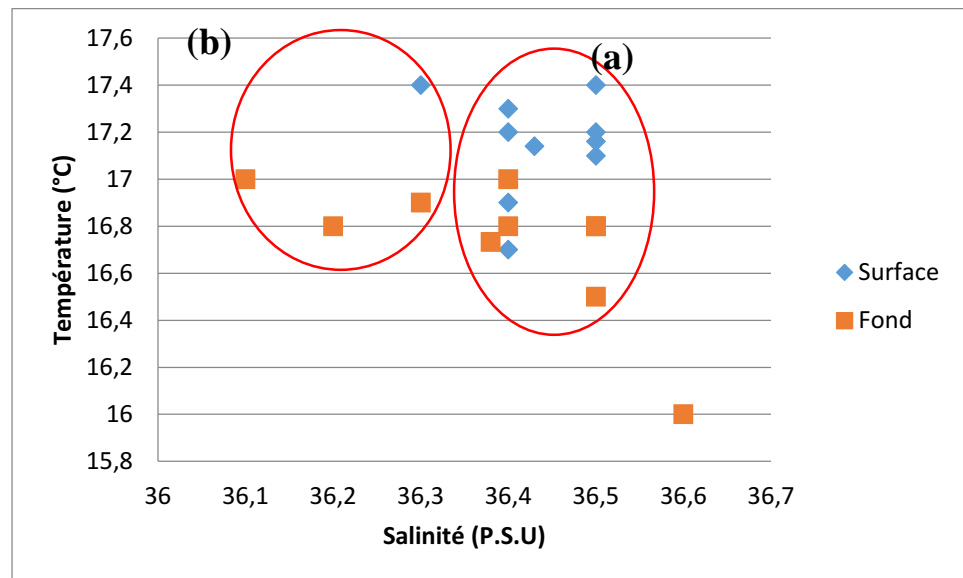


Figure IV. 28 : Le diagramme température-salinité.

Le diagramme température-salinité permet l'identification des différentes masses d'eaux et permet d'examiner la structuration du milieu physique.

On distingue deux nuages de points regroupant les eaux de surface et du fond et un point atypique.

Le nuage (a) caractérise les eaux qui présentent les plus grandes valeurs de salinité (36,38 - 36,5 P.S.U) et des températures comprises entre 16,5 et 17,4 ; ces valeurs sont typiques de la période printanière.

Le nuage (b) caractérise les eaux qui présentent des valeurs de salinité comprises entre 36,1 et 36,3 P.S.U et des températures comprises entre 16,8 et 17,4 qui sont aussi typique de la période printanière.

Pour la valeur atypique qui a été enregistrée au niveau de la station S2 , elle contient la plus grande valeur de salinité (elle est au large et la plus petite valeur de température (eau profonde).

4.1.8 Diagramme N-P

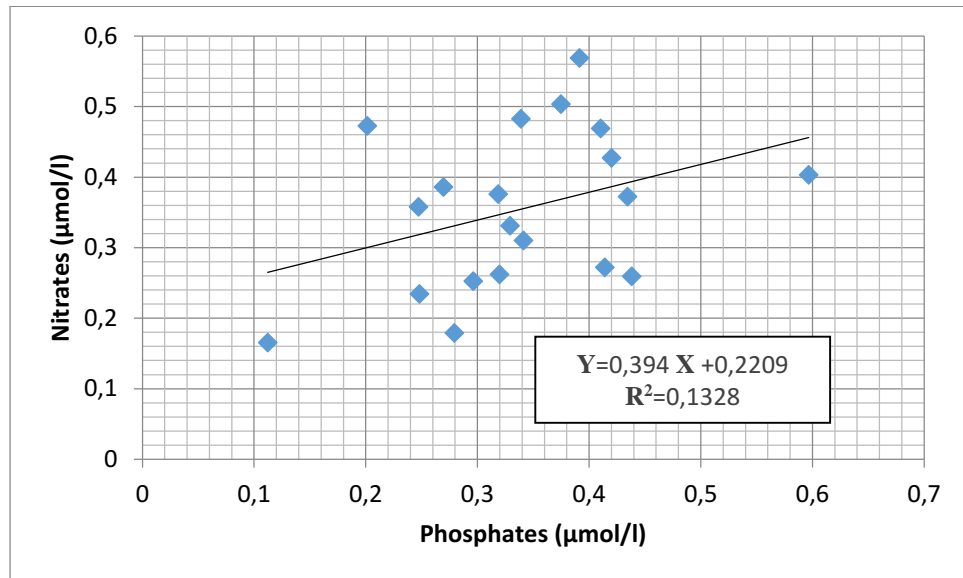


Figure IV. 29 : Le diagramme N-P.

