

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES
DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL**



Thème :

**Suivi des paramètres physico-chimiques et des sels
nutritifs dans les eaux littorales de l'Algérois**

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

OPTION : ENVIRONNEMENT

Présenté par :

Mr. AMROUCHE Walid

Mr. KHECHNI Adel

Soutenu le **14 Juillet 2012** devant la commission de jury suivante :

Dr. Belkessa Rabah Président	(MC.A – ENSSMAL)	: Président
Pr. Boulahdid Mostefa	(Professeur ENSSMAL)	: Promoteur
Dr. Houma-Bachari Fouzia	(MC.A – ENSSMAL)	: Examinatrice
Mr. Inal Ahmed Examineur	(Attaché de recherche CNRDPA)	: Examineur

Promotion 2012

REMERCIEMENTS

*Louange à DIEU seul et unique à qui nous adressons
Nos amples remerciements*

Nous sommes très heureux de pouvoir exprimer notre gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Nos plus vifs remerciements s'adressent à :

M. Boulahid M., Professeur à l'ENSSMAL, qui nous a encadrés avec patience et nous a orienté tout au long de notre stage. Nous sommes profondément reconnaissant pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour l'empressement qu'il a manifesté à le voir aboutir, puisse-t-il trouver ici la marque de notre profond respect ainsi que nos remerciements les plus sincères ;

M. Belkessa R., Maître de conférences à l'ENSSMAL, qui nous fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de notre respectueuse reconnaissance,

Mme. Houma-Bachari Fouzia, Maître de conférences à l'ENSSMAL, d'avoir accepté d'examiner notre travail, puisse-elle trouver dans ces lignes notre sincère gratitude.

Mr. Inal Ahmed, Assistant chercheur à l'USTHB, qui a eu l'extrême amabilité de participer à la campagne en mer, de nous offrir son aide et enfin d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide efficace et précieuse de tous ceux qui nous ont aidés. Nous tenons à remercier particulièrement M. Boudjella B., Mme. Eddalia N., Mme Fariza. du laboratoire de chimie de sidi Fredj, qui nous ont très bien reçu, assisté et aidé, nous tenons à les remercier aussi pour leur présence, leurs conseils et leurs encouragements.

Nous tenons à remercier nos parents qui nous ont soutenus, et surtout de nous avoir supporté.

*Je tien particulièrement à remercier mon père (AMROUCHE) pour son aide précieuse.
Je tien particulièrement à remercier ma tante (AMROUCHE) qui nous a ouvert ses portes, et pour son aide précieuse.*

Nous tenons à remercier tous nos amis qui nous ont encouragés, notamment Abdou, Malik, Lydia, Adel, Adel, Redwan, Housseem, Rym, Wassila, Amira, Sihem, Merwen, Kamel, Mohammed, Miloud, Youce, Mestafa et Khalil.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre 1 : Généralités	3
I. Pollution marine	3
I.1. Définition	3
I.2. Types de pollution	3
I.2.1. Pollution chimique	3
I.2.2. Pollution microbiologique	3
I.2.3. Pollution physique.....	4
I.3. Sources de pollution	4
II. Polluant.....	4
II.1. Classification des polluants	5
III. Indicateurs de pollution	5
III.1. Matière En Suspension (MES)	5
III.2. Matière Organique Particulaire (MOP).....	6
III.3. La turbidité	6
III.4. Demande chimique en oxygène (DCO)	7
IV. Les descripteurs du milieu marin	7
IV.1. Paramètres physico-chimiques	7
Température.....	7
Salinité.....	8
Potentiel Hydrogène ou pH	8
Conductivité.....	9
Oxygène dissous	9
IV.2. Sels Nutritifs	9
IV.2.1. Définition	9
IV.2.2. Rôle des sels nutritifs.....	10
IV.2.3. Origine des sels nutritifs	10
IV.2.4. Apports de sels nutritifs en Méditerranée	10
IV.2.5. Différentes formes des sels nutritifs	11
IV.2.6. Distribution des sels nutritifs	13
IV.2.7. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs	13
V. Rapport de Redfield	15
VI. Notion de facteur limitant.....	15

VII. Production primaire	16
VII.1. Définition	16
VII.2. Chlorophylle.....	16
VII.2.1. La chlorophylle- <i>a</i>	16
VII.2.2. Les phéopigments	16
VII.3. Eutrophisation	17
VII.3.1. Indicateurs et critères d'évaluation	17
VII.3.2. Conséquence de l'eutrophisation sur le milieu marin	18
Chapitre 2 : Zones d'étude	19
I. La Baie d'Alger	19
I.1. Situation géographique	19
I.2. Hydrodynamisme	19
I.3. Sources potentielles de pollution.....	21
I.4. Réseau hydrographique.....	21
II. La baie de Bou Ismail	22
II.1. Situation géographique	22
II.2. Réseau hydrographique	23
II.3. Climatologie.....	23
II.4. Hydrodynamisme	23
II.5. Sources potentielles de pollution	24
II.6. Ports de la baie de Bou-Ismaïl	24
II.6.1. Port d'El-Djamila	24
II.6.2. Port de sidi Fredj	25
II.6.3. Port de Khemisti.....	26
II.6.4. Port de Bouharoun.....	26
II.6.5. Port de Tipaza	27
Chapitre 3 : Matériel et méthodes.....	28
I. Choix et localisation des stations	28
II. Matériel de prélèvement	28
II.1. Prélèvement d'eau de mer	28
II.2. Conditionnement des moyens de prélèvement	29
II.3. Prélèvement et conservation des échantillons	29
II.4. Stratégie d'échantillonnage	29

III. Localisation des stations	30
III.1. Baie d'Alger et Baie de Bou-Ismaïl	30
III.2. Ports de la baie de Bou Ismaïl	31
IV. Mesure des paramètres physico chimiques	31
IV.1. Mesures <i>in-situ</i>	31
IV.1.1. Température	31
IV.1.2. Salinité et conductivité	32
IV.1.3. Le pH	32
IV.2. Analyse au Laboratoire	32
IV.2.1. Turbidité	32
IV.2.2. Matières En Suspension (MES)	33
IV.2.3. Détermination de la matière organique particulaire (MOP)	35
V. Analyse chimique des sels nutritifs	36
V.1. Méthode d'analyse	36
V.2. Dosage chimique des sels nutritifs	37
V.2. 1. Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH_4^+)	37
V.2. 2. Principe de dosage des Nitrates et Nitrites (NO_3^- et NO_2^-)	38
V.2. 3. Principe du dosage des Orthophosphates (PO_4^{3-})	40
V.2. 4. Principe du dosage des silicates (SiO_2^-)	41
VI. Dosage de la chlorophylle- <i>a</i> par la Spectrofluorimétrie ultraviolet (S.F.U.V)	42
Chapitre 4 : Résultats et discussion	45
I. Analyse paramétrique	45
I.1. Variations des paramètres physicochimiques	45
1. Baie d'Alger :	45
2. Baie de Bou Ismaïl	49
3. Ports de la baie de Bou-Ismaïl	51
I.2. Variation des sels nutritifs	53
1. Baie d'Alger	53
2. Baie de Bou-Ismaïl	57
3. Ports de la baie de Bou-Ismaïl	60
I.3. Variations des paramètres particulières :	63
1. Baie d'Alger	63
2. Baie de Bou-Ismaïl :	67
3. Ports de la baie de Bou-Ismaïl	70

II. Suivi des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl :	73
II.1. Variations des paramètres physicochimiques	73
II.2. Suivi des sels nutritifs.....	74
II.3. Relation chlorophylle- <i>a</i> / sels nutritifs	76
III. Analyse de la distribution horizontale	76
a. Température.....	76
b. Salinité	77
c. pH.....	77
d. MES	77
e. Turbidité : baie d'Alger.....	78
f. Nitrites	78
g. Nitrates	79
h. Phosphates	79
i. Ammonium	80
j. Silicate	81
k. Chlorophylle- <i>a</i>	81
IV. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate	81
IV.1. Baie d'Alger	82
IV.2. Baie de Bou-Ismaïl	82
Conclusion générale	84

Liste des acronymes

(CEE) : la Communauté économique européenne

(DCO) : Demande Chimique en Oxygène

(GESAMP) : Groupe d'experts sur les aspects scientifiques de l'environnement marin

(LEM) : Laboratoire des Etudes Maritimes

(MES) : Matière en suspension

(MOP) : Matière organique particulaire

(NTU) : Nephelometric Turbidity Unit.

(OMI) : Organisation maritime internationale

(OMS) : Organisation mondiale de la Santé

(pH) : Potentiel hydrogène

(PNUE) : Programme des Nations Unies pour l'environnement

(POPs) : Polluants organiques permanents

(P.S.U) : Unité de salinité pratique

(T°C) : Température en degré Celsius

(UNESCO) : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

(UV) : Ultra violet

Liste des figures

Figure 1.1 : Cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique (Jacques & Tréguer, 1986).....	13
Figure 2.1 : Situation géographique de la baie d'Alger. (S.H.F.M., 2000 ; <i>modifiée</i>)	19
Figure 2.2 : Bilan des courants dans la baie d'Alger (LEM, 1998)	20
Figure 2.3 : Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (PAC, 2005)	21
Figure 2.4 : Situation géographique de la baie de Bou Ismail (S.H.F.M., 2000 ; <i>modifiée</i>) ...	22
Figure 2.5 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou Ismail.....	24
Figure 2.6 : Schéma général du port d'El Djamila	25
Figure 2.7 : Schéma général du port de sidi Fredj	25
Figure 2.8 : Schéma général du port de Khemisti.....	26
Figure 2.9 : Schéma général du port de Bouharoun	26
Figure 2.10 : Schéma général du port de Tipaza	27
Figure 3.2 : Stations de la baie d'Alger.....	30
Figure 3.3 : Stations de la baie de Bou-Ismaïl.....	30
Figure 3.4 : Stations de la partie Est de la Baie de Bou-Ismaïl	30
Figure 3.5 : Stations de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl.....	30
Figure 3.6 : Stations du Port de Tipaza.....	31
Figure 3.7 : Station du Port de sidi Fredj	31
Figure 3.8 : Station du port de Khemisti.....	31
Figure 3.9 : Station du port d'El Djamila	31
Figure 3.10 : Station du port de Bouharoun.....	31
Figure 3.16 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium	38
Figure 3.17 : Courbe d'étalonnage des nitrates	39
Figure 3.18 : Courbe d'étalonnage des nitrites.....	39
Figure 3.19 : Courbe d'étalonnage des phosphates	40
Figure 3.20 : Courbe d'étalonnage des silicates.....	41
Figure 3.21 : Droites d'étalonnage de la chlorophylle à 670 nm	44
Figure 4.1 : Variation de la température à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.	46
Figure 4.2 : Variation de la salinité à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.	46
Figure 4.3 : Diagramme Température – Salinité de la baie d'Alger.....	47
Figure 4.4 : Variation du pH à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.	48
Figure 4.5 : Variation de la turbidité à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.	48
Figure 4.6 : Variation de la température à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl	49
Figure 4.7 : Variation de la salinité à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	50

Figure 4.8: Diagramme Température – salinité de la baie de Bou-Ismaïl.....	50
Figure 4.9: Variation du pH à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	51
Figure 4.10: Variation de la température dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	52
Figure 4.11: Variation de la salinité dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	52
Figure 4.12 : Variation du pH dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	53
Figure 4.13 : Variation de la concentration des nitrites à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	54
Figure 4.14 : Variation de la concentration de l’ammonium à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	54
Figure 4.15 : Variation de la concentration des nitrates à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	55
Figure 4.16 : Variation de la concentration des nitrites, de l’ammonium et des nitrites à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	55
Figure 4.17 : Variation de la concentration des phosphates à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	56
Figure 4.18 : Variation de la concentration des silicates à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	57
Figure 4.19 : Variation de la concentration des nitrites à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	58
Figure 4.20 : variation de la concentration de l’ammonium à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	58
Figure 4.21 : Variation de la concentration des nitrates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	59
Figure 4.22 : Variation de la concentration des phosphates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	59
Figure 4.23 : Variation de la concentration des silicates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.....	60
Figure 4.24 : Variation de la concentration des nitrites dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	61
Figure 4.25 : Variation de la concentration de l’ammonium dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	61
Figure 4.26 : Variation de la concentration des phosphates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	62
Figure 4.27 : Variation de la concentration des silicates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	62
Figure 4.28 : Variation de la concentration des nitrates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	62
Figure 4.29 : Variation de la concentration des matières en suspension à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	63
Figure 4.30 : Diagramme Turbidité – MES de la baie d’Alger.....	64
Figure 4.31 : Variation de la concentration de la MOP à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.....	64

Figure 4.32 : Variation de la concentration de la chlorophylle- <i>a</i> à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.	65
Figure 4.33 : Variation de la concentration des phéopigments à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.....	65
Figure 4.34 : Diagramme Chlorophylle- <i>a</i> – Turbidité dans la baie d'Alger.....	66
Figure 4.36 : Diagramme Nitrates-Chlorophylle - <i>a</i> dans la baie d'Alger.	66
Figure 4.35 Diagramme Phosphates-Chlorophylle- <i>a</i> dans la baie d'Alger.	66
Figure 4.37 : Diagramme Ammonium-Chlorophylle- <i>a</i> dans la baie d'Alger.....	67
Figure 4.38 : Variation de la concentration des matières en suspension à différentes profondeurs dans la baie de Bou-.....	68
Figure 4.39 : Variation de la MOP à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismail.....	68
Figure 4.40 : Variation de la concentration de la chlorophylle- <i>a</i> à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismail.....	69
Figure 4.41 : Variation de la concentration des phéopigments à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismail.	70
Figure 4.42 : Variation de la concentration des matières en dans les ports de la baie de Bou-Ismail.....	71
Figure 4.43 : Variation de la MOP dans les ports de la baie de Bou-Ismail.....	71
Figure 4.44 : Variation de la concentration de la chlorophylle- <i>a</i> dans les ports de la baie de Bou-Ismail.....	72
Figure 4.45 : Variation de la concentration des phéopigments dans les ports de la baie de Bou-Ismail.....	72
Figure 4.46 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau superficielle de la station B1.	74
Figure 4.47 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du fond de la station B1.....	74
Figure 4.48 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du superficielle de la station B2.	75
Figure 4.49 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du fond de la station B2.....	75
Figure 4.50 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du superficielle de la station B3.	75
Figure 4.51 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du fond de la station B3.....	75
Figure 4.52 : Variation des concentrations en sels nutritifs ainsi que la chlorophylle- <i>a</i> des stations B1 B2 et B3 en surface.	76
Figure 4.53 : Variation des concentrations en sels nutritifs ainsi que la chlorophylle- <i>a</i> des stations B1 B2 et B3 en profondeur.....	76
Figure 4.54 : Carte de distribution de la température de surface dans la baie d'Alger (Annexe 4)	
Figure 4.55 : Carte de distribution de la température du fond dans la baie d'Alger (Annexe 4)	

Figure 4.56 : Carte de distribution de la température de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.57 : Carte de distribution de la température du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.58 : Carte de distribution de la température de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.59 : Carte de distribution de la température du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.60 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.61 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.62 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.63 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.64 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.65 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.66 : Carte de distribution du pH de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.67: Carte de distribution du pH du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.68 : Carte de distribution du pH de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.69 : Carte de distribution du pH du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.70: Carte de distribution du pH de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.71 : Carte de distribution du pH du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.72 : Carte de distribution des MES de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.73 : Carte de distribution des MES du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.74 : Carte de distribution des MES de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.75 : Carte de distribution des MES du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.76: Carte de distribution des MES de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.77 : Carte de distribution des MES du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.78 : Carte de distribution de la turbidité de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.79 : Carte de distribution de la turbidité du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.80 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.81 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.82 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.83 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.84 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.85 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.86 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.87 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.88 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.89 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.90 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.91 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.92 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.93 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.94 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.95 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.96 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.97 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.99 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.100 : Carte de distribution de l'ammonium du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.101 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.102: Carte de distribution des l'ammonium du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.103 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.104: Carte de distribution des l'ammonium du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.105: Carte de distribution des silicates de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.106 : Carte de distribution des silicates du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.107 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.108 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.109 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.110 : Carte de distribution des silicates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.111 : Carte de distribution de la chlorophylle de surface dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.112 : Carte de distribution de la chlorophylle du fond dans la baie d'Alger (**Annexe 4**)

Figure 4.113 : Carte de distribution de la chlorophylle de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.114 : Carte de distribution de la chlorophylle du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.115 : Carte de distribution de la chlorophylle de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.116 : Carte de distribution des l'ammonium du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Annexe 4**)

Figure 4.117 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie d'Alger.....82

Figure 4.118 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates dans la baie d'Alger (Mai 1989) (**Boulahdid et al, 2003**) (**Annexe 3**)

Figure 4.119 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie de Bou-Ismaïl.....82

Figure 4.120 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (2012).....83

Figure 4.121 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (2012).....83

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Critère trophiques et leur évaluation suite à un accroissement de l'eutrophisation	18
Tableau 3.1 : Campagnes de prélèvements.....	28
Tableau 3.2 : Gamme d'étalonnage et hauteurs de pic correspondantes pour l'Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates et silicate (Annexe 3)	
Tableau 3.3 : Concentration des standards avant et après acidification	44
Tableau 4.1 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques de la baie d'Alger.	45
Tableau 4.2 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques de la baie de Bou-Ismaïl.....	49
Tableau 4.3 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques des différents ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	51
Tableau 4.4 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans la baie d'Alger.	53
Tableau 4.5 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl.	57
Tableau 4.6 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	60
Tableau 4.7 : Valeurs extrêmes, moyennes et écart-type de la chlorophylle- <i>a</i> , des phéopigments, des MES et de la MOP dans la baie d'Alger.	63
Tableau 4.8 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type de la chlorophylle- <i>a</i> , des phéopigments, des MES ainsi que de la MOP dans la baie de Bou-Ismaïl.	67
Tableau 4.9 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type de la chlorophylle- <i>a</i> , des phéopigments, des MES ainsi que de la MOP dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.	70
Tableau 4.10 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques de la baie de Bou-Ismaïl (partie Est, Juillet) (Annexe 1)	

Introduction

La zone littorale, qui abrite plus de la moitié de la population mondiale apparaît de plus en plus menacée, aussi bien d'un point de vue global (modifications climatiques) qu'à l'échelle régionale (altérations anthropiques). Cette pression sur le milieu naturel est tout particulièrement sensible dans les écosystèmes fragiles. De plus, les côtes sont aussi soumises aux rejets des bassins versants pouvant provenir de zones urbaines, de l'agriculture ou des industries (Abraham M., 1998)

L'influence du milieu continental dépend de la quantité et de la qualité de ses apports. Celles ci sont elles mêmes, en relation directe avec les conditions naturelles et anthropiques des bassins versants de la frange littorale. La connaissance et le suivi de l'environnement côtier apparaissent comme une priorité pour la préservation du milieu marin et ses ressources.

Cette problématique est l'objet qu'on s'est fixé dans le cadre de ce travail. La présente investigation concerne les eaux du littoral Algérois (baie d'Alger et baie de Bou-Ismaïl) sujettes aux déversements d'eaux continentales (Oueds et émissaires).

C'est une étude pilote qui s'intègre dans le cadre d'un programme recherche régional MERMEX (Marine Ecosystems Response in the Mediterranean EXperiment) sous l'intitulé de "Projet pilote du système d'observation côtière dans les côtes centrales algériennes". Ce projet pilote porte sur la mise en place d'un système d'observation dans les côtes centrales et bassin algériens, qui sera constitué d'instruments et capteurs à haute résolution permettant de mesurer divers paramètres tels que la température, la salinité, les courants et les vague... etc.

Cette action est prévue dans le cadre du programme 'MerMex-Algérie', initié dans le cadre de la participation algérienne au programme scientifique international 'MISTRALS' dédié à la compréhension du fonctionnement du bassin Méditerranéen et son environnemental sous la pression des changements globaux.

Ce travail interfère aussi en partie avec un projet PNR domicilié au "Laboratoire des Ecosystèmes Marins et Littoraux" et intitulé "Développement du Réseau Algérien de la Surveillance Marine et Littoral".

L'approche fixée dans ce travail repose sur un échantillonnage plus ou moins systématique à plusieurs niveaux d'immersion pour la détermination des paramètres physico-chimiques, de certains éléments nutritifs et de la chlorophylle totale, afin de faire un suivi et d'essayer de donner un constat sur l'évolution du degré de pollution. Ceci a pour finalité de connaître la qualité des eaux, en relation avec l'empreinte continentale et anthropique.

La qualité chimique des écosystèmes aquatiques (richesse en sels nutritifs) forme un critère et un substrat nutritif qui tresse le premier maillon de la chaîne trophique. Son identification ainsi que celle de la richesse biologique sont tentées dans ce travail par une approche indirecte à travers la chlorophylle totale. Cette étude et ses approches se justifient pleinement, surtout qu'elles s'intègrent dans les programmes et les objectifs du laboratoire "Ecosystèmes Marins et Littoraux" (ECOSYSMarL) où ce travail a été élaboré.

Introduction

Le présent mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Le premier sera consacré aux généralités sur les paramètres physiques et chimiques dans le milieu marin.
- Le deuxième chapitre présentera avec détails les zones d'étude.
- Le troisième expliquera les démarches méthodologiques adoptées et analytiques appliquées pour la détermination des différents paramètres recherchés.
- Le dernier chapitre traitera les résultats obtenus pour cette recherche,
- Enfin notre présent travail sera synthétisé sous forme d'une conclusion générale, celle-ci dénombrera les phénomènes les plus importants concernant cette étude.

I. Pollution marine

I.1. Définition

La définition de la pollution marine est donnée par le premier rapport du Conseil sur la Qualité de l'Environnement de la Maison Blanche (1965), étant « *...une modification défavorable du milieu naturel..., comme un sous-produit de l'action humaine...* ». (Ramade, 2000). Ainsi le terme de pollution marine fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant « *l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément* ».

I.2. Types de pollution

Les pollutions sont très diverses, une classification basée sur leur nature physico-chimique prédominante et les usages de l'eau qui sont à l'origine des pollutions est établie (Ramade, 2000).

I.2.1. Pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (Kankou, 2004). Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés (Ramade, 2000).

Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution, les paramètres globaux qui résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps par exemple le pH, la turbidité et demande chimique en oxygène ; et les paramètres spécifiques qui caractérisent des composés de même propriété chimique (Kankou, 2004).

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

I.2.2 Pollution microbiologique

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

Les microorganismes pathogènes, tels que les bactéries et les virus : Ils sont généralement apportés par les eaux usées directement rejetées en mer.

Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctonique est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates.

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

I.2.3. Pollution physique

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

I.3. Sources de pollution

Selon le mode de propagation des pollutions, elles peuvent être classées en trois types, à savoir, les pollutions accidentelles, diffuses et anthropiques (Kankou, 2004). Elles ont plusieurs sources qui peuvent être dues aux causes suivantes:

Rejets d'effluents domestiques : qui sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration, et sont caractérisées par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux (diversifiés), sels minéraux, détergents...etc. Les conséquences de cette pollution organique sont catastrophiques pour presque tous les organismes constituant les peuplements des milieux néritiques (Kankou, 2004).

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

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

II. Polluant

Un polluant est par définition, un agent physique, chimique ou biologique qui dégrade le milieu dans lequel il se trouve. C'est une substance introduite ou présente dans l'eau, susceptible d'en changer l'équilibre ou d'en altérer la qualité (Manfredi et Daniele, 1988).

D'après Emilian koller (2004) une substance donnée est dite polluant si elle:

- A des effets biologiques significatifs, même à des petites concentrations ;
- Diffuse facilement dans l'air, est soluble dans l'eau et a une tendance particulière à s'accumuler dans les tissus vivants ;
- Est persistante ;
- Affecte une large gamme d'organismes, et spécialement ceux en rapport direct avec l'homme, ou qui jouent un rôle central dans la stabilité du système écologique global ;
- Est produite à grande échelle.

II.1. Classification des polluants

On distingue trois classes de polluants

- Les polluants conservatifs qui restent en permanence dans le milieu marin, soit dispersés dans l'eau, soit fixés sur du matériel particulaire composé généralement de matière organique contenue dans la vase. On distingue les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb) et les polluants organiques non biodégradables.
- Les polluants chimiques non conservatifs tels que la matière organique, les sels nutritifs, les hydrocarbures, les détergents et les produits sanitaires, qui disparaissent à terme. Ils ne présentent donc de danger que par leurs conséquences immédiates.
- Les polluants microbiens qui sont véhiculés en quantités considérables au milieu marin par l'intermédiaire :
 - Des rejets urbains : issus des eaux usées domestiques et industrielles.
 - Des effluents agricoles : les bactéries présentes dans les excréments des animaux survivent dans le lisier et, après épandage, l'action conjuguée du ruissellement et de l'érosion leur fait tout naturellement suivre la direction des cours d'eau.

Devenir des polluants dans le milieu marin

Certains polluants, notamment chimiques, peuvent être véhiculés à l'état dissous dans la masse d'eau. Le pouvoir de dilution, fait que les concentrations finissent par atteindre des valeurs très faibles et deviennent moins dangereuses. D'autres se fixent sur le matériel particulaire et ont donc un comportement lié au sédiment (transport en suspension ou en charriage près du fond). Ils se trouvent principalement adsorbés sur la fraction organique liée à la vase. En général, un endroit vaseux aura plus de risque d'être pollué qu'un endroit sableux.

III. Indicateurs de pollution

III.1. Matière En Suspension (MES)

C'est l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles représentent une cause essentielle de turbidité de l'eau (Ramade, 2000). Ce sont des particules solides dont la taille est supérieure à $10\mu\text{m}$, dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle. De ce fait, leur élimination est assez simple car, si l'on fait reposer l'eau, elles décantent de manière spontanée et peuvent être retirées de l'eau par des procédés physiques simples (décantation, filtration) (Rejsek F, 2002).

D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau et, de ce fait, la production primaire photosynthétique. D'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (Mertes *et al.*, 1993). Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent être aussi responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies (Rodier, 1997; Berne & Cordonnier., 1991).

Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques et, de ce fait, être une voie de pénétration de toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme (Sirone *et al.*, 1986). Selon leur nature, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune.

Elles peuvent être aussi considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques (Lacaze, 1996(a)). Dans les océans, la concentration en matières en suspension est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus importantes teneurs en matières en suspension sont aux niveaux des milieux côtiers et estuariens.

III.2. Matière Organique Particulaire (MOP)

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques (disponibilité d'éléments nutritifs) 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 nutriments pour les micro-organismes (bactéries, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (Boulaïdid, 1987).

La fraction endogène correspond à la matière organique produite par l'assimilation des nutriments par le phytoplancton lors de la photosynthèse. Cette matière organique qui est facilement dégradée sera source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires) (Boulaïdid, 1987).

Reste la fraction exogène formée par les débris des animaux et des végétaux possède une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (Aminot et Kérouel, 2004).

Dans les zones riches en matière organique, sa présence fait courir au milieu un risque d'hypoxie, le risque étant plus grand quand cette matière organique est facilement dégradable par les bactéries (Aminot & Kérouel, 2004).

III.3. La turbidité

Selon la définition donnée dans la norme NF EN ISO 7027 de mars 2000 (*in* Pelletier, 2009), la turbidité est définie comme étant la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes.

Elle correspond à la propriété de l'échantillon de diffuser et d'absorber la lumière incidente, contrairement à l'eau pure qui la transmet intégralement (Pelletier, 2009).

De même, elle est aussi définie par : « l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon ».

Cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon (Halmann, 1996).

La connaissance de ce facteur a une double importance. Elle détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface et, permet également une approche de la quantité de particules en suspension (Houma-Bachari, 2009).

La turbidité représente l'un des principaux paramètres de détermination de la qualité de l'eau. Elle peut être modifiée suite à des évolutions des propriétés physiques, microbiologiques et chimiques de l'eau, et elle est directement affectée par la présence de diverses matières en suspension telles que le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en fines particules, les composés organiques colorés solubles, le plancton et autres micro-organismes (Pelletier, 2009).

Son unité est le NTU (Nephelometric Turbidity Unit). La turbidité est exprimée en cette unité lorsque la mesure s'effectue en lumière diffusée à 90°, à une longueur d'onde différente de 860 nm (Pelletier, 2009).

La plupart des eaux superficielles ont une turbidité importante et variable selon les conditions extérieures alors que les eaux souterraines qui subissent la filtration par le sol ont une turbidité faible (Rejsek F, 2002). Les mesures de turbidité ont un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes (Rodier et al. 2005).

III.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné. La DCO constitue la mesure de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène en partie les sels minéraux oxydables, les sels de métaux et la majeure partie des composés organiques, elle permet donc d'évaluer la quantité totale de pollution organique (Burns & Villeneuve, 1982; Volhardt & Schore, 1995). L'oxydation est réalisée ici par un oxydant chimique énergique ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le bichromate de potassium à chaud en milieu acide) en présence d'un catalyseur (ions Ag^{2+}). Ce dosage se fait à 140-150°C durant deux heures. La quantité de réactif consommé pour l'oxydation des matières organiques présentes, rapportée en mg/l d'oxygène, correspond à la DCO. Le dosage ne renseigne pas sur la nature des éléments présents et peut être faussé selon la teneur en chlore (ions Cl^-). L'interférence des chlorures peut être éliminée partiellement (cela dépend de la concentration) par l'ajout de sulfate de mercure (Hg^{II}) à la prise d'essai (Rodier, 1997).

IV. Les descripteurs du milieu marin

IV.1. Paramètres physico-chimiques

a) Température

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin, c'est un paramètre très important pour la connaissance des masses d'eaux, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels, dans les cycles biologiques (reproduction, maturation, cycle sexuel et migration) et influe sur la répartition des espèces (Rodier, 1997 ; Millot, 1987).

La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres tel que la saturation des gaz dissous et la mesure du pH (Aminot et Kérouel, 2004). Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants, la détermination de la stratification verticale, la valeur de saturation des gaz dissous

(en particulier l'oxygène) et la circulation océanique (Rodier *et al.*, 2005 ; Aminot et Kérouel, 2004).

D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde (Aminot et Kérouel, 2004).

Dans les océans, la température décroît de la surface vers le fond. Elle varie en fonction des autres descripteurs physico-chimiques (telle que la pression). Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (Aminot et Chausse-pied, 1983).

Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'une élévation de la température (Gaujous, 1995).

b) Salinité

La salinité est la masse, en gramme, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée (Aminot et Chaussepied, 1983).

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

La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large, à la côte ou dans les estuaires (Aminot et Chaussepied, 1983 ; Rodier *et al.*, 2005).

En milieux côtiers et estuariens, la salinité est le traceur idéal des mélanges entre l'eau douce et l'eau de mer (Aminot et Kérouel, 2004).

Dans les océans, la salinité est voisine de 35 et décroît de l'équateur aux pôles. Toutefois, certaines mers présentent des salinités assez différentes, par exemple la Méditerranée: 38-39, la mer Rouge: 36-47, la Baltique: < 15, la mer Noire : 18-22 (Aminot & Kérouel, 2004).

c) Potentiel Hydrogène ou pH

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (Aminot & Kérouel, 2004). Le pH est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion H⁺ (Aminot et Chaussepied, 1983).

$$\text{pH} = -\log_{aH}$$

Le pH dépend de l'origine des eaux naturelles non soumises aux rejets et de la nature géologique du terrain et peut permettre de localiser une source de pollution (Le Pimpec P *et al.*, 2002).

La mesure du pH aura deux applications à considérer séparément : le suivi de la qualité des eaux, d'une part, et les études thermodynamiques des équilibres chimiques, d'autre part. La distinction majeure réside dans le niveau de justesse et de précision requis pour ces deux applications (Aminot & Kérouel, 2004).

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2, est fixé par la présence des carbonates, $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$. Sa modification est due à la modification des concentrations en CO_2 (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation), certains rejets industriels ou les apports d'eaux continentales (Aminot et Chaussepied, 1983).

d) Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Rodier, 2005). La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous (Aminot & Kérouel, 2004), du fait qu'elle permet d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau (Ramade, 2000).

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant électrique. Cette aptitude dépend de la teneur de l'eau en sels dissous (salinité) (Le Pimpec P et al, 2002).

Mesuré sur le terrain, ce paramètre permet de caractériser l'eau. La conductivité d'un échantillon peut être déterminée par comparaison avec la conductivité d'une eau de mer standard (*eau de mer normale*) dont la salinité est de 35 ‰ (Rodier, 2005). Il permet également une bonne appréciation des matières dissoutes. Elle peut faciliter la localisation d'une source de pollution (Le Pimpec P et al, 2002).

e) Oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous intervient dans la plus part des processus biologiques (Aminot & Kérouel, 2004).

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. Dans les eaux de surface l'oxygène joue un rôle fondamental dans le maintien de la vie aquatique et dans les phénomènes d'auto-épuration, c'est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique de l'eau (Rodier *et al.*, 2005).

IV.2. Sels Nutritifs

IV.2.1. Définition

Éléments chimiques indispensables à la synthèse de matière organique. Le terme est souvent réservé aux éléments dont la concentration constitue parfois un facteur limitant (ce qui exclut le carbone inorganique toujours en excès dans la couche de surface des océans). Le terme est donc synonyme de l'ensemble azote, phosphore et silicium inorganiques dissous (Lacaze J.C., 1996).

Ils se situent à l'interface physique-biologique, ce qui rend leur étude doublement intéressante puisqu'ils peuvent être utilisés à la fois comme traceurs de masse d'eau ou comme indicateurs de richesse potentielle.

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

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

IV.2.2. Rôle des sels nutritifs

La production primaire des eaux de surface est basée sur les sels nutritifs et la lumière, ainsi ils reflètent la richesse et la fertilité des eaux marines (Jacques *et al*, 1986)

Leur rôle en milieu marin réside dans le fait qu'ils forment un substrat chimique primordial pour le phytoplancton. Ce sont en outre des traceurs chimiques non conservatifs, gouvernés par les facteurs physiques, chimiques et biologiques. Ils constituent un outil capital pour la caractérisation et l'identification des masses d'eau et la compréhension de certains phénomènes océaniques : circulation des eaux, production primaire marine, cycles biogéochimiques de certains éléments chimiques et autres, notamment en Méditerranée (Béthoux *et al*, 1998). Les régions de remontées d'eaux profondes sont riches en sels nutritifs. Les upwellings sont le siège d'une production intense (Jeandel, 1998).

IV.2.3. Origine des sels nutritifs

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

Les sels nutritifs dissous en milieu marin ont diverses origines et peuvent être classés en deux sources principales : sources internes et les autres externes.

IV.2.3.1. Source externe

Regroupe tous les apports continentaux qui sont transportés à la mer, soit par la voie éolienne ou par voie fluviale. Ces derniers peuvent contenir des substances toxiques pour le milieu marin (Boulahtid, 1987).

IV.2.3.1. Source interne

Est la source la plus importante, car à elle seule présente environ 97% (Boulahtid, 1987). Cette source est assurée par la régénération des sels nutritifs à partir du matériel biogéniques présent dans l'eau de mer. Elle comprend donc toutes les réactions biogéochimiques et autres réactions (oxydation, dégradation de la matière organique) qui s'effectuent le long de la colonne d'eau de mer. Les sels nutritifs peuvent être aussi régénérés et rediffusés à partir du sédiment marin.

IV.2.4. Apports de sels nutritifs en Méditerranée

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

IV.2.4.1. Apports terrestres

Les apports terrestres par rapport aux nutriments organiques et minéraux introduits en méditerranée sont essentiellement par voie fluvial et directe.

IV.2.4.2. Apports atmosphériques

Les apports atmosphériques sont représentés par les pluies qui contiennent des concentrations significatifs d'Azote pour la méditerranée de l'Ouest.

IV.2.5. Différentes formes des sels nutritifs

Les éléments nutritifs sont présents dans le milieu aquatique sous diverses formes organique en solution ou dans le matériel particulaire (Aminot.A et al, 2004)

a) Azote

Prélevé de l'atmosphère, il constitue un élément essentiel des structures vivantes. Selon son degré d'oxydation, il existe sous trois formes : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) ammonium (NH_4^+), et de composés organiques tels que l'urée ou les acides aminés. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (Copin-Montégut, 1996).

b) L'ammonium (NH_4^+)

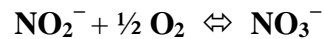
L'azote ammoniacal provient des excréments animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations inférieures au $\mu\text{mole/l}$. En effet, il est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH_3^+) et l'ammonium (NH_4^+) dont des proportions relatives dépendant du pH, de la température et de la salinité du milieu (Aminot et Chausse-pied, 1983). Ces deux espèces traduisent un équilibre acido-basique. A proximité des émissaires urbains, l'ammonium devient un bon traceur de pollution urbaine avec des concentrations pouvant atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre (Lacaze, 1996).

c) Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont la forme la plus répandue et la plus stable de l'azote dans l'océan. Ils représentent environ 65% du stock de l'azote. La concentration varie de 0 $\mu\text{mole/L}$ en surface à plus de 45 $\mu\text{mole/l}$ dans les eaux profondes des océans. Cependant, dans les estuaires, lorsque la salinité décroît et les apports terrigènes augmentent, les concentrations de nitrates peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre (Aminot et al, 1983).

L'ion nitrate est une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Il ne présente pas de faculté de complexation ou d'absorption. Il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance phytoplanctonique, il est ensuite régénéré. Lorsque la vitesse de régénération est inférieure à la vitesse d'utilisation, les ions nitrates sont un facteur limitant de la croissance des algues.

Il résulte de l'oxydation des nitrites (NO_2^-) par une réaction exothermique ($\Delta G^\circ = -18 \text{ Kcal}$) opérée par des bactéries (le Nitrobacter) et on parle de nitratisation (Aminot et al ; 1983).



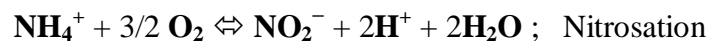
d) Nitrites (NO_2^-)

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

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

Les nitrites proviennent des deux réactions suivantes :

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

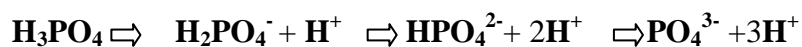


La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, opérée par les bactéries anaérobiques, selon la réaction suivante:



e) Les orthophosphates (PO_4^{3-})

Dans l'eau de mer, le phosphore existe sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire, les orthophosphates représentent la forme la plus abondante, HPO_4^{2-} (90%) et PO_4^{3-} (10%) et 1% de H_2PO_4^- (Aminot et Chausse-pied, 1983). Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide orthophosphorique selon les équilibres suivants :



A l'état d'équilibre, elles se trouvent avec des teneurs assez faibles en surface (0 à 1 $\mu\text{mole/l}$) à cause de leur consommation par le phytoplancton (bloom printanier) (Copin-Montégut, 1996), et ces teneurs augmentent avec la profondeur au-dessous de la couche euphotique pour atteindre un maximum qui correspond au minimum de l'oxygène dissous, avec une légère fluctuation selon la région.

f) La silice dissoute (SiO_2^-)

L'élément nutritif silicium entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (Diatomées, Radiolaires...) (Aminot et Chausse-pied, 1983). A pH moyen de l'eau de mer (~8.2), les formes majoritaires dissoutes dans l'eau de mer étant à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique, $\text{Si}(\text{OH})_4$, 5 % $\text{Si}(\text{OH})_3^-$ (Aminot et Kérouel, 2004).

La distribution verticale de l'acide silicique diffère de celle du phosphore ou de l'azote. Les concentrations augmentent lentement avec la profondeur pour atteindre généralement leur maximum au fond (Jacques, 2006). Les silicates sont régénérés à différentes vitesses et par différents processus et, à présent, il y a toujours une incertitude sur les facteurs qui contrôlent le budget marin des silicates (Jacques et Tréguer, 1986).

IV.2.6. Distribution des sels nutritifs

La distribution et le comportement des sels nutritifs dans le milieu marin dépendent des facteurs et processus physiques, chimiques et biologiques. La distribution des teneurs se trouve influencée par d'autres paramètres tels que la proximité des côtes, la profondeur, les blooms phytoplanctoniques. La distribution des sels nutritifs est caractérisée par une stratification au large avec des teneurs généralement faibles en surface, et qui augmentent progressivement avec la profondeur pour atteindre un maximum au niveau du minimum d'oxygène dissous qui coïncide, en général, avec la thermocline permanente. Cette distribution est contrôlée par les phénomènes physiques et par l'activité biologique qui peut modifier la distribution (Jacques et Tréguer, 1986).