Le diagramme N-P de la baie de Bou Ismail indique une distribution dispersée de ces éléments, avec une corrélation très faible ($R^2 = 0,133$). La valeur du rapport N/P est de 0,39. Elle est largement inférieure à celle généralement admise pour les eaux méditerranéennes (20-27) et pour l'océan mondial 16 (Redfield et al., 1963).

Ce résultat indique que le milieu est très perturbé par l'épuisement des nitrates (dû à l'assimilation phytoplanctonique) et/ou par l'abondance excessive des phosphates (pollution anthropique).

4.2 Etude comparative des paramètres mesurés au niveau de la baie de Bou Ismail entre l'année 2012 et 2017

L'une des méthodes qui pourrait nous permettre d'avoir une évaluation significative sur le degré de pollution de l'eau de mer ; c'est de comparer ses paramètres physico-chimiques ; qui sont susceptibles d'être affectés par tout type de matière anthropique ; sur un plan spatiotemporel.

Pour ce faire, nous avons tenu en compte plusieurs critères :

- Les stations de prélèvement comparées doivent avoir les mêmes coordonnées géographiques.
- Le prélèvement des échantillons doit être effectué dans la même période (période printanière).

- Les mêmes protocoles suivis pour la mesure et l'analyse des paramètres pour les deux périodes.

En fonction de la disponibilité des données, et suivant les critères suscités nous avons établi une étude comparative des paramètres physico-chimiques entre 2012 et 2017 au niveau de la station S3.

4.2.1 Station S3

4.2.1.1 Température

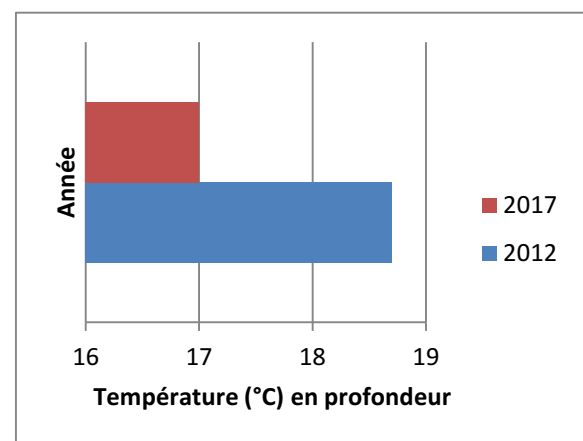
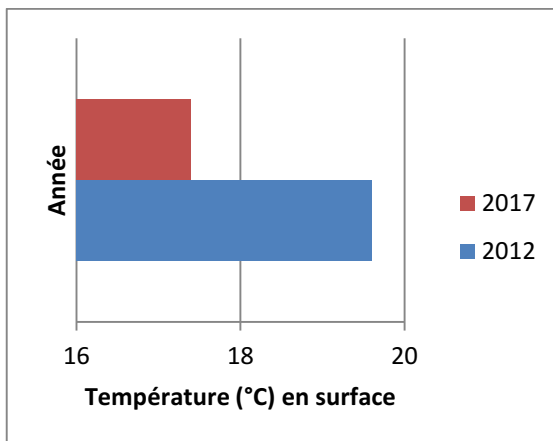


Figure IV. 30 : La température en surface. **Figure IV. 31** : La température en profondeur.

Les valeurs thermiques obtenues dans la Station S3 entre les années (2012 et 2017) diminuent soit en surface ou en profondeur. En surface, nous avons une valeur de 19,6°C en 2012 et 17,4 °C en 2017. En profondeur, nous avons une valeur de 18,7 °C en 2012 et 17°C en 2017.

Cette variation de la température pourrait être due à plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- La température des eaux **douces** issues de l'oued Mazafran.
- Quantitativement parlant, L'échange de la chaleur entre l'atmosphère et la surface d'eau de mer contrôle la température d'eau de mer ;sa contribution est plus importante que tous les autres facteurs.

4.2.1.2 Salinité

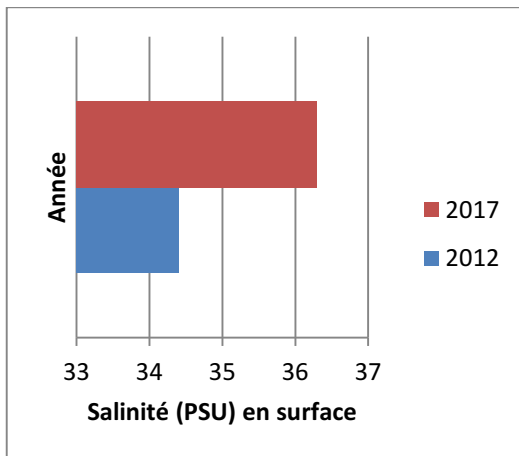


Figure IV. 32 : La salinité en surface.

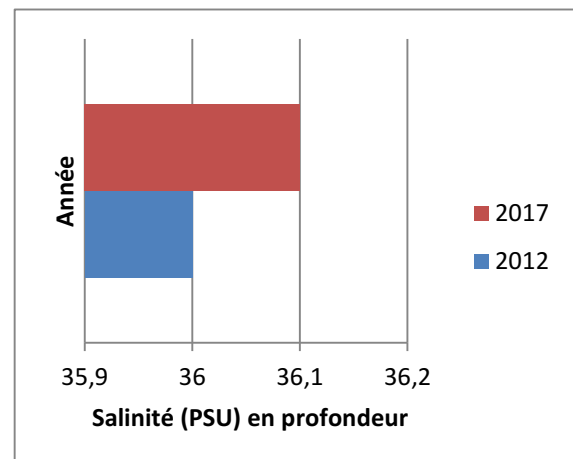


Figure IV. 33 : La salinité en profondeur.

Les valeurs de la salinité suivent la même variation soit au niveau la surface ou en profondeur :

- En surface, les valeurs sont de l'ordre de 34,4 PSU en 2012 et de 36,3 PSU en 2017.
- En profondeur, elle est de 36 PSU en 2012 et 36,1 PSU en 2017.

Le facteur qui pourrait expliquer cette variation est le changement des quantités d'eau douce déversées en mer (l'Oued de Mazafran et les eaux usées).

4.2.1.3 MES

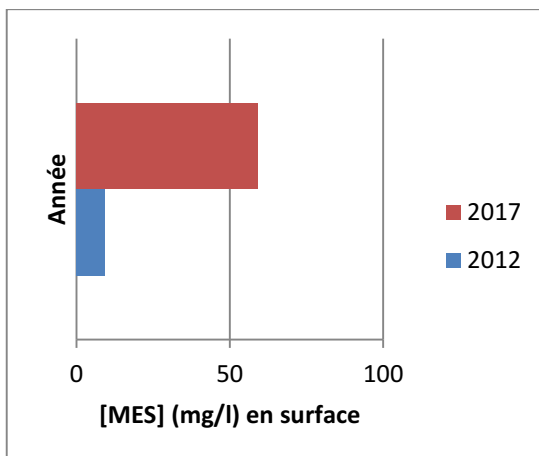


Figure IV. 34 : La MES en surface.

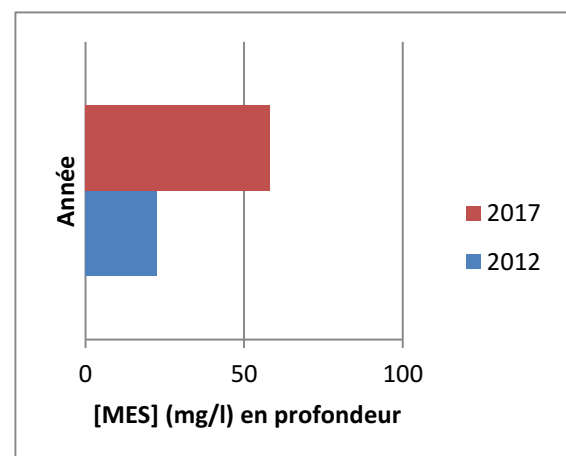


Figure IV. 35 : La MES en profondeur.

Les concentrations de la MES augmentent progressivement entre 2012 et 2017. En surface, elle est de 9,13 mg/l en 2012 puis elle augmente pour atteindre son maximum en 2017 avec une valeur de 59,1 mg/l. En profondeur, nous avons la même variation mais avec des concentrations différentes, elle est de 20,61 mg/l en 2012 puis elle augmente jusqu'au 58 mg/l en 2017.