IV.2.7. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs

La figure suivante résume le cycle biogéochimique des éléments nutritifs dans le milieu marin :

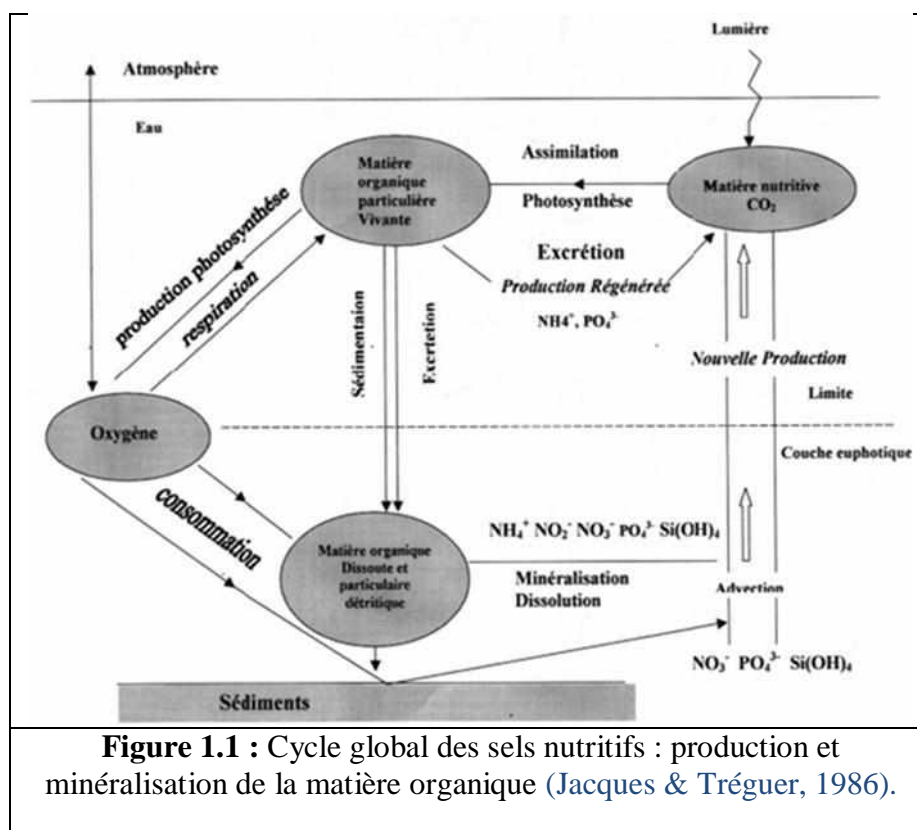


Figure 1.1 : Cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique (Jacques & Tréguer, 1986).

IV.2.7.1 Processus du cycle

a) La photosynthèse

C'est le principal mécanisme de production primaire de la biomasse dans le milieu marin. La lumière, la source d'énergie indispensable, c'est pourquoi seules les eaux superficielles sont le siège de ce processus. L'azote inorganique assimilé peut provenir d'ammonium, de nitrite. Toutefois, la dépense d'énergie de la cellule sera d'autant plus élevée que l'azote est plus oxydé.

Le phosphore est fourni par le phosphate, mais les cellules sont capables d'hydrolyser le phosphore organique dissous grâce à des enzymes externes (fixés ou non à la cellule) en cas de déficit en phosphate (Aminot.A et al, 2004).

b) La minéralisation (régénération)

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

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

La minéralisation résulte de la nutrition des bactéries hétérotrophes dont le métabolisme comporte deux voies complémentaires la voie énergétique qui récupère l'énergie stockée dans matière organique par l'oxydation du carbone organique en CO_2 (respiration) et la voie synthétique (assimilation) qui construit la biomasse bactérienne qui utilise les éléments minéralisés pour constituer une biomasse (Aminot.A, et al, 2004).

c) L'excrétion

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

d) Nitrification

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

e) Dénitrification

Dans les milieux anoxiques, l'ammonium rejeté par la minéralisation n'est pas oxydé et s'accumule. Dans ces milieux, des bactéries se développent néanmoins en trouvant d'autres sources d'oxygène, dont celui du nitrate lorsqu'il est présent. La dénitrification est un processus hétérotrophe. Différents processus consommant le nitrate sont regroupés sous le terme de dénitrification. Au sens strict, il s'agit de la production finale de diazote N_2 , mais de l'oxyde nitreux est aussi produit N_2O . Au sens large, on y inclut la réduction du nitrate en ammonium. Dans les sédiments, les deux types de processus sont présents.

V. Rapport de Redfield

L'assimilation des composants nutritifs et leurs régénérations à partir du matériel organique se font dans des proportions bien déterminées appelées communément rapports biogéochimiques de Redfield. Après plusieurs travaux, Redfield (1934) et Redfield et al (1963) (*in* Boulahdid, 1987) ; ont proposé les rapports suivant par l'analyse de la composition chimique de la matière organique :

$$\Delta C/\Delta N/\Delta P / \Delta O_2 = 1/16/106/-138$$

La composition de la matière organique influe sur la composition en C/N/P des eaux dans lesquelles ces organismes vivent, puisque la source principale des sels nutritifs dans l'océan global est le recyclage interne. Néanmoins, ce rapport varie avec les saisons et selon les régions et décroît avec la profondeur (Boulahdid, 1987).

Les rapports des éléments nutritifs dans le plancton et dans l'eau de mer et leurs changements peuvent être utilisés pour l'identification des particularités concernant la dynamique et le fonctionnement de l'écosystème et pour la modélisation des processus biogéochimiques.

VI. Notion de facteur limitant

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

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

VII. Production primaire

VII.1. Définition

Elle est synonyme de production autotrophe, c'est-à-dire synthèse de matière organique à partir de matière minérale (Frontier et Pichod-Viale, 1998). C'est pour l'essentiel le fait de la photosynthèse, qui est assurée par les végétaux verts et animée par l'énergie solaire. Elle est fondamentalement due en eaux marines du large au phytoplancton (Collignon, 1991 ; Lacaze, 1996). Il est à noter aussi qu'il existe une production primaire provenant des algues macrophytes benthiques ou flottantes (Bougis, 1974). En effet, Les algues macrophytes n'ont que peu d'importance pour la production océanique mondiale par rapport aux espèces planctoniques, elles ne représentent que 0,2 milliards de tonnes contre plusieurs dizaines de milliards de tonnes au phytoplancton, mais elles tiennent une place capitale en tant que ressources vivantes aquatiques (*in* Kassar Abderrahmane 2011).

VII.2. Chlorophylle

Pigment vert des plantes, à structure moléculaire proche de celle de l'hémoglobine, joue un rôle essentiel dans la synthèse des glucides à partir du gaz carbonique.

La chlorophylle capte l'énergie du Soleil qui permet au végétal d'utiliser le gaz carbonique (CO₂) de l'air. Les végétaux, capables de vivre sur un milieu minéral (gaz carbonique, eau, sels minéraux dissous), sont donc autotrophes pour le carbone. Les organismes non photosynthétiques (certains végétaux et animaux) doivent trouver, pour vivre, des sucres déjà synthétisés. Ils sont hétérotrophes pour le carbone (Lacaze J.C., 1996)

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral.

Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles *a*, *b*, *c1*, *c2* et *d*.

VII.2.1. La chlorophylle-*a*

La chlorophylle *a* est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (Aminot et Chaussepied, 1983). La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (Eppley et Peterson, 1979).

VII.2.2. Les phéopigments

Les phéopigments sont les produits de la dégradation des pigments chlorophylliens (Bouget, 2008).

Dans les milieux strictement marins, les phéopigments (groupes de pigments chlorophylliens) résultent du broutage et de la dégradation de cellules et, par conséquent, ne sont pas physiologiquement actifs.

La mesure des phéopigments est utilisée comme critère de l'état physiologique des populations phytolanctoniques, plus la proportion de phéopigments est élevée par rapport à la chlorophylle *a*, plus les cellules algales sont vieilles, dégradées ou broutées par le zooplancton. Les phéopigments sont rarement absentes dans les eaux côtières et toujours présentes en eaux estuariennes turbides (Aminot et Kérouel, 2004).

La mesure de la concentration de chlorophylle *a* est donc utilisée pour estimer la biomasse phytoplanctonique dans la mesure où la synthèse organique d'origine végétale ne peut se faire qu'en passant par l'intermédiaire de ce type de chlorophylle (Bricaud et Morel, 1987).

Conséquences des apports polluants sur le milieu marin et sur l'homme

La nocivité des polluants varie selon leur nature et les caractéristiques physique et biologique de l'environnement dans lequel ils sont rejetés. Compte tenu de leurs faibles teneurs, leur toxicité reste difficile à établir.

VII.3. Eutrophisation

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

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

VII.3.1. Indicateurs et critères d'évaluation

Le niveau de l'eutrophisation peut être évalué à partir des paramètres suivants :

- La production primaire mesurée en g de C /m²/jour.
- La teneur en chlorophylle.
- Les paramètres physicochimiques, la turbidité.
- Les concentrations en oxygène dissous.
- La concentration en substances nutritives.

Tableau 1.1 : Critère trophiques et leur évaluation suite à un accroissement de l'eutrophisation (Aminot.A, et al, 2004).		
Physiques	Chimiques	Biologiques
Transparence (-) (par ex., profondeur du Secchi)	Concentration en nutriments (+) (par ex., le maximum printanier)	Fréquence des proliférations d'algues
Matière en suspension (+)	Chlorophylle a (+)	
Conductivité (+)	Diversité spécifique des algues (-)	
Matière dissoute (+)	Végétation littorale (+)	
Déficit en oxygène dans L'hypolimnion (+)	Zooplancton (+)	
Hypolimnion sursaturé en oxygène (+)	Poissons (+)	
Diversité de la faune benthique (-)	Faune benthique (+)	
Production primaire (+)		

VII.3.2. Conséquence de l'eutrophisation sur le milieu marin

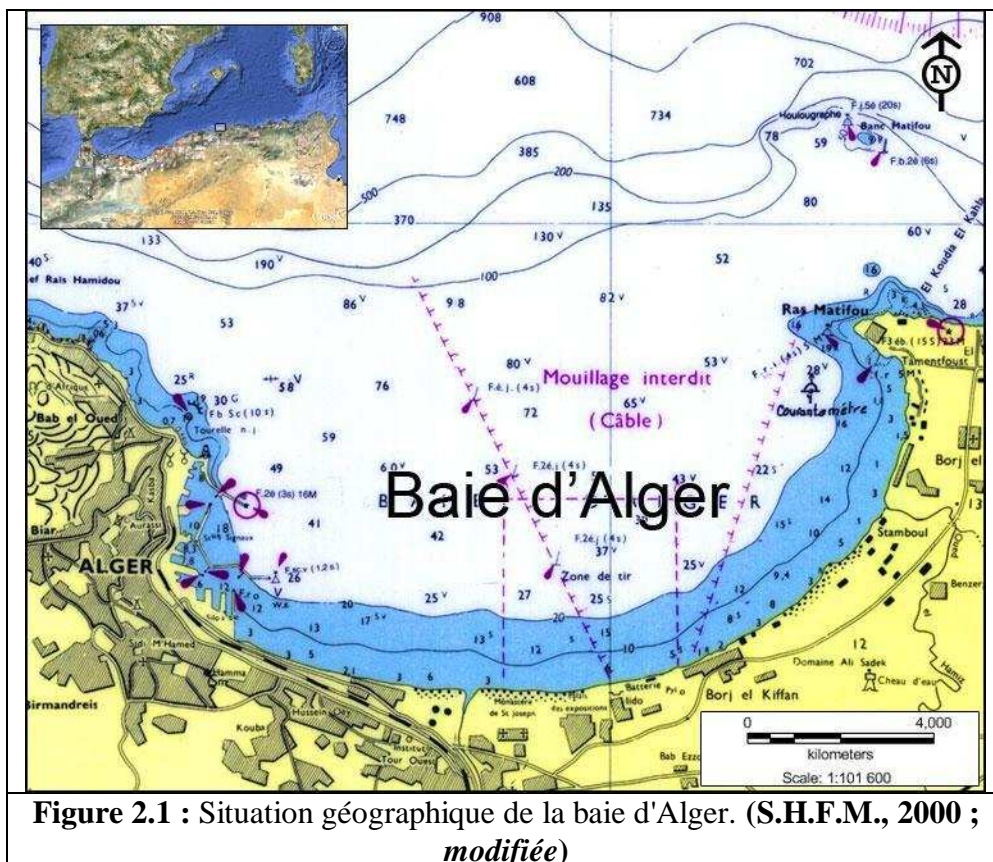
L'extrême abondance du phytoplancton (des millions voire des dizaines de millions de cellules par litre) obscurcit alors l'eau, empêchant toute photosynthèse sur une épaisseur de plusieurs mètres au dessus du fond et provoquant une intense respiration puis une dégradation aérobie du phytoplancton. Dans le cas où le réapprovisionnement en oxygène de l'air n'est pas assuré par le brassage suffisant de la tranche d'eau, par exemple parce qu'une stratification haline ou thermique s'est établie, l'anoxie peut intervenir en quelques heures et asphyxier la faune benthique (Lacaze J.C., 1996).

La pullulation de certaines espèces phytoplanctoniques pose actuellement des problèmes du fait de la toxicité de plusieurs d'entre elles vis-à-vis de la faune marine en constitue un risque pour la santé humaine. Une revue (Smayda, 1990) des proliférations d'espèces phytoplanctoniques toxiques recensées depuis vingt ans dans le monde a montré qu'en dépit des biais dus à la disparité spatiale et temporelle des méthodes de détection, les données existantes accréditent l'idée que les espèces toxiques, particulièrement les Dinoflagellés, ont vu leur abondance croître récemment dans les eaux côtières, préférentiellement dans des zones soumises à des enrichissements en sels nutritifs (Lacaze J.C., 1996).

I. La Baie d'Alger

I.1. Situation géographique

Située dans la partie centrale de la côte algérienne, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. De forme semi-circulaire et d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km², elle est délimitée par deux caps, la Pointe-Pescade (Rais-Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El-Bahri) à l'Est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée. Les coordonnées géographiques de son étendue la situent entre une longitude Est de 03° 13' 25'' à 03° 02' 21'', et une latitude Nord de 36° 48' 53'' à 36° 44' 38'' (in Houma-Bachari, 2009 ; *modifiée*) (Figure 2.1).



I.2. Hydrodynamisme

I.2.1. La houle

C'est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds. Sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que cette dernière est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972).

En hiver, les houles sont de direction Ouest-Nord-Ouest (300°) et, en été, elles sont de direction Nord-Nord-Est (20°- 40°) (Benzohra, 1993).

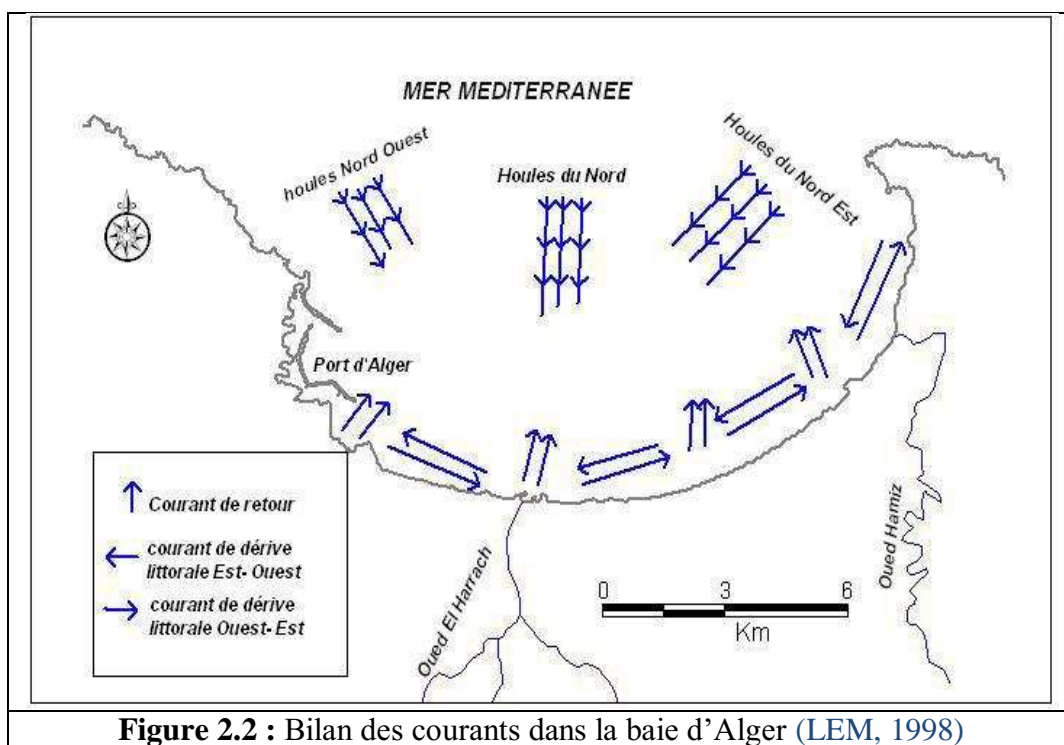
Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules ce favorise leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments (Millot, 1989).

Dans le cas général de houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale (fond à -10 m). Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de -40 m à -60 m (in Houma-Bachari, 2009).

I.2.2. Les courants

La vitesse du courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'Est demeurent généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s au large des côtes algériennes. Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest (Benzohra, 1993).

La dérive générale dans la baie d'Alger engendrée par le courant atlantique (contre-courant atlantique) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h. A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM, 1998) (Figure 2.2).



La baie d'Alger est caractérisée par la même circulation que le bassin algérien. D'une façon générale, l'hydrologie de la baie est caractéristique des eaux atlantiques dont la circulation varie en fonction du régime des vents. La baie largement ouverte à l'Ouest reçoit les eaux océaniques qui s'écouleraient à vitesse moyenne de trois nœuds avec un maximum en Décembre et un minimum en Juillet à Août où les vents d'Est sont dominants (Gaumer, 1981).

I.3. Sources potentielles de pollution

La ville d'Alger est très urbanisée. Aussi, elle est principalement contaminée par différentes sources de pollution et soumise à plusieurs types de rejets urbains, industriels et pétroliers. La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution. Ces eaux usées sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes, génèrent des pollutions organiques et chimiques, cette situation est aggravée par la quasi absence de traitement des eaux (*in Houma-Bachari et al. 2004*) (Figure 2.3).

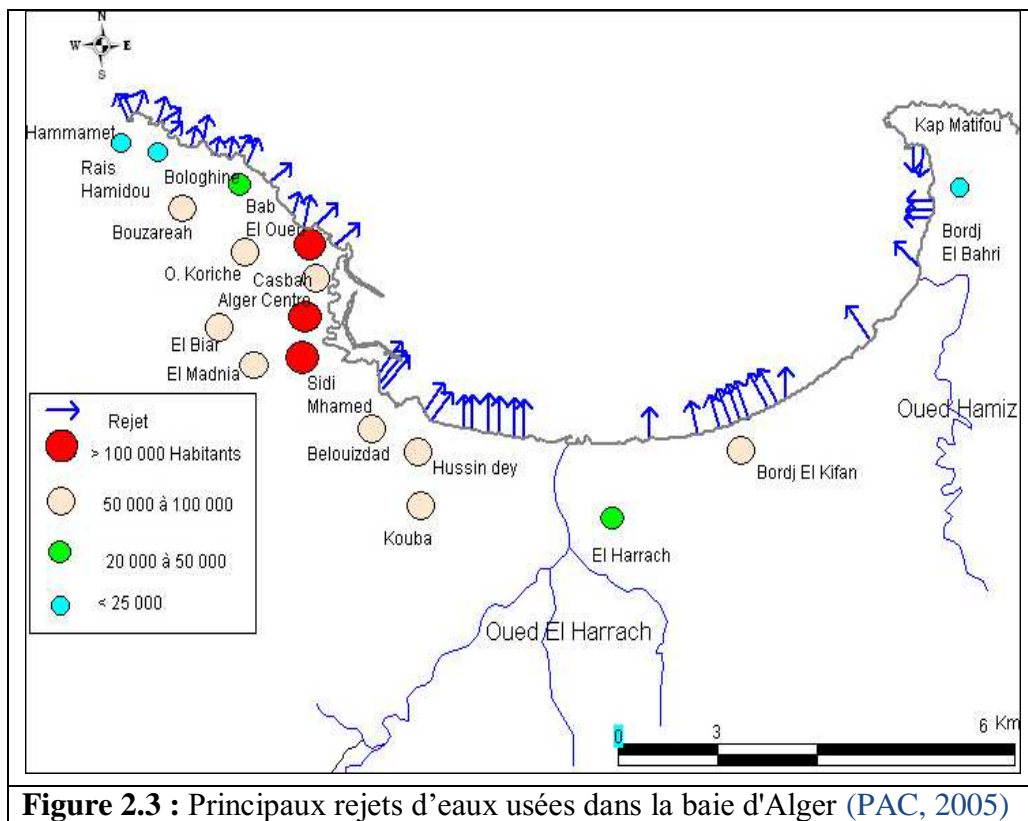


Figure 2.3 : Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (PAC, 2005)

I.4. Réseau hydrographique

La baie d'Alger est alimentées par Oued El Harrach et Oued El Hamiz, ces cours d'eau prennent leur source dans l'atlas Blidéen et traversent la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer. Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps.

I.4.1. Hussein Dey

Zone principalement soumise aux rejets urbains et à l'influence des activités portuaires (*in Houma-Bachari, 2009*).

I.4.2. El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie 970 km², son débit en période de pluie est de 1000 m³/seconde. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important (LEM, 1998). Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger, ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel (*in Houma-Bachari, 2009*).

I.4.3. Bordj El Kiffan

Située à une dizaine de kilomètre à l'Est d'Alger, ce secteur connaît un développement industriel et urbain qui l'expose à une pollution assez accentuée selon le sens du courant et par l'influence des oueds El-Harrach et El- Hamiz (*in Houma-Bachari, 2009*).

I.4.4. El Hamiz

Il se déverse à l'Est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 1998), le débit est régulé par un barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante (*in Houma-Bachari, 2009*).

II. La baie de Bou Ismail

II.1. Situation géographique

La baie de Bou Ismail est limitée à l'Est par la le cap Ras-Acrata dans la wilaya d'Alger et à l'Ouest par le mont Chenoua (2° 25' E) dans la wilaya de Tipaza. (Figure 2.4)

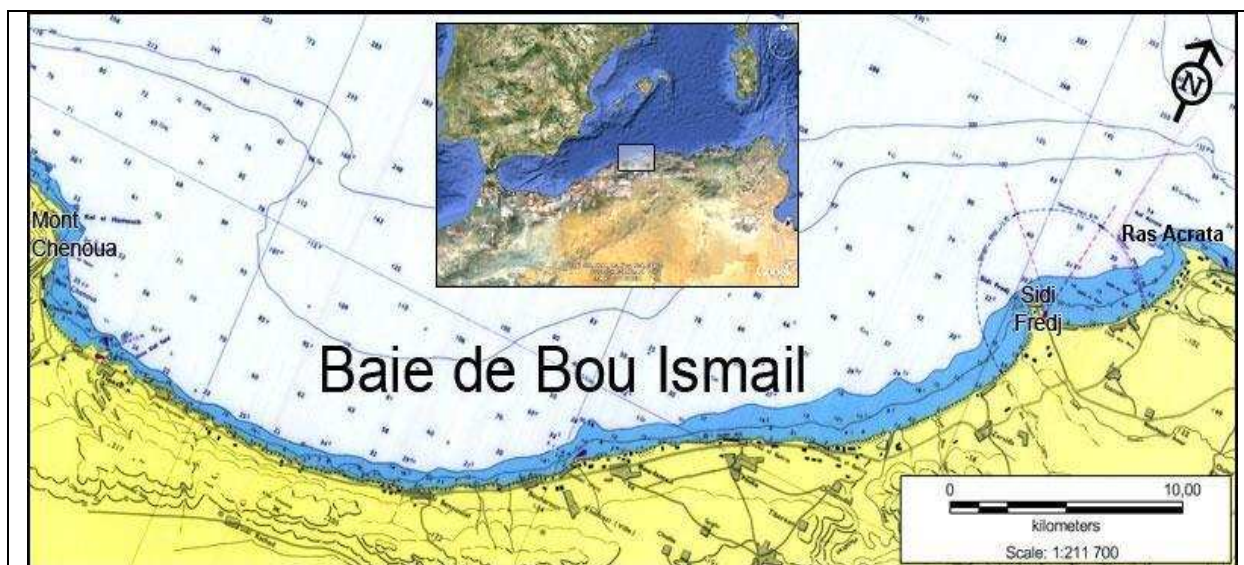


Figure 2.4 : Situation géographique de la baie de Bou Ismail (S.H.F.M., 2000 ; *modifiée*)

II.2. Réseau hydrographique

Deux cours d'eau déversent dans la baie de Bou Ismail, l'oued Mazafran et l'oued Nador :

- L'oued Mazafran se situe à 30 km à l'Ouest d'Alger. Il prend naissance à la jonction de l'oued Chiffa et l'oued Djer. Le bassin versant couvre une superficie de 1850 km². L'oued débouche dans la mer entre Douaouda et Zeralda avec un débit de 7,566 m³/s pendant la période de Décembre à Avril avec une moyenne annuelle de 43,8 millions de m³, cet oued est marqué par un long étiage qui dure de Juin à Décembre représentant 17,38 % du déversement liquide annuel (Benzohra, 1993).
- L'oued Nador se situe entre Tipaza et le Mont Chenoua, il regroupe trois oueds, Bou Yersen, Bou Ardon et Merrad, son étendue est de 230 km² avec un débit de 0,89 m³/s. Ces oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées (Benzohra, 1993).
- **L'oued de Béni Messous** : Il est situé entre El Djamila et club des Pins, traversant les communes de Béni Messous et de Chéraga au Nord avant de déboucher au niveau d'une plage appelée « les dunes » qui fait partie de la baie d'El Djamila (Braik, 1989). Son débit est faible par rapport aux débits des autres oueds débouchant dans la baie, il est estimé à 0,245 m³/s. (A.N.R.H, 2003).

II.3. Climatologie

La baie de Bou Ismail est caractérisée par un climat subhumide et une périodicité des vents. La période hivernale se caractérise par une baisse de la température à environ 16° C et une précipitation moyenne de 89,49 mm, alors que la période estivale se caractérise d'une température moyenne de 29 °C avec des précipitations très faibles et pourcentage d'humidité toujours à 60 %.

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).

Deux groupes dominants sont distingués en la période des vents (Lalami-Taleb, 1970 et Samson-Kechaka in Korichi, 1988) :

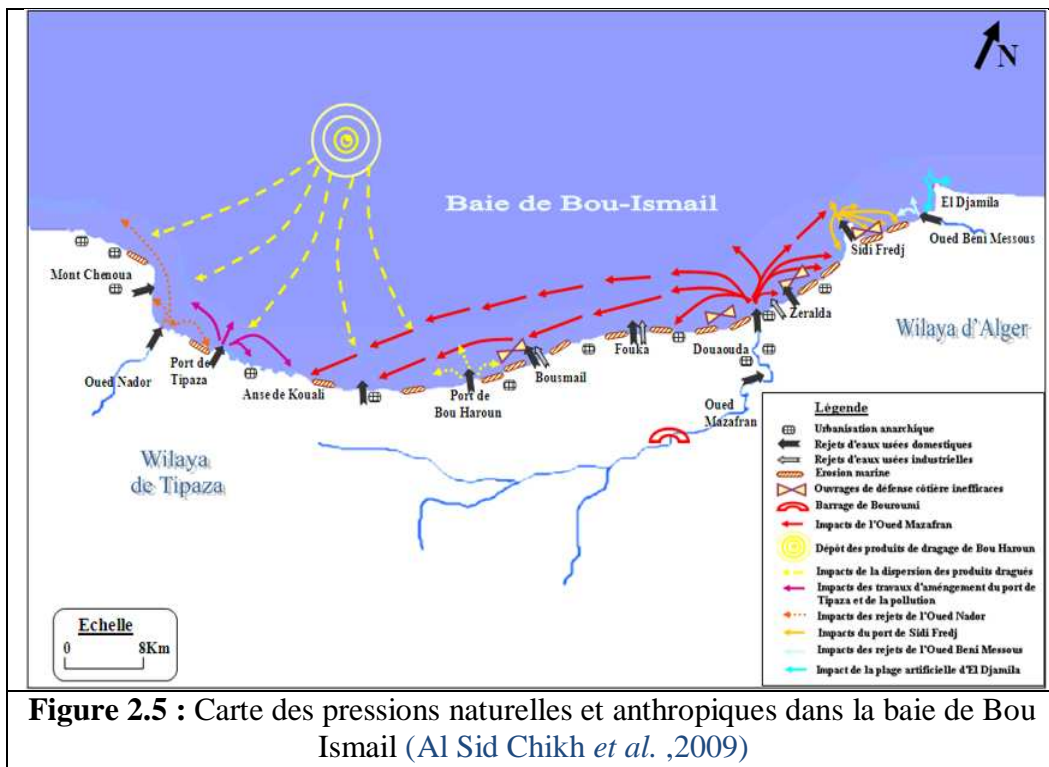
- Vents de secteur Ouest, de 2 m/s en moyenne, et dominant de Novembre en Avril.
- Vents de secteur Est de plus de 2 m/s en moyenne, dominant de Mai en Octobre.

II.4. Hydrodynamisme

L'origine du courant Algérien, qui vient coller les côtes maghrébines à environ 0° de longitude, provient des eaux atlantiques qui pénètrent à travers le détroit de Gibraltar (Taupier-Letage, 1988). Ce courant, allant d'Ouest en Est, provoque des remontées d'eau importantes à cause de ses tourbillons anticycloniques qui atteignent un diamètre de 100 à 200 km (même plus) avec des courants mobilisant une couche qui peut aller jusqu'à 200 m de profondeur, phénomène qui se produit plusieurs fois par an sur une grande partie du bassin Algérien (Millot et Taupier-Letage, 2005) Les remontées d'eau, ou *upwellings*, provoqués soutiennent une remarquable richesse biologique à cause de la remise en suspension des nutriments du fond (Collignon, 1991).

II.5. Sources potentielles de pollution

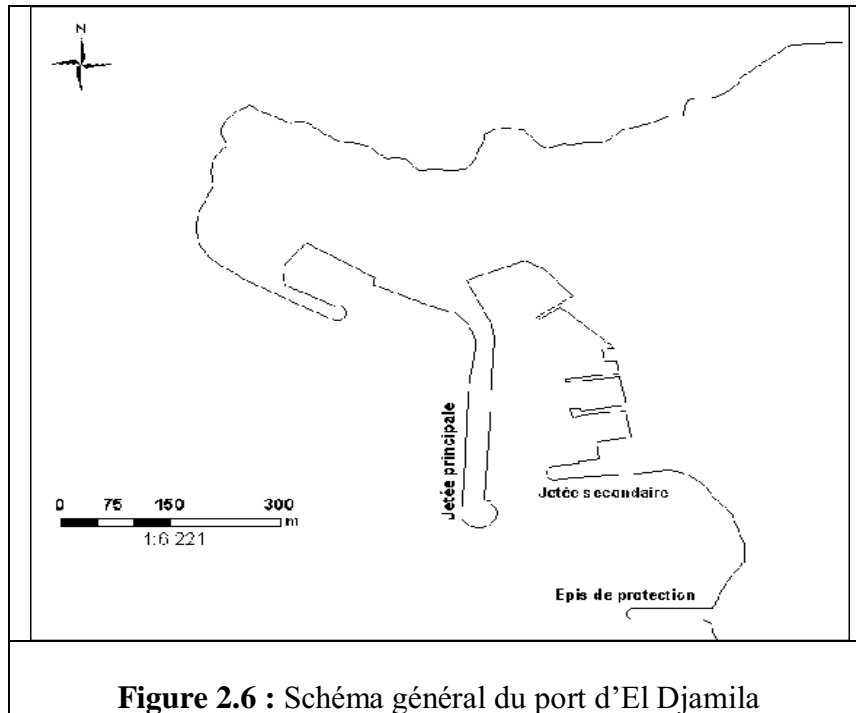
La région de Bou Ismail est une zone à vocation touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui déversent directement en mer, sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas. Ajoutant à cela les rejets des eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels dont les entreprises industrielles de plastique et de caoutchouc (LEM, 1998). De plus, les oueds entraînent vers la mer une partie des eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Beni-Mered au niveau de l'oued Macta Makhlouf (continuité de l'oued Beni-Azza) où déversent les eaux usées de la tanneries du moulin, d'une unité d'électro-glace, une manufacture de mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agroalimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Beni-Mered (Figure 2.5). A cela s'ajoute la pollution due à l'activité agricole et à l'activité de la pêche (in Houma-Bachari, 2007).



II.6. Ports de la baie de Bou-Ismaïl

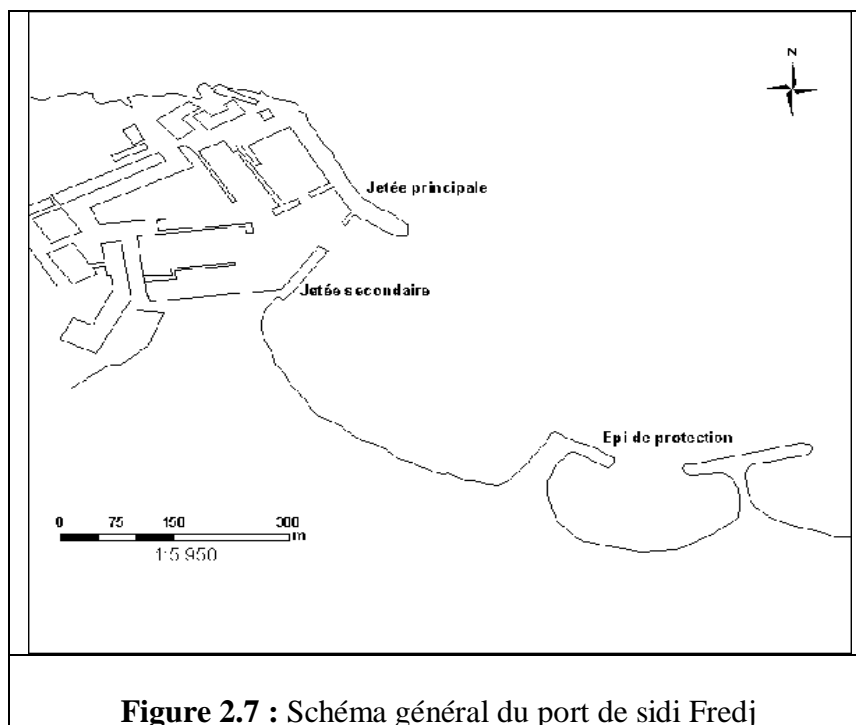
II.6.1. Port d'El-Djamila

Le port d'El Djamilia (ex-La Madrague) est un port de pêche et de plaisance, situé à 18km à l'Ouest d'Alger. Il date de la période coloniale, sa principale communauté de pêcheurs était d'origine italienne, il doit son ancien nom « Madrague » à l'ancien engin de pêche Madrague utilisé pour la capture au thon rouge (Allouani et ramdani in Abadi, 2003) (Figure 2.6).



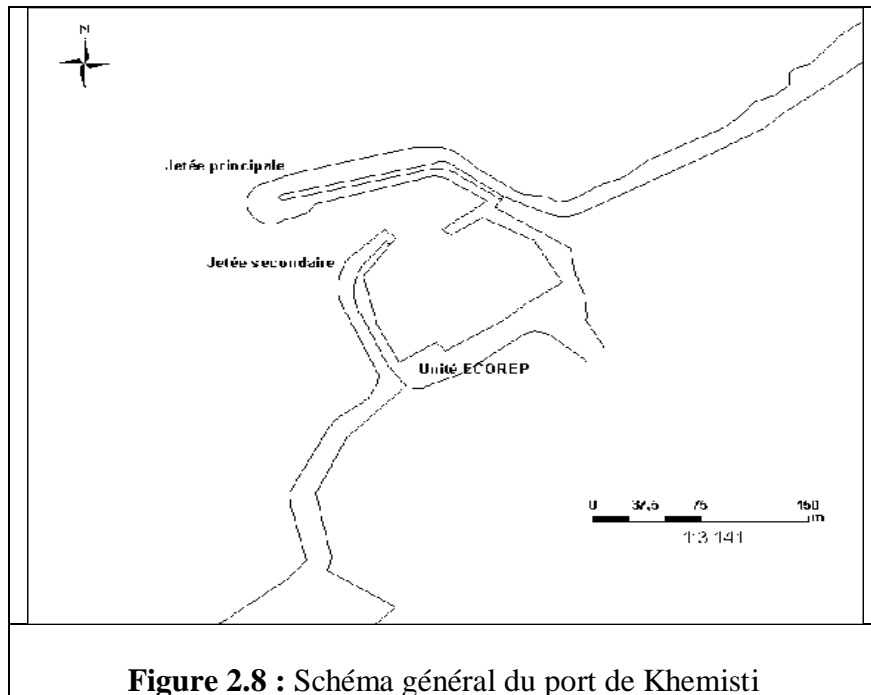
II.6.2. Port de sidi Fredj

Sidi Fredj est une presqu'île appartient à la baie de Bou Ismail, formant le Cap de cette baie et la limite ouest de la baie d'El Djamila. Elle est située à 22km à l'ouest d'Alger. Cette presqu'île est orientée vers le Nord-ouest (Figure 2.7).



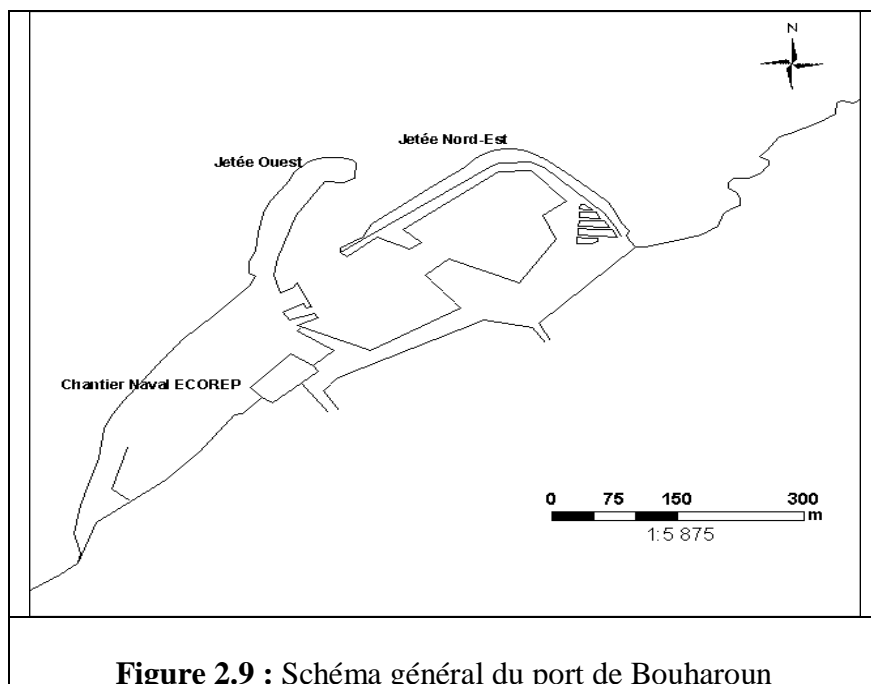
II.6.3. Port de Khemisti

Le port de pêche de Khemisti ou encore nommé Chiffalo (Chiffalo était un village de pêcheur italien, il fut construit par ses propres (Figure 2.8).



II.6.4. Port de Bouharoun

Le port de Bou Haroun est situé à 40km à l'Ouest d'Alger au centre de la baie de Bou Ismail, orienté Nord-est Sud-ouest, et ne possédant aucun abri naturel. Il a une superficie totale 30.000m² (Figure 2.9).



II.6.5. Port de Tipaza

Le port de Tipaza est situé à 75km à l'ouest d'Alger. Il est limité au Sud et à l'Est par les collines du Sahel, tandis qu'à l'Ouest le massif de Chenoua et la pointe du phare le délimite. Ce port de par son orientation vers le Nord est exposé aux houles du Nord et du Nord-est, les houles venant de cette dernière direction sont atténuées quelques peu par la présence d'un îlot (Figure 2.10).

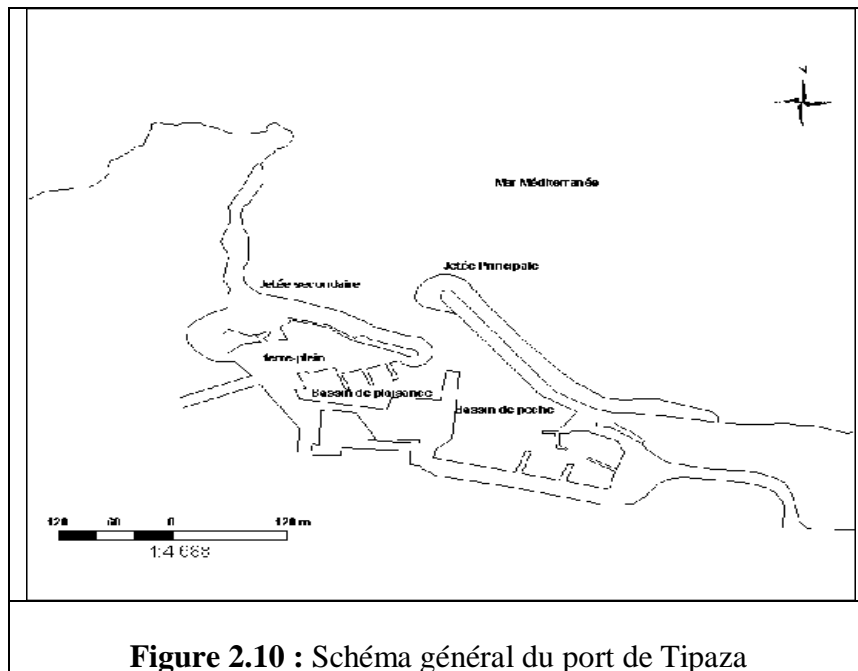


Figure 2.10 : Schéma général du port de Tipaza

I. Choix et localisation des stations

Dans le but de suivre l'état de la qualité des eaux de mer dans la baie d'Alger et celle de Bou Ismail (plus précisément au niveau des rejets des Oueds, des émissaires urbains et industriels), nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans des stations qui ont été choisis au préalable ; notamment au niveau de chaque embouchure, et d'autres intermédiaires afin de suivre l'évolution de la pollution, à bord du navire Baba Aroudj et de la petite embarcation El Awras. Ces derniers sont équipés d'un échosondeur et d'un G.P.S (*GLOBAL POSITION SYSTEM*), permettant d'avoir la profondeur maximale du fond et les coordonnées géographiques exactes des stations de prélèvement. Pour cela 25 stations au total ont été élaborées, dont 6 sont destinées à la baie d'Alger, et 19 pour la baie de Bou Ismail, y compris les ports de cette dernière notamment le port de Tipaza, le port de Bouharoun, le port de Khemisti, le port de Sidi fredj et le port d'El Djamila.