Cette augmentation de la concentration pourrait être contrôlée par plusieurs facteurs anthropiques dont les plus étudiés sont:

- L'explosion de l'activité industrielle des établissements installés on-shore et qui jettent leurs rejets dans l'oued de Mazafran (qui déverse dans les eaux côtières) ou directement en mer sans aucun traitement.
- Les eaux usées qui sont hyper chargées de la MO particulaire.
- L'érosion côtière qui est considérée comme une source de la matière inorganique particulaire (grain de sable et autres débris particuliers).

4.2.1.4 Chlorophylle « a »

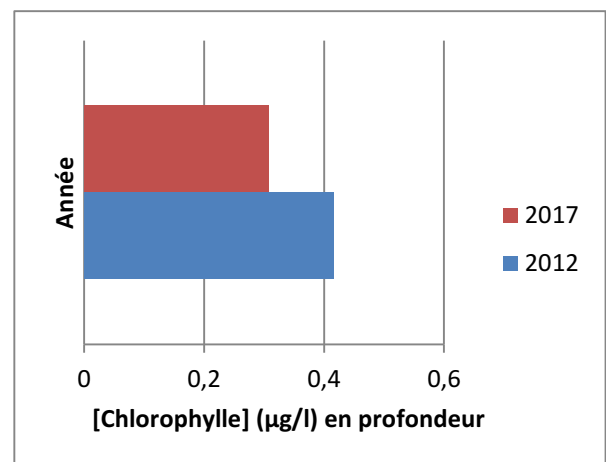
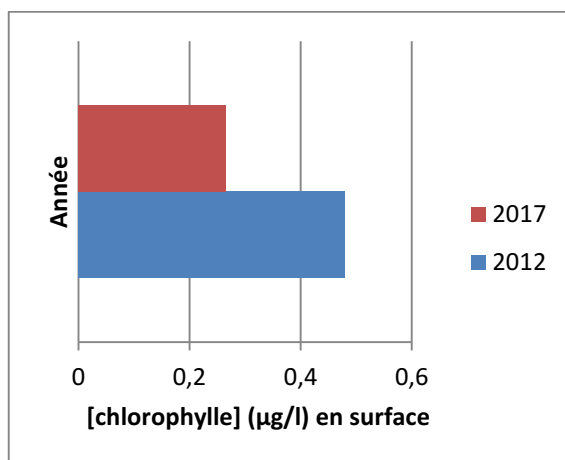


Figure IV. 36 : La chlorophylle en surface. **Figure IV. 37:** La chlorophylle en profondeur.

Les valeurs de la concentration de la chlorophylle varient comme suit :

- En surface, elle est de 0,48 µg/l en 2012 puis elle diminue jusqu'au 0,27 µg/l en 2017.
- En profondeur, elle est de 0,42 µg/l en 2012 puis elle diminue jusqu'au 0,31 µg/l en 2017.

Ces valeurs de la chlorophylle montrent qu'il y a un rapport inversement proportionnel entre la concentration de la chlorophylle et celle de La MES ; cette dernière est la cause principale de la turbidité qui inhibe à son tour l'activité photosynthétique par l'atténuation de la lumière et du coup diminue la concentration de la chlorophylle.

4.2.1.5 Nitrites

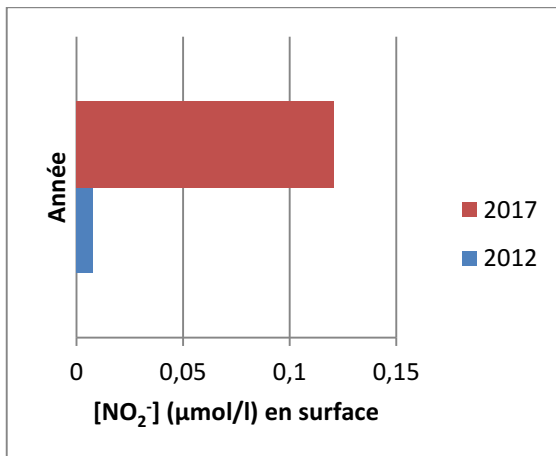


Figure IV. 38: Les nitrites en surface

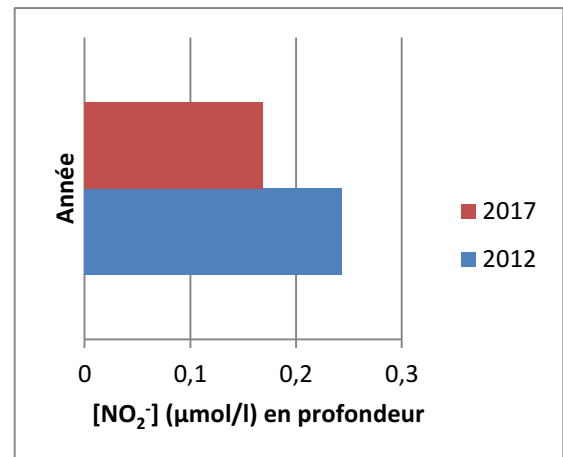


Figure IV. 39: Les nitrites en profondeur.

La concentration des nitrites varie comme suit :

- En surface, elle est de 0,08 µmol/l (en 2012) puis elle augmente à une concentration de 0,12 µmol/l (en 2017).
- En profondeur, nous avons obtenu les valeurs suivantes : 0,24 µmol/l en 2012 et 0,17 µmol/l en 2017.

4.2.1.6 Orthophosphates

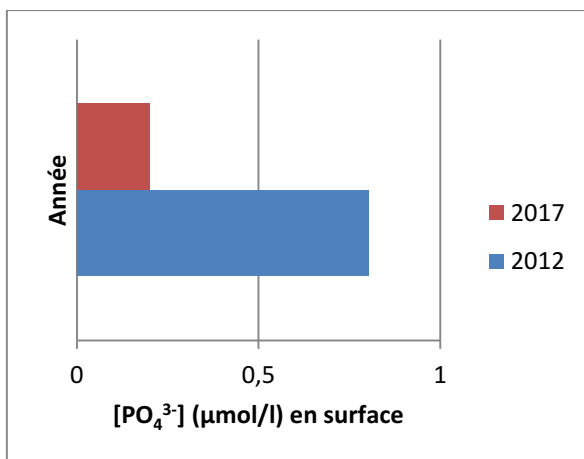


Figure IV. 40: Les ortho en surface.

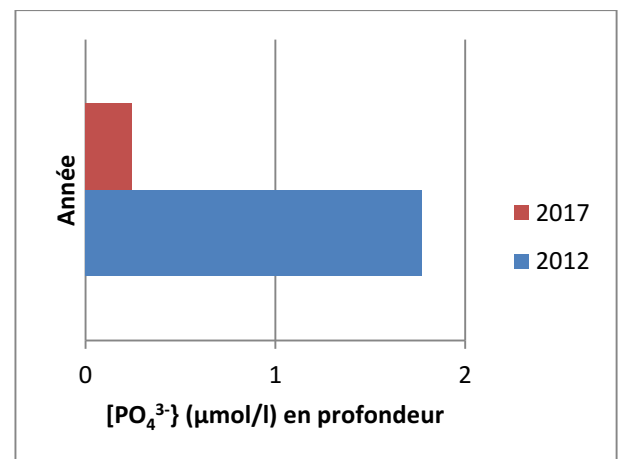


Figure IV. 41: Les ortho en profondeur.

La variation de la concentration des ortho phosphates suit la même logique en surface et en profondeur :

- En surface, nous avons obtenu une valeur de 0,8 µmol/l en 2012 et 0,2 µmol/l en 2017.
- En profondeur, nous avons obtenu une valeur de 1,77 µmol/l en 2012 et 0,25 µmol/l en 2017.

4.2.1.7 Silicates

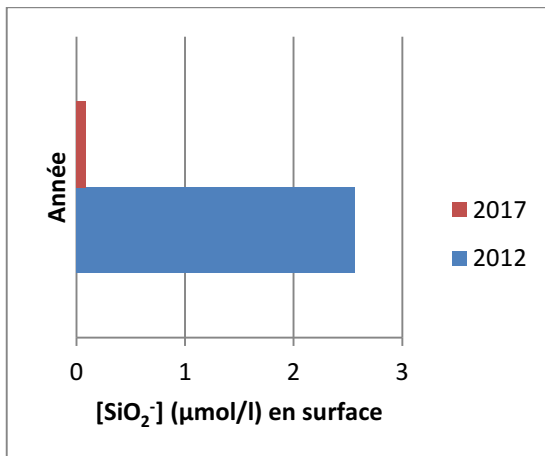


Figure IV. 43: Les silicates en surface.