Chaque station a été échantillonnée à deux niveaux de profondeur, en surface (1m) et en profondeur en fonction de la bathymétrie.

I.1. Campagnes de prélèvements

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Sortie N°	Date (année 2012)	Nombre de stations	Baie	Nombre d'échantillons	Navire/ Embarcation
01	22 Avril	5	partie Est de la Baie de Bou Ismail	24	Baba Aroudj
02	26 Avril	6	Baie d'Alger	52	Baba Aroudj
03	03 Juin	14	partie Ouest de la Baie de Bou Ismail	54	El Awras
04	20 Juin	3	partie Est de la baie de Bou Ismail	18	El Awras

II. Matériel de prélèvement

II.1. Prélèvement d'eau de mer

Les échantillons d'eau de mer ont été prélevés à l'aide de bouteilles Niskin d'une capacité de 8 litres (**Figure 3.1, annexe 2**). Ainsi, 148 échantillons ont été prélevés pour l'étude des paramètres physico-chimiques, chimiques et biologiques.

Des précautions particulières de propreté sont prises lors de la manipulation afin d'éviter toute contamination. Les bouteilles à clapets sont ouvertes justes avant leurs mises à l'eau, et fermées aux profondeurs requises, à l'aide d'un messenger qui coulisse le long du câble hydrographique auquel elles sont fixées. Le positionnement exact de chaque station est assuré par le G.P.S du bord.

La mesure des paramètres physicochimiques (T°C, pH, salinité, conductivité et turbidité) a été réalisée sur le terrain, à l'aide de la valise multi-paramètres. La filtration pour la mesure des matières en suspension et la chlorophylle-a ont été réalisées à bord, en utilisant le dispositif de filtration pour les sorties 1 et 2. Pour les sorties 3 et 4, la filtration a été effectuée au laboratoire.

II.2. Conditionnement des moyens de prélèvement

Des flacons en polyéthylène ont été préalablement préparés pour recevoir les échantillons d'eau de mer. Ils ont été rincés à l'eau de robinet, ensuite à l'eau acidulée (HCl 10 %), puis à l'eau distillée. Par la suite ces flacons ont été séchés à l'étuve, puis hermétiquement fermés. Leur étiquetage est préalablement réalisé pour faciliter le travail en mer.

Afin de minimiser les risques de contamination lors du prélèvement à bord, chaque flacon est rincé trois fois avec l'eau de l'échantillon avant son remplissage.

II.3. Prélèvement et conservation des échantillons

Pour l'analyse des sels nutritifs, un flacon de 125 ml est prévu. Pour celle des matières en suspension et de la chlorophylle, deux flacons de 250 ml sont utilisés. Enfin, nous avons utilisé des flacons de 250 ml opaques pour l'analyse de la turbidité.

Les flacons destinés à l'analyse de la chlorophylle sont mis directement à l'abri de la lumière, dans un sachet noir. Ils sont ensuite conservés avec les flacons de la MES dans une glacière isotherme, avec « packs » de froid assurant une température inférieure à 6°C, avant leur filtration sur le bateau à quai.

Les autres échantillons sont mis dans un premier temps dans une glacière assurant leurs conservations pendant le chemin du retour. Ceux de la Turbidité sont ensuite conservés dans le réfrigérateur à 4°C. Ceux destinés à l'analyse des sels nutritifs sont conservés dans un congélateur pour une analyse ultérieure au laboratoire.

II.4. Stratégie d'échantillonnage

Le choix des stations de prélèvement s'est fait dans des zones situées à proximité des embouchures des cours d'eaux ; à savoir les différents Oueds du littoral ainsi que les émissaires.

Une stratégie d'échantillonnage a été adoptée dans certaines stations, de telle sorte à suivre le panache des eaux déversées en mer. Ainsi, 4 points sont échantillonnés. Ils sont répartis de la façon suivante:

- un point "rejet", situé au niveau du débouché, à moins de 150m. Un point au droit du rejet, au large (à 500 - 1 000 m).
- Deux autres points situés à proximité de la côte, à 1 000 m approximativement de part et d'autre du rejet.

III. Localisation des stations

III.1. Baie d'Alger et Baie de Bou-Ismaïl

Voir (figures 3.2 ,3.3, 3.4 et 3.5)

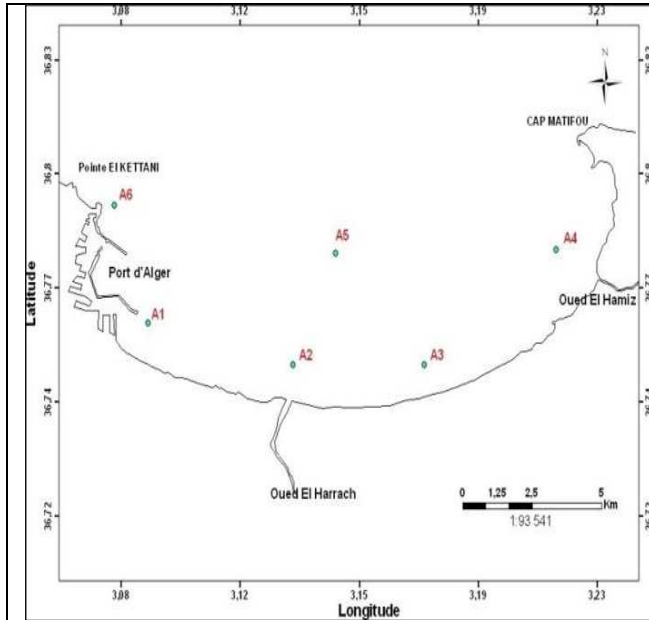


Figure 3.2 : Stations de la baie d'Alger

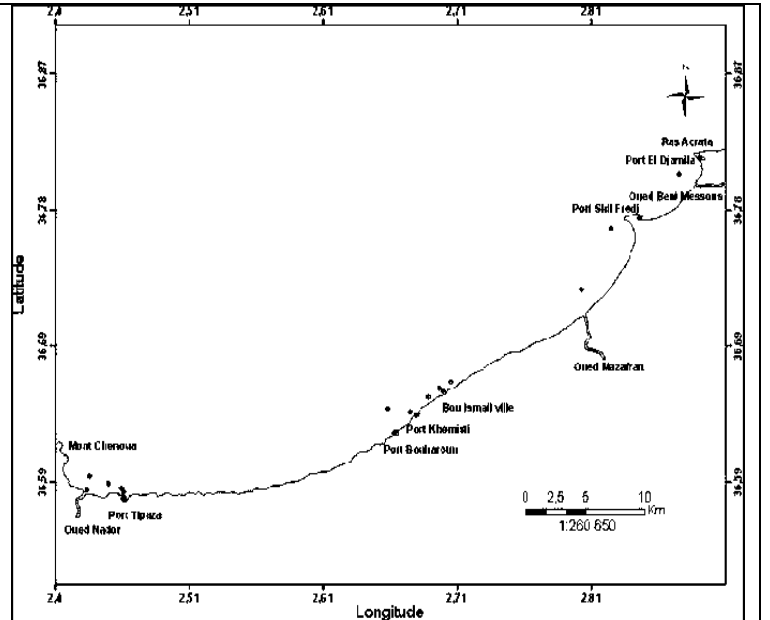


Figure 3.3: Stations de la baie de Bou-Ismaïl

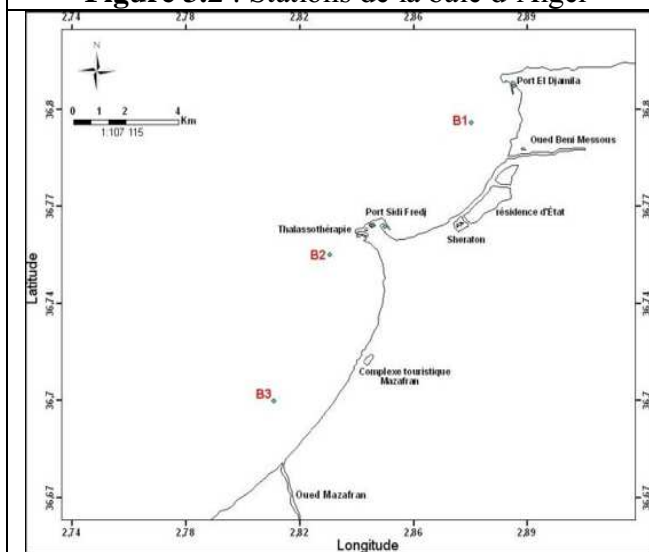


Figure 3.4 : Stations de la partie Est de la Baie de Bou-Ismaïl

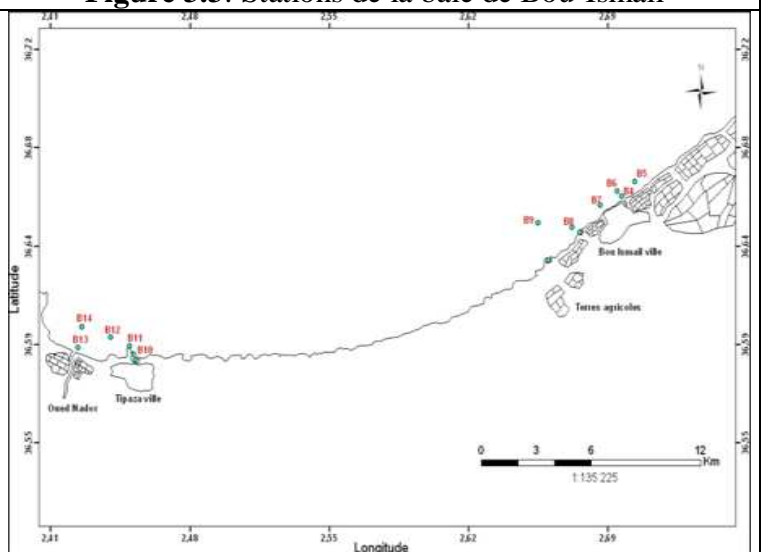
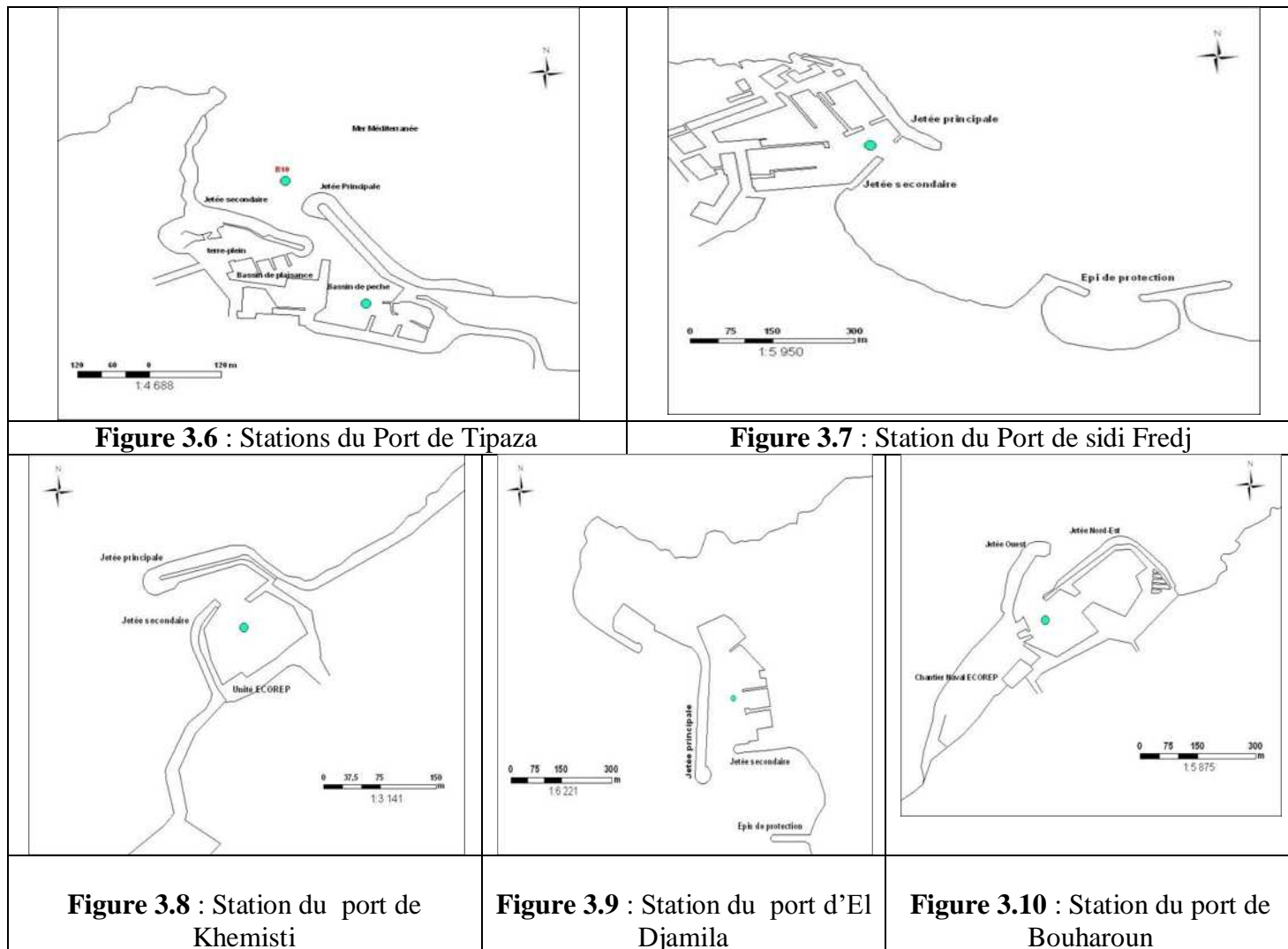


Figure 3.5 : Stations de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

III.2. Ports de la baie de Bou Ismail

Voir (Figures 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10)



IV. Mesure des paramètres physico chimiques

IV.1. Mesures *in-situ*

Des valises multi-paramètres nous ont permis de mesurer les paramètres physico-chimiques de l'eau *in-situ* (Figure 3.11, annexe 2). Pour ce faire, l'électrode de l'appareil est plongée dans l'eau de l'échantillon et la valeur du paramètre n'est notée qu'après stabilité de l'afficheur.

IV.1.1. Température

Elle a été mesurée (en °C) *in-situ* à l'aide d'un conductimètre de terrain préalablement calibré de la marque **WTW®**.

IV.1.2. Salinité et conductivité

Elles ont été mesurés *in-situ* à l'aide d'un conductimètre de terrain préalablement calibré de la marque **WTW®** modèle **Cond 315i**. La conductivité est donnée en milliSiemens/cm et la salinité P.S.U (**P**ractical **S**alinity **U**nit).

IV.1.3. Le pH

Il a été mesuré *in-situ* à l'aide d'un pH-mètre de terrain préalablement calibré de la marque **WTW®** modèle **pH 315i**.

IV.2. Analyse au Laboratoire

IV.2.1. Turbidité

Elle a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type **AQUALYTIC** dont la technologie se fonde sur la norme ISO 9001 : 2000 accredited (**Figure 3.12, annexe 2**). La lecture se fait par la mise en place d'une cuvette à l'intérieur de l'appareil. Sa valeur s'affiche sur l'écran de l'appareil.

1- Calibrage de l'appareil

Cet Appareil doit être calibré par quatre étalons standards fournis, dont la valeur de l'étalon 1 est de 0.1 NTU, le deuxième est de 1 NTU, le troisième est de 10 NTU et enfin le dernier est de 100 NTU.

2- Mode opératoire

- L'utilisation de l'appareil doit être effectuée dans un environnement propre et exempt de poussière, sur une table exempte de toutes vibrations et secousses ;
- Pour la mesure, la cuvette doit être mise en place dans le compartiment de mesure. La mesure doit être effectuée lorsque le couvercle de la cuvette est fermé ;
- Après chaque mesure, il faut nettoyer soigneusement les cuvettes et les couvercles afin d'éviter les erreurs dues aux résidus, dont les faibles quantités de résidus suffisent pour provoquer des erreurs de mesure ;
- Les parois extérieures des cuvettes doivent être propres et sèches avant que le test soit effectué. Des empreintes de doigts ou des gouttes d'eau sur les surfaces de pénétration de la lumière des cuvettes entraînent des erreurs de mesure ;
- Des différences de températures relativement importantes entre le turbidimètre et son environnement peuvent entraîner des erreurs de mesure. Par exemple, du fait de la formation d'eau de condensation dans la zone du système optique ou dans la cuvette. Les conditions idéales pour la réalisation des mesures sont celles d'une température de l'échantillon comprise entre 20 et 25 °C.

3- Nettoyage des cuvettes

Démarche à suivre:

Selon la nature des échantillons, objets de la mesure, les étapes de nettoyage différentes recommandées ou nécessaires sont les suivantes :

- Remplacer immédiatement toute cuvette éraflée ;
- Après chaque mesure, rincer abondamment et plusieurs fois chaque cuvette à l'eau distillée ;
- En présence d'encrassement important ou pour le nettoyage fréquent, remplir les cuvettes d'acide chlorhydrique (HCl) puis les rincer abondamment à l'eau distillée ;
- Laisser toujours sécher les cuvettes à l'air ;
- Ne toucher les cuvettes qu'en les tenant par le haut ;
- Eliminer les gouttes d'eau et les empreintes de doigts en utilisant le chiffon contenu dans la livraison.

Remarque :

La mesure de la turbidité s'est faite pour les échantillons de la baie d'Alger seulement, faute de l'appareil qui présentait des problèmes techniques au moment de son utilisation pour les autres échantillons.

IV.2.2. Matières En Suspension (MES)

La détermination des MES dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. La méthode par centrifugation est surtout réservée aux eaux contenant trop de matières colloïdales pour être filtrées dans de bonnes conditions. En particulier si le temps de filtration est supérieur à une heure (Rodier, 2005). C'est la méthode de filtration sur fibre de verre qui a été adoptée.

1- Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (Rodier, 2005).

Cette mesure consiste à filtrer l'eau sur une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à 0,45 μm (Aminot et Chausse-pied, 1983). La différence de poids des filtres avant et après filtration permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant. La précision sur la concentration de MES dépend du volume filtré et de la sensibilité de la balance (Rodier et al, 2005). La norme française T90-105 AFNOR (1972) recommande l'utilisation des disques filtrants en fibre de verre (GF/F) de 0,45 de porosité pour les eaux côtières et les eaux du large (Aminot et Chausse-pied, 1983).

2- Matériel utilisé

- Dispositif de filtration sous vide de marque *Millipore*® (**Figure 3.13, Annexe 2**) ;
- Disques filtrants en fibre de verre (filtres *Whatman*® GF/F) ;
- Eprouvette graduée de 250 ml et des pinces ;
- Four à moufle de marque *Wisetherm*® ;
- Etuve de type *WTB BINDER*® ;
- Balance de précision de marque *Denver Instrument*® modèle *M-220D* ;
- Déclicateur.

3- Mode opératoire

a) Préparation des filtres au laboratoire

- Laver le disque de filtration à l'eau distillée (HCL à 1%), rincés abondamment à l'eau distillée puis séchés à l'étuve pendant 24 heures à 70 °C jusqu'à masse constante ;
- Placer chaque filtre dans un porte filtre préalablement étiquetée, et placer dans un dessiccateur ;
- Peser le filtre pour avoir P1 mg ;
- Replacer chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la poussière.

b) Filtration de l'eau de mer : cette étape consiste à :

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration ;
- Mesurer le volume à filtrer (VF= 230 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 ;
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec ;
- Remettre chaque filtre dans sa boîte numérotée ;
- Mettre les boîtes à sécher dans l'étuve.

c) 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 n'en sortir les filtres que juste avant la pesée ;
- Peser chaque filtre pour avoir un P2 en mg.

4- Calculs et expression des résultats

Le calcul de la concentration en MES s'est fait selon la relation suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = [(P2 - P1) / V_f] * 1000$$

Où :

P1 : est le poids du filtre avant filtration;

P2 : est le poids du filtre séché après 24 heures;

VF : est le volume filtré de l'échantillon.

IV.2.3. Détermination de la matière organique particulaire (MOP)

Le milieu marin contient naturellement des composés organiques provenant essentiellement des organismes vivants et de leur produit d'élimination et de dégradation. La matière organique particulaire et la matière inorganique particulaire constituent la concentration des eaux en matières en suspension. Ainsi étant un pourcentage important de la concentration de MES des eaux marines, la détermination de la MOP définit le niveau de pollution organique favorisant un accroissement de la production primaire (Rodier *et al*, 2005).

1- Principe

Cette mesure consiste à calciner les filtres déjà utilisés pour la mesure de la concentration des matières en suspension. La teneur en matière inorganique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusés avant et après calcination. Ainsi, la soustraction de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire. La MOP est majoritairement d'origine phytoplantonique (Rodier *et al*, 2005).

2- Matériel utilisé

- Four à moufle de CARBOLITE de type CWF 1200 ;
- Creusés en porcelaine et bras métallique ;
- Balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au 1/10000 g).

3- Mode opératoire

Les filtres issus de la mesure de la concentration en MES, sont conservés afin de déterminer le charge des eaux en MOP dans un dessiccateur. Et ce, dans le but d'éviter qu'ils absorbent l'humidité de l'air;

- Après nettoyage des creusés pour leur enlever toute la poussière, numéroter les ;
- Peser les creusés vide pour avoir P3 ;
- Plier chaque filtre en 4 à l'aide de deux pinces et le mettre dans un creusé ;
- Peser ensuite le creusé avec le filtre P4 ;
- Placer les creusés dans le four à moufle et programmer la Température à 600°C ;
- Patienter que la température du four atteigne 600°C et commencer à compter 2 heures
- Une fois les deux heures écoulées, programmer une deuxième fois la descente progressive de la température jusqu'à ce qu'elle atteigne 100°C ;
- Retirer les creusés à l'aide du bras métallique et les mettre dans un dessiccateur ;
- Une fois refroidis, peser les filtres calciné pour la dernière fois P5.

4- Calculs et expression des résultats

Le calcul de la concentration en MES s'est fait grâce à la relation suivante:

$$[\text{MOP}] \text{ (mg/l)} = (\text{P4} - \text{P3}) - (\text{P5} - \text{P3})$$

Où:

P3 : est le poids du creusé vide ;

P4 : est le poids du creusé avec le filtre avant calcination ;

P5 : est le poids du creusé avec le filtre après calcination.

V. Analyse chimique des sels nutritifs

V.1. Méthode d'analyse

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 - et NH_4^+) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé sur l'appareil *Skalar® San Plus Analyser* selon les protocoles définis par Skalar analytical® (1998).

Les échantillons d'eau de mer sont filtrés à l'aide d'une seringue et des filtres millipores membranes dont la taille des pores est de 0.45 μm (**Figure 3.14, annexe 2**), ensuite ils sont remplis dans des tubes de 10ml et sont installés dans un porte tube de l'appareil (**Figure 3.15, annexe 2**), l'analyse est ensuite déclenchée et les résultats d'analyse sont donnés au niveau de l'ordinateur relié à l'appareil *via* le logiciel fourni avec l'appareil d'analyse.

Avant le lancement de l'analyse, l'appareil est préparé par un rinçage à l'eau bi-distillée.

Pendant 1 heure environ.

V.1.2. Définition de la colorimétrie

Cette méthode est l'une des méthodes de dosage chimique des sels nutritifs basée sur l'absorption de la lumière par la solution analysée. Elle est appelée aussi photométrie. Elle est basée sur la loi de Beer-Lambert qui est définie comme suit :

Loi de Beer-Lambert

L'absorption et la transmission sont deux phénomènes auxquels est soumise une substance d'épaisseur (L) traversée par un faisceau lumineux monochromatique. Les quantités de lumières absorbées (Absorbance) et transmise (transmission) obéissent à la loi de Beer-Lambert.

$$A = \ln I_0 / I = \epsilon.L.C$$

Où:

I_0, I : est l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant ;

A : est l'absorbance ou densité optique ;

ϵ : est le coefficient d'extinction moléculaire ;

L : est le trajet optique (épaisseur du milieu absorbant) ;

C : est la concentration du milieu absorbant.

V.1.3. Matériel utilisé

- Auto-analyzer SAN plus System de marque SKALAR®, 1998;
- Bi-distillateur MILLI-Q® Reagent Water System ;
- Des micropipettes Fortuna ® avec éjecteur d'embout de type DIGITAL , une de 200 à 1000 µl et l'autre de 20 à 250 µl, ainsi que des fioles de 100 et 500 ml ;
- Balance, Spatule, entonnoir, bécher et une hôte.
- Seringue et filtres millipores membranes.

V.2. Dosage chimique des sels nutritifs

1- Principe général

Le principe de dosage des sels nutritifs est basé sur une réaction de coloration. En effet ces sels réagissent dans certaines conditions (T°C, pH, Catalyseur ...) avec des réactifs spécifiques pour donner naissance à une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'ondes (λ). L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration qui est plus importante lorsque la solution est concentrée en sel dosé.

2- Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation pour chacun des éléments à analyser une solution mère et une solution fille. Pour chacune de ces solutions filles, on réalise une série de six étalons couvrant la gamme de la concentration des échantillons rencontrée habituellement dans l'eau de mer (**Tableau 3.2, annexe 3**). Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connus des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes. L'eau bi-distillée et les réactifs sont pris comme référence pour la construction de ligne de base.

V.2. 1. Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH_4^+)

Le constructeur SKALAR a adapté la procédure automatisé pour la détermination de l'ammonium pour l'analyse de l'eau de mer, qui est basé sur la réaction de [Berthelot \(1859\) modifiée par Thé](#). Elle s'applique à des concentrations allant de 2 à 100 ppb N.

En milieu alcalin ($8 < \text{pH} < 11,5$), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu indophénol. Après oxydation un composé coloré vert est formé. La réaction de Thé est catalysée par le nitroprusside de sodium. Le composé formé dans un maximum d'absorption qui se fait à une longueur d'onde de 630 nm (SKALAR® 1998).

a) Les réactifs et les standards

Pour la préparation des réactifs et des standards c'est faite selon le protocole du producteur SKALAR ®, 1998 (**Partie I, annexe 5**).

b) Mode opératoire

- Temps de prélèvement de l'échantillon est de 60 secondes ;
- Temps de rinçage est de 60 secondes ;
- Temps de stabilisation du système est de 20 minutes approximativement ;

c) Etalonnage

Une série de six standards est préparée à chaque analyse (quotidiennement). La courbe d'étalonnage établie est une droite d'équation $y = 361,0 x$

$R^2 (= 0,998)$ est le coefficient de corrélation du « lissage » par une droite (**Figure 3.16**). La loi de Bér Lambert est vérifiée jusqu'à plus de $10 \mu\text{mole/l}$.

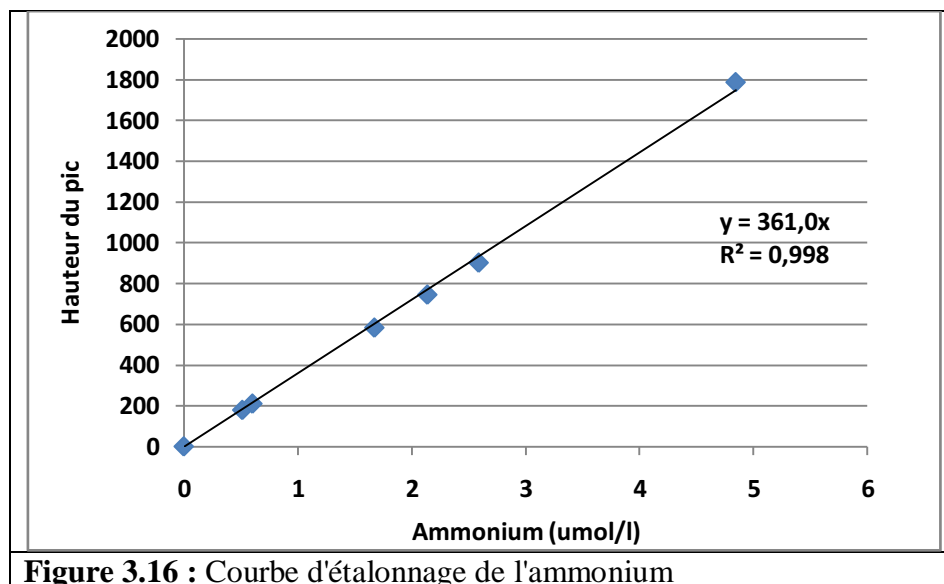


Figure 3.16 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium

V.2. 2. 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 1 à 100 ppb 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 di-amine, un composé azoïque de couleur rosée absorbant un maximum de lumière à 540 nm (SKALAR®, 1998).

a) Préparation des réactifs et des standards (Partie II, annexe 5).

b) Activation de la colonne réductrice de Cadmium (Partie II.3, annexe 5).

c) Procédure de remplissage de la colonne

d)

- 3g de granules de cadmium sont lavés à l'éther éthylène puis rincer abondamment à l'eau distillée.

- Rinçage à l'acide chlorhydrique (4N) environ 50 ml
- Lavage à l'eau distillée
- Rinçage une seconde fois à l'acide chlorhydrique environ 50 ml puis lavage à l'eau distillée.
- Ajoutez 50 ml de la solution de sulfate de cuivre (2%) et remuez pendant 5 minutes jusqu'à la disparition de la couleur bleue et l'apparition de particules colloïdales rougeâtres ;
- Rincer les grains de cadmium plusieurs fois à l'eau distillée.
- Rinçage une seconde fois au sulfate de cuivre et nettoyage à l'eau distillée.
- Introduire le cadmium traité au cuivre dans une solution de chlorure d'ammonium pour éviter les bulles d'air.
- Prendre une colonne en verre rempli de NH₄CL et à l'aide d'un entonnoir introduire le cadmium traité au cuivre dans la colonne tout en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne dans deux cotés.
- Remplir jusqu'à 5mm du sommet
- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent.
- Une fois prête, la placer dans le système d'analyse.

e) Etalonnage

Deux séries de six standards est préparée à chaque analyse (quotidiennement). Les courbes d'étalonnage établit ont pour équations :

Pour les nitrates : $y = 147,6x$ avec $R^2 = 0,998$ (**Figure 3.17**).

Pour les nitrites : $y = 250,1x$ avec $R^2 = 0,999$ (**Figure 3.18**).

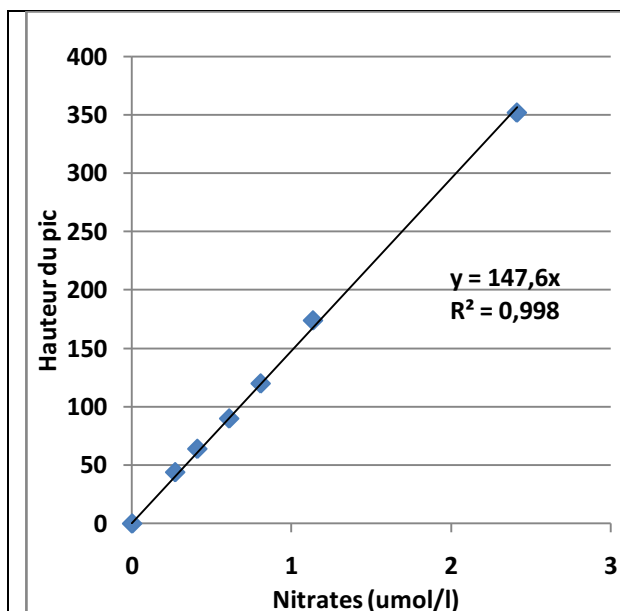


Figure 3.17 : Courbe d'étalonnage des nitrates

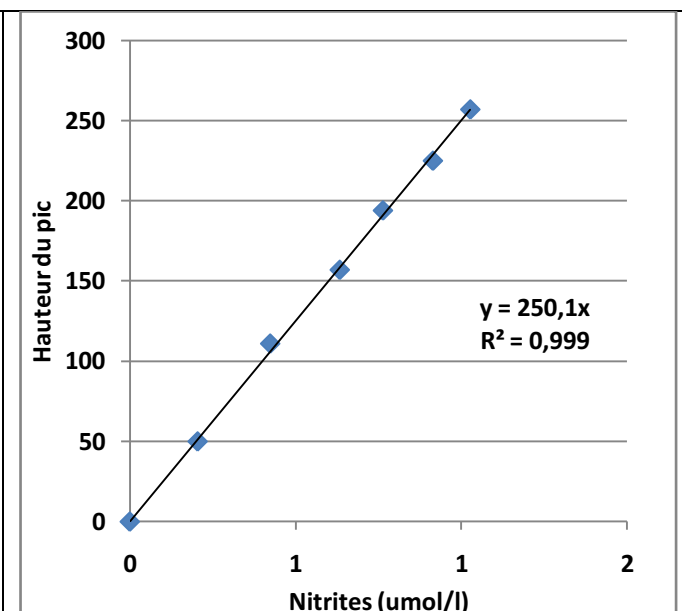


Figure 3.18 : Courbe d'étalonnage des nitrites

V.2. 3. 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 (1920) selon la méthode de Murphy & Reily (1962) (in Aminot et Kérouel, 2004). Cette méthode est utilisée et appliquée à l'eau de mer avec une concentration en orthophosphates allant de 2 à 100 ppb. Le molybdate d'ammonium et le tartrate d'antimoine de potassium réagissent à une température de 40°C (bain marie) dans un médium acide avec les solutions diluées du phosphate pour former un composé d'antimoine-phosphomolybdate. Ce composé est réduit à un composé intensément bleu-coloré par l'acide ascorbique à un maximum d'absorption à 880 nm.

a) Réactifs et standards du dosage des phosphates (PO_4^{3-}) (Partie III, annexe 5).

b) Mode opératoire

- L'appareil doit être allumé une demi-heure à une heure avant l'analyse pour la stabilité de l'énergie ;
- La cuve de mesure dans le trajet optique est de 50 mm ;
- Le filtre monochromatique est à 880 nm ;
- La sensibilité du standard le plus élevé 100 ppb P est à ± 150 A.U ;
- Le temps d'échantillonnage est 60 secondes ;
- Le temps de rinçage est de 60 secondes ;
- Le temps de stabilisation du système hydraulique est de l'ordre de 20 minutes.

c) Etalonnage

Une série de six standards est préparé à chaque analyse (quotidiennement). La courbe d'étalonnage établit a pour équation $y = 4298x$ avec $R^2 = 0,999$ (Figure 3.19).

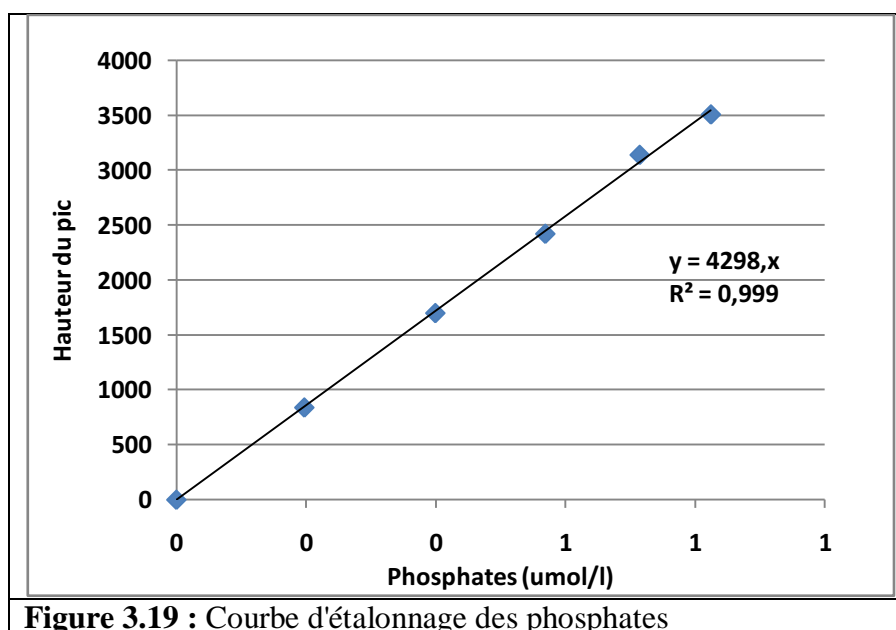


Figure 3.19 : Courbe d'étalonnage des phosphates

V.2. 4. Principe du dosage des silicates (SiO₂-)

Le dosage de l'acide orthosilicique dans l'eau de mer est basé sur la méthode de [Mullin 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 colore en bleu absorbant à 810 nm. L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates.

a) Préparation des réactifs et des standards (Partie IV, annexe 5).

b) Mode opératoire

- L'appareil doit être allumé pendant une heure avant l'analyse pour la stabilité de l'énergie.
- La cellule du flux dans le trajet optique est de 15 mm ;
- Le filtre monochromatique est à 660 nm ;
- La sensibilité du standard le plus élevé 100 ppb Si est à ± 170 A.U.
- Le temps d'échantillonnage est 60 secondes ;
- Le temps de rinçage est de 60 secondes ;
- Le temps de stabilisation du système hydraulique est de l'ordre de 15 minutes.

c) Etalonnage

Une série de six standards est préparée à chaque analyse (quotidiennement). La relation est $y = 122,4x$ avec $R^2 = 0,999$ (Figure 3.20).

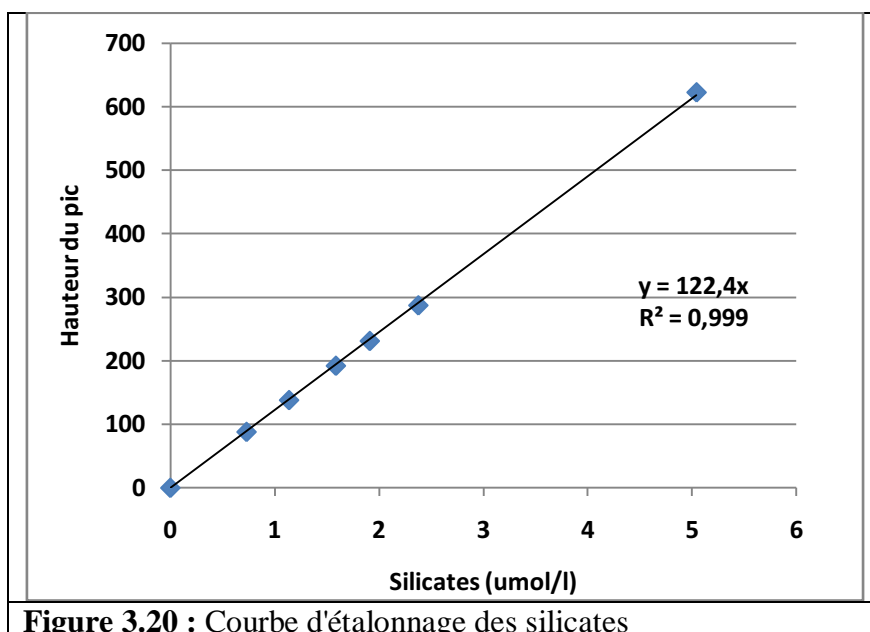


Figure 3.20 : Courbe d'étalonnage des silicates

VI. Dosage de la chlorophylle-*a* par la Spectrofluorimétrie ultraviolet (S.F.U.V)

En milieu marin, comme en eau douce, la mesure de la chlorophylle-*a* permet de caractériser la biomasse (quantité de matière vivante) phytoplanctonique. C'est un descripteur de la capacité de production d'un végétal. D'une manière générale, la mesure des pigments phytoplanctoniques est basée sur leurs propriétés optiques : absorption de la lumière (spectrométrie) ou fluorescence (Fluorimétrie). La Fluorimétrie est plus sensible que la spectrométrie d'au moins d'un ordre de grandeur. Elle est donc souvent utilisée en zone oligotrophe et dans les situations où l'on ne dispose que de petits échantillons. La chlorophylle *a* est un constituant intracellulaire, sa mesure nécessite la récupération des cellules en suspension dans le milieu par filtration. Le matériel cellulaire récolté sur le filtre subit une extraction par solvant. La mesure de l'extrait peut se faire de manière non séparative ou par séparation chromatographique (HPLC).

Les pigments chlorophylliens sont très sensibles à la lumière et au *pH*. En milieu acide, la dégradation de la chlorophylle produit de la phéophytine-*a* (Rodier, 2005).