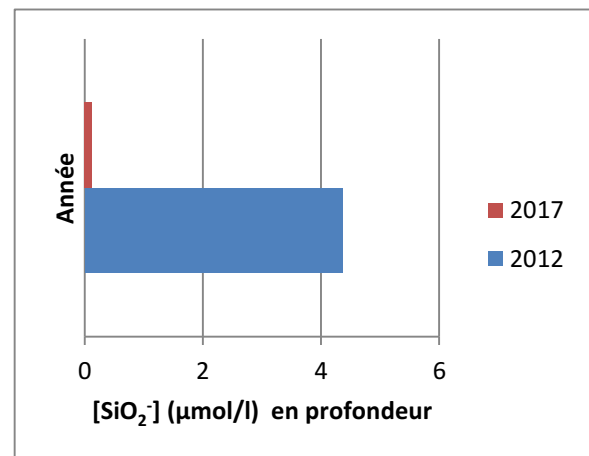


Figure IV. 42: Les silicates en profondeur.

En surface, la concentration des silicates est comprise entre 2,56 µmol/l (en 2012) et 0,09 µmol/l (en 2013). En profondeur, elle est comprise entre une valeur de 4,36 µmol/l (2012) et 0,12 µmol/l.

d. Nitrates

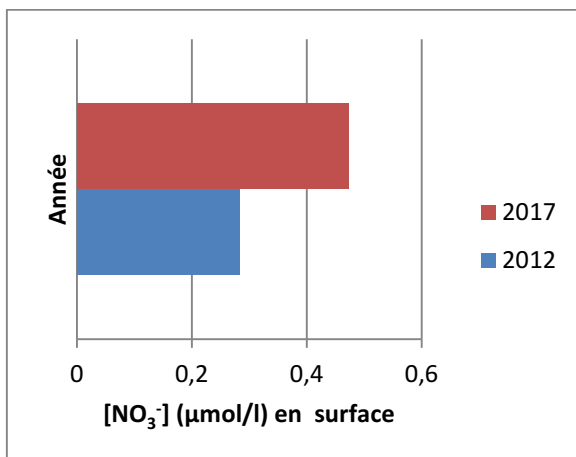


Figure IV. 44: Les nitrates en surface.

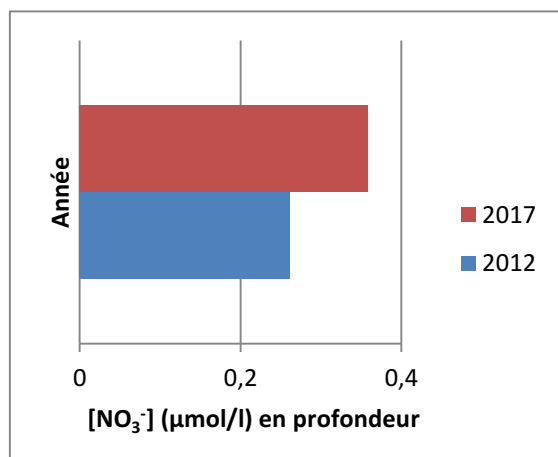


Figure IV. 45: Les nitrates en profondeur.

La concentration des nitrates augmente soit en surface ou en profondeur :

- En surface, elle est de l'ordre de 0,28 µmol/l (2012) et de 0,47 µmol/l (2017).
- En profondeur, elle est d'ordre de 0,26 µmol/l (2012) et de 0,36 µmol/l (2017).

Conclusion

L'étude réalisée à travers ce mémoire est essentiellement basée sur une approche qui prend en considération la mesure et l'analyse de plusieurs paramètres physico-chimiques, ces derniers pourraient provoquer ; par leurs variations ; un déséquilibre qui altère l'état naturel de l'eau de mer.

Comme c'était expliqué auparavant, des mesures *in situ* ont été effectuées pour la température, salinité et le pH, tandis que d'autres mesures tels que ceux de la MES, la chlorophylle et de sels nutritifs nécessitent des analyses plus compliquées en utilisant un matériel performant au niveau du laboratoire. Les résultats de tous ces paramètres justifient les conclusions suivantes :

- ✓ Au niveau de la baie de Bou Ismail, On ne pourrait pas prendre que les eaux d'origine anthropique comme un facteur principal causant les fluctuations des paramètres étudiés ;
- ✓ Les valeurs relevées pour les paramètres généraux et indicateurs de pollution se sont assez normales pour la saison et la zone côtière étudiées ;
- ✓ Les fluctuations observées pour ces paramètres sont surtout en relation avec les facteurs et processus naturels : échange air-mer pour la température, apports d'eau douce pour la salinité et pour le pH ...