Dans notre cas, nous avons adopté la méthode fluorimétrique de [Yenstch Menzel \(1963\)](#) adapté par [Holm- Hansen et Reimann \(1978\)](#) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol. C'est une technique d'analyse de la chlorophylle appliquée par [Levy \(1977\)](#) et préconisée par le C.I.O de l'U.N.E.S.C.O (1977), ([Marchand, 1983](#) et [Roussel, 1983](#), *in* [Bentebbal et Tichouiti, 1999](#)) et elle a été décrite par [Raimbault et al. \(1988\)](#), (*in* [Raimbault et al. 1992](#)).

VI.1. Principe

La SFUV mesure l'émission de fluorescence de molécules soumises à un rayonnement d'excitation ultraviolet. La réponse est fonction de la structure moléculaire et s'applique aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées.

VI.2. Appareillage

Dispositif de filtration : la filtration est effectuée sous vide léger en utilisant des filtres en fibre verre (GF/F, 0,45 µm).

Tubes de mesure : pour l'extraction, des tubes en verre avec bouchon.

Centrifugeuse : Centrifugeuse Hettich ZENTRIFUGEN de type EBA 30.

Spectrophotomètre fluorescence : de type HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe « Xénon » qui est la source du rayonnement UV et des cellules en quartz de 1 cm de trajet optique.

VI.3. Réactifs

- Suspension carbonate de magnésium MgCO₃ à 1 % ;
- Solvant d'extraction : Méthanol pur pour analyse à 99,7 % ;

VI.4. Mode opératoire

- Après avoir filtré un volume de 230 ml d'échantillon, nous avons ajouté quelques gouttes de $MgCO_3$ sur le filtre afin de le conserver ;
- Le filtre est plié en quatre et enrobé dans du papier aluminium qui est étiqueté au préalable. Ensuite les filtres sont conservés dans un congélateur pour une analyse ultérieure ;
- Après avoir décongelé le filtre, ce dernier est mis dans un tube après son conditionnement avec du méthanol ;
- Ajouter 7 ml de méthanol à 99,7 % dans le tube contenant le filtre ;
- Le tube est ensuite bouché et placé à l'obscurité dans un réfrigérateur ($5\text{ }^{\circ}C$), pour une période d'extraction de 30 minutes.
- Après l'extraction, vient la centrifugation à 3000 tours/min, pendant 2 minutes ;
- Allumer l'appareil et la lampe une heure avant les mesures ;
- Régler le zéro de l'appareil avec un tube témoin contenant un filtre vierge ayant subi les mêmes traitements que les échantillons, excepté la filtration du plancton ;
- Après ce délai la fluorescence de l'échantillon est mesurée sur le spectrophotomètre fluorescence dans la cellule en quartz.

VI.5. Etalonnage

L'étalonnage est réalisé à l'aide d'une série de cinq standards, et un blanc du méthanol pour tracer une droite d'étalonnage de la chlorophylle-*a*.

Ces standards sont préparés à partir d'une solution mère de chlorophylle-*a* de concentration 4 mg/l, la solution est obtenue par dissolution de 1 mg de chlorophylle-*a* pure dans 250 ml de méthanol.

VI.6. Mesure de l'intensité de fluorescence

Les conditions opératoires pour la mesure de l'intensité de fluorescence des pigments présents dans la chlorophylle, établies par les experts de la C.O.I (1982), stipulent que la lecture de cette intensité doit se faire dans les longueurs d'ondes suivantes :

Longueur d'onde d'excitation : 450 nm ;

Longueur d'onde d'émission : 670 nm ;

Les fentes d'excitation et d'émission sont respectivement fixées à 2 nm et 20 nm.

La méthode apporte une correction pour la présence de phéopigments-*a*, laquelle absorbe à une longueur d'onde voisine de la chlorophylle *a*. La mesure fluorométrique est effectuée avant acidification et après une acidification qui transforme toute la chlorophylle-*a* en phéopigments *a* laquelle émet de la fluorescence avec moins d'intensité. Cette opération permet de corriger l'interférence des phéopigments *a* sur la chlorophylle *a* et, du même coup, de doser la phéopigment-*a*.

Nous avons mesuré l'intensité de fluorescence IF₀, puis ajouter 10 µl d'HCl dans la cellule, attendre 1 minute puis lire l'intensité de fluorescence IF_a.

Le tableau suivant donne les concentrations des standards et leurs intensités de fluorescence (IF₀) ainsi que l'intensité IF_a après acidification, mesurées en unité arbitraire (U.A.) :

	IF0	IFa	Concentration (ug/L)
Méthanol	0	0	0
STD 1	0,2	0,1	1
STD2	0,7	0,3	2
STD 3	1,7	0,5	4
STD 4	2,6	0,8	8
STD 5	3,5	1	10

Ainsi, l'établissement de la droite d'étalonnage de la chlorophylle-*a* ainsi que celle des phéopigments se fait à partir de ces résultats (Figure 3.21).

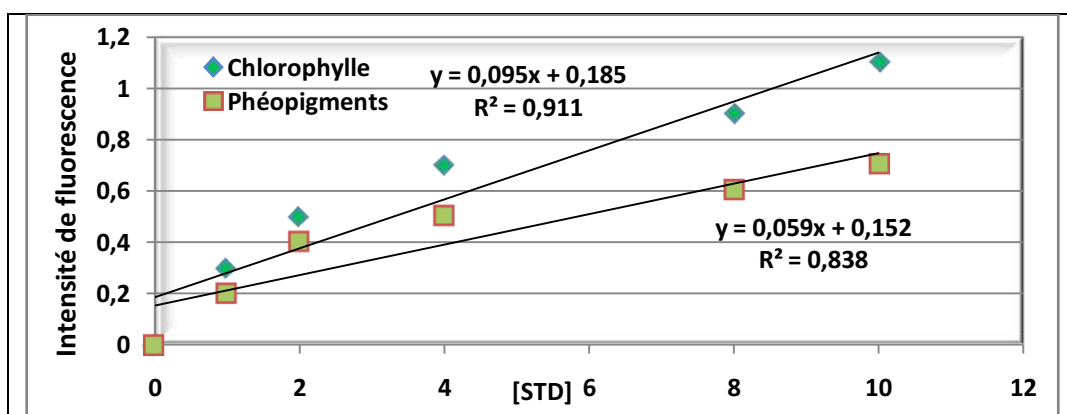


Figure 3.21 : Droites d'étalonnage de la chlorophylle à 670 nm

VI.7. Mode de calcul des concentrations

Les concentrations de la chlorophylle *a* sont évaluées d'après les formules de Lorenzen qui néglige la présence des phéopigments (1966, in Aminot et Chausse-Pied, 1983). Ainsi on détermine la concentration en chlorophylle-*a* totale.

$$[\text{Chlorophylle} - a] (\text{ug/l}) = \frac{IF0}{K0} \times \frac{VE}{VF}$$

Où :

IF, intensité de fluorescence (U.A) ;

K, coefficient d'étalonnage établi avec la solution mère de la chlorophylle *a* ;

VE, volume d'extraction ;

VF, volume de l'échantillon filtré (VF = 250 ml).

$$[\text{phéopigments} - a](\text{ug/l}) = \frac{IF0 - IFa}{K0 - Ka} \times \frac{VE}{VF}$$

Où :

IF0 : Intensité de fluorescence avant acidification (U.A) ;

IFa : Intensité de fluorescence après acidification (U.A) ;

K0 : Coefficient d'étalonnage établie avec de la chlorophylle *a* pure avant acidification ;

Ka : Coefficient d'étalonnage établie avec de la chlorophylle *a* pure après acidification ;

VE : Le volume d'extraction (VE = 7 ml) ;

VF : Le volume de l'échantillon filtré (VF = 250 ml).

Il paraît indispensable après cette première étape, de faire un bilan sur l'ensemble des résultats obtenus afin d'essayer de donner une explication aux multiples anomalies constatées.

Après les étapes précédentes, dans ce chapitre les résultats seront exposés avec discussion des différentes observations et anomalies constatées afin d'essayer d'élucider et d'expliquer les phénomènes et les processus qui peuvent être à l'origine.

On commencera par une analyse générale des données, en indiquant les grandeurs moyennes détenues pour l'ensemble des paramètres. Celle-ci sera suivie d'une observation spatiale à l'échelle de la baie par la détermination des cartes de distribution horizontales via le logiciel ArcGIS, système d'informations géographiques. Des synthèses succinctes des principales caractéristiques hydrodynamiques et des niveaux d'enrichissement en éléments nutritifs découleront progressivement de l'ensemble des données.

On essayera ensuite une étude binaire entre paramètres. De plus, on établira des diagrammes qui permettront de suivre l'évolution d'un paramètre en fonction du temps.

Une discussion succincte permettra de faire la jonction entre les phénomènes et les processus décelés.

I. Analyse paramétrique

I.1. Variations des paramètres physicochimiques

Les données acquises lors des campagnes en mer sont résumées dans des tableaux, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes. L'analyse des échantillons est réalisée pour chaque station à deux niveaux de profondeur (surface et fond).

1. Baie d'Alger :

Tableau 4.1 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques de la baie d'Alger.										
	Température (°C)		Salinité (PSU)		Conductivité (ms/Cm)		pH		Turbidité (NTU)	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	18,55	17,44	34,85	36,24	47,88	49,64	8,14	8,19	5,51	6,23
Minimum	18,10	17,20	31,50	36,00	43,70	49,30	8,06	8,14	2,87	4,63
Maximum	19,10	17,70	36,40	36,40	49,80	49,90	8,22	8,22	7,80	8,86
Ecart-type	0,42	0,16	1,95	0,14	2,41	0,20	0,07	0,03	1,97	1,31

a. Température

Les valeurs thermiques au niveau de la baie d'Alger reflètent une situation typiquement printanière. Avec une moyenne de 18,55°C et un écart-type de 0,42. Les valeurs de la température de surface se situent entre un minimum de 18,10°C au niveau de la station A6 (Kettani) et un maximum de 19,10°C au niveau de la station A2 (en face de l'embouchure de l'Oued El Harrach). On constate un léger refroidissement des eaux de surface au niveau des stations A1, A4, A5 et A6 par rapport aux autres.

Quant à la mesure de la température en profondeur, les valeurs sont assez homogènes et sont de l'ordre de 17°C, puisque l'écart-type est faible (0,16) avec une moyenne de 17,44°C, un minimum de 17,20°C au niveau de la station A4 et un maximum de 17,70°C au niveau des stations A3 et A6.

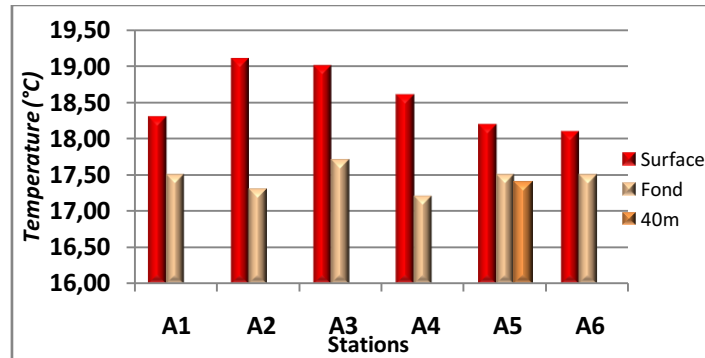


Figure 4.1: Variation de la température à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

b. Salinité

La salinité de surface au niveau de la baie d'Alger varie dans une large gamme (écart-type de 1,95), avec un minimum de 31,50 PSU observé au niveau de la station A2 et un maximum de 36,40 PSU au centre de la baie (A5). La valeur moyenne est de 34,85 PSU. Donc l'influence des eaux continentales est nettement ressentie, surtout au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach qui provoque la dessalure de l'eau de surface, diminuant ainsi la salinité de l'eau pour atteindre une valeur de 31,50 PSU.

Contrairement à la surface, la mesure de la salinité en profondeur au niveau des six stations indique des valeurs relativement identiques, avec un écart-type très faible de l'ordre de 0,14. La salinité du fond varie entre un minimum de 36 PSU (A6) et un maximum de 36,40 PSU (A4 et A5 40m) avec une moyenne de 36,24 PSU.

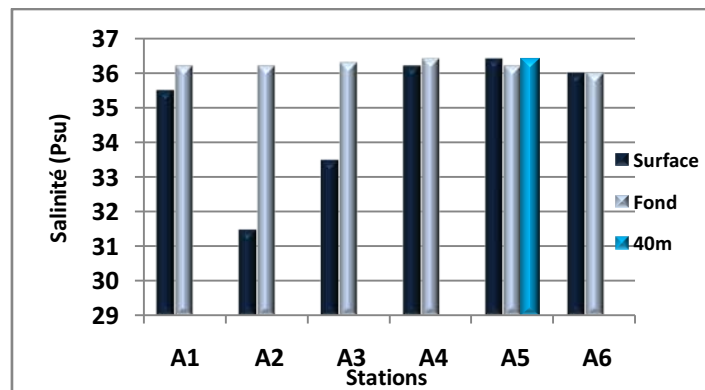


Figure 4.2 : Variation de la salinité à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

c. Diagramme T-S

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 du fond et de surface (Figure 4.3). Le premier ensemble (a) caractérise les eaux de salinité les plus faibles (31,5-33,5 PSU) et les températures les plus élevées (19-19,10°C), au niveau des stations (A2 et A3) en surface où l'influence des eaux continentales est nettement ressentie. Le deuxième ensemble (b) marqué par des salinités élevées (36,2-36,7) et un léger refroidissement des eaux de surface (18,10-18,6 °C), au niveau des stations (A1, A4, A5 et A6). Quant aux eaux du fond, les deux paramètres sont assez homogènes avec des valeurs de températures qui sont de l'ordre de 17°C pour la température et de 36 PSU pour la salinité.

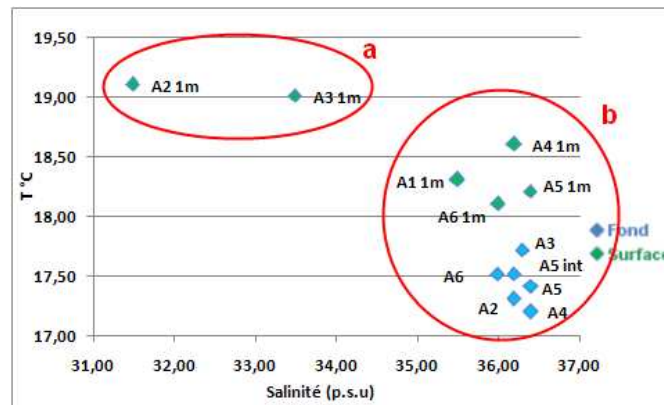


Figure 4.3 : Diagramme Température – Salinité de la baie d’Alger.

Donc il y a une nette distinction entre les eaux froides du fond et les eaux de surface relativement chaudes, marquant un semblant de stratification des eaux en cette période. L'influence des eaux continentales est nettement ressentie dans l'eau de faible salinité et légèrement plus chaudes à la station A2, en face de l'oued El Harrach et au niveau de la station A3. Les valeurs de ces paramètres dans cette dernière station peuvent être expliquées par la direction des eaux de l'oued El Harrach qui dérivent vers l'Est (Boulahtid et al., 2003).

d. pH

Les valeurs du potentiel d'Hydrogène sont pratiquement homogènes dans l'ensemble des stations, à différents niveaux de profondeur (8,06 - 8,22). Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 8,14 et de 8,19 avec un écart-type de 0,07 et de 0,03.

Les valeurs les plus faibles sont observées au niveau des embouchures des Oueds (El Harrach et El Hamiz) ainsi qu'à la sortie du port d'Alger où les valeurs minimales de 8,06 en surface et 8,14 au fond sont enregistrées. Par contre, la valeur la plus élevée en surface est mesurée au niveau de la station A6. Tandis qu'en profondeur, la valeur la plus élevée de 8,22 est observée au niveau des stations A3, A5 et A6.

Cette distribution du pH serait vraisemblablement influencée par les apports d'eaux continentales et des rejets urbains et industriels.

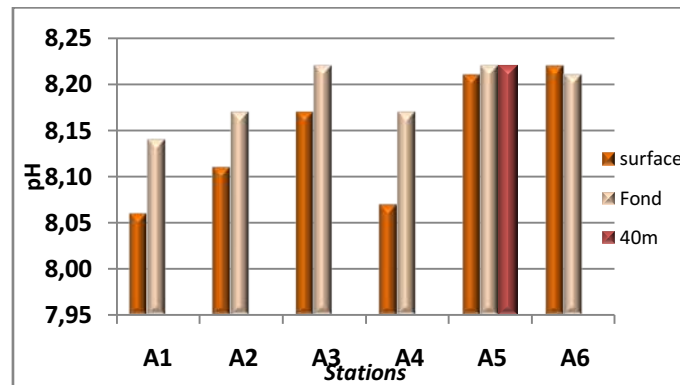


Figure 4.4 : Variation du pH à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

e. Turbidité

La turbidité de surface varie entre un minimum de 2,87 NTU et un maximum de 7,80 NTU, avec une valeur moyenne de 5,51 NTU et un écart-type de 1,97. Alors qu'en profondeur, la gamme de variation de ce paramètre est de [4,63-8,86 NTU], avec une moyenne de 6,23 NTU et un écart- type de 1,31.

La station A3 marque les valeurs minimales en surface (2,87) et en profondeur (4,63) ; alors que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station A6, dont les rejets d'eaux usées riche en matières en suspension de la ville de Bab El Oued ainsi que des agglomérations adjacentes assez denses seraient à l'origine de cette turbidité.

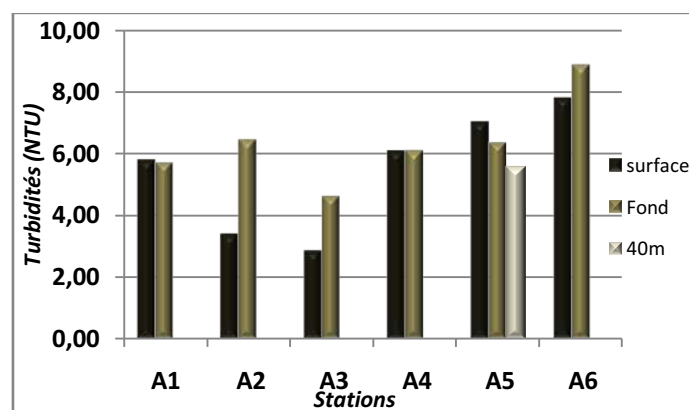


Figure 4.5 : Variation de la turbidité à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

2. Baie de Bou Ismail

Tableau 4.2 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques de la baie de Bou-Ismail.

	Température (°C)		Salinité (PSU)		Conductivité (ms/cm)		pH	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	19,81	18,87	36,19	36,34	49,43	49,73	8,06	8,11
Minimum	18,30	16,20	34,40	36,00	47,20	49,50	7,92	7,93
Maximum	21,40	20,00	36,60	36,50	49,90	50,00	8,32	8,33
Ecart-type	0,68	1,23	0,58	0,18	0,72	0,19	0,11	0,15

a. Température

Les stations B1, B2 et B3 représentent la partie Est de la Baie de Bou Ismail. Les autres stations (B4 jusqu'au B14) constituent la partie Ouest.

Avec une moyenne de 19,81°C et un écart-type de 0,68, les valeurs de température de surface se situent entre un minimum de 18,30°C au niveau de la station B1 (en face l'embouchure de l'Oued Beni Messous) et un maximum de 21,40°C au niveau de la station B5.

En profondeur, la valeur moyenne mesurée est de 18,87°C et un écart-type de 1,23, avec un minimum observé toujours au niveau de la station B1, de l'ordre de 16,20°C et un maximum de 20°C au niveau de station B13.

L'écart de température entre la surface et le fond pour les stations de la partie Est est plus important que la partie Ouest, respectivement 1,24 et 0,60.

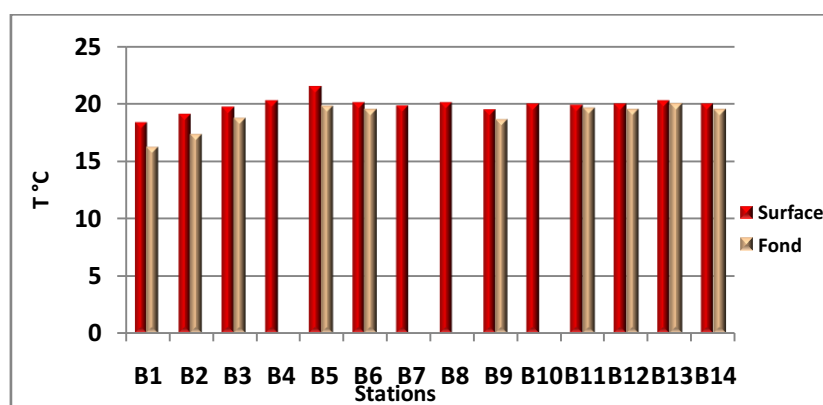


Figure 4.6: Variation de la température à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismail.

b. Salinité

Avec une moyenne de 36,19 psu et un écart-type de 0,58, les valeurs de la salinité de surface se situent entre un minimum de 34,40 PSU au niveau de la station B3 (en face l’embouchure de l’Oued Mazafran) et un maximum de 36,60 PSU au niveau des stations B9 et B14.

En profondeur, la valeur moyenne mesurée est de 36,34 psu et un écart-type de 0,18, avec un minimum observé toujours au niveau de la station B3, de l’ordre de 36 PSU et un maximum de 36,5 PSU dans les stations B5, B9 et B12.

Les stations de la partie Est situées en face des embouchures des Oueds Mazafran et Beni Messous, ainsi que la station B2 subissent une légère dessalure des eaux de surface par l’influence des eaux continentales, et ainsi voient leur salinité diminuer à des valeurs inférieures à 36 PSU.

Toujours, l’écart de salinité entre la surface et le fond pour les stations de la partie Est est plus important que la partie Ouest, respectivement 0,74 et 0,14.

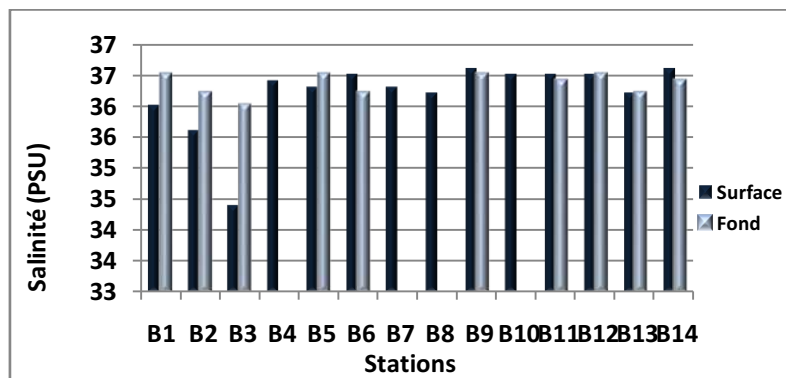


Figure 4.7: Variation de la salinité à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

c. Diagramme T-S

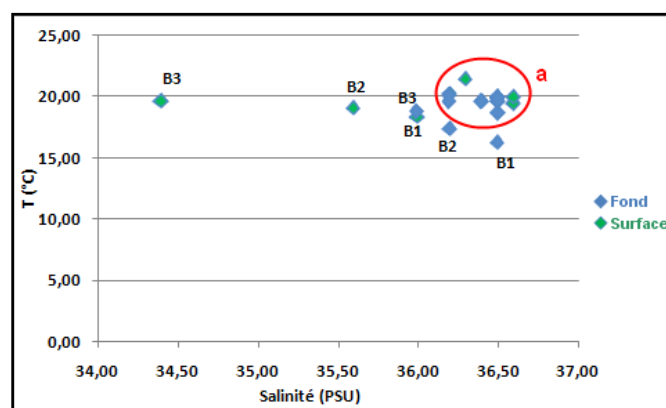


Figure 4.8: Diagramme Température – salinité de la baie de Bou-Ismaïl.

Le digramme température-salinité se distingue de celui de la baie d'Alger par le réchauffement des eaux et les valeurs élevées de la salinité (**Figure 4.8**).

L'ensemble 'a', regroupant les stations de la partie Ouest de la baie, est caractérisé par les valeurs de température et de salinité les plus élevées, respectivement entre (18,6-21,8 °C) et (36,2-36,6 psu). Ces paramètres peuvent renseigner sur un mélange entre les masses d'eaux qui semble plus avancé que celui dans la baie d'Alger, ce qui a conduit à des différences très faibles entre les eaux de surface et de fond.

Les stations de la partie Est de la baie (B1, B2 et B3) se distinguent aisément de l'ensemble 'a'. La station B3, située en face de l'embouchure de l'Oued Mazafran, présente une salinité de 34,4 psu en surface. Cette faible valeur peut être expliquée par l'influence des eaux douces de l'Oued provoquant la dessalure du milieu.

d. pH

Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 8,06 et de 8,11 avec un écart-type de 0,11 et de 0,15.

La station B13 (située en face l'Oued Nador) marque les valeurs les plus faibles en surface et en profondeur, respectivement 7,92 et 7,93 ; alors que les valeurs les plus élevées sont observées au niveau de la station B1, en face l'oued Beni Messous.

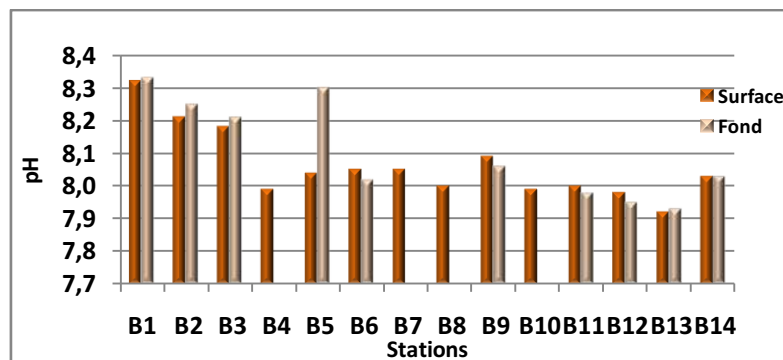


Figure 4.9: Variation du pH à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

3. Ports de la baie de Bou-Ismaïl

Tableau 4.3 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physicochimiques des différents ports de la baie de Bou-Ismaïl.				
	T°C	Salinité (PSU)	Conductivité (ms/cm)	pH
Moyenne	20,32	36,14	49,26	8,04
Minimum	18,60	35,70	48,80	7,88
Maximum	22,60	36,40	49,70	8,23
Ecart-type	1,44	0,29	0,32	0,13

a. Température

Avec une moyenne de 20,32°C et un écart-type de 1,44, les valeurs de la température des ports de la baie de Bou Ismail se situent entre un minimum de 18,60°C au niveau du port d'El Djamila et un maximum de 22,60°C au niveau du port de Sidi Fredj.

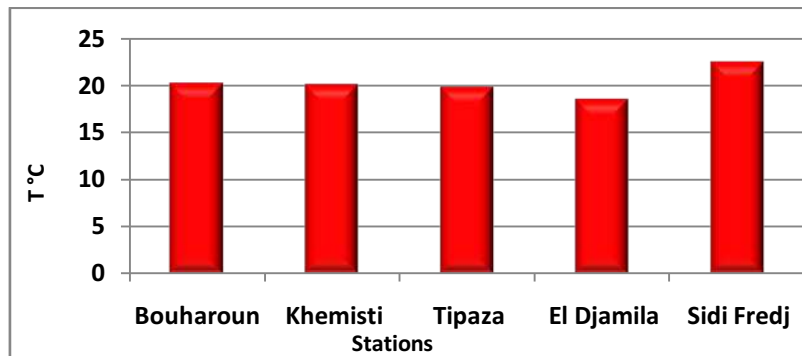


Figure 4.10: Variation de la température dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

b. Salinité

La mesure de la salinité dans les différents ports donne des valeurs hétérogènes, où la valeur la plus faible enregistrée est au niveau du port d'El Djamila (35,70 PSU) et la plus élevée est observée au niveau du port de Bouharoun (36,40 PSU). La valeur moyenne est de 36,14 PSU avec un écart-type de 0,29.

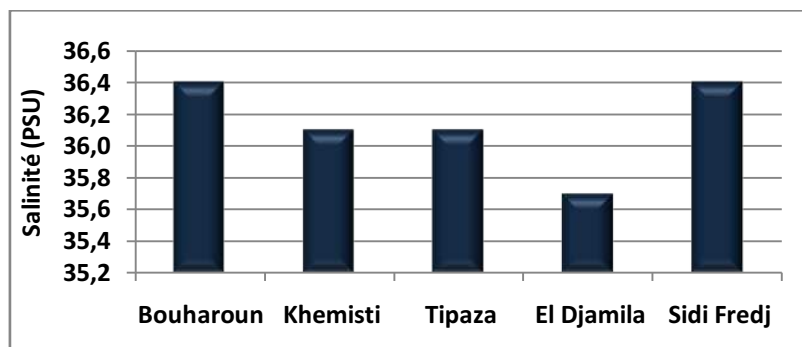


Figure 4.11: Variation de la salinité dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

c. pH

La valeur du pH moyenne mesurée est de 8,04 avec un écart-type de 0,13. Le minimum est observé au niveau du port de Sidi Fredj ; alors que le maximum est enregistré au niveau du port d'El Djamila.

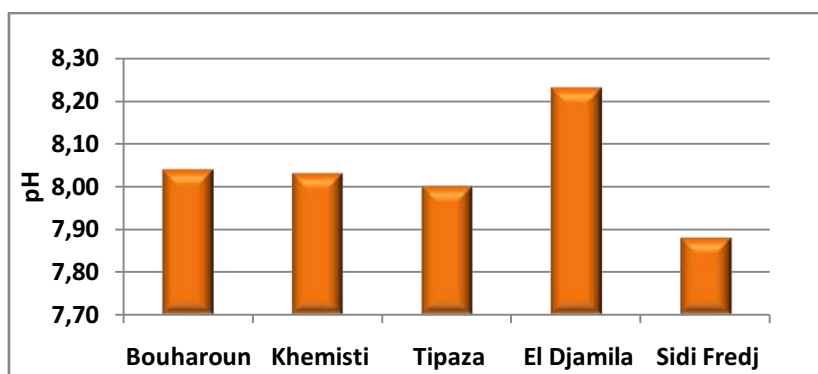


Figure 4.12 : Variation du pH dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

I.2. Variation des sels nutritifs

1. Baie d'Alger

Tableau 4.4 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans la baie d'Alger.

	Nitrites (umol/l)		Ammonium (umol/l)		Phosphates (umol/l)		Silicates (umol/l)		Nitrates (umol/l)	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	0,04	0,26	20,72	22,25	0,29	0,39	0,95	2,52	0,29	0,32
Minimum	0,03	0,23	9,56	12,25	0,10	0,20	0,30	0,81	0,11	0,26
Maximum	0,06	0,31	35,93	39,75	0,53	0,77	1,66	6,75	0,67	0,37
écart-type	0,01	0,04	9,90	10,06	0,18	0,20	0,56	2,35	0,26	0,05

a. Nitrites

Les valeurs de la concentration des nitrites entre la surface et le fond varient considérablement et les teneurs les plus élevées se trouvent généralement en profondeur. En surface, la valeur moyenne observée est de 0,0408 $\mu\text{mol/l}$ et un écart-type de 0,0009. Les valeurs sont dans l'intervalle de [0,033-0,0592 $\mu\text{mol/l}$]. La station A6 marque la valeur la plus faible et la station A2 la valeur la plus élevée, en face l'oued El Harrach.

En profondeur, les valeurs des nitrites augmentent et la gamme de variation est nettement plus grande [0,2259-0,3148 $\mu\text{mol/l}$], avec une moyenne de 0,2595 $\mu\text{mol/l}$ et un écart-type de 0,0375. Les stations A5 et A3 enregistrent les valeurs minimales et maximales respectivement.

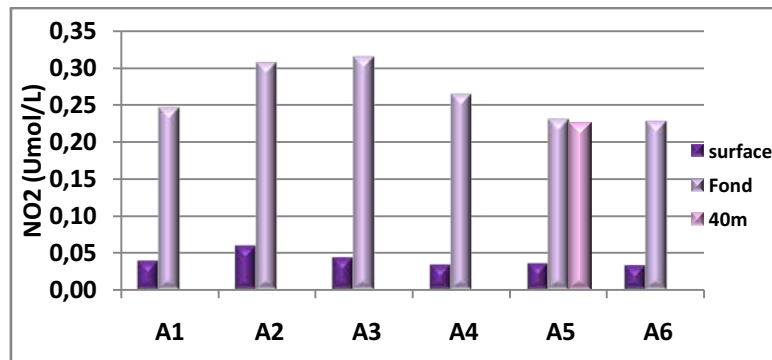


Figure 4.13 : Variation de la concentration des nitrites à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

b. Ammonium

Les teneurs en ammonium dans la baie d'Alger sont relativement élevées dans l'ensemble des stations. Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 20,7243 $\mu\text{mol/l}$ et de 22,2495 $\mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de 9,90 et de 10,06.

En surface, La valeur la plus faible est observée au niveau de la station A1, elle est de l'ordre de 9,5636 $\mu\text{mol/l}$; alors que la valeur la plus élevée est mesurée au niveau de la station A3 (35,9259 $\mu\text{mol/l}$). Tandis qu'en profondeur les valeurs minimales et maximales sont respectivement observées dans les stations A6 et A2 (12,2545 et 39,7498 $\mu\text{mol/l}$). Ces fortes teneurs sont dues probablement aux apports d'eaux usées urbaines et les déversements des Oueds dans la baie, causant ainsi l'enrichissement du milieu en ammonium. La valeur la plus élevée enregistrée est au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach.

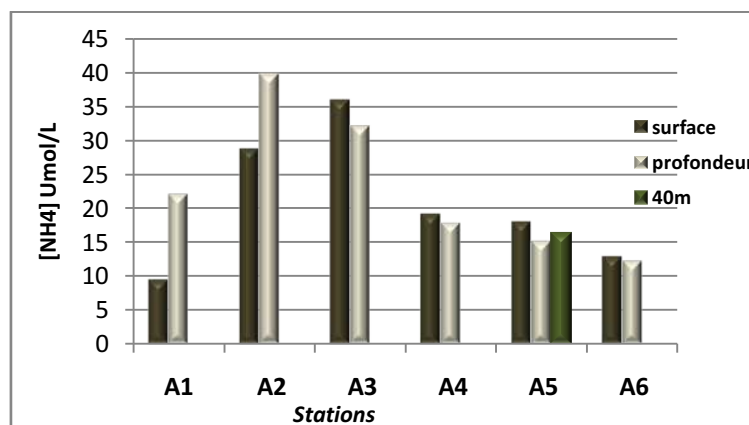


Figure 4.14 : Variation de la concentration de l'ammonium à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

c. Nitrates

Les valeurs de la concentration des nitrates entre la surface et le fond varient considérablement. Les teneurs les plus élevées se trouvent en surface pour les stations A2 et A3, contrairement à la distribution des nitrites pour les mêmes stations. La distribution des nitrates suit celle des nitrites en augmentant de la surface vers le fond pour les autres stations.

En surface, la valeur moyenne mesurée est de $0,2874 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,26$, avec un minimum de $0,1067 \mu\text{mol/l}$ mesuré au niveau de la station A6 et un maximum dans la station A3. Par contre en profondeur, les valeurs sont assez homogènes et varient entre $0,2555 \mu\text{mol/l}$ (station A5 40m) et $0,3655 \mu\text{mol/l}$ (station A3), avec une moyenne de $0,3238 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,05$.

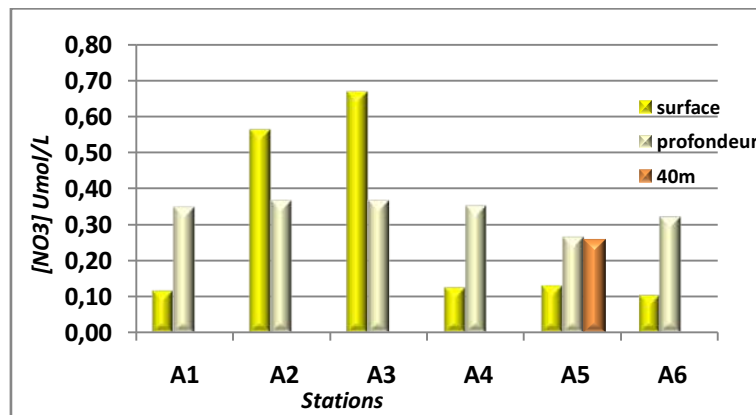


Figure 4.15 : Variation de la concentration des nitrates à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

Diverses raisons peuvent être évoquées pour expliquer les fortes teneurs des nitrates en surface, au niveau des stations A2 et A3 :

- Enrichissement du milieu en nitrates par l'Oued El Harrach.
- Activité bactérienne intense, à savoir, l'oxydation des nitrites en nitrates par les bactéries nitrifiantes (phénomènes de nitrification). Notons toutefois que c'est au niveau de cette zone qu'on retrouve les valeurs les plus élevées en ammonium, nitrites et de la MOP. (**Figure 4.16**)
- Diffusion à partir du fond marin où il peut y avoir une oxydation importante de la matière organique.

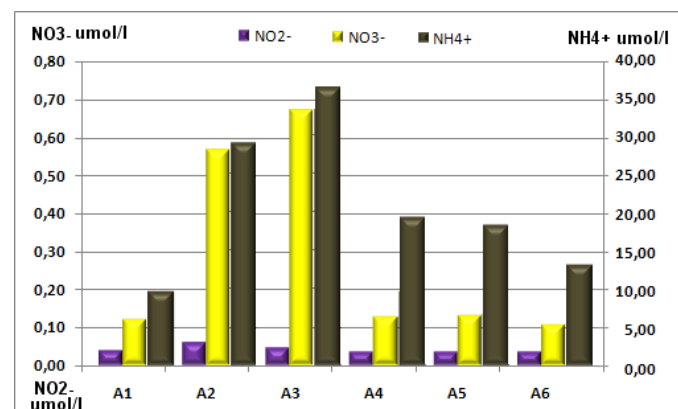


Figure 4.16 : Variation de la concentration des nitrites, de l'ammonium et des nitrates à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

d. Phosphates

Les teneurs en phosphates dans la baie d'Alger sont relativement élevées, sachant que, dans les conditions normales, leurs concentrations dans l'eau de mer sont à état de trace.

La concentration des phosphates en surface varie entre un minimum de $0,1048 \mu\text{mol/l}$ (A1) et un maximum de $0,5274 \mu\text{mol/l}$, avec une valeur moyenne de l'ordre de $0,2871 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,18$. En profondeur, leurs concentrations varient entre $0,1961 \mu\text{mol/l}$ (observée au niveau de la station A5 à 20 m) et $0,7707 \mu\text{mol/l}$, avec une valeur moyenne de l'ordre de $0,3939 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,20$. La station située au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach marque les teneurs les plus élevées.

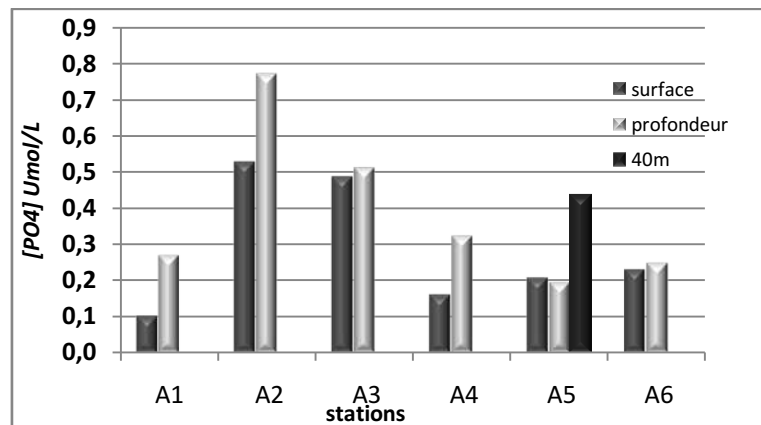


Figure 4.17 : Variation de la concentration des phosphates à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

e. Silicates

La variation des teneurs en silicates en surface et en profondeur entre les six stations est importante (les écart-types des sont respectivement de $0,56$, et de $2,35$). Pour les eaux de surface, le minimum de $0,2969 \mu\text{mol/l}$ est observé au niveau de la station A5, le maximum de $1,6583 \mu\text{mol/l}$ au niveau de la station A1 et la valeur moyenne de $0,9473 \mu\text{mol/l}$. Par contre, en profondeur, la valeur moyenne est de $2,5223 \mu\text{mol/l}$ et l'intervalle de variation est plus grand [$0,8083 \mu\text{mol/l}$ - $6,7473 \mu\text{mol/l}$]. La valeur minimale est enregistrée au niveau de la station A6 et la valeur la plus importante est mesurée au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach.

L'influence des eaux continentales et des Oueds est nettement ressentie provoquant l'enrichissement du milieu en silicates.