Les teneurs relativement faibles en sels nutritifs sont représentatives de la saison correspondant à la floraison printanière avec l'épuisement de ces nutriments par le phytoplancton, surtout les nitrates et les silicates. Ceci peut être corroboré par les concentrations significatives relevées pour la chlorophylle.

Cependant, pour les phosphates, les concentrations obtenues renseignent sur une pollution significative probablement générée par les eaux usées des complexes touristiques situés dans la zone d'étude.

L'étude comparative des sels nutritifs entre 2012 et 2017 montre qu'il y a une légère augmentation de la concentration des nitrates et des nitrites, une légère diminution en silicates et une nette diminution du phosphate. Cela signifie que les sources anthropiques (domestiques et agricoles par les oueds ou d'autres voies) qui en contribuent sont devenues plus importantes pour les nitrates et les nitrites, moins importantes pour la silice et nettement moins importantes

pour les phosphates. Ces différences entre 2012 et 2017 peuvent être attribuées aussi à l'importance de l'épuisement de ces paramètres par l'activité photosynthétique.

En terme de perspective, il est fortement recommandé de :

- ✓ Faire un suivi régulier de ce réseau, de préférence saisonnier (quatre fois par année).
- ✓ Echantillonner l'embouchure de l'oued Mazfran et à proximité des points de déversement des eaux usées pour pouvoir déterminer les sources de pollution.
- ✓ Faire quelques prélèvements le plus au large possible qui seront des points de références, exemptes de toute influence anthropique.

Bibliographie

A

Al Sid Chikh S., Belkessa R., Houma F. et Amrouche L., 2009. Diagnostic du littoral Ouest algérois pour une gestion intégrée. The 5th International Symposium on Sandy beaches, Rabat, Maroc.

AMINOT, A., Chausse-Pied, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest : CNEXO. 395 p.

AMINOT, A., KEROUEL, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins : Paramètres et analyses. Paris : Ifremer. 336 p.

Asso., 1982. Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perne perna* (L) dans la région d'Alger.

B

Bachari Houma, F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de Doctorat. Sciences de l'Univers et Environnement. France : Université du val marne PARIS XII, p.43.

BENHALIMA, M., BAHA, M. (2013). Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs dans les eaux côtières algéroises (les baies d'Alger, Bou-Ismaïl, Zemmouri). Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, p.16 - 19.

Benzohra M., 1993. les structures hydrodynamiques le long des côtes algériennes. Centre d'océanologie de Marseille, France, 33 9.

BOULAHIDID, M. (1987). Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer : étude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. Thèse de doctorat. Géochimie fondamentale. France : Université de PARIS VII, p.31-66.

G

Gaujous D., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition : Technique et documentation, 217 P.

J

Jacques G., et Treguer P., 1986. Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie, Edition : Masson, Paris, France, 243 P.

L

Lacaze J-C., 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte. Edition : Ellipses, 191 P.

Lacaze J-C., 1996. La pollution des mers. Edition: DOMINOS Flammarion, France, 128 P.

LE GAL Y., 1988 : Biochimie marine. Edition: Masson, Paris, France, 285P.

LECLAIRE, L. (1972). La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro – Baléare (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoires naturelles, nouvelle série. Tome XXIV .Paris: Edition Du muséum .319 p.

M

Minster J.F. et Boulahdid M., 1987. Redfield ratios a long isopycnal surfaces- a complementary study. DeepSeaRes, Vol. 34, 12, 1981-2003.

O

O. N. M., 2010. Le climat en Algérie (mise à jour du 21 Avril 2010). *Office National de la Météorologie, Alger, Algérie.*

P

PAC algérois 2005. Analyse de durabilité dans le cadre du PAC « Zone côtière algéroise" (Algérie).rapport final, p 59.

R

RAIMBAULT P., et al (1993). Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the Southwestern Mediterranean Sea (Algerian Current) Deep-Sea Research 1 .Vol 40, 4 ,791-804 p.

Rodier J. et al., 2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Edition : DUNOD, 8ème édition, Paris, 1384 P.