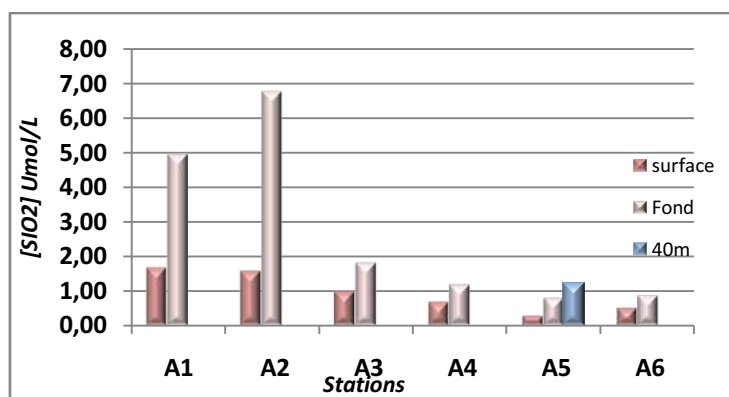


Figure 4.18 : Variation de la concentration des silicates à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

2. Baie de Bou-Ismaïl

Tableau 4.5 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl.

	Nitrites (umol/l)		Ammonium (umol/l)		Phosphates (umol/l)		Silicates (umol/l)		Nitrates (umol/l)	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	0,1413	0,10	8,07	6,7404	0,3556	0,2842	0,6142	1,0163	0,7281	0,6374
Minimum	0,0079	0,01	3,07	0,0242	0,0595	0,0575	0,1450	0,1342	0,1127	0,2612
Maximum	0,2017	0,28	12,35	10,6557	2,7172	1,7720	2,5610	4,3636	1,0413	0,9852
Ecart-type	0,0690	0,11	2,30	3,2794	0,7189	0,5358	0,6832	1,4835	0,3163	0,2732

a. Nitrites

La distribution des nitrites dans la masse d'eau pour les deux parties de la baie est différente. Dans la partie Est, les teneurs les plus élevées se trouvent en profondeur contrairement à la partie Ouest. En surface, la valeur moyenne observée est de 0,1413 $\mu\text{mol/l}$ et l'écart-type est de 0,07. Les valeurs sont comprises entre [0,007-0,2017 $\mu\text{mol/l}$]. La station B3 marque la valeur la plus faible et la station B6 la valeur la plus élevée.

En profondeur, la gamme de variation est de [0,0088 - 0,2774 $\mu\text{mol/l}$], avec une moyenne de 0,1023 $\mu\text{mol/l}$, un écart-type de 0,11. Les stations B6 et B1 marquent respectivement les valeurs minimales et maximales.

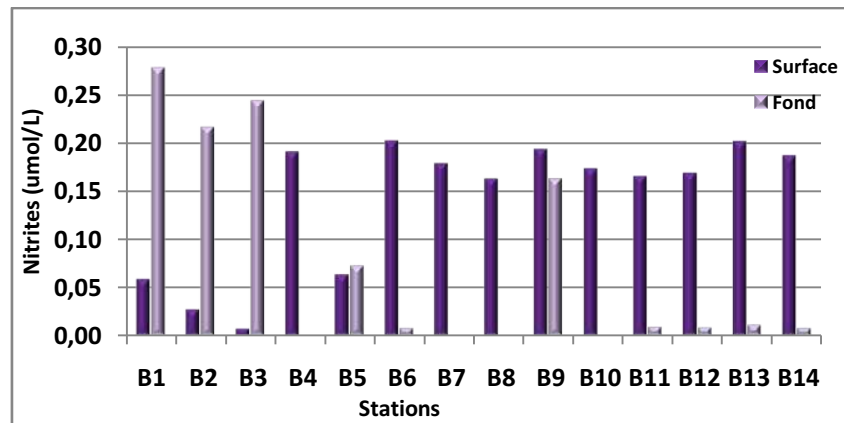


Figure 4.19 : Variation de la concentration des nitrites à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

b. Ammonium

Les teneurs en ammonium dans la baie de Bou Ismaïl sont relativement faibles en comparaison avec la baie d’Alger. Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l’ordre de 8,0748 µmol/l et de 6,7404 µmol/l avec un écart-type de 2,30 et de 3,27. En surface, La valeur la plus élevée est observée au niveau de la station B3 (12,3475 µmol/l); alors qu’en profondeur elle est mesurée au niveau de la station B6 (10,6557 µmol/l). La station B13 marque les valeurs les plus faibles en surface (3,0711 µmol/l) et en profondeur (0,0242 µmol/l).

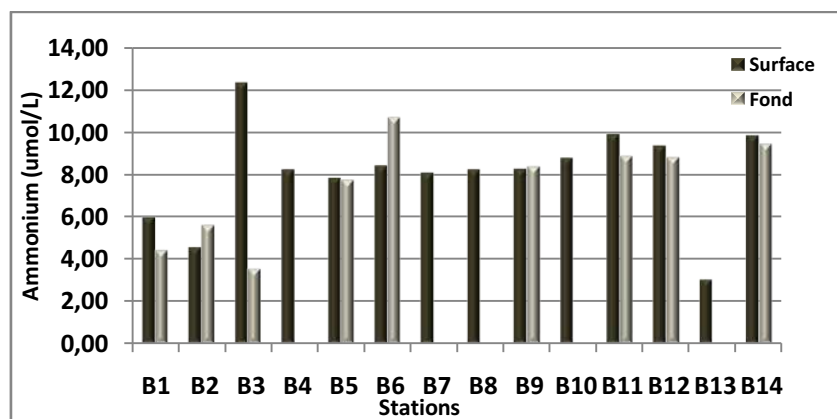


Figure 4.20 : variation de la concentration de l’ammonium à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

c. Nitrates

La partie Ouest de la baie de Bou Ismaïl est caractérisée par des teneurs en nitrates très élevées en comparaison avec la partie Est. Ceci peut être expliqué par la présence des terres agricole dans cette région polluant le milieu en ces éléments nutritifs.

Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 0,7281 $\mu\text{mol/l}$ et de 0,6374 $\mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de 0,31 et de 0,27.

En surface, La valeur la plus faible est observée au niveau de la station B1 (0,1127 $\mu\text{mol/l}$) ; alors qu'en profondeur elle est mesurée au niveau de la station B3 (0,1342 $\mu\text{mol/l}$). La station B13 marque les valeurs les plus élevées en surface (1,0413 $\mu\text{mol/l}$) et en profondeur (0,9852 $\mu\text{mol/l}$).

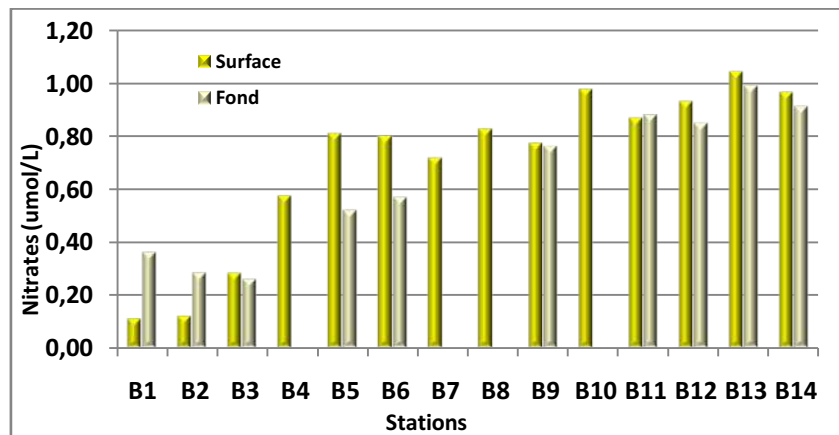


Figure 4.21 : Variation de la concentration des nitrates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

d. Phosphates

Comme la baie d'Alger, la partie Est de la baie de Bou Ismaïl est caractérisée par des teneurs très élevées en phosphates, en comparaison avec la partie Ouest.

La concentration des phosphates en surface varie entre un minimum de 0,0595 $\mu\text{mol/l}$ (B5) et un maximum de 0,5274 $\mu\text{mol/l}$ (B1), avec une valeur moyenne de 0,3556 $\mu\text{mol/l}$ et un écart-type de 0,71. En profondeur, la moyenne est comprise entre 0,0575 $\mu\text{mol/l}$ (B6) et 1,7720 $\mu\text{mol/l}$ (B3), avec une valeur moyenne de 0,2842 $\mu\text{mol/l}$ et un écart-type de 0,53.

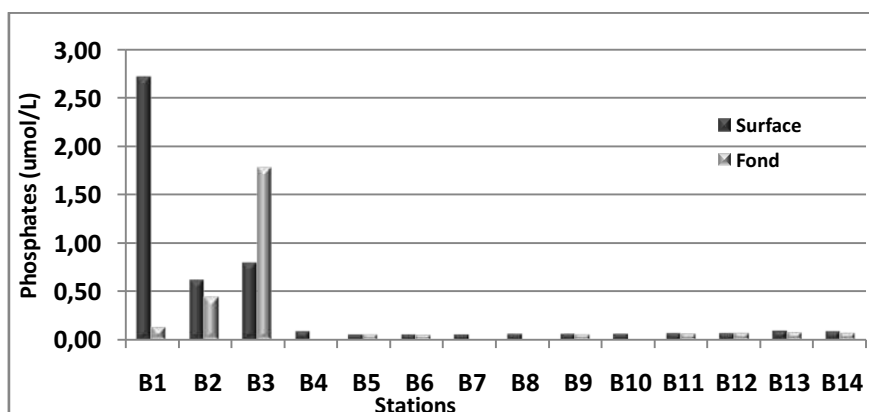


Figure 4.22 : Variation de la concentration des phosphates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

e. Silicates

Comme la baie d'Alger, la partie Est de la baie de Bou Ismail est caractérisée par des teneurs en silicates très élevées en comparaison avec la partie Ouest, avec une distribution typique d'une stratification des masses d'eaux, contrairement à l'autre partie subissant un mélange des masses d'eaux.

Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 0,6142 $\mu\text{mol/l}$ et de 1,0163 $\mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de 0,68 et de 1,48.

En surface, La valeur la plus faible est observée au niveau de la station B12 (0,1450 $\mu\text{mol/l}$) ; alors qu'en profondeur elle est mesurée au niveau de la station B14 (0,1342 $\mu\text{mol/l}$). La station B3 marque les valeurs les plus élevées en surface (2,5610 $\mu\text{mol/l}$) et en profondeur (4,3636 $\mu\text{mol/l}$).

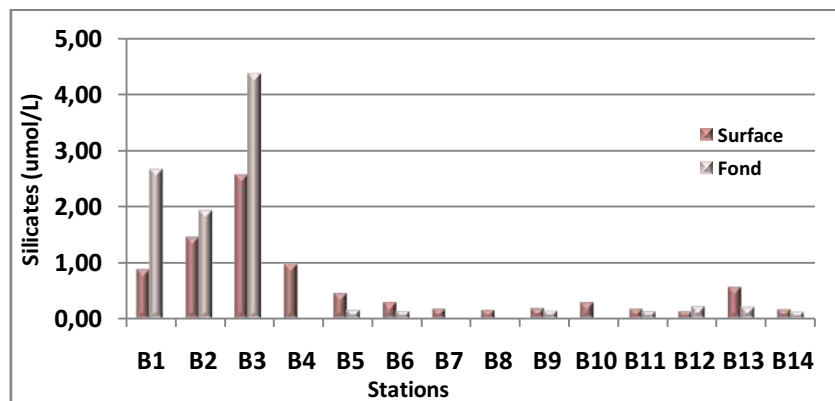


Figure 4.23 : Variation de la concentration des silicates à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

3. Ports de la baie de Bou-Ismaïl

Tableau 4.6 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des sels nutritifs dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

	Nitrites ($\mu\text{mol/l}$)	Ammonium ($\mu\text{mol/l}$)	Phosphates ($\mu\text{mol/l}$)	Silicates ($\mu\text{mol/l}$)	Nitrates ($\mu\text{mol/l}$)
Moyenne	0,2287	10,7119	0,4331	1,3512	0,6928
Minimum	0,1768	7,7614	0,0263	0,5627	0,2769
Maximum	0,3097	17,2577	0,8283	2,5994	0,9820
écart-type	0,0517	3,9060	0,3679	0,8871	0,2882

a. Nitrites

La valeur moyenne des nitrites est de 0,2287 $\mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de 0,05. Leurs concentrations varient entre un minimum de 0,1768 $\mu\text{mol/l}$ (port de Tipaza) et un maximum de 0,3097 (port de Khemisti).

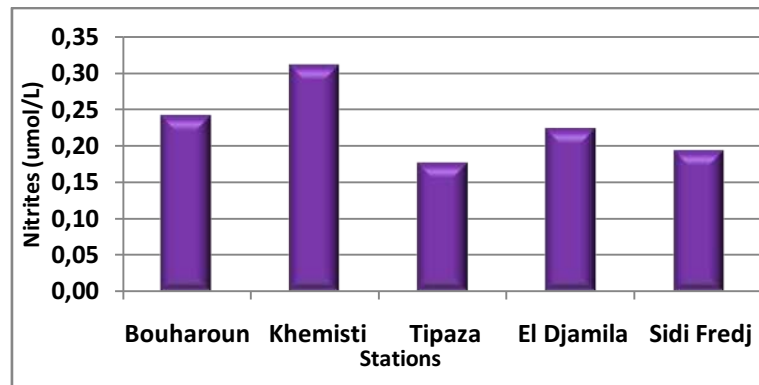


Figure 4.24 : Variation de la concentration des nitrites dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

b. Ammonium

La valeur moyenne de l'ammonium est de $10,7119 \mu\text{mol/l}$ avec un écart-type de $0,05$. Sa concentration varie entre un minimum de $7,7614 \mu\text{mol/l}$ (port de Bouharoun) et un maximum de $17,2577$ (port de Khemisti).

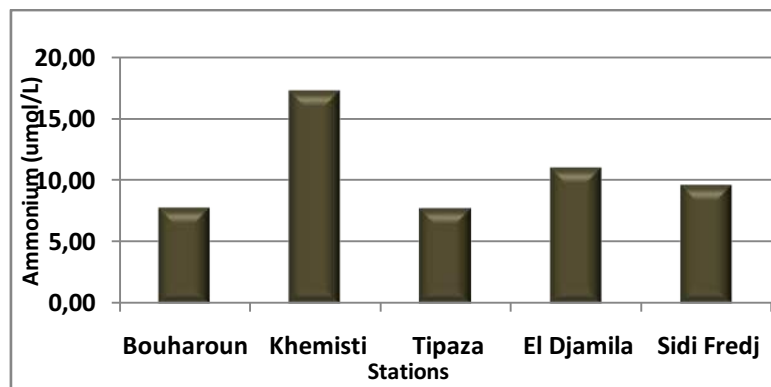


Figure 4.25 : Variation de la concentration de l'ammonium dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

c. Phosphates

La concentration des phosphates varie entre un minimum de $0,0263 \mu\text{mol/l}$ observé au niveau du port de Sidi Fredj et un maximum de $0,8283 \mu\text{mol/l}$ mesuré au niveau du port de Khemisti. Avec une valeur moyenne de $0,4331 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,36$.

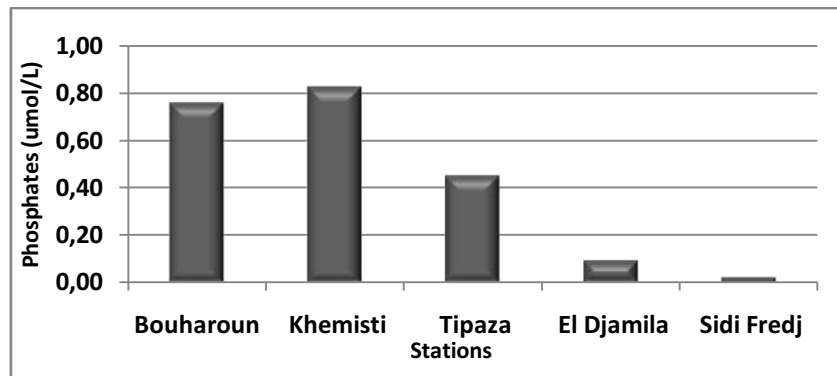


Figure 4.26 : Variation de la concentration des phosphates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

d. Silicates

La concentration des silicates varie entre un minimum de $0,5627 \mu\text{mol/l}$ au niveau du port de Sidi Fredj et un maximum de $2,5994 \mu\text{mol/l}$ dans le port d'El Djamila, avec une valeur moyenne de $1,3512 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,88$.

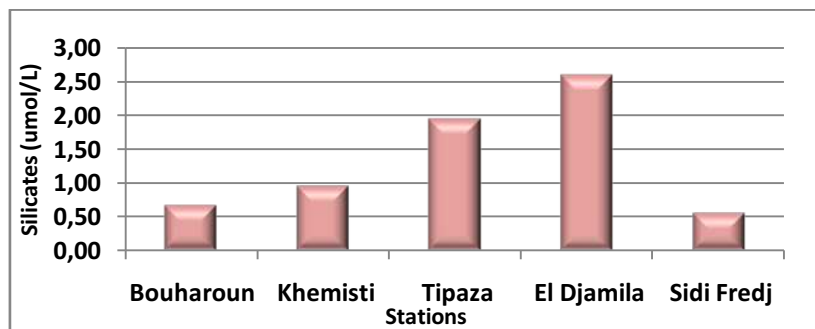


Figure 4.27 : Variation de la concentration des silicates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

e. Nitrates

La concentration des Nitrates est comprise entre un minimum de $0,2769 \mu\text{mol/l}$ au niveau du port d'El Djamila et un maximum de $0,9820 \mu\text{mol/l}$ dans le port de Bouharoun, avec une valeur moyenne de $0,6928 \mu\text{mol/l}$ et un écart-type de $0,28$.

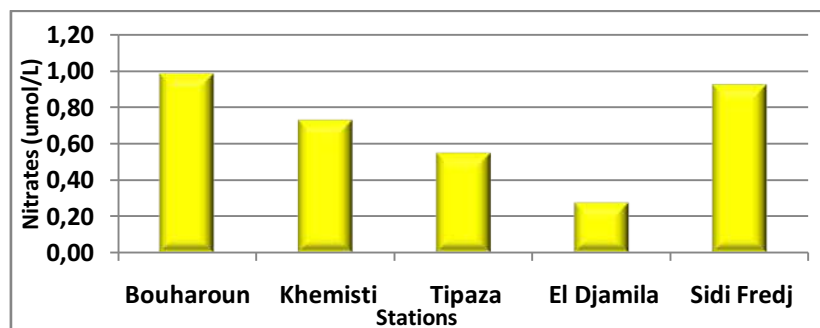


Figure 4.28 : Variation de la concentration des nitrates dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

I.3. Variations des paramètres particulières :

1. Baie d'Alger

Tableau 4.7 : Valeurs extrêmes, moyennes et écart-type de la chlorophylle- <i>a</i> , des phéopigments, des MES et de la MOP dans la baie d'Alger.								
	MES (mg/l)		MOP (%)		Chlorophylle- <i>a</i> (ug/l)		Phéopigments (ug/l)	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	40,14	43,05	30,88	21,88	0,3524	0,2975	0,3382	0,3382
Minimum	13,04	30,78	19,91	10,29	0,0961	0,0641	0,1691	0,0845
Maximum	73,91	63,17	60,15	33,82	0,6087	0,4485	0,5918	0,5072
Ecart type	22,49	10,66	15,93	7,70	0,1868	0,1251	0,1604	0,1381

a. Matière en suspension (MES)

En surface, la valeur moyenne calculée est de l'ordre de 40,14 mg/l et un écart-type de 22,49, avec une gamme de variation comprise entre [13,04 – 73,91 mg/l]. En profondeur, la concentration des MES varie entre 30,78 et 63,17 mg/l, avec un écart-type de 10,66 et une valeur moyenne de 43,05 mg/l.

La valeur la plus faible, en surface, est observée au niveau de la station A3 et au niveau de la station A1 en profondeur. Tandis que la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station A6.

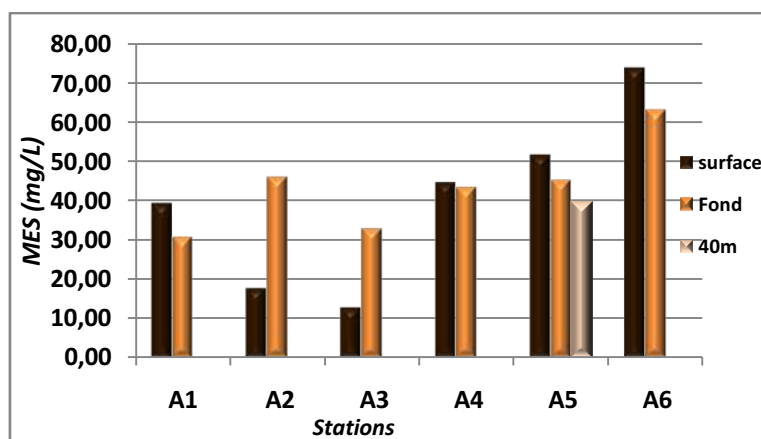


Figure 4.29 : Variation de la concentration des matières en suspension à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

b. Diagramme MES-TU

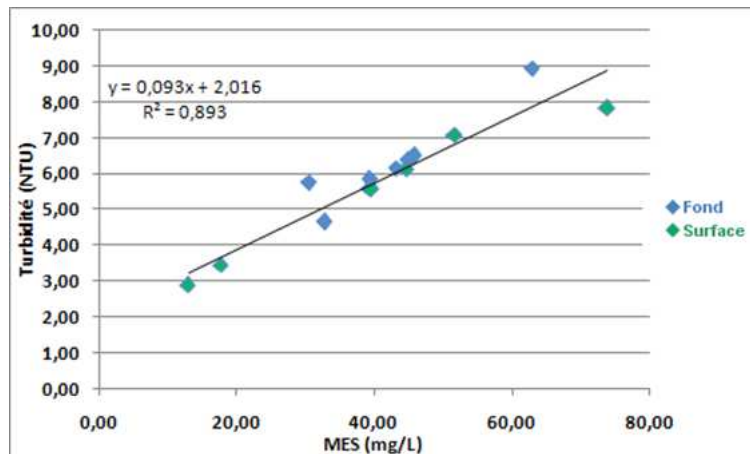


Figure 4.30 : Diagramme Turbidité – MES de la baie d’Alger.

La turbidité est corrélée à la MES (Turbidité = 0,093 MES + 2,016), avec un coefficient de corrélation de 0,893.

c. Matière organique particulaire dans baie d’Alger (MOP)

En surface, La matière organique particulaire varie entre un minimum de 19,91 % et un maximum de 60,15 % (A2), avec une valeur moyenne de 30,88 % et un écart-type de 15,93. En profondeur, la gamme de variation est de [10,29 (A3) – 33,82 %], où la valeur moyenne calculée est de 21,88 % et un écart-type de 7,70. La station A1 marque la valeur minimale en surface (19,91 %) et la valeur maximale en profondeur (33,82 %).

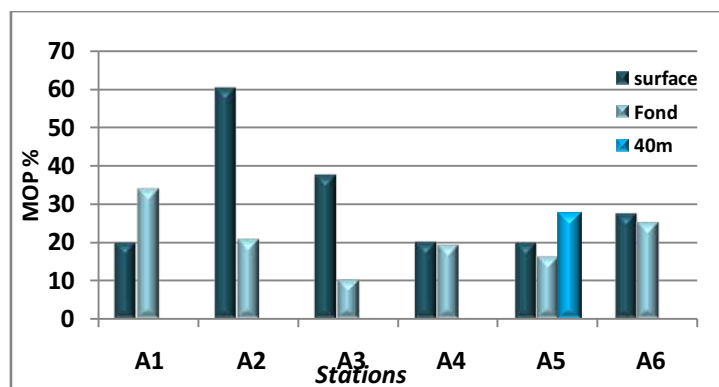


Figure 4.31 : Variation de la concentration de la MOP à différentes profondeurs dans la baie d’Alger.

d. Chlorophylle-*a*

Les concentrations de chlorophylle-*a* dans la baie d'Alger sont relativement élevées dans l'ensemble des stations excepté la station A6. Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 0,3524 ug/l et de 0,2975 ug/l avec un écart-type de 0,18 et de 0,12. La station A3 marque les valeurs les plus élevées en surface et en profondeur (0,6087 ug/l et 0,4485 ug/l respectivement) ; alors que la station A6 marque les valeurs les plus faibles dans les deux niveaux de profondeur, dont les valeurs sont respectivement 0,0961 ug/l en surface et 0,0641 ug/l en profondeur.

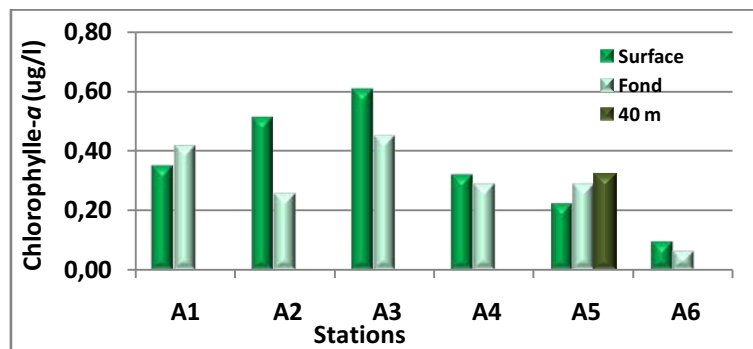


Figure 4.32 : Variation de la concentration de la chlorophylle-*a* à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

e. Phéopigments

La mesure des phéopigments est utilisée comme critère de l'état physiologique des populations phytoplanctoniques : plus la proportion de phéopigments est élevée par rapport à la chlorophylle-*a*, plus les cellules algales sont vieilles, dégradées ou broutées par le zooplancton (Aminot, 2004).

Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont quasiment les mêmes, de l'ordre de 0,3382 ug/l avec des écart-types de 0,16 et de 0,13 respectivement.

En surface, la valeur la plus élevée est observée au niveau de la station A2 (0,5918 ug/l). En profondeur, la valeur la plus faible est mesurée au niveau de la station A6. La station A3 marque la valeur la plus faible en surface et la plus élevée en profondeur (0,5072 ug/l). La station A5 en surface et à 40m est caractérisée par la teneur de phéopigments la plus élevée par rapport à la chlorophylle-*a*.

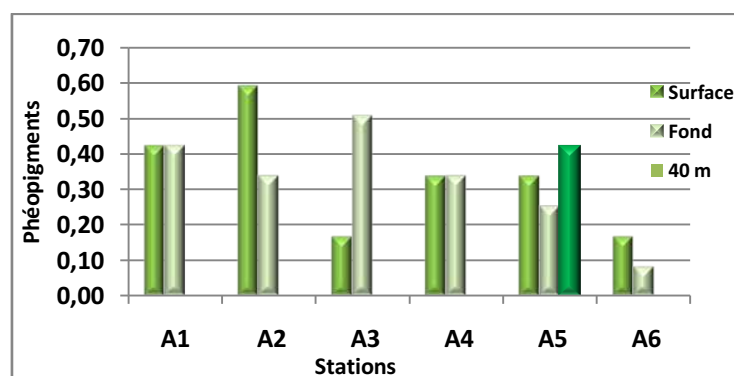


Figure 4.33 : Variation de la concentration des phéopigments à différentes profondeurs dans la baie d'Alger.

f. Diagramme Chlorophylle-a -Turbidité

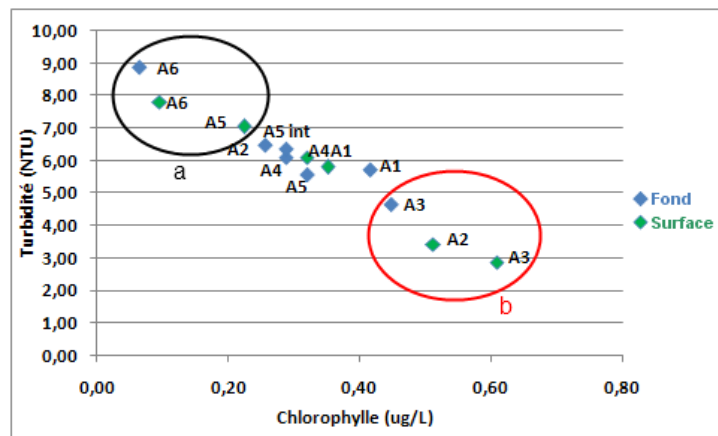


Figure 4.34 : Diagramme Chlorophylle-a – Turbidité dans la baie d’Alger.

La représentation graphique des couples de données de turbidité-Chlorophylle-a donne une distribution quasiment linéaire avec une corrélation négative (Figure 4.37). Les plus fortes teneurs en chlorophylle-a sont associées aux moindres turbidités ou transparence. Ceci montre le caractère limitatif de la pénétration de la lumière par la turbidité (matières en suspension) pour le processus photosynthétique.

On observe l'existence de 2 pôles. Le premier pôle ‘a’ formé par la station A5 (surface) et la station A6 se traduit par une contribution relative plus forte de turbidité par rapport à la concentration en chlorophylle-a. Le second pôle ‘b’ formé par la station A2 (surface) et la station A3 se caractérise par une forte concentration en chlorophylle-a et une faible turbidité.

g. Diagrammes Chlorophylle-a – sels nutritifs

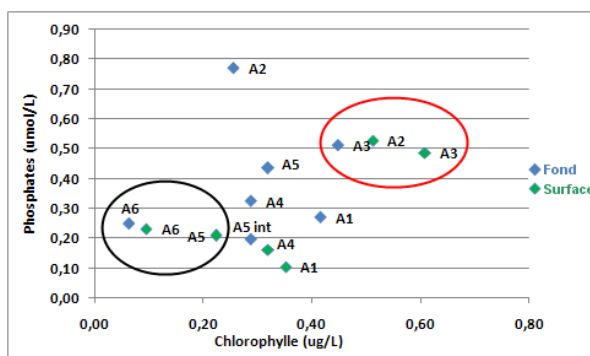


Figure 4.35 Diagramme Phosphates-Chlorophylle-a dans la baie d’Alger.

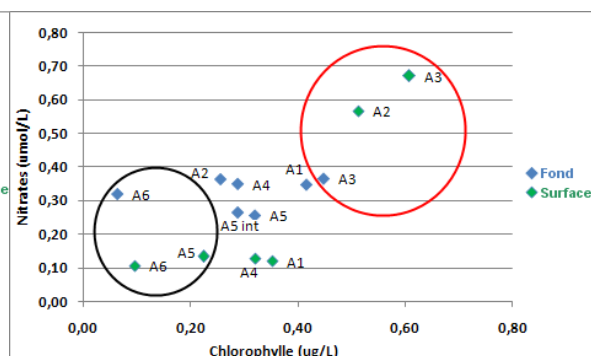


Figure 4.36 : Diagramme Nitrates-Chlorophylle -a dans la baie d’Alger.

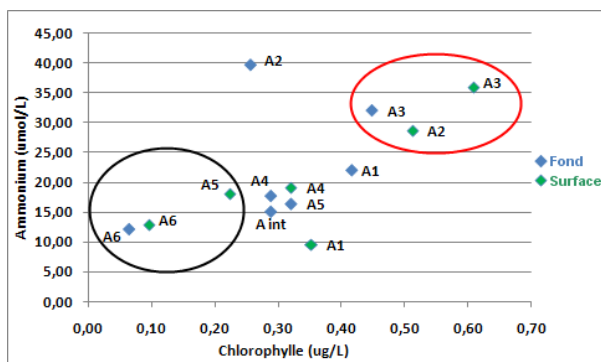


Figure 4.37 : Diagramme Ammonium-Chlorophylle-*a* dans la baie d’Alger.

La corrélation des couples de données Phosphates-Chlorophylle-*a*, Nitrates-Chlorophylle-*a* et Ammonium-Chlorophylle-*a* donne des distributions plus ou moins linéaires diffuses (**Figure 4.35, Figure 4.36 et Figure 4.37**). Celle de l’ammonium-chlorophylle-*a* est la plus significative et évoque le lien étroit entre le processus photosynthétique et l’ammonium.

La concentration faible de la chlorophylle-*a* dans les stations A5 et A6 peut être expliquée par les faibles teneurs en sels nutritifs, notamment l’ammonium, les nitrates et les phosphates. En plus de la turbidité qui est relativement élevée et qui atteint son maximum dans ces stations, elle limite la pénétration de la lumière dans l’eau par la présence des matières en suspension responsables de cette turbidité, et donc perturber l’activité photosynthétique des espèces chlorophylliennes.

Par ailleurs, la concentration élevée de la chlorophylle-*a* au niveau des stations A2 et A3 est donc assez clairement liée aux fortes teneurs en sels nutritifs (ammonium, nitrates et phosphate) et à la faible turbidité de l’eau.

La station A2 en profondeur présente des valeurs élevées en ammonium et en phosphates pour des valeurs modestes en chlorophylle-*a* en comparaison avec la station A2 et A3. Cette station est donc sujette à un enrichissement significatif en ammonium et en phosphate sans qu’un développement phytoplanctonique y soit associé. Ceci peut être expliqué par la turbidité élevée de l’eau (6,46 NTU).

2. Baie de Bou-Ismaïl :

Tableau 4.8 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l’écart-type de la chlorophylle- <i>a</i> , des phéopigments, des MES ainsi que de la MOP dans la baie de Bou-Ismaïl.								
	MES (mg/l)		MOP (%)		Chlorophylle- <i>a</i> (µg/l)		Phéopigments (µg/l)	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	23,15	32,30	24,38	20,21	0,1957	0,1842	0,2476	0,1818
Minimum	7,17	11,30	14,69	14,70	0,0641	0,0160	0,0845	0,0423
Maximum	41,74	62,17	48,38	29,02	0,5767	0,4165	0,6763	0,5072
Ecart-type	10,68	17,33	11,47	5,61	0,1736	0,1419	0,1925	0,1367

a. MES

En surface, la valeur moyenne calculée est de l'ordre de 23,15 mg/l et un écart-type de 10,68, avec une gamme de variation comprise entre [7,17 (B9) – 41,74 (B1) mg/l]. En profondeur, la concentration des MES varie entre 11,30 (B14) et 62,17 (B2) mg/l, avec un écart-type de 17,33 et une valeur moyenne de 32,30 mg/l.

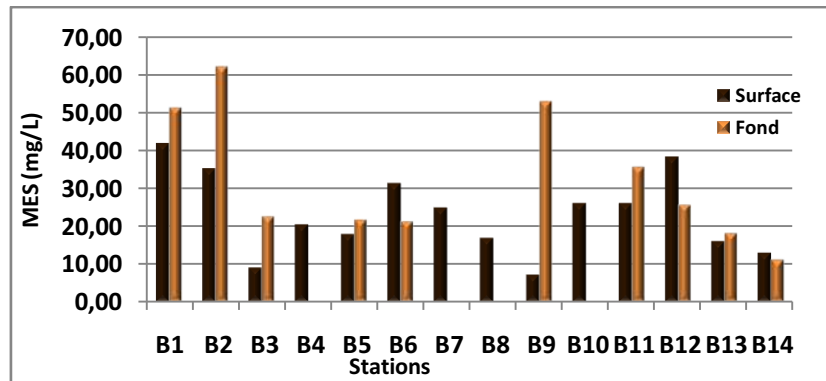


Figure 4.38 : Variation de la concentration des matières en suspension à différentes profondeurs dans la baie de Bou-

b. MOP

En surface, La matière organique particulaire varie entre un minimum de 14,69 % (B6) et un maximum de 48,38 %, avec une valeur moyenne de 24,38 % et un écart-type de 11,47. En profondeur, la gamme de variation est de [14,70 – 29,02 % (B13)], où la valeur moyenne calculée est de 20,21 % et un écart-type de 5,61. La station B9 marque la valeur maximale en surface et la valeur minimale en profondeur.

Les eaux de surface de la partie Est sont chargées en MOP par rapport aux eaux du fond. Le même cas est observé pour les stations B5, B9, B11 et B14.

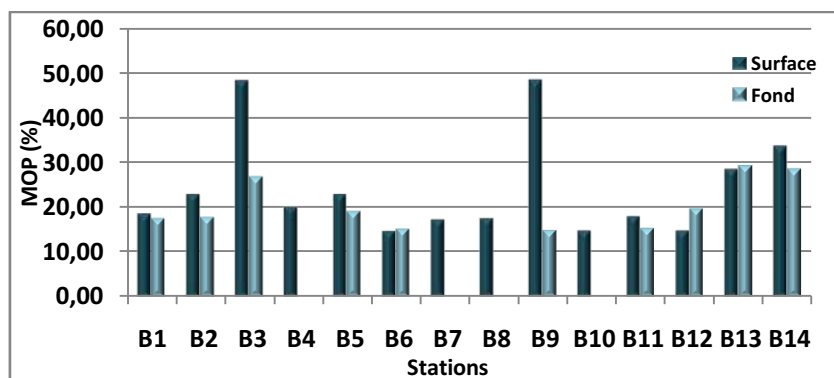


Figure 4.39 : Variation de la MOP à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

c. Chlorophylle-*a*

L'examen des concentrations de la chlorophylle-*a* a prises dans leur ensemble, sur toute la durée de l'étude et pour toutes les stations, montre une large gamme de valeurs dont les plus fortes ($> 15 \mu\text{g/l}$ en moyenne) et font la distinction nette des ports de la partie ouest de la baie de Bou Ismail. Les autres stations montrent des valeurs de chlorophylle-*a* comparables dans l'ensemble.

Cependant, pour la baie de Bou Ismail, deux groupes peuvent être séparés avec pour l'un des concentrations inférieures à $0.25 \mu\text{g/l}$ ($0.01 - 0.25 \mu\text{g/l}$) (toutes les stations de la partie Ouest de la baie de Bou Ismail et le port de Sidi Fredj), et pour l'autre des concentrations comprises entre $0.25 - 0.5 \mu\text{g/l}$ (les stations de la partie Est et le Port d'El Djamila).

Comme dans la baie d'Alger, la partie Est de la baie de Bou Ismail est caractérisée par des concentrations de chlorophylle-*a* élevées en comparaison avec la partie Ouest. Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de $0,1957 \mu\text{g/l}$ et de $0,1842 \mu\text{g/l}$ avec un écart-type de $0,17$ et de $0,14$.

En surface, la valeur la plus élevée est observée au niveau de la station B2 ($0,5767 \mu\text{g/l}$); alors qu'en profondeur, elle est mesurée au niveau de la station B3 ($0,4165 \mu\text{g/l}$). Les stations B7 et B11 marquent les valeurs les plus faibles en surface ($0,0641 \mu\text{g/l}$), et la station B9 marque celle du fond ($0,0160 \mu\text{g/l}$).

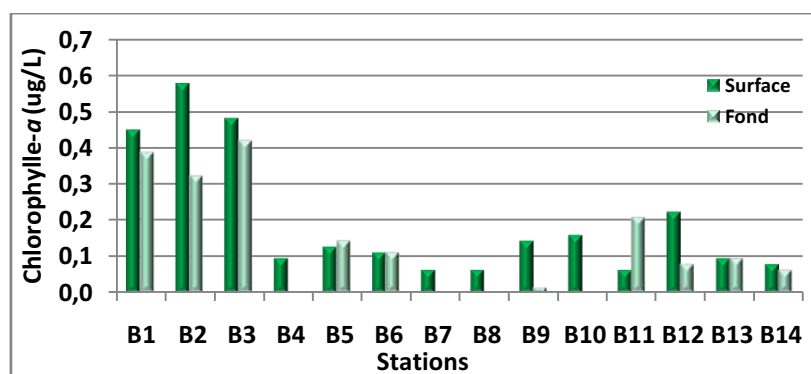


Figure 4.40 : Variation de la concentration de la chlorophylle-*a* à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

La partie Ouest de la baie est riche en nitrates mais très pauvre en silicates et en phosphates. Au contraire, la partie Est présente des valeurs très élevées en phosphates et silicates et des teneurs faibles en nitrates en comparaison avec la partie Ouest. Donc la partie Ouest est sujette à un enrichissement significatif en nitrates sans qu'un développement phytoplanctonique y soit associé. Ce résultat peut évoquer le caractère limitatif du phosphore pour la production phytoplanctonique dans cette partie. Plus la teneur en phosphates est importante, plus la concentration de chlorophylle-*a* est conséquente.

d. Phéopigments

Les valeurs moyennes mesurées en surface et en profondeur sont respectivement de l'ordre de 0,2476 ug/l et de 0,1818 ug/l avec un écart-type de 0,19 et de 0,13. En surface, la valeur la plus faible est observée au niveau des stations B7 (0,0845 ug/l) et la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station B1 (0,6763 ug/l). En profondeur, la valeur la plus faible est observée au niveau des stations B9 (0,0423 ug/l) et la valeur la plus élevée est mesurée au niveau de la station B3 (0,5072 ug/l).

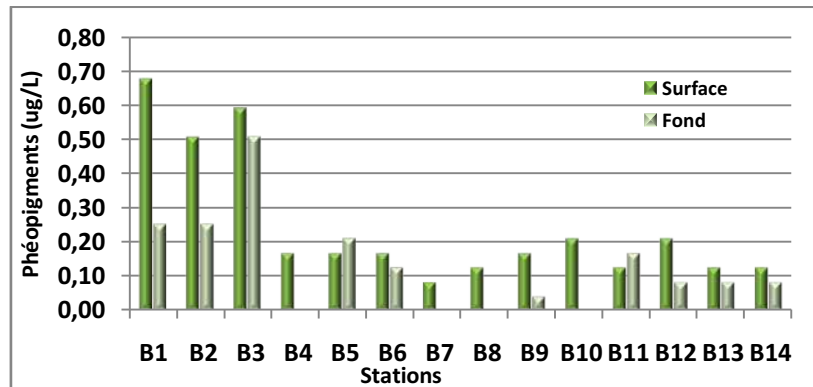


Figure 4.41 : Variation de la concentration des phéopigments à différentes profondeurs dans la baie de Bou-Ismaïl.

3. Ports

Tableau 4.9 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type de la chlorophylle-*a*, des phéopigments, des MES ainsi que de la MOP dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

	MES (mg/l)	MOP (%)	Chlorophylle- <i>a</i> (ug/l)	Phéopigments (ug/l)
Moyenne	42,59	20,94	9,4955	20,8223
Minimum	25,22	13,71	0,1115	0,2108
Maximum	74,48	27,74	24,6682	59,1787
Ecart-type	19,31	5,80	11,1776	25,8553

a. MES

Avec une moyenne de 42,59 mg/l et un écart-type de 19,31, les concentrations de matières en suspension dans les différents ports se situent entre un minimum de 25,22 mg/l au niveau du port de Khemisti et un maximum de 74,48 mg/l au niveau du port de Sidi Fredj.

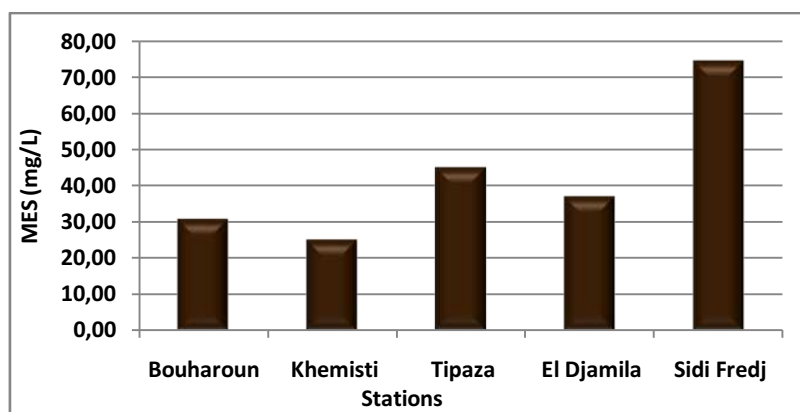


Figure 4.42 : Variation de la concentration des matières en suspension dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

b. MOP

Le pourcentage de matières organiques particulaires est compris entre un minimum de 13,71 % au niveau du port de Tipaza et un maximum de 27,74 % dans le port d'El Djamilia, avec une valeur moyenne de 20,94 % et un écart-type de 5,80.

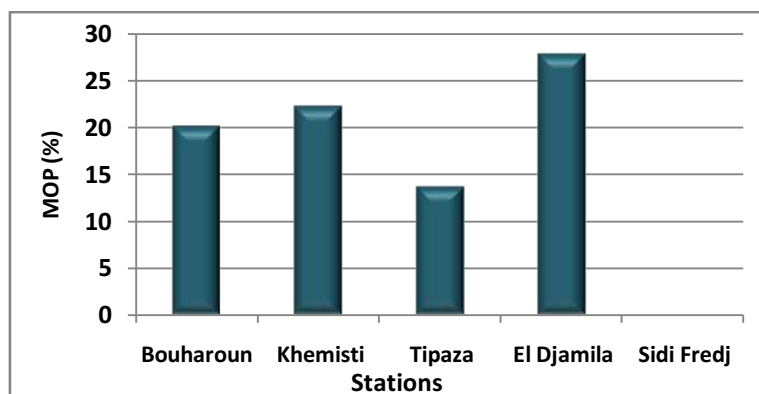


Figure 4.43 : Variation de la MOP dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

c. Chlorophylle-a

Avec une moyenne de 9,4955 $\mu\text{g/l}$ et un écart-type de 11,17, les concentrations de chlorophylle-a dans les différents ports se situent entre un minimum de 0,1115 $\mu\text{g/l}$ au niveau du port de Sidi Fredj et un maximum de 24,6682 $\mu\text{g/l}$ au niveau du port de Bouharoun.

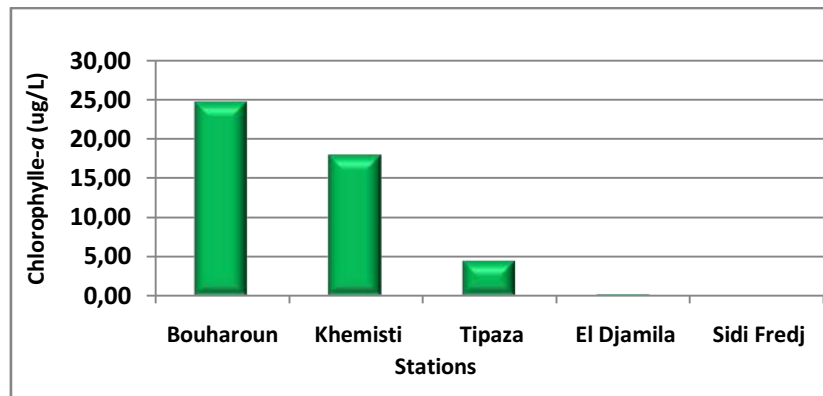


Figure 4.44 : Variation de la concentration de la chlorophylle-*a* dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

Les fortes concentrations de chlorophylle-*a* dans ces trois ports, sont probablement dus :

- Aux fortes teneurs en phosphates et azote, notamment l'ammonium et les nitrates.
- La disponibilité quasi permanente des éléments nutritifs qui rendent le milieu fertile pour les espèces phytoplanctonique.
- Au milieu relativement fermé et sans échange significatif avec le milieu extérieur ce qui, favorise l'eutrophisation du milieu.
- A la présence d'algues vertes au niveau du fond en grande quantité lors de la récolte du sédiment avec la benne, responsables de cette production intense.
- A la faible profondeur garantissant la pénétration totale de la lumière dans la masse d'eau.
- A l'intensité d'ensoleillement et la température adéquate (une moyenne de 20,32 °C).

d. Phéopigments

La concentration des phéopigments est comprise entre un minimum de 0,2108 ug/l au niveau du port de Sidi Fredj et un maximum de 59,8553 ug/l dans le port de Bouharoun, avec une valeur moyenne de 20,8223 ug/l et un écart-type de 25,85.

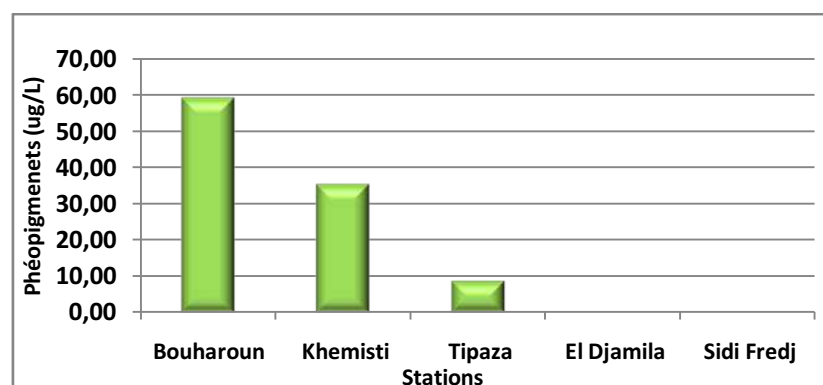


Figure 4.45 : Variation de la concentration des phéopigments dans les ports de la baie de Bou-Ismaïl.

II. Suivi des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl :

Voir (Tableau 4.10, Annexe 1), Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physico-chimiques de la baie de Bou-Ismaïl (partie Est, Juillet).

II.1. Variations des paramètres physicochimiques

a. Température

Les températures mesurées reflètent les périodes saisonnières en relation avec les conditions météorologiques.

Les températures les plus basses sont observées en mois de Mai (moyenne de 18,18 °C) et les plus élevées en moi de Juillet (moyenne de 22,35°C). De plus, les valeurs les plus basses sont enregistrées en profondeur et les plus élevées en surface en relation avec les températures de l'air, et ceci est valable pour les deux périodes.

Il apparaît que les températures relevées durant le mois de Juillet varient moins (21,7-22,70°C) que celles observées en Mai (16,20 – 19,60°C).

b. Salinité

L'augmentation de la température durant le moi de Juillet fait que l'évaporation de l'eau de mer est plus importante, augmentant ainsi la salinité de l'eau en ce mois, dont la moyenne est de (36,4 PSU), en comparaison avec celle du mois de Mai (35,78 PSU). La différence de la salinité entre les deux périodes peut être aussi attribuée à l'affaiblissement important des apports d'eaux douces par l'oued Mazafran.

Comme la température, les valeurs enregistrées durant le mois de Juillet varient moins (36,3 – 36,6 PSU) que celles observées en Mai (34,4 – 36,5 PSU). Signalons toutefois, la station B3 située en face de l'embouchure de l'Oued Mazafran présentait la valeur minimale de la salinité en Mai ; alors qu'en mois de Juillet, elle marque la valeur la plus élevée.

c. pH

Les valeurs du pH mesurées dans l'ensemble des stations en Mai (8,18- 8,33), en Juillet (7,95 – 8,05, moyenne de 8,02) indiquent une légère différence, avec une diminution dans ce dernier mois.

Les valeurs les plus basses (<8) sont observées dans les stations B1 et B3, recevant les apports d'eaux des oueds (Beni Messous et Mazafran) ; alors qu'en mois de Mai, ces stations présentaient des valeurs relativement plus élevées.

e. MES

La concentration des particules en suspension varient entre les deux périodes d'échantillonnage. Bien que les moyennes estimées sont approximativement les mêmes (Mai : 37,03 mg/l, Juillet : 44,20 mg/l), la concentration des M.E.S. dans les différentes stations est assez irrégulière entre les deux périodes.

En effet, la station B3 indique les valeurs les plus faibles durant le mois de Mai dans les deux niveaux de profondeur ; alors qu'en Juillet, elle est caractérisée par les concentrations les plus élevées.

Par ailleurs, la station B2 en profondeur présentait la valeur la plus élevée en Mai (62,17 mg/l) ; alors qu'en Juillet elle marque la valeur la plus faible (32,61 mg/l).

II.2. Suivi des sels nutritifs

La baie de Bou-Ismaïl a fait l'objet de plusieurs études antérieures, notamment en 1997 (Boulaïdid et al., 2007) et en 2004 (Rouibah et al., 2005). De ce fait, un essai de comparaison et de suivi de l'évolution des sels nutritifs à l'échelle temporelle est réalisé dans quelques stations.

a. Station B1 :

- En 2012, la concentration des éléments nutritifs (ammonium, silicates et phosphates) augmente durant le mois de Juillet (excepté les phosphates en surface).
- En 2004, les concentrations de l'ammonium et des phosphates augmentent durant le mois de Juillet ; alors que les teneurs en silicates diminuent.
- Par ailleurs, les teneurs en nitrates diminuent durant le mois de Juillet des années 2004 et 2012. Notons toutefois une évolution décroissante de ces éléments depuis 1997.
- Hormis les nitrates, les plus grandes teneurs en sels nutritifs sont observées en 2012.

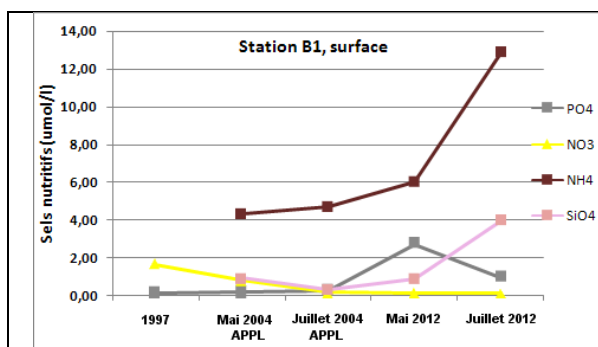


Figure 4.46 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau superficielle de la station B1.

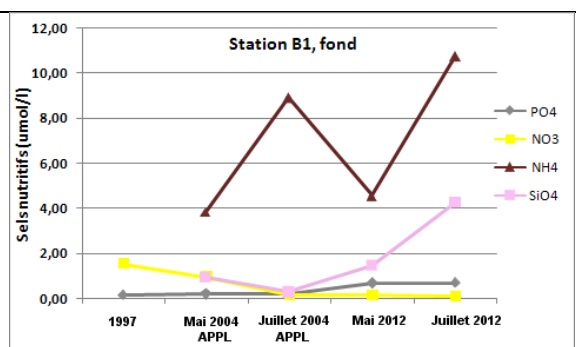
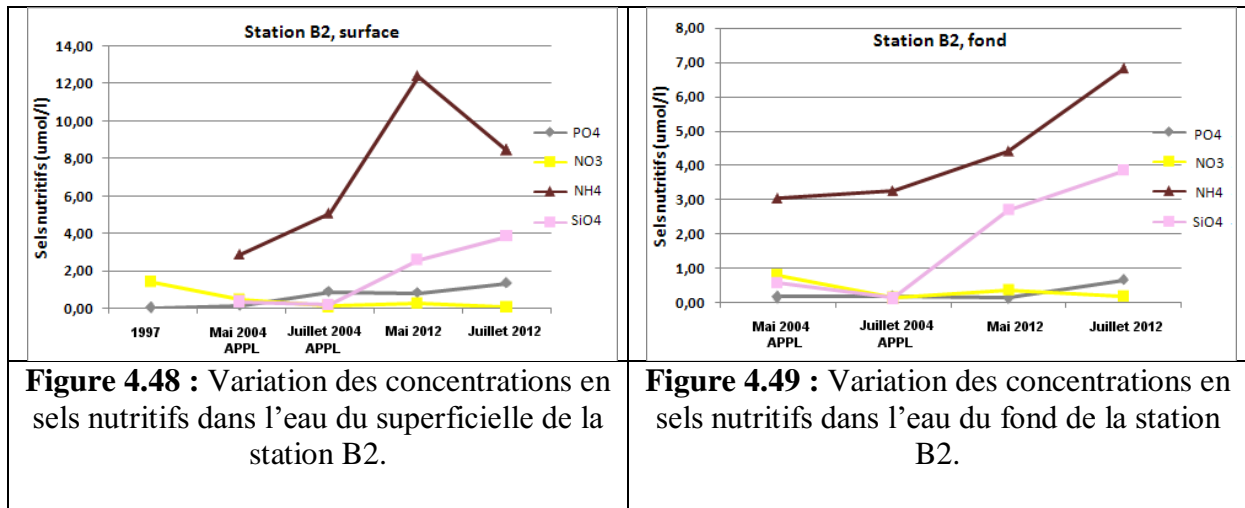


Figure 4.47 : Variation des concentrations en sels nutritifs dans l'eau du fond de la station B1.

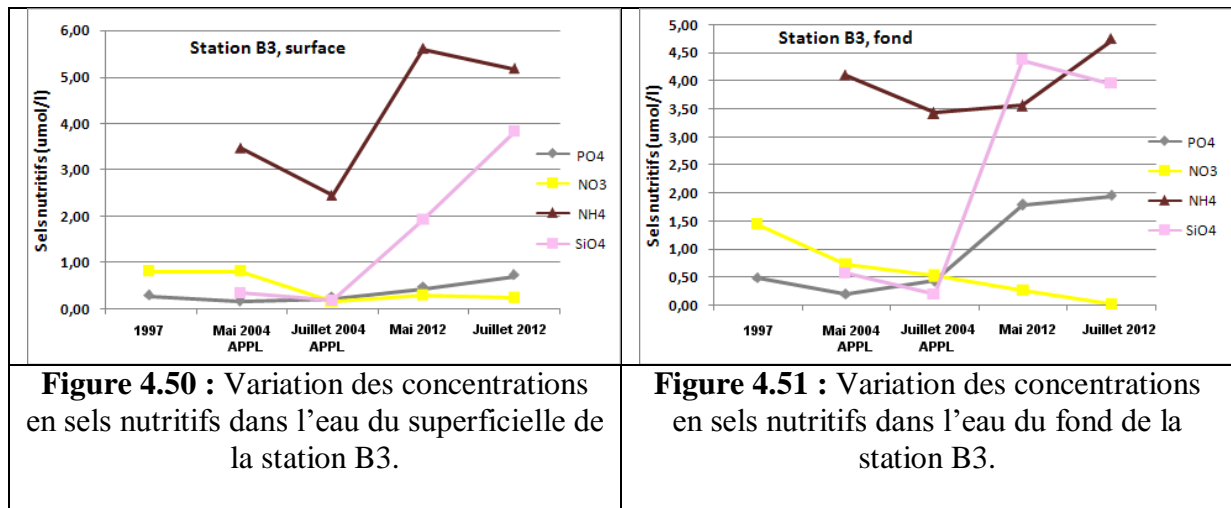
b. Station B2 :

- En 2012, la concentration des éléments nutritifs (ammonium, silicates et phosphates) augmente durant le mois de Juillet (excepté l'ammonium en surface).
- En 2004, les concentrations de l'ammonium et des phosphates augmentent durant le mois de Juillet ; alors que les teneurs en silicates diminuent.
- L'enrichissement des teneurs en phosphates est imputé aux rejets d'eaux usées, riches en détergents phosphorés, évacuées par les complexes touristiques de la région.
- Comme la station B1, les concentrations des nitrates diminuent en Juillet (2004 et 2012), et leur évolution est décroissante depuis 1997.
- Hormis les nitrates, les plus grandes teneurs en sels nutritifs sont observées en 2012.



c. Station B3 :

- En 2004, la concentration de l'ammonium diminue durant le mois de Juillet.
- En 2012, la concentration de l'ammonium diminue en surface durant le mois de Juillet, mais augmente en profondeur.
- Les teneurs en phosphates augmentent en Juillet (2004 et 2012).
- Les teneurs en nitrates diminuent durant le mois de Juillet des années 2004 et 2012. Avec une évolution décroissante depuis 1997.
- En ce qui concerne les teneurs en silicates, elles diminuent durant le mois de Juillet en profondeur. Mais augmentent en surface (2012).



D'une manière générale, l'évolution des phosphates et des nitrates depuis 1997 est inverse, c'est-à-dire que les concentrations de ces derniers sont en perpétuel diminution, contrairement aux phosphates.

II.3. Relation chlorophylle-a / sels nutritifs :

Afin de suivre l'état de la concentration de chlorophylle-a en fonction de l'évolution des teneurs en sels nutritifs, deux graphiques ont été établis :

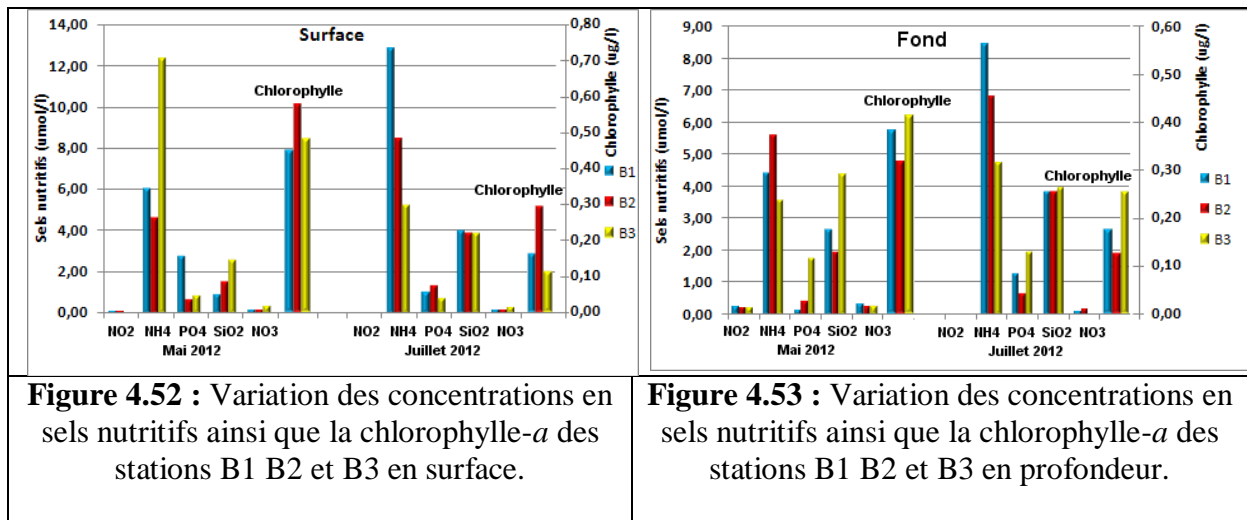


Figure 4.52 : Variation des concentrations en sels nutritifs ainsi que la chlorophylle-a des stations B1 B2 et B3 en surface.

Figure 4.53 : Variation des concentrations en sels nutritifs ainsi que la chlorophylle-a des stations B1 B2 et B3 en profondeur.

Le mois de juillet présente des teneurs plus importants en sels (phosphates, ammonium et silicates) pour des valeurs modestes en chlorophylle-a. Ceci peut être expliqué par la présence d'un panache turbide à la surface de la mer, diminuant la pénétration de la lumière jusqu'au fond, et perturbant ainsi la production phytoplanctonique.

III. Analyse de la distribution horizontale

a. Température

La distribution de la température de surface dans la baie d'Alger indique des valeurs extrêmes du côté SE où se trouvent les deux Oued (El Harrach et El Hamiz), qui semblent influencer cette zone par leur rejets (**Figure 4.54, annexe 4**). En revanche, les eaux profondes de la partie NW de la baie ainsi que la station A3, présentent les valeurs les plus élevées, avec une élévation la température relativement faible. (**Figure 4.55, annexe 4**).

En ce qui concerne la baie de Bou-Ismaïl, les eaux de la partie ouest sont plus chaudes que la partie Est, chose qui est normale puisque l'échantillonnage dans les deux parties s'est fait dans deux périodes différentes avec un intervalle de temps de plus d'un mois.

Dans la partie Est, la plus grande valeur enregistrée est au niveau de l'embouchure de l'Oued Mazafran (en surface et en profondeur) qui semble être affectée par ce dernier, contrairement à la station B1 située en face de l'embouchure de l'Oued Beni Messous (**Figure 4.56 et Figure 4.57, annexe 4**).

Par ailleurs, dans la partie Ouest, on observe un pic de température à l'Est des rejets d'eaux usées de la ville de Bou-Ismaïl. (**Figure 4.58 et Figure 4.59, annexe 4**).

b. Salinité

Dans la baie d'Alger, la partie sud ainsi que la zone portuaire sont caractérisées par les salinités les plus faibles en surface ; alors qu'en profondeur, la station située en extrême Ouest de la baie présente la valeur la plus faible de 36 PSU (**Figure 4.60 et Figure 4.61, annexe 4**).

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl subit une dessalure en comparaison avec la partie Ouest, avec un minimum observé en face de l'embouchure de Mazafran (34,4 PSU en surface et 36 PSU au fond) (**Figure 4.62 et Figure 4.63, annexe 4**).

En revanche, la zone située en extrême Ouest de la baie (plus précisément en face l'Oued Nador) indique la valeur la plus faible (36,2 PSU) en surface et en profondeur (**Figure 4.64 et Figure 4.65, annexe 4**).

IL semble que les oueds El-Harrach, Mazafran et Nador sont les seuls susceptibles de causer la dessalure du milieu marin.

c. pH

Dans la baie d'Alger, la frange côtière présente les valeurs les plus faibles de pH en surface, sauf la station A6 ; alors qu'en profondeur, la partie SO de la baie ainsi que la station A4 indique des valeurs relativement faibles dans l'ensemble (**Figure 4.66 et Figure 4.67, annexe 4**).

Dans la baie de Bou-Ismaïl, la partie Est présente des valeurs plus élevées en comparaison avec la partie Ouest. Les minimums observés se situent en face de l'embouchure des Oueds Mazafran et Nador, avec une diminution dans ce dernier en allant de l'Ouest vers l'Est. Ceci est valable pour les deux niveaux de profondeur (**Figure 4.68, Figure 4.69, Figure 4.70 et Figure 4.71, annexe 4**).

Les valeurs de la température, du pH ainsi que la salinité dans la baie d'Alger et dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl sont comparable. Contrairement à la partie Ouest présentant des valeurs élevées de température et de salinité et des valeurs faibles du pH.

d. MES

La matière en suspension dans la baie d'Alger est réparti de la façon suivante :

En surface, Les teneurs minimales sont enregistrées en face et à l'Est de l'Oued El Harrach. Ensuite, les concentrations augmentent depuis l'embouchure de l'Oued El Harrach du SO et en allant vers le NE. Le courant de dérive littorale Ouest-Est peut être responsable de cette distribution (**Figure 4.72, annexe 4**).

En profondeur, on note une pauvreté très significative des eaux à l'Est de la baie, avec une augmentation de la concentration des M.E.S de l'Ouest vers l'Est (**Figure 4.73, annexe 4**).

Les stations de la partie Ouest de la baie d'Alger semblent subir une remise en suspension des particules, contrairement aux autres. Le dragage du port d'Alger le jour du prélèvement peut être responsable de ce phénomène.

Dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, la concentration des M.E.S. augmente de l'Est vers l'Ouest. Notons toutefois que l'Oued Mazafran n'apporte que peu de M.E.S. dans le milieu marin.

Par ailleurs, les fortes concentrations sont localisées au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach ainsi qu'à la sortie du port de Tipaza (**Figure 4.74, Figure 4.75, Figure 4.76 et Figure 4.77, annexe 4**).

Enfin, la baie d'Alger est plus concentrée en M.E.S. que la baie de Bou-Ismaïl, témoignant de l'intensité des activités anthropiques.

e. Turbidité : baie d'Alger

La distribution de la turbidité en surface suit celle des M.E.S. Le courant de dérive littorale semble disperser la turbidité depuis l'embouchure de l'Oued El Harrach vers le N et le NE de la baie. De plus, les stations de la partie Est présentent les valeurs les plus élevées, où le maximum de turbidité en surface correspond au maximum de M.E.S. (**Figure 4.78, annexe 4**).

Par contre, en profondeur, les stations de la partie Est qui présentent les valeurs minimums de M.E.S. n'indiquent pas forcément les valeurs les plus faibles de la turbidité. D'autres facteurs peuvent troubler la qualité du milieu mis à part les M.E.S. (**Figure 4.79, annexe 4**).

f. Nitrites

L'analyse de la répartition spatiale des teneurs en nitrites dans la baie d'Alger montre une situation relativement homogène dans toute la zone prospectée, si on prend les deux niveaux de profondeur séparément (**Figure 4.80 et Figure 4.81, annexe 4**). Aussi, l'écart-type observé est de l'ordre de 0,01 en surface et de 0,04 au fond.

Les eaux superficielles présentent une moyenne de 0,04 $\mu\text{mol/l}$; alors que les eaux profondes indiquent une moyenne de 0,25 $\mu\text{mol/l}$. Les concentrations en nitrites ne varient que faiblement autour de ces moyennes et demeurent ainsi très proches les unes des autres. Toutefois, en surface, cette variation prend une ampleur particulière face aux deux Oueds de la baie, El Harrach et el Hamiz. Tandis qu'en profondeur, mis à part la station A6, toute la frange côtière présente des valeurs relativement élevées, qui semble être affectée par les apports littoraux.

Dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, les eaux superficielles sont moins chargées en nitrites que les eaux profondes, contrairement à la partie Ouest (**Figure 4.82 et Figure 4.83, annexe 4**). Les concentrations des nitrites, dans la partie Est, diminuent en allant de l'Est vers l'Ouest, où la zone située en face de l'embouchure de l'Oued Beni Messous est la plus chargée en cet élément.

Par ailleurs, dans la partie Ouest, les émissaires de la ville de Bou-Ismaïl semblent plus chargées en nitrites, provoquant ainsi l'enrichissement du milieu en cet élément (**Figure 4.84 et Figure 4.85, annexe 4**).

Enfin, la répartition des nitrites au niveau de la colonne d'eau dans la baie d'Alger et dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl est comparable.

g. Nitrates

Les teneurs en nitrates dans la baie d'Alger varient d'une zone à une autre. La zone située en face à l'Oued El Harrach est la plus chargée en nitrates ($0,67 \mu\text{mol/l}$), où ce dernier participe à l'enrichissement du milieu en déversant ses eaux en mer. En profondeur, toute la frange côtière, excepté la station A6, est riche en nitrates en comparaison avec le centre de la baie (**Figure 4.86 et Figure 4.87, annexe 4**).

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl est moins chargée en nitrates que la partie Ouest. Dans la partie Est, la concentration en nitrates des eaux superficielles augment en allant de l'Est vers l'Ouest, où la zone située en face de l'embouchure de l'Oued Mazafran présente la teneur la plus élevée ($0,28 \mu\text{mol/l}$) (**Figure 4.88, annexe 4**). Au contraire, la concentration des eaux profondes en nitrates diminue de l'Est vers l'Ouest, où la zone en face de l'Oued Beni Messous est la plus riche en nitrates (**Figure 4.89, annexe 4**).

Par ailleurs, dans la partie Ouest de la baie, la zone située en face des émissaires de la ville de Bou-Ismaïl est la plus chargée en nitrates (**Figure 4.90, annexe 4**). Notons toutefois que les eaux profondes de la zone située à l'extrême Ouest de la baie sont les plus chargées en nitrates (moyenne de $0,90 \mu\text{mol/l}$) (**Figure 4.91, annexe 4**).

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl ainsi que la baie d'Alger présentent des teneurs relativement faibles en nitrates, en comparaison avec la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl.

h. Phosphates

La répartition des phosphates dans la baie d'Alger est hétérogène. La zone située en face à l'Oued El Harrach est la plus chargée en éléments phosphates ($0,77 \mu\text{mol/l}$) en surface et en profondeur (**Figure 4.92 et Figure 4.93, annexe 4**).

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl est plus chargée en phosphates que la partie Ouest. En ce qui concerne la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, l'Oued Beni Messous participe à l'enrichissement des eaux superficielles ; alors que l'Oued Mazafran enrichi celles du fond. Ainsi, on peut noter que la concentration des eaux profondes augmente de l'Est vers l'Ouest (**Figure 4.94 et Figure 4.95, annexe 4**).

Par ailleurs, l'extrême Ouest de la baie présente des teneurs élevées, en plus de la zone située à proximité des émissaires de la ville de Bou-Ismaïl qui est riche en phosphates. Néanmoins, ces éléments ne semblent pas être dispersés vers le large, où on observe une diminution en allant de la côte vers les stations B5 B6, et B7 (**Figure 4.96 et Figure 4.97, annexe 4**).

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl ainsi que la baie d'Alger présentent des teneurs élevées en phosphates par rapport aux nitrates, en comparaison avec la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (**Figure 4.98**).

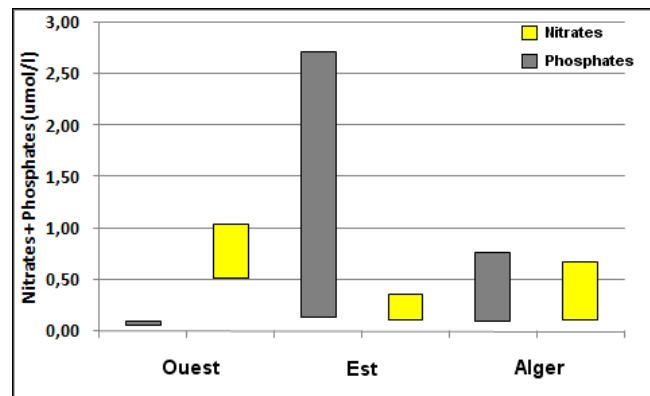


Figure 4.98 : Intervalle des teneurs en phosphates et en nitrates dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl (2012).

i. Ammonium

Dans la baie d'Alger, les valeurs superficielles oscillent entre 9,56 et 35,92 $\mu\text{mol/l}$. Les plus élevées sont retrouvées dans le compartiment Est de la baie, encore plus dans la zone située en face de l'Oued El Harrach où l'influence de ce dernier se fait remarquer par les fortes teneurs d'ammonium relevées (**Figure 4.99 et Figure 4.100, annexe 4**).

Toutefois, sans vouloir préjuger de l'importance réelle de l'apport continental, il reste certain que la part biologique en soit une contribution significative. La présence de ces formes régénérées de l'azote en milieu marin reste dépendante en premier lieu de l'activité biologique (**Berland et al., 1980 ; Raimbault et al., 1995**). Il s'agit essentiellement de l'excrétion (zooplanctonique, animale) et de la minéralisation bactérienne (**Jacques et Treguer, 1986**). En profondeur, on note la valeur la plus élevée (39,74 $\mu\text{mol/l}$), toujours au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach. De plus, la zone portuaire indique de son côté une valeur qui n'est pas négligeable de l'ordre de 22,12 $\mu\text{mol/l}$.

Dans la baie de Bou-Ismaïl, les valeurs oscillent entre 0,02 et 10,65 $\mu\text{mol/l}$, un intervalle de variation qui est très faible par rapport à la baie d'Alger. Dans la partie Est, le maximum en surface est observé au niveau de la zone située en face la Thalassothérapie (**Figure 4.101, annexe 4**). Alors qu'en profondeur, il est mesuré en face l'Oued Mazafran (**Figure 4.102, annexe 4**). En ce qui concerne la partie Ouest, la zone située en face l'Oued Nador est la plus riche en ammonium. Notons toutefois une valeur extrême de 10,65 $\mu\text{mol/l}$ dans l'eau du fond au niveau des émissaires de la ville de Bou-Ismaïl (**Figure 4.103 et Figure 4.104, annexe 4**).

En comparant les résultats obtenus dans la baie d'Alger avec d'autres travaux, on constate que la différence de concentrations est très importante. Donc, soit il y a une anomalie dans les résultats, soit la baie d'Alger est très polluée en 2012 par l'expansion des activités anthropiques et la richesse des eaux continentales en ammonium déversé vers la mer.

j. Silicate

Les teneurs en silicates dans la baie d'Alger indiquent un écosystème relativement enrichi, surtout en profondeur. Les stations de la partie SO de la baie montrent les valeurs les plus élevées, surtout au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach où la valeur maximale a été observée en profondeur (6,74 $\mu\text{mol/l}$). (**Figure 4.105 et Figure 4.106, annexe 4**).

En ce qui concerne la répartition des silicates dans la baie de Bou-Ismaïl, la partie Est est plus riche que la partie Ouest. Pour la partie orientale, les teneurs augmentent en allant de l'Est vers l'Ouest, où le maximum observé se trouve au niveau de l'embouchure de l'Oued Mazafran (**Figure 4.107 et Figure 4.108, annexe 4**).

Par ailleurs, l'extrême Ouest de la baie présente des teneurs élevées, en plus de la zone située à proximité des émissaires de la ville de Bou-Ismaïl qui est riche en silicate.

La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl présente approximativement les mêmes teneurs que la baie d'Alger, contrairement à la partie Ouest qui est pauvre en ces éléments (**Figure 4.109 et Figure 4.110, annexe 4**).

k. Chlorophylle-*a*

Le dosage de la concentration en chlorophylle-*a* dans la baie d'Alger a permis de mettre en évidence un bloom phytoplanctonique au niveau de la zone située en face l'embouchure de l'Oued El Harrach, dont la valeur la plus élevée a été observée à l'Est de cet estuaire. Notons toutefois une eutrophisation au niveau de la zone portuaire dans les eaux du fond. (**Figure 4.111 et Figure 4.112, annexe 4**).

Mis à part les stations A3 (surface) et A5 (fond), toutes les autres présentent des teneurs de phéopigments plus élevée par rapport à la chlorophylle-*a*.

En ce qui concerne la distribution de la chlorophylle-*a* dans la baie de Bou-Ismaïl, La partie Est est caractérisée par des teneurs plus importantes. Pour la partie orientale, la valeur la plus élevée en surface est observée au niveau de la station B2 ; alors qu'en profondeur, elle se trouve au niveau de l'embouchure de l'Oued Mazafran (**Figure 4.113 et Figure 4.114, annexe 4**). Par ailleurs, l'extrême Ouest de la baie présente des teneurs élevées, notamment à la sortie du port de Tipaza (**Figure 4.115 et Figure 4.116, annexe 4**).

Comme les phosphates, les nitrates et les silicates, la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl présente des concentrations en chlorophylle-*a* comparables avec celles de la baie d'Alger, contrairement à la partie Ouest qui présente des proportions faibles.

IV. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate

Du diagramme de corrélation nitrate-phosphate, il ressort le rapport d'abondance nitrate/phosphate (N/P) caractérisant les stocks de ces deux éléments. Ce rapport permet aussi l'évaluation de la perturbation de l'environnement chimique d'un écosystème aquatique.

IV.1. Baie d'Alger

Le rapport N/P calculé en Mai dans la baie d'Alger indique une distribution dispersée (**Figure 4.117**), avec une corrélation plus au moins significative ($R^2 = 0,424$). La valeur du rapport N/P est de 0,59. Elle est largement inférieure à celle généralement admise pour les eaux méditerranéennes (20-27) selon Gomez (2003) et pour l'océan mondial 16 (Redfield et al., 1963). Elle est aussi inférieure à celle observée en 1989 pour toutes les eaux de la baie par Boulahdid et al., (2003) (**Figure 4.118, annexe 3**). Ce résultat indique que le milieu est très perturbé par l'épuisement des nitrates (inférieurs à $0,8 \mu\text{mole/l}$ du à l'assimilation phytoplanctonique) et/ou par l'abondance excessive des phosphates (pollution anthropique).

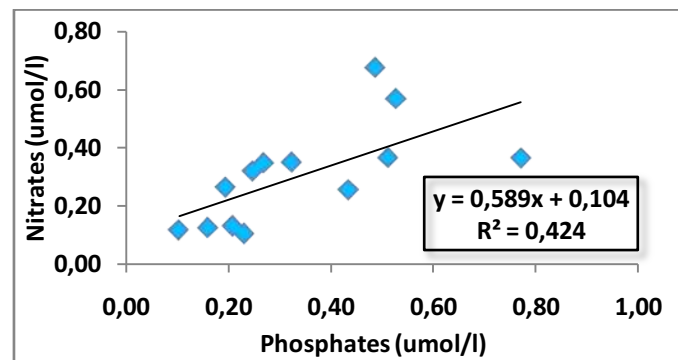


Figure 4.117 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie d'Alger.

IV.2. Baie de Bou-Ismaïl

La corrélation entre les nitrates et les phosphates dans la baie de Bou-Ismaïl permet de distinguer aisément une distribution en deux nuages de points très distincts.

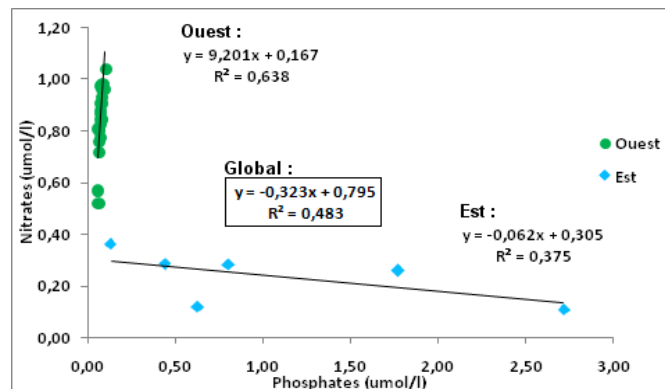


Figure 4.119 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie de Bou-Ismaïl.

Le premier, assez diffus ($R^2 = 0,3$) est représentatif de la partie Est de la baie avec une corrélation négative et un rapport N/P = - 0,06 proche de zéro. Comparé à celui de Redfield (admis pour l'océan mondial N/P=16), ce rapport est très faible. Il peut signifier la quasi inexistence des nitrates et l'abondance excessive des phosphates avec un inversement de la relation entre ces deux paramètres, ce qui rend l'environnement chimique très perturbé par un déséquilibre chimique.

Ce déséquilibre peut être imputé à la fois à la photosynthèse qui a épuisé presque totalement les nitrates et à la pollution excessive en phosphates sous forme d'apports anthropiques (Figure 4.120).

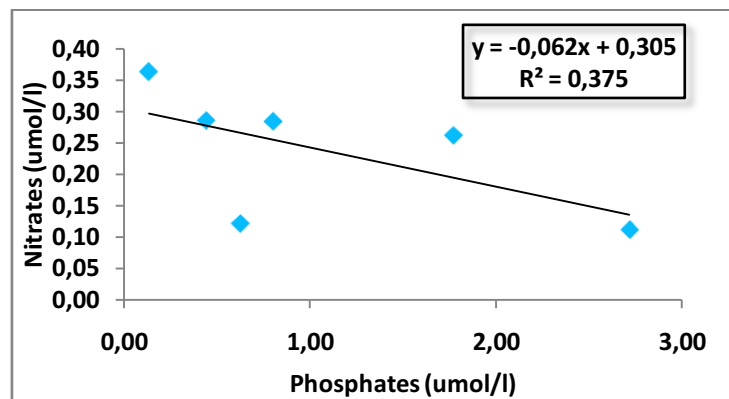


Figure 4.120 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (2012)

Le deuxième, plus linéaire et plus significatif en terme de corrélation ($R^2 = 0,64$), est représentatif de la partie ouest de la baie avec une corrélation positive et un rapport N/P = 9,2 (Fig. 4.121). Même ce rapport, comparé à celui de Redfield, est assez faible et renseigne sur une perturbation et un déséquilibre chimiques de l'écosystème aquatique.