RODIER, J., Bazin, C., Broutin, J.-P et al. (2005). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. France : Dunod. 1384 p.

RODIER, J., COLL. (2005). L'analyse de l'eau. 8e éd. Belgique : Dunod. p. 564,944.

Roy-Barman M et Jeandel C (2011). Géochimie marine. Edition :Vuibert, France, Paris. p 16-17.

S

Skalaranalytical, 1998. Manuel San Plus Analyser : SA 1050 (Random Access Autosampler). Breda (Netherlands), 23 p.

V

Vera A., 2005 : Stratégies de développement du copépode calanoïdemixodiaptomuslaciniatus dans un lac de montagne : approche par les biomarqueurs lipidiques et pigmentaires. Thèse de Doctorat, université Blaise Pascal, 341p.

Z

Zeghdoudi, 2006. Bioéconomie des pêcheries méditerranéennes. Application aux petits pélagiques de la baie de Bou Ismail (Algiers).Barcelone.55 p.

Annexe

– matériels utilisés :



Figure 46 :Four à moufle de marque Wisetherm®.



Figure 47 :Balance de précision de type Denver Instrument M-220 D.



Figure 48 :Spectrophotomètre de marque Jasco V-730.



Figure 49 :Etuve de type WTB BINDER.



Figure 50 :Dessiccateur.



Figure 51 :Spectrophotomètre de marque Jasco V-730.



Figure 52 :Dispositif de filtration de marque Millipore®.



Figure 53 :Rompe de filtration de marque Millipore®.

Etude et suivi des paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs dans les eaux côtières de la baie de Bou Ismail.

Résumé

L'étude réalisée sur les paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, MES et chlorophylles) et les sels nutritifs (nitrates, nitrites, ortho phosphates et silicates) à deux niveaux de profondeur nous a permis d'évaluer le degré de la pollution au niveau des eaux côtières de la baie de Bou Ismail et estimer son évolution qui a été montrée par une étude comparative entre l'année 2012 et 2017 où nous avons pu observer des aggravations inquiétantes pour la plupart des paramètres mesurés.

Ainsi, nous avons montré les différentes sources anthropiques de pollution et leur influence soit directe ou indirecte sur l'environnement naturel, ces sources sont principalement l'industrie, l'agriculture et les eaux usées versées directement dans la baie ou véhiculées par les oueds (L'oued Mazafran est le plus concerné dans ce cas d'étude).

Mots clés : sels nutritifs, paramètres physico-chimiques, environnement, baie, source anthropique, pollution.

Abstract

The study focused on physicochemical parameters (temperature, salinity, pH, suspended matter, and chlorophyll) and nutrients (nitrate, nitrite, phosphorus, silicate) has come to two levels of depth, It has helped us to evaluate the pollution degree in the coastal water in the bay of Bou Ismail and estimate its evolution by realizing a comparative study between 2012 and 2017. Thus, allowed us to note down many hazardous aggravations for the most of measured parameters.

Also, we have figured out many anthropic sources of pollution and their direct and indirect influence on the natural environment, the main ones are industry, farming and used water which are directly discharged into the bay or transported by the rivers (Mazafran is the most concerned in this case of study).

Keywords: nutrients, physicochemical parameters, environment, bay, anthropic source, pollution.

ملخص

أقيمت هذه الدراسة على المعلمات الفيزيوكيميائية (درجة الحرارة، نسبة الملوحة، نسبة الحموضة، نسبة الكلوروفيل) والأملاح المغذية (النترات، النتريت والفوسفات و أورثوسيليكات) على مستويين من عمق البحر والتي سمحت لنا بقياس

نسبة تلوث المياه الساحلية لخليج بو إسماعيل و تقدير تطورها الذي أظهرته الدراسة المقارنة التي أجريت ما بين 2012 و 2017 حيث لاحظنا تدهور لمعظم المعلمات. هكذا استطعنا تبيين مختلف مصادر التلوث المسببة من قبل الانسان وأثرها المباشر او الغير مباشر على الوسط البيئي. مصادر التلوث الاساسية هي المصانع، الفلاحة والمياه القذرة التي تصب مباشرة في الخليج او المتنقلة في الوديان (واد مزافران بالخصوص في هذه الدراسة).

كلمات مفتاحية : أملاح مغذية, معلمات فيزيكوكيميائية, وسط بيئي, مصدر انسان, تلوث.