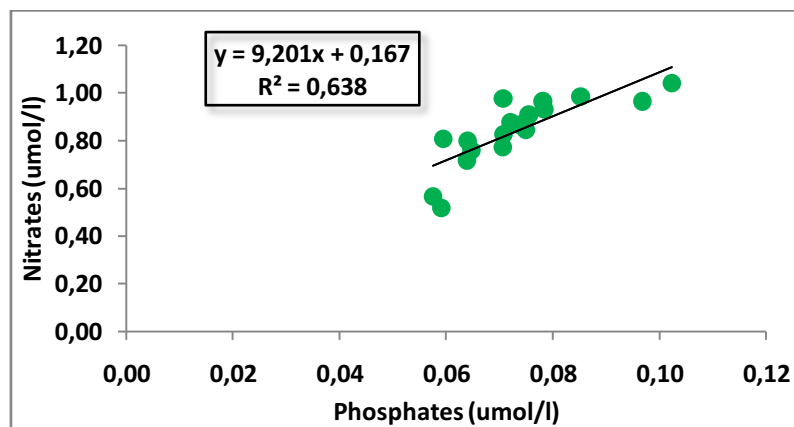


Figure 4.121 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (2012)

Cette situation a été déjà observée en 1997 par Boulahdid et al., (2007). En effet, ces auteurs, par la distribution des paramètres physicochimiques, des sels nutritifs et le rapport N/P, trouve que la baie est subdivisée en deux zones distinctes : Est et Ouest. Dans la zone Est, ils estiment un rapport N/P=2 et ils attribuent ce déséquilibre à la charge polluante riche en phosphates déversée en mer. Dans la partie ouest, ils estiment un rapport N/P=16 et ils attribuent cette valeur au mélange des eaux de la baie avec les eaux profondes du large due à une résurgence côtière observée dans la partie ouest de la baie.

Conclusion générale

L'étude menée à travers ce mémoire a utilisé une approche fondée conjointement sur la mesure des paramètres physiques et les dosages chimiques. Elle est tentée dans le but de faire un suivi sur l'évolution de l'état de la pollution par les sels nutritifs, et donc d'apprécier globalement la qualité des eaux du milieu marin côtier.

Des mesures de paramètres on été effectuées immédiatement à bord, alors que d'autres nécessitant des équipements analytiques plus performants se sont vu déferés et réalisées aux laboratoires. Cette expérience a permis d'avancer un travail de terrain et d'équipe et de maîtriser l'utilisation des matériaux et des techniques de mesures.

Pour l'analyse des sels nutritifs, la fiabilité, la précision et surtout la rapidité qu'offre l'auto analyseur *Skalar® San Plus Analyser*, constitue un gain considérable qu'on ne pouvait acquérir par la méthode manuelle.

L'examen des résultats a permis de mettre en évidence des caractéristiques hydrodynamiques et des niveaux de concentrations en éléments nutritifs assez particuliers :

On a relevé des taux assez important de certains sels nutritifs. Les phosphates dans les deux baies étudiées sont d'origines anthropiques et sont à l'origine d'un déséquilibre dans ces deux systèmes aquatiques. Le taux des nitrates et la situation de la partie ouest de la baie de Bou-Ismaïl, peut être révélatrice d'un phénomène de résurgence côtière à ce niveau.

Par ailleurs, il y a une forte ressemblance dans les caractéristiques physico-chimiques de la baie d'Alger et la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, une analogie qui est toutefois justifié par la nature des activités anthropiques existantes.

Enfin, la combinaison des paramètres physiques et chimiques le long de la baie de Bou-Ismaïl, permet sa subdivision sur le plan horizontale en deux zones bien distinctes par la composition chimique élémentaire de leurs eaux :

- Une partie Est, dont les eaux présentent une salinité relativement faible, et une richesse phytoplanctonique (concentrations élevées en chlorophylle a). Le rapport de Redfield très bas établit pour ce compartiment, traduit l'influence certaine de l'activité anthropique. Ce rapport bien inférieur à ce qui est classiquement admis pour l'ensemble des océans, et même pour la Méditerranée, souligne un déséquilibre entre les proportions normales de l'azote et du phosphore. Ce ci est valable pour la baie d'Alger.
- Une partie Ouest, dont les eaux présentent une salinité élevée, et une modération de la production primaire. La nature des activités anthropiques dans ce secteur, conditionne le relèvement du rapport de Redfield, qui reste toutefois inférieur à la norme.

L'écosystème marin constitue un milieu très complexe. La matrice "eau" en est l'un de ses compartiments les plus difficiles à étudier en raison de ses grandes fluctuations, fréquentes et aléatoires de ses caractéristiques.

Conclusion générale

Ainsi, à travers une étude très limitée dans le temps, on ne pouvait tirer de conclusions définitives. Néanmoins, l'opportunité qu'offre cette tentative en estimant globalement le niveau de fertilité des eaux, suffit au moins à rassurer les écologistes, mais également à créer l'inquiétude d'une pollution potentielle surtout en phosphates.

L'examen du suivi de la concentration des phosphates est alarmant. En effet, au fil des années, la concentration de ces éléments gagne de l'ampleur par l'accroissement des activités industrielles, notamment par la tendance des complexes touristiques, responsables d'une pollution flagrante du milieu.

Une question primordiale se pose dans ce cas là :

Dans la mesure où l'augmentation des teneurs en phosphates est importante et ne cesse d'augmenter à l'échelle spatiotemporelle, jusqu'où peut-on tolérer cette hausse, avant que les espèces dépendantes de la stabilité du rapport de Redfield, ne soient complètement bouleversées ?

Des études ultérieures permettront probablement de cerner la nature réelle de ces systèmes, ainsi que de répondre à cette question et autres. La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl ainsi que la baie d'Alger devraient faire l'objet d'une attention très particulière.

A ce titre quelques recommandations s'imposent afin de conserver un milieu qui reste encore très vulnérable aux agressions de l'homme.

RECOMMANDATIONS

Concernant la recherche:

- Aller plus profondément dans la détermination de la composition de la matière organique dissoute. Il serait en effet, fort intéressant de pouvoir l'exprimer par classes biochimiques. Ce type de recherche, encore très peu soutenu sur la côte Algérienne est à encourager et à promouvoir.
- Déterminer la nature et la composition des polluants chimiques rejetés en mer pour pouvoir les appréhender et les éliminer.

Concernant le domaine pratique:

- L'utilisation d'un réseau très serré de stations d'échantillonnage avec notamment plusieurs niveaux de prélèvements, afin de pouvoir cerner toutes les anomalies existantes et leurs immersions correspondantes.
- Assurer un suivi saisonnier aux différentes recherches et pourquoi pas mensuel.
- Encourager l'installation des capteurs de mesure des paramètres physiques de l'eau de mer, afin de mieux comprendre le fonctionnement environnemental du bassin algérois sous la pression anthropique, dans le but de prendre des mesures préventives ou bien draconiennes.

Bibliographie

Bibliographie

Abraham M., 1998. Caractéristiques physico-chimique et distribution de la chlorophylle dans les eaux d'un lagon d'île haute soumis aux influences terrigènes et anthropiques. Diplôme d'études approfondies, CENTRE ORSTOM DE NOUMEA, B.P.A5 – NOUMEA NOUMEA, NOUVELLE-CALEDONIE, 54 P.

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. et Chausse-Pied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition : CNEXO, Brest, France, 395 P.

Aminot A., Guillard J-F. et Kérouel R., 1997. La baie de Seine : hydrologie, nutriments et chlorophylle (1978-1994). Edition : Ifremer, France, 148 P.

Aminot A. et Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Edition : Ifremer, France, 336 P.

Bentebbal B. et Tichouiti K., 1999. Essai d'évaluation et de caractérisation de la contamination dans le golf de Skikda (Algérie). Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 58 P.

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

Berne F., et Cordonnier J., 1991. Traitement des eaux : Epuration des eaux résiduaires de raffinage. Conditionnement des eaux de réfrigération. (TECHNIP, Eds.) 306 P.

Berlan B., Bonin D., et MAESTRINI S., 1980. Azote ou phosphore ? Considération sur « le paradoxe nutritionnel » de la mer Méditerranée. *Océanologica Acta, vol, N°3 :135-141.*

Bethoux P., Morin P., Chaumery C., Connan O., Gentili B. et Ruiz-Pino D.P., 1998. Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine chemistry, Vol. 63, 155-16 P.*

Bouget J. F., 2008. Suivi trophique en baie de Quiberon en 2008. *Éd. Ifremer, Paris, France, 12 P.*

Bougis P., 1974. Ecologie du plancton marin : Tome I, le phytoplacton. *Éd. Masson et Cie, Paris, France, 196 P.*

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

Boulahdid M., Eddalia N., Boudjellal B. et Azzouz M., 2003. Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physicochimiques et environnementaux. *Annales de l'institut National Agronomique- El Harrach- Vol.24, N°1 et 2, 39-54.*

Bibliographie

Boulahdid, M., Brinis, A., Brahmia, A., Boudjellal, B. et Eddalia, N., 2007. Hydrological and environmental aspects of waters of the Bou Ismaïl bay between the continental influence and the open sea waters. *EGU Vienna 2007, 14 – 18 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 05623, 2007*

Brahmia A. et Brinis A., 1997. Caractéristiques hydrologiques et niveaux de fertilité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl. *Mém. d'Ing. d'Etat en pollution marine, ISMAL, 104 P.*

Bricaud A. et Morel A., 1987. « Atmospheric corrections and interpretation of marine radiances in CZCS imagery : use of a reflectance model ». *Oceanol. Acta*, p. 33-50.

Burns K.A., and Villeneuve J.P., 1982. Dissolved and particulate hydrocarbons in water from spring sampling of the Var river estuary (S. France). *Toxicological and Environmental Chemistry*, Vol.5, pp.195-203.

Collignon J., 1991. Ecologie et biologie marines : Introduction à l'halieutique. *Éd. Masson, Paris France, 298 P.*

Copin-Montégut G., 1996. Chimie de l'eau de mer. *Collection «synthèse». Edition : Institut Océanographique de Paris, France, 319 P.*

Eddalia N., 1990. Les sels nutritifs et la matière en suspension dans la baie d'Alger et le Golf d'Arzew Identification des Masses d'eaux. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 103 P.*

Frontier S. et Pichod-Viale D., 1998. Ecosystèmes : Structure, fonctionnement, évolution. 2ème édition. *Éd. Dunod, Paris, France, 447 P.*

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

Gaumer G., 1981. Evolution annuelle des communautés microplanctoniques de la baie d'Alger. Variations de la composition spécifiques liées à la nature du facteur nutritionnel limitant de la biomasse algale. *Thèse de doctorat, Océanographie biologique, Université Pierre et Marie Curie, France, 91 P.*

Halmann M.M., 1996. Photodegradation of waters pollutants. (*CRC Press, Eds.*) 301 P.

Houma-Bachari F., 2007. Caractérisation des polluants de la côte Oranaise et Algéroise par analyse physico-chimique et corrélation avec les données satellites. *Thèse de doctorat, USTHB, Alger, Algérie, 225 P.*

Houma-Bachari F., Boulahdid M. et Khouider A., 2004. Développement d'une méthodologie pour caractériser et déterminer la pollution des eaux de mer par les hydrocarbures en utilisant des images satellites. *Rapport du 37e Congrès de la CIESM Barcelone, volume 37, pp. 208 P.*

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

Bibliographie

- Jacques G., et Treguer P., 1986.** Ecosystème pélagique marin. *Collection d'écologie*, Edition : Masson, Paris, France, 243 P.
- Jeandel C., 1998.** Les humeurs de l'océan. Les particules. *Edt Française des scientifiques Américains* : 58- 60.
- Kankou M., 2004.** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. *Docteur de l'Université de Limoges, France, 159 P.*
- Kessouri F., 2008.** Mise en oeuvre d'une base de données SIG pour le calcul des indicateurs de durabilité sur des communes de la zone du P.A.C (Littoral algérois). *Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL. Taswira.*
- Korichi H. S., 1988.** Contribution à l'Etude Biologique des deux espèces de saurels : *Trachurus trachurus* (LINNE, 1758) et *Trachurus mediterraneus* (STEINDACHNER, 1868) et de la dynamique de *Trachurus trachurus* (LINNE, 1758) en baie de Bou-Ismaïl (Alger). *Thèse de magister, ISMAL, Alger, Algérie, 238 P.*
- Lacaze J-C., 1996.** La pollution des mers. *Edition: DOMINOS Flammarion, France, 128 P.*
- Lacaze J-C., 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte. *Edition : Ellipses, 191 P.*
- Leclaire L., 1972.** La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin algéro-baléares (Précontinent algérien). Tome XXIV. *Éd. Muséum, Paris, France, 391 P.*
- LEM, 1998.** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. *Laboratoire d'Etudes Maritime, Alger, Algérie.*
- Le Pimpec P., Linéard A., Bonnard R., Lafont M., Cazin B., Bossard Ph., Hubert B., Bray M., 2002.** Guide pratique de l'agent préleveur : chargé de la police des milieux aquatiques. *Ed Maurice Merlin : 159 P.*
- Leroy J-B., 1999.** La pollution des eaux. *Edition : le point des connaissances actuelles, France, 126 P.*
- Madi F., 2009.** Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marine (CAS : Baie d'Alger). *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 111 P.*
- Marchand M., 1983.** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie UV. In C.N.E.X.O. Manuel des analyses chimiques en milieu marin, pp329-336.
- Mertes L.A.K., Smith M.O., and Adams J.B., 1993.** Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon river wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, vol. 43, no 3, p. 281-301.

Bibliographie

Millot C. et Taupier-Letage I., 2005. Circulation in the mediterranean sea. *Hdb Env Chem Vol. 5, Part K (2005)*, pp. 29–66.

Millot C., 1987. Circulation in the western Mediterranean sea. *Oceanologica Acte. Vol 10 n°2*, pp. 143- 149.

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

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

Pelletier C., 2009. Mesure de turbidité : Référence R2355. *Éd. Techniques de l'ingénieur, Paris, France.*

Raimbault P., 1992. Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the Southwestern Mediterranean Sea (Algerian Current). *Deep-Sea Research I. Vol. 40. N° 4. Pp.791.*

Ramade F., 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. *Edition: Ediscience International, France, 690 P.-804. 1993.*

Redfield A. C., Ketchum B. H. et Richards F. A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. *In the sea .Vol 2. Edt.M. N.Hill. Intersciences. New York, 26-77.*

Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique. Ed CRDP d'Aquitaine. France : 358 P.

Rodier J., Bazin C., Chambon P., Broutin J.-P., Champsaud H., Rodi L., 1996. Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Edition DUNOD, Paris. 1983 P.

Rodier J., 1997. L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer) 8ème Edition Dunod, Paris.

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.*

S.H.F.M., 2000. Mer méditerranée, côte d'Algérie. De Tipaza à Ras Matifou. *Carte, S.H.F.M., Algérie.*

Siron R., Del R.M., Loo M., et Giusti G., 1986. Formation et évolution de fractions pétrolières solubles dans l'eau, lors de tests de phytotoxicité. *C.R.A Acad.Sc.t.303, Série III, N°16, Pris, pp.661-664.*

Skalar analytical, 1998. Manuel San Plus Analyser : SA 1050 (Random Access Autosampler). Breda (Netherlands), 23 P.

Taoudiat S., 2009. Hydrologie et sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 54 P.*

Bibliographie

Taupier-Letage I., 1988. Biodynamique du bassin Algérien. Estimation de la réponse biologique à certaines structures hydrodynamiques de moyenne échelle par télédétection (AVHRR. et CZCS.) et mesures *in situ*. *Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, Marseille, France, 120 P.*

U.N.E.P/I.A.E.A,1995 b. Determination of total copper in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. (Draft) *Reference methods for marine pollution studies, UNEP, N°33,13 P.*

Volhardt K.P et Schore N.E., 1995. Traité de chimie organique. *De Boeck Université, (W.H.Freeman, 2èmeEds.), 1156 P.*

Wood E. P. K., Amstrong F. A. J. et Richard F. A., 1967. Determination of nitrate in seawater by cadmium-cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Assc. U.K., 47: 23-31.*

Annexes

Annexe 1

Tableau : Localisation et caractéristiques des stations de prélèvement lors des deux sorties

Station	prof (m)	Date	Heure	Latitude	Longitude	Etat de la mer	météo	Vent	Observation
A1	1	26/04/2012	09h 45	36° 45,626 N	3° 05,184 E	calme	ensoleillé	SO	peu de vent, présence de particules et déchets
	14		10h 03						
A2	1	26/04/2012	10h 30	36° 45,132 N	3° 08,026 E	calme	ensoleillé	SO	présence des déchets, eau trouble, mauvaise visibilité, mauvaise odeur
	10		10h 50						
A3	1	26/04/2012	11h 35	36° 45,239 N	3° 10,576 E	calme	ensoleillé	SO	présence des déchets, eau trouble
	10		11h 20						
A4	1	26/04/2012	12h 17	36° 47,046 N	3° 13,074 E	calme	ensoleillé	SO	visibilité plus ou moins bonne
	14		12h 19						
A5	1	26/04/2012	13h 25	36° 46,756 N	3° 08,446 E	calme	ensoleillé	S	visibilité plus ou moins bonne
	20		13h 30						
	40		13h 31						
A6	1	26/04/2012	14h 25	36° 47,333 N	3° 04,457 E	calme	ensoleillé	SE	eau très turbide, très mauvaise visibilité
	25		14h 15						
B1	1	22/04/2012	15h 48	36° 47,477 N	2° 52,930 E	peu agité	nuageux	NE	eau clair
	15		15h 53						
B2	1	22/04/2012	14h 20	36° 45,357 N	2° 49,710 E	agité	nuageux	NE	eau légèrement trouble
	15		14h 27						
B3	1	22/04/2012	12h 45	36° 42,971 N	2° 48,200 E	légèrement agité	ensoleillé	NE	eau légèrement trouble
	10		12h 55						
B4	4	03/06/2012	10h05	36° 39,133 N	2° 41,614 E	peu agité		NO	eau trouble
B5	1	03/06/2012	10h20	36° 39,489 N	2° 42,040 E	peu agité		NO	eau trouble
	8		10h30						

Annexes

Tableau : Localisation et caractéristiques des stations de prélèvement lors des deux sorties (Suite)

B6	1	03/06/20 12	10h50	36° 39,256 N	2° 41,517 E	peu agité		NO	eau trouble
	10		10h53						
B7	3	03/06/20 12	11h00	36° 38,931 N	2° 41,005 E	peu agité		NO	eau trouble
B8	5	03/06/20 12	11h17	36° 38.368'N	2° 40.122'E	peu agité		NO	eau légèrement trouble
B9	1	03/06/20 12	11h30	36° 38.562'N	2° 39.127'E	peu agité		NO	eau clair, bonne visibilité
	20		11h35						
B10	3	03/06/20 12	11h50	36° 35.752'N	2° 26.953'E	peu agité		N	eau trouble, présence de déchets
B11	1	03/06/20 12	12h05	36° 35.952'N	2° 26.891'E	peu agité		N	eau légèrement trouble
	15		12h10						
B12	1	03/06/20 12	12h30	36° 36.207'N	2° 26.313'E	peu agité		NO	eau légèrement trouble
	20		12h40						
B13	1	03/06/20 12	13h00	36° 36.008'N	2° 25.359'E	peu agité		NO	eau trouble
	3		13h8						
B14	1	03/06/20 12	13h20	36° 36.550'N	2° 25.513'E	peu agité		NO	eau légèrement trouble
	14		13h25						
Port Bouhar oun	2	03/06/20 12	14h30	36° 37.582'N	2° 39.320'E	-		-	eau très trouble, couleur marron de l'eau, présence d'algues au fond, faible profondeur, déballastage des bateaux
Port sidi Fredj	2	22/04/20 12	13h45	36° 45.815'N	2° 50.917'E	-		-	eau légèrement trouble
Port El Djamila	2	22/04/20 12	14h00	36° 48.065'N	2° 53.883'E	-		-	eau légèrement trouble
Port Khemis ti	2	03/06/20 12	14h50	36° 38.283'N	2° 40.297'E	-		-	eau très trouble, déballastage des bateaux
Port Tipaza	2	03/06/20 12	16h00	36° 35.630'N	2° 27.024'E	-		-	eau très trouble, déballastage des bateaux

Annexes

Tableau 4.10 : Valeurs extrêmes et moyennes ainsi que l'écart-type des paramètres physico-chimiques de la baie de Bou-Ismaïl (partie Est, Juillet)

	Température (°C)		Salinité (PSU)		Conductivité (ms/cm)		pH	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	22,57	22,13	36,43	36,37	49,50	49,31	8,01	8,02
Minimum	22,40	21,70	36,30	36,30	49,20	49,04	7,95	7,99
Maximum	22,70	22,40	36,60	36,40	49,90	49,50	8,05	8,05
Ecart-type	0,15	0,38	0,15	0,06	0,36	0,24	0,05	0,03

Tableau 4.10 (Suite)

	Nitrites		Ammonium		Phosphates		Silicates		Nitrates	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moy	0,02	0,01	8,81	6,65	0,99	1,30	3,86	3,86	0,15	0,10
Min	0,01	0,01	5,17	4,72	0,70	0,65	3,82	3,82	0,10	0,03
Max	0,02	0,02	12,83	8,45	1,30	1,94	3,95	3,95	0,24	0,18
écart	0,01	0,01	3,84	1,87	0,30	0,64	0,08	0,08	0,08	0,08

Tableau 4.10 (Suite)

	MES		MOP		Chlorophylle a		Phéopigments	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Moyenne	44,49	43,91	18,33	17,85	0,1869	0,1869	0,2114	0,1691
Minimum	38,70	32,61	17,08	16,84	0,1121	0,1281	0,0423	0,1268
Maximum	50,87	55,22	19,64	19,63	0,2883	0,2563	0,3382	0,2114
Ecartype	6,11	11,30	1,28	1,54	0,0911	0,0647	0,1524	0,0423

Annexe 2 : Appareillages utilisés



Fig.3.1 : Bouteilles de prélèvement d'eau de mer (Niskin)



Fig.3.11 : Valise multi paramètres



Fig.3.12 : Turbidimètre de type AQUALYTIC



Fig.3.13 : Dispositif de filtration sous vide de marque *Millipore*®



Figure 3.14 : seringue et filtres millipores



Figure 3.15 : porte tube

Annexes

Annexe 3

Tableau 3.2: Gamme d'étalonnage et hauteurs de pic correspondantes pour l'Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates et silicate.

Type	NO2 µmol/l	Hauteur du pic de NO2-	NH4 µmol/l	Hauteur du pic de NH4+	PO4 µmol/l	Hauteur du pic de PO43-
Eau distillée	0	0	0	0	0	0
ST1	0,2045	50	0,5139	179	0,1973	840
ST2	0,4234	111	0,6029	210	0,3993	1700
ST3	0,6332	157	1,6738	583	0,5689	2422
ST4	0,7634	194	2,1389	745	0,7127	3509
ST5	0,9141	225	2,5896	902	0,7144	3141
ST6	1,0269	257	4,8461	1788	0,8243	3509

(Suite)

Tableau 3.2: Gamme d'étalonnage et hauteurs de pic correspondantes pour l'Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates et silicate (suite)

Type	SiO2 µmol/l	Hauteur du pic de SiO2-	NO3 µmol/l	Hauteur du pic de NO3-
Eau distillée	0	0	0	0
ST1	0,7302	88	0,2702	44
ST2	1,1378	138	0,4091	64
ST3	1,5867	192	0,6089	90
ST4	1,9115	231	0,8065	120
ST5	2,3769	287	1,1348	174
ST6	2,3769	287	1,1348	174

Tableau : test de reproductibilité de l'appareil Skalar ® *San Plus Analyser*

Station / Type	Nitrites µmol/l	Ammonium µmol/l	Phosphates µmol/l	Silicates µmol/l
B5 surface	0,0641	7,8611	0,0533	0,4694
B5 surface	0,0641	7,9613	0,0507	0,4636
B5 surface	0,0682	7,8616	0,0478	0,5075
B5 surface	0,0685	7,8617	0,0492	0,4521
B5 surface	0,0688	7,5618	0,0482	0,4629
B5 surface	0,0691	7,7614	0,0595	0,4985
B5 surface	0,0695	7,8611	0,0533	0,4432
B5 surface	0,0698	7,8614	0,0533	0,4622
B5 surface	0,0695	7,7614	0,0507	0,4482
B5 surface	0,0641	7,8614	0,0507	0,4482
B5 surface	0,0695	7,6619	0,0507	0,4864

Tableau : test de reproductibilité de l'appareil Skalar ® <i>San Plus Analyser</i> (Suite)				
B5 surface	0,0695	7,8618	0,0492	0,4558
B5 surface	0,0676	7,9613	0,0595	0,4482
B5 surface	0,0641	7,8615	0,0595	0,4857

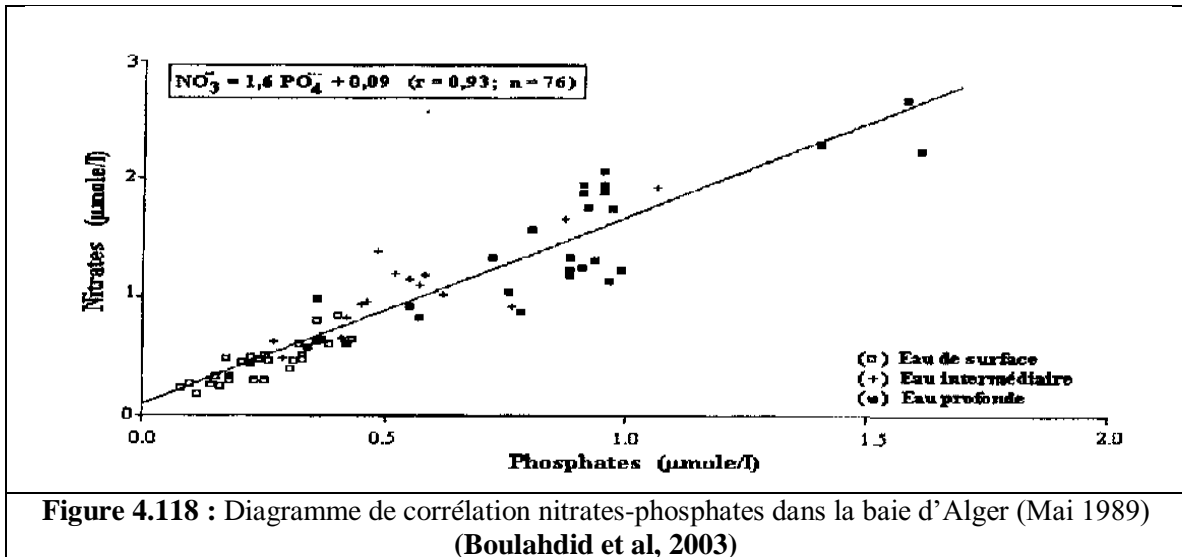


Figure 4.118 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates dans la baie d'Alger (Mai 1989) (Boulahdid et al, 2003)

Annexe 4

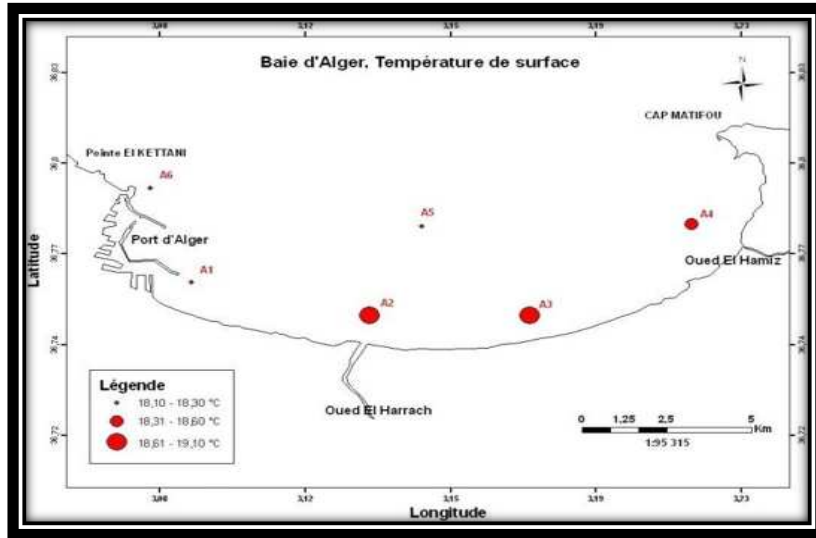


Figure 4.54 : Carte de distribution de la température de surface dans la baie d'Alger.

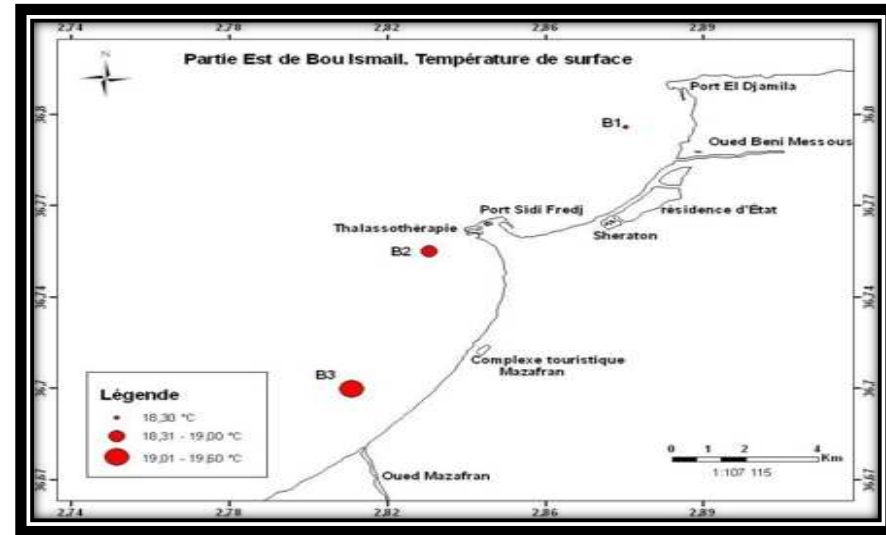


Figure 4.56 : Carte de distribution de la température de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

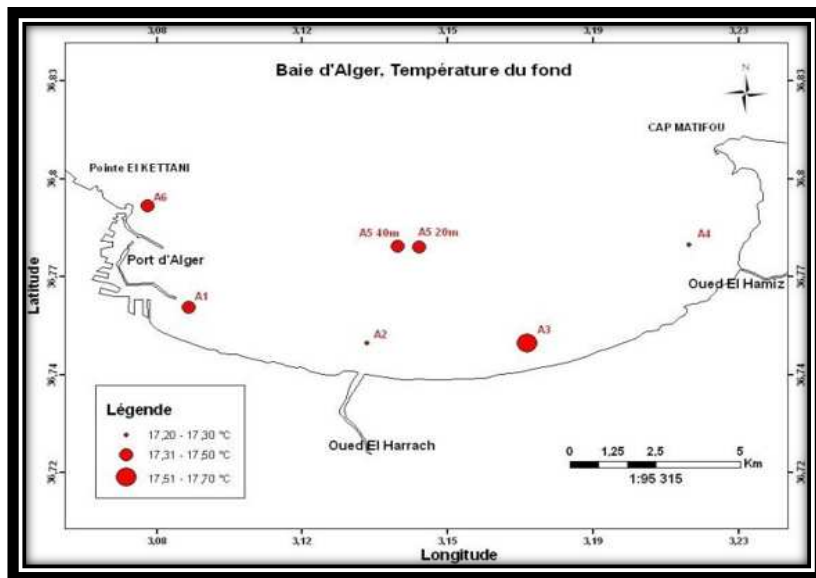


Figure 4.55 : Carte de distribution de la température du fond dans la baie d'Alger

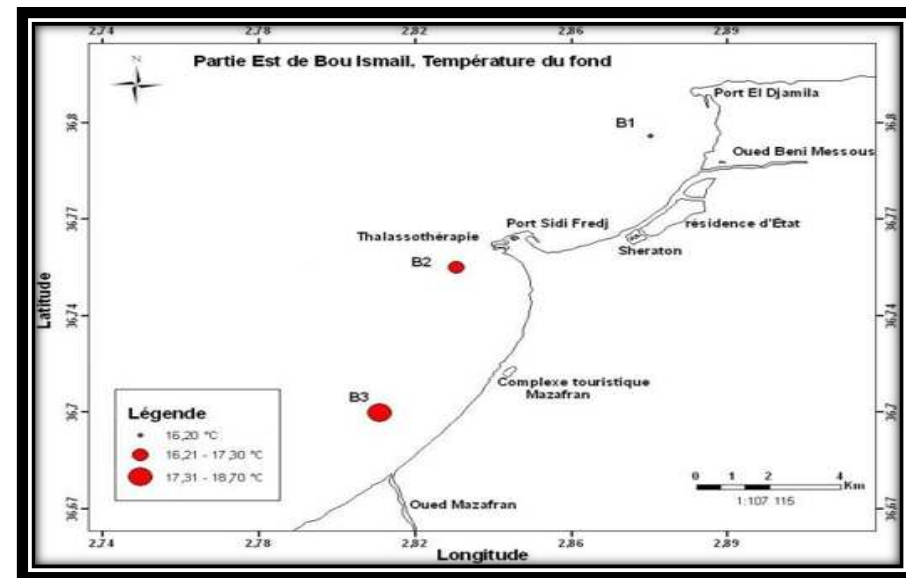


Figure 4.57 : Carte de distribution de la température du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

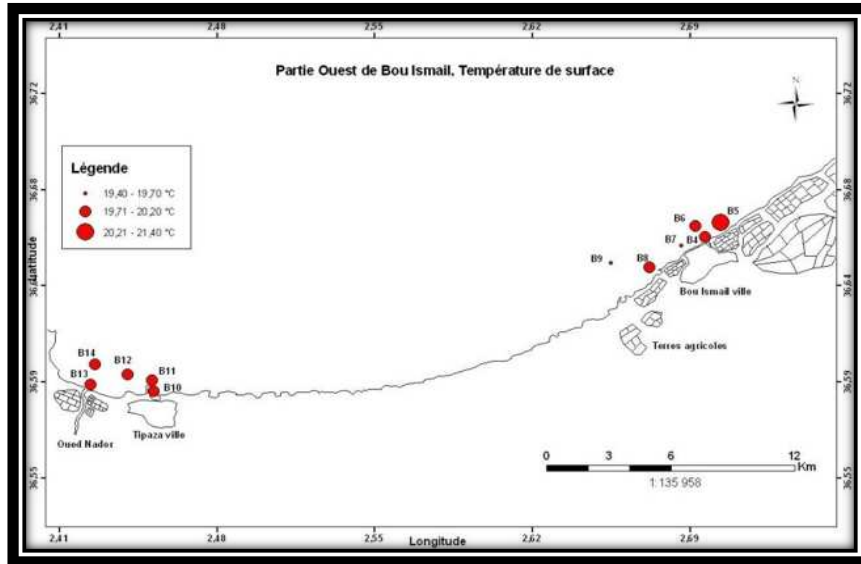


Figure 4.58 : Carte de distribution de la température de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

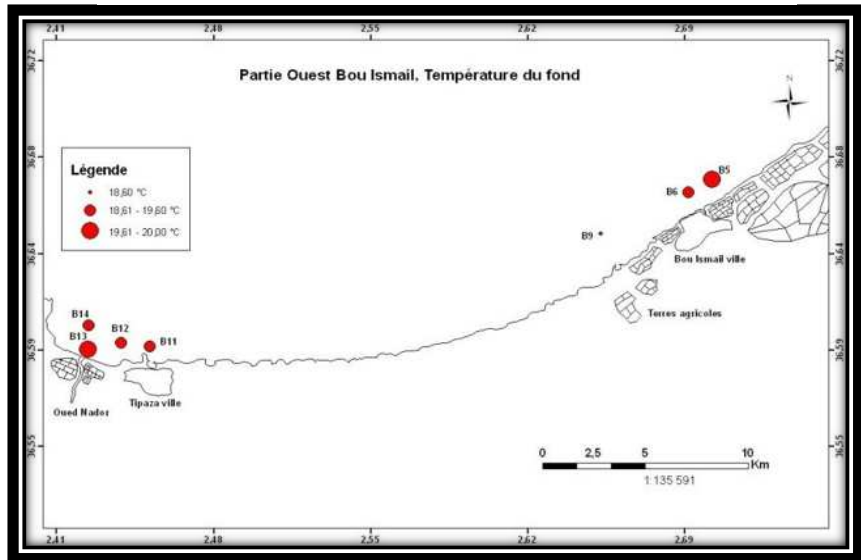


Figure 4.59 : Carte de distribution de la température du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

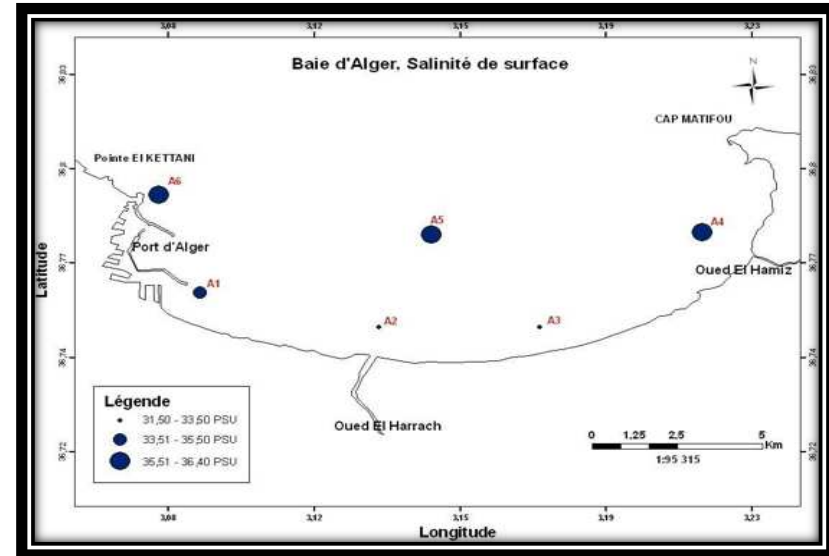


Figure 4.60 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la baie d'Alger

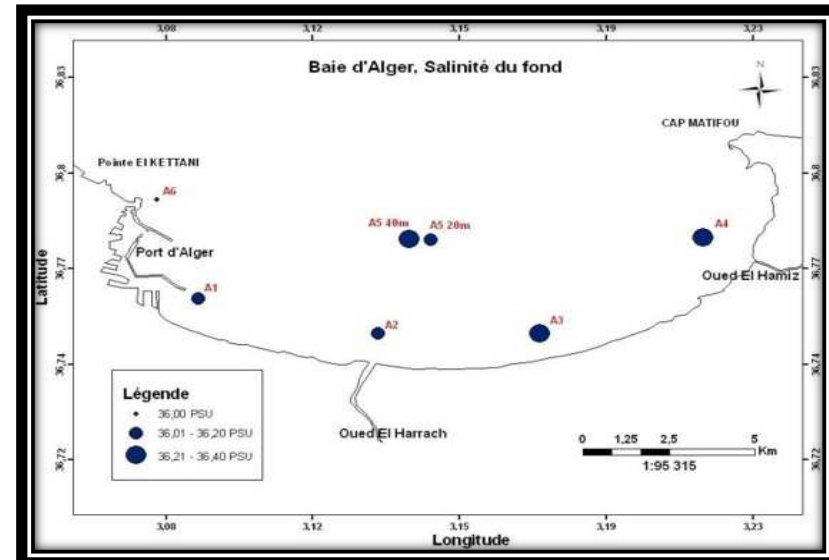


Figure 4.61 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la baie d'Alger

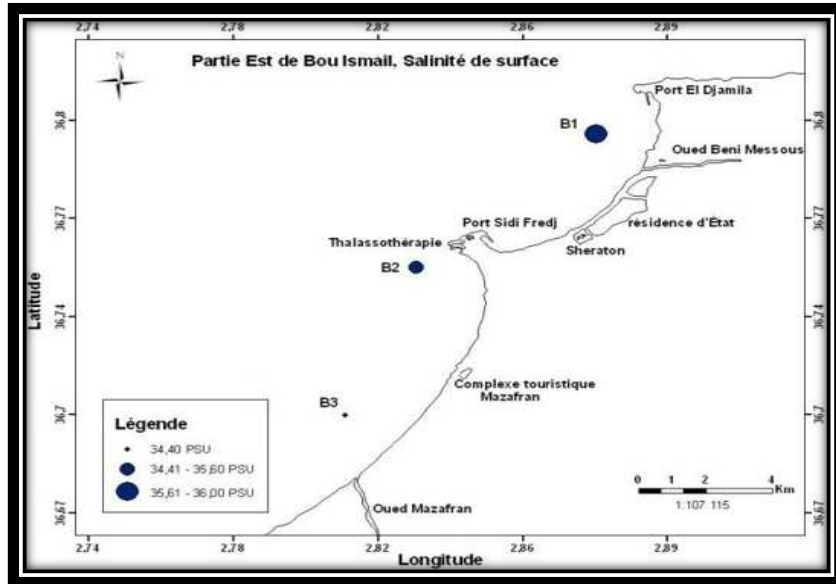


Figure 4.62 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

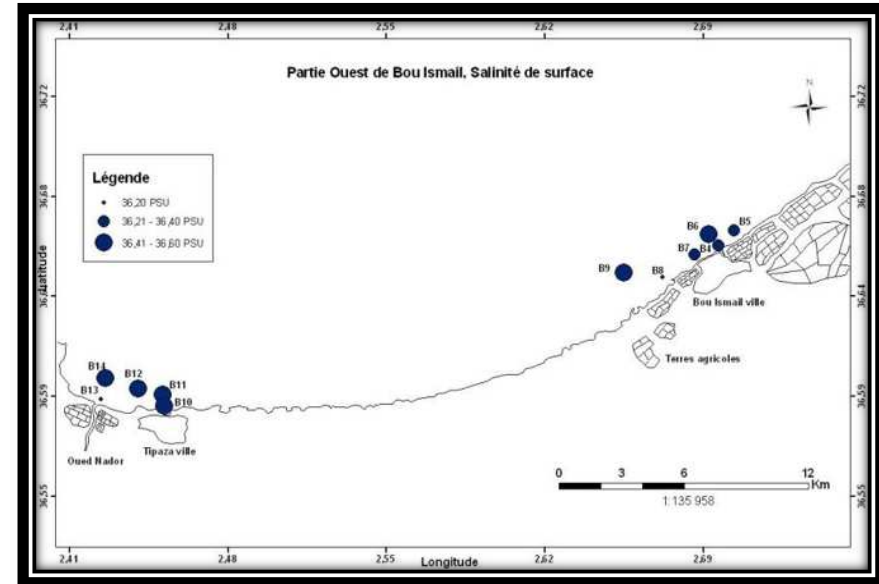


Figure 4.64 : Carte de distribution de la salinité de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

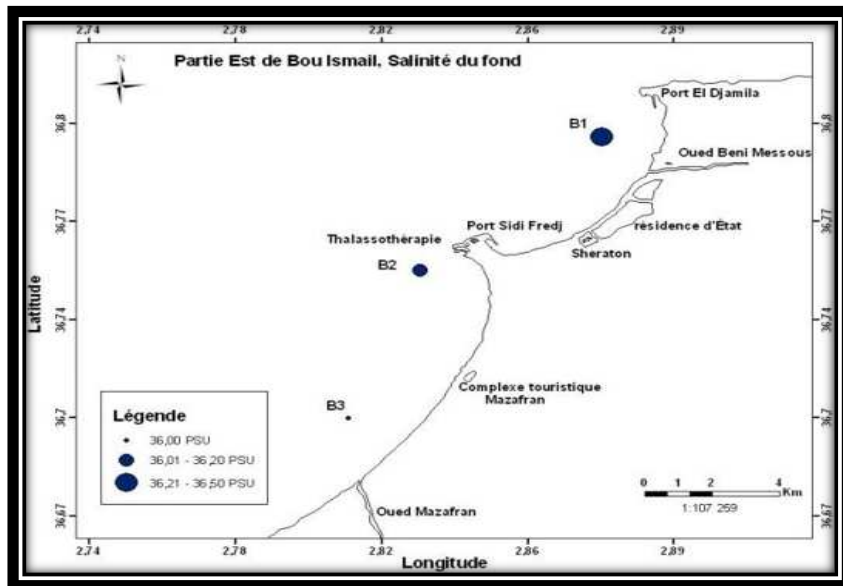


Figure 4.63 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

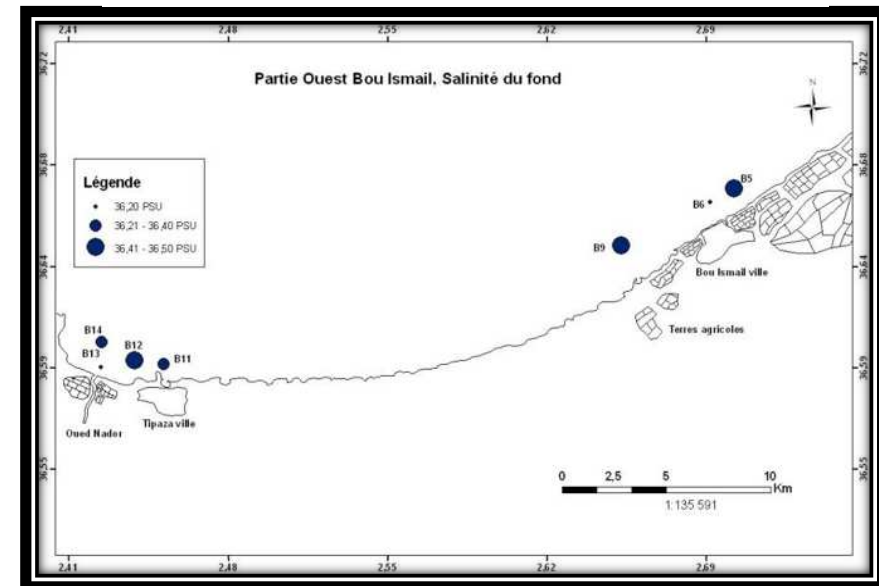


Figure 4.65 : Carte de distribution de la salinité du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

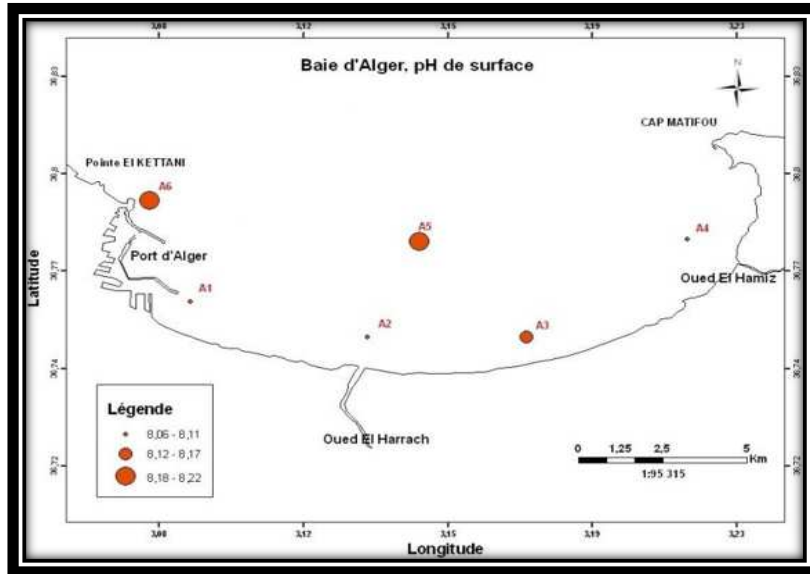


Figure 4.66 : Carte de distribution du pH de surface dans la baie d'Alger

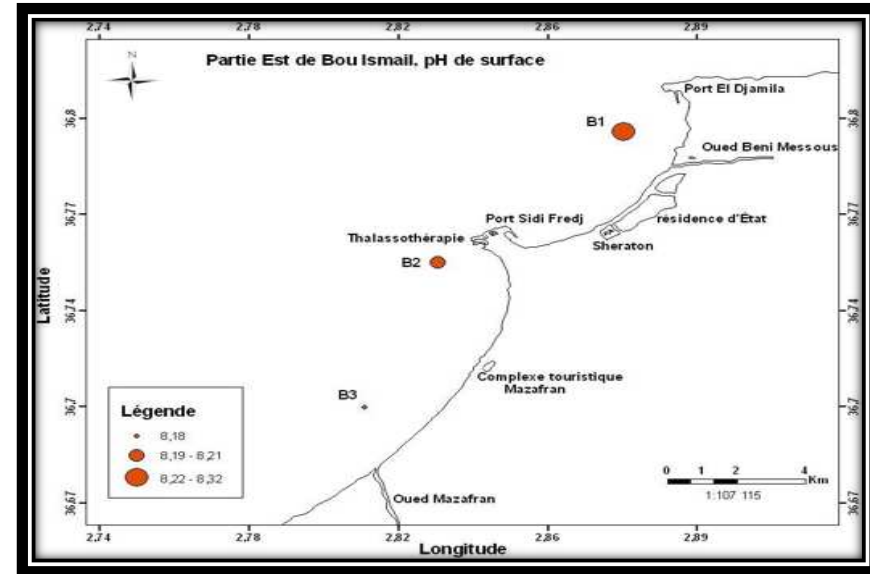


Figure 4.68 : Carte de distribution du pH de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

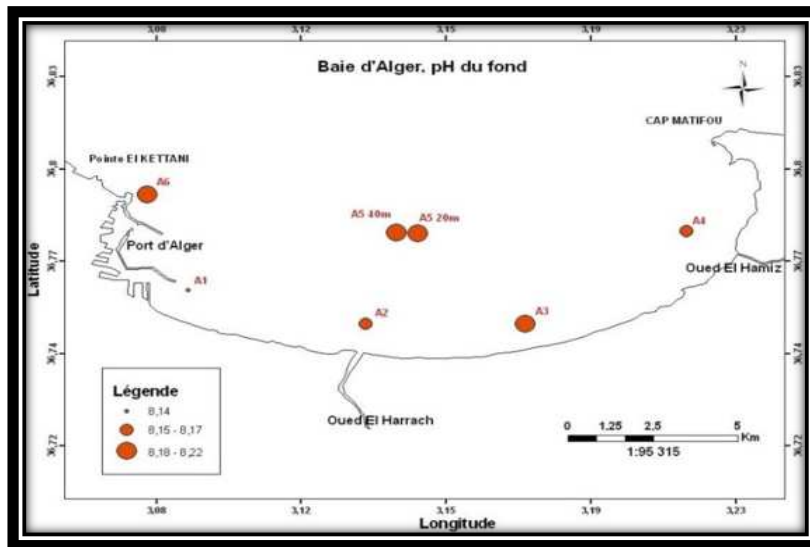


Figure 4.67 : Carte de distribution du pH du fond dans la baie d'Alger

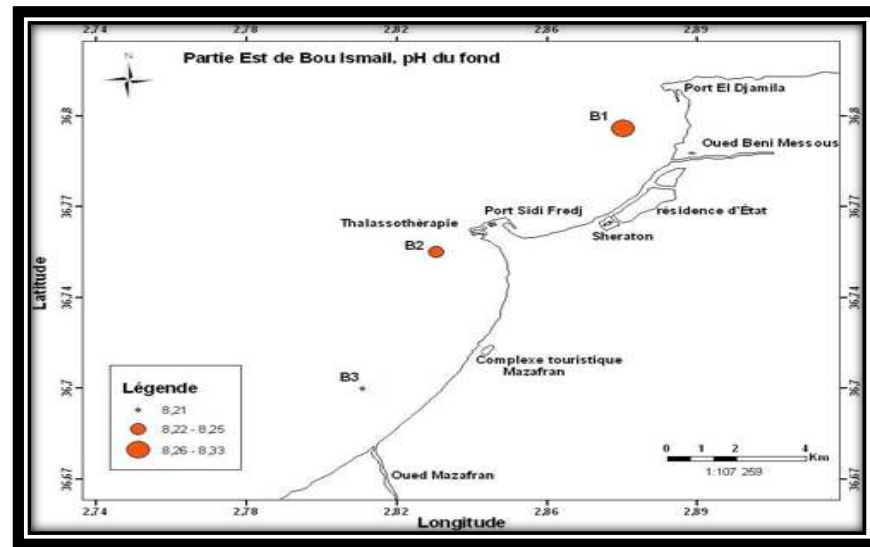


Figure 4.69 : Carte de distribution du pH du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

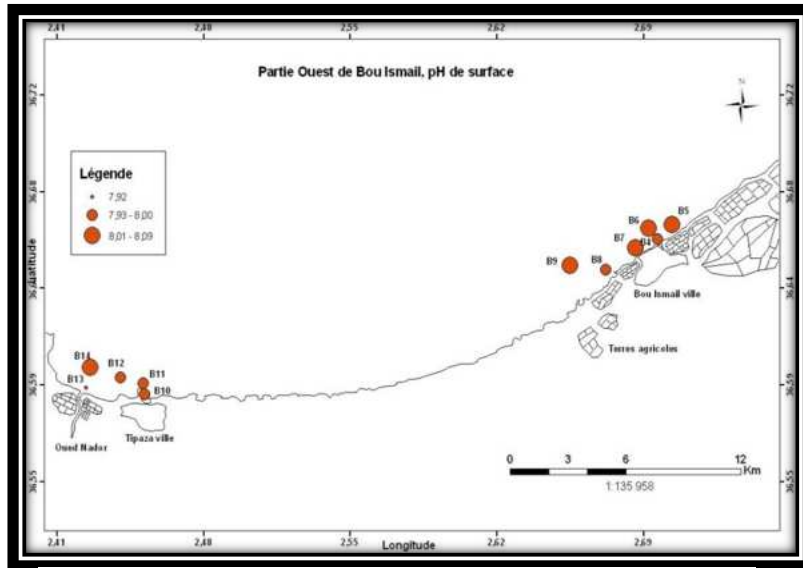


Figure 4.70 : Carte de distribution du pH de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

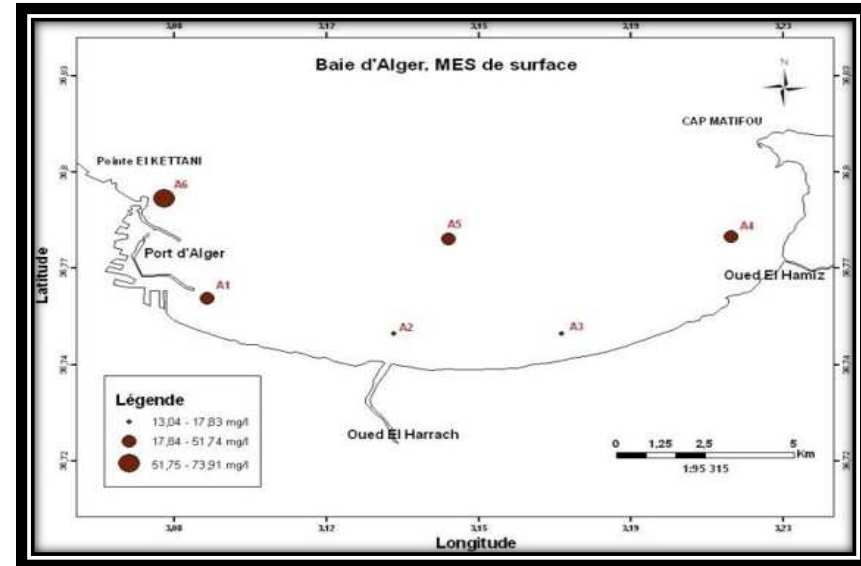


Figure 4.72 : Carte de distribution des MES de surface dans la baie d'Algier

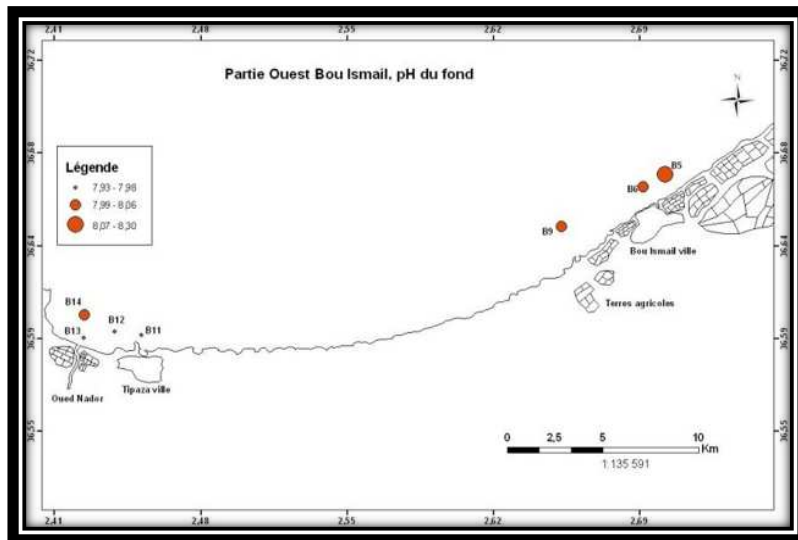


Figure 4.71 : Carte de distribution du pH du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

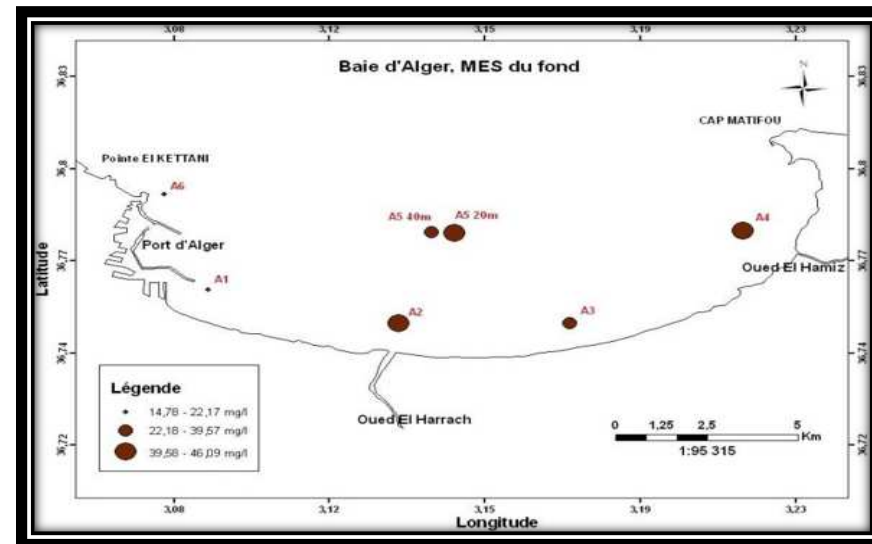


Figure 4.73 : Carte de distribution des MES du fond dans la baie d'Algier

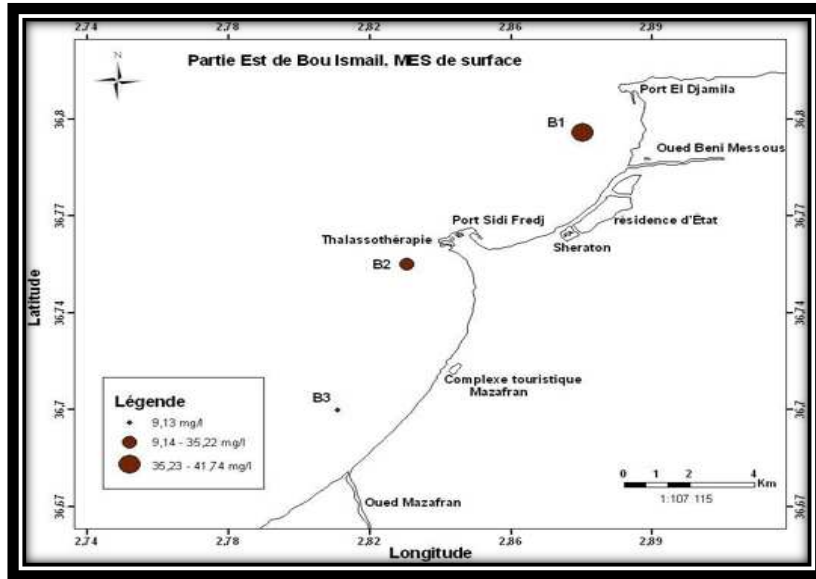


Figure 4.74 : Carte de distribution des MES de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

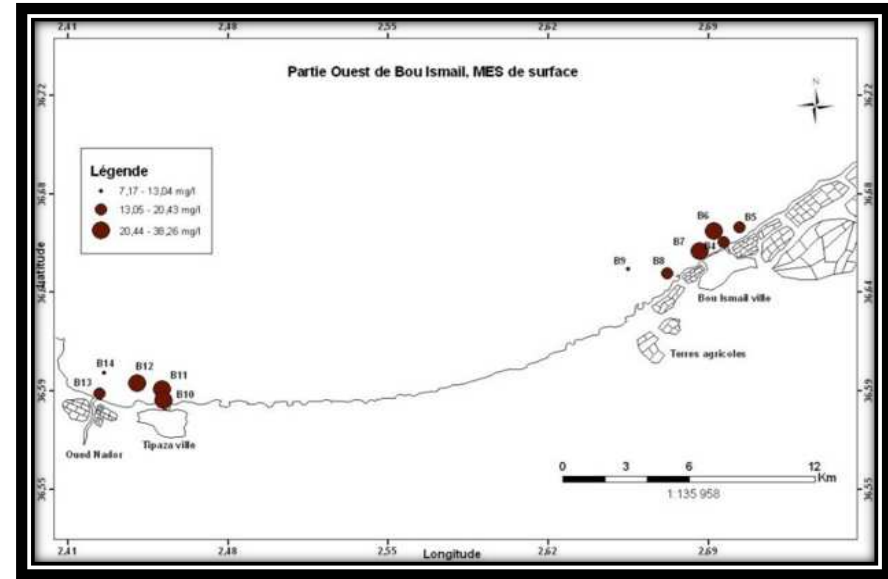


Figure 4.76 : Carte de distribution des MES de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

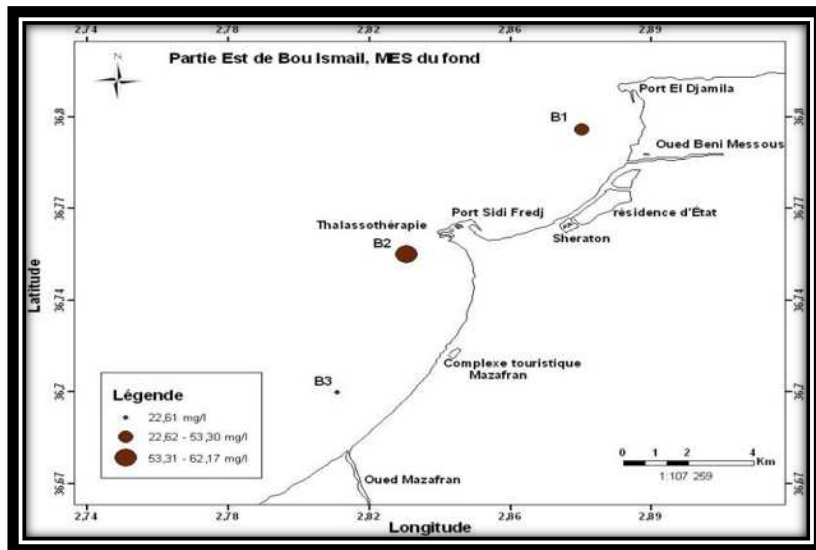


Figure 4.75 : Carte de distribution des MES du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

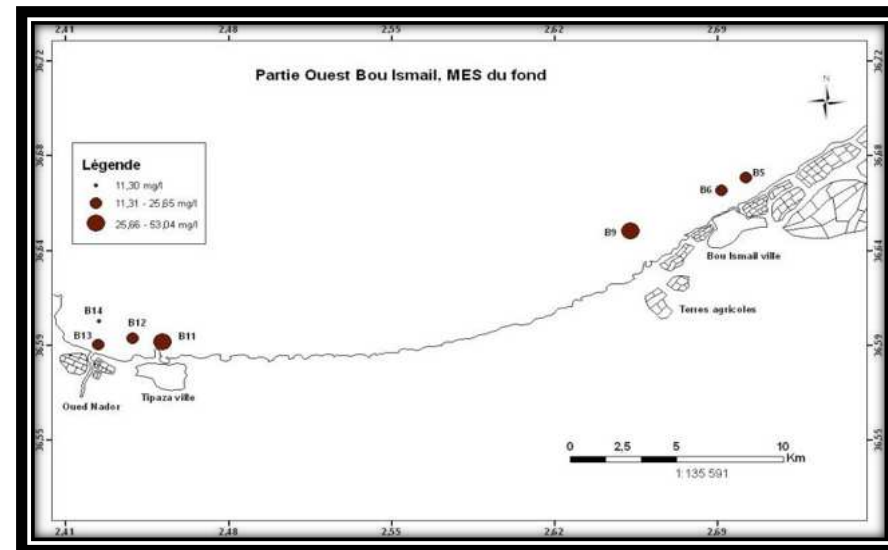


Figure 4.77 : Carte de distribution des MES du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

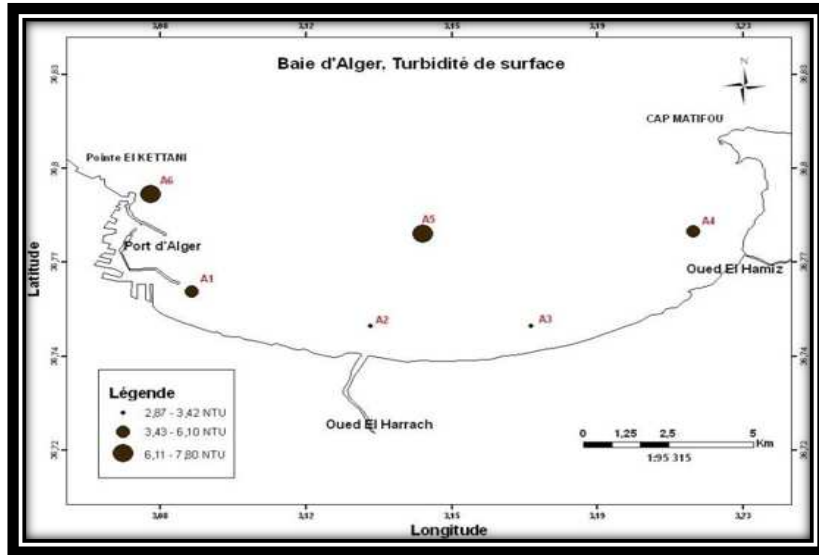


Figure 4.78 : Carte de distribution de la turbidité de surface dans la baie d'Alger

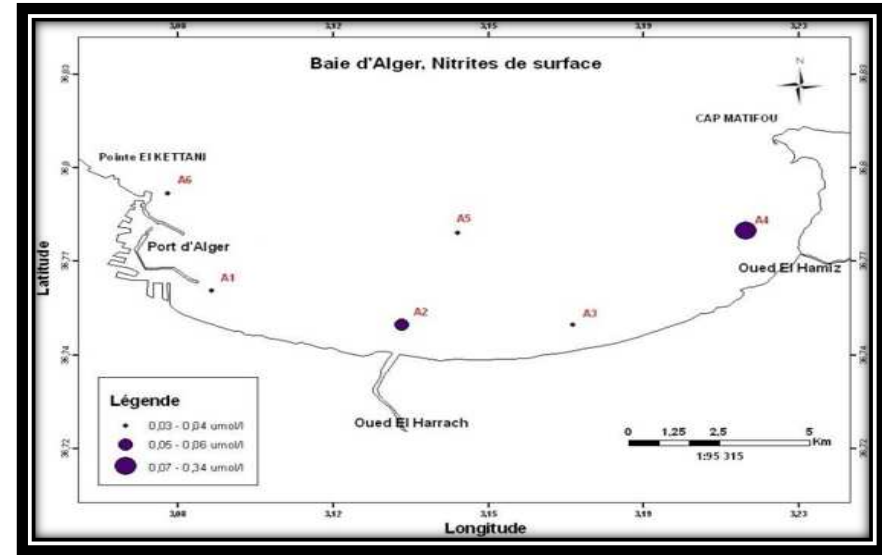


Figure 4.80 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la baie d'Alger

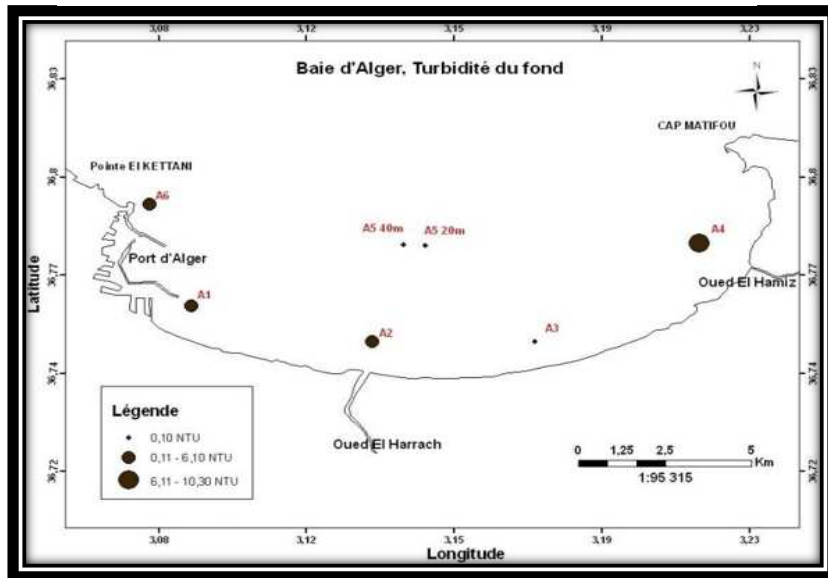


Figure 4.79 : Carte de distribution de la turbidité du fond dans la baie d'Alger

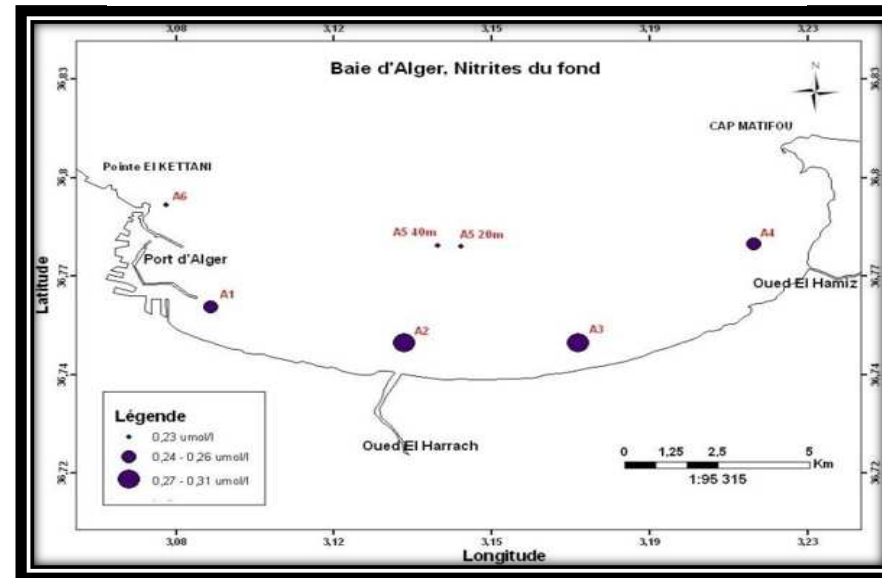


Figure 4.81 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la baie d'Alger

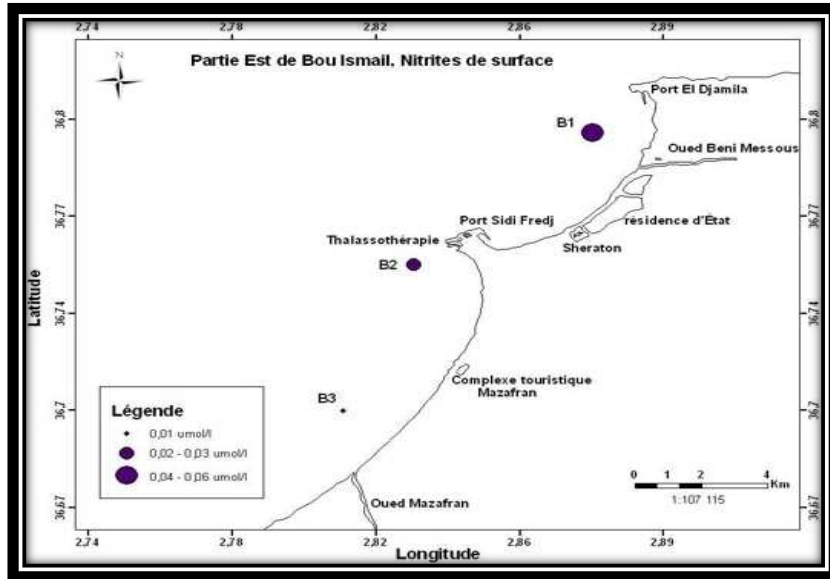


Figure 4.82 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

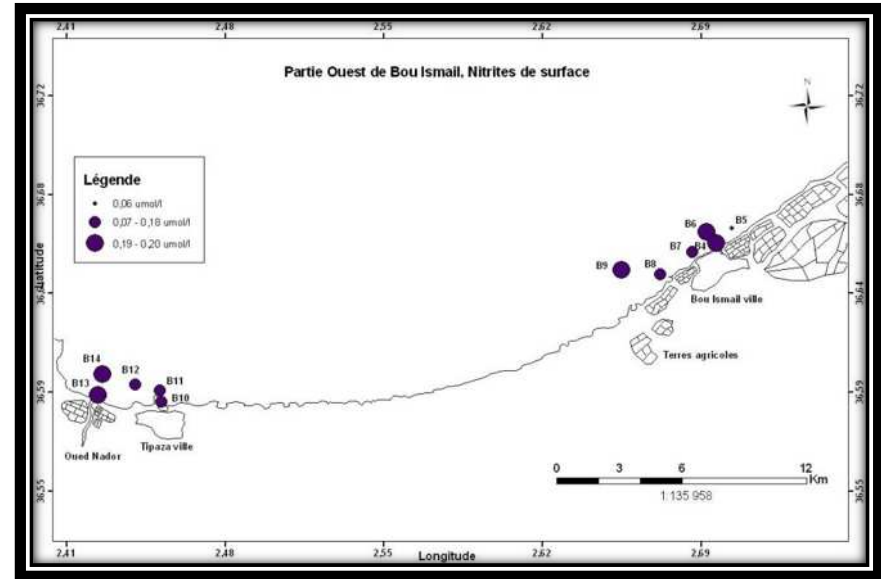


Figure 4.84 : Carte de distribution des nitrites de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

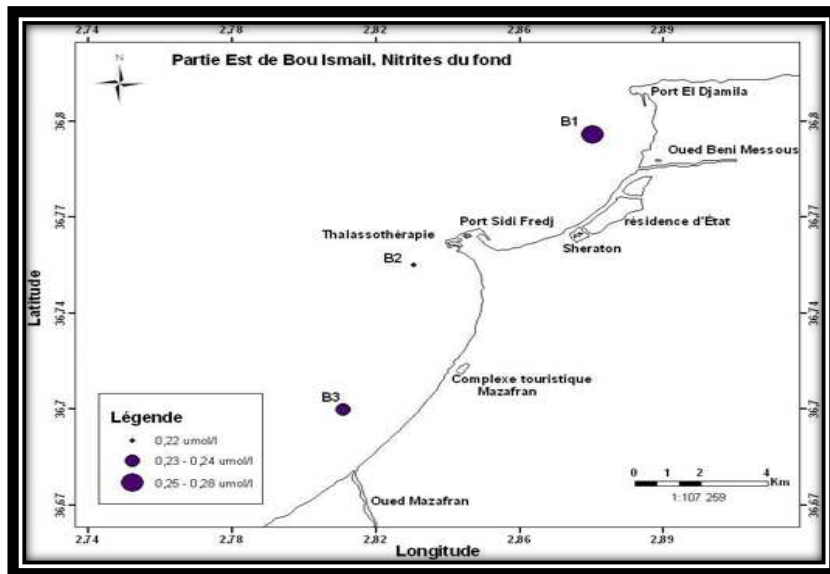


Figure 4.83 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

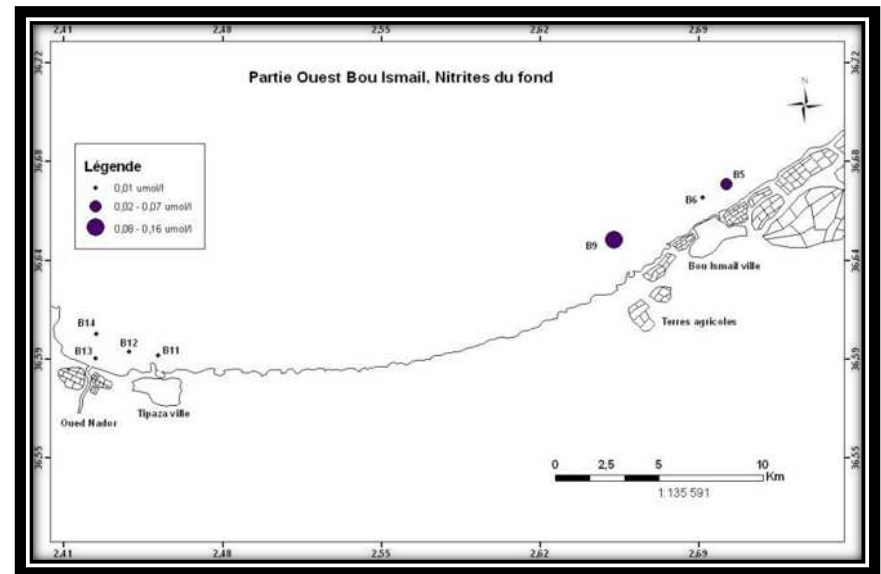


Figure 4.85 : Carte de distribution des nitrites du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

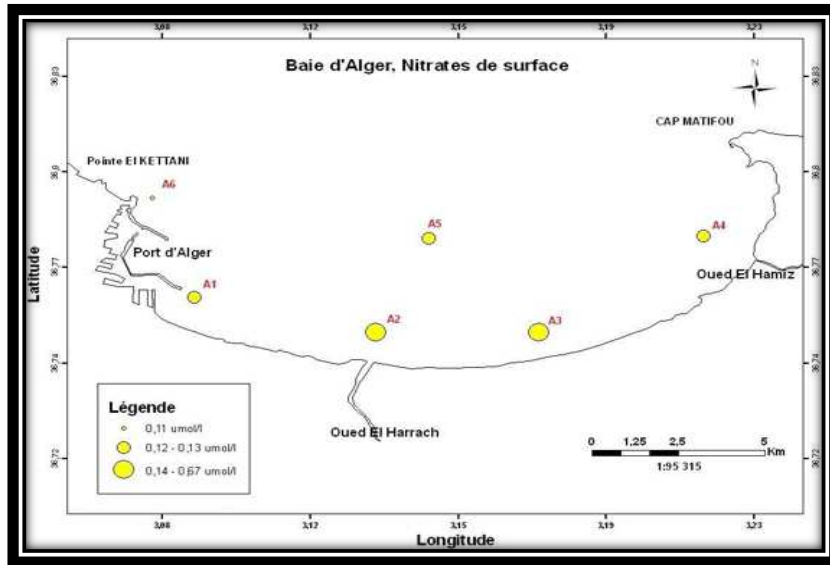


Figure 4.86 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la baie d'Alger

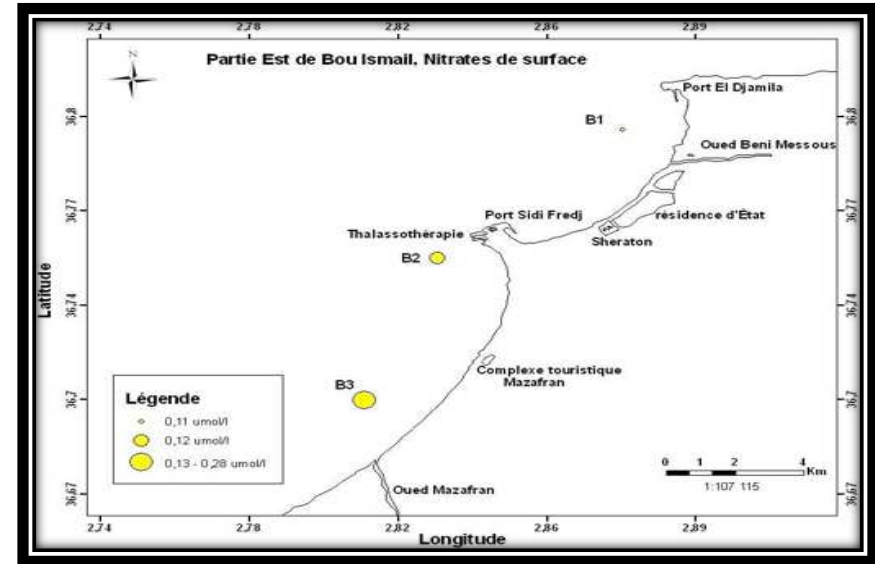


Figure 4.88 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

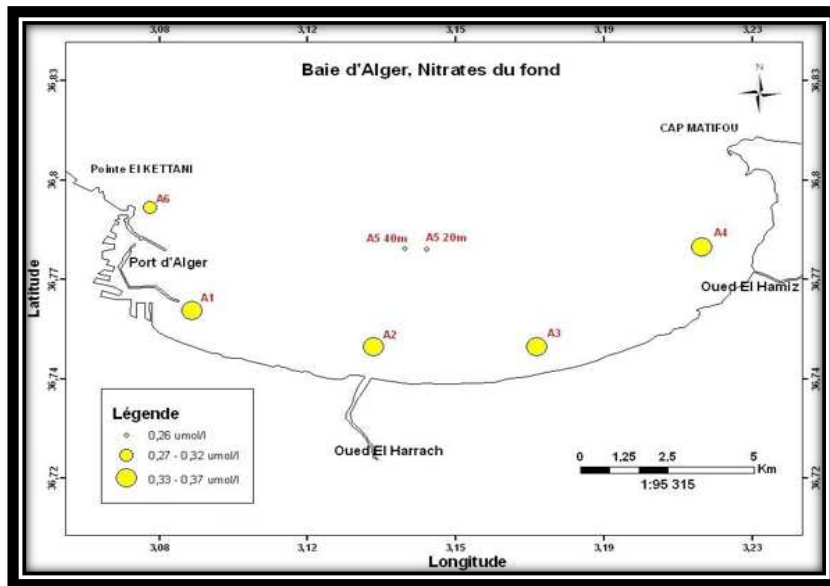


Figure 4.87 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la baie d'Alger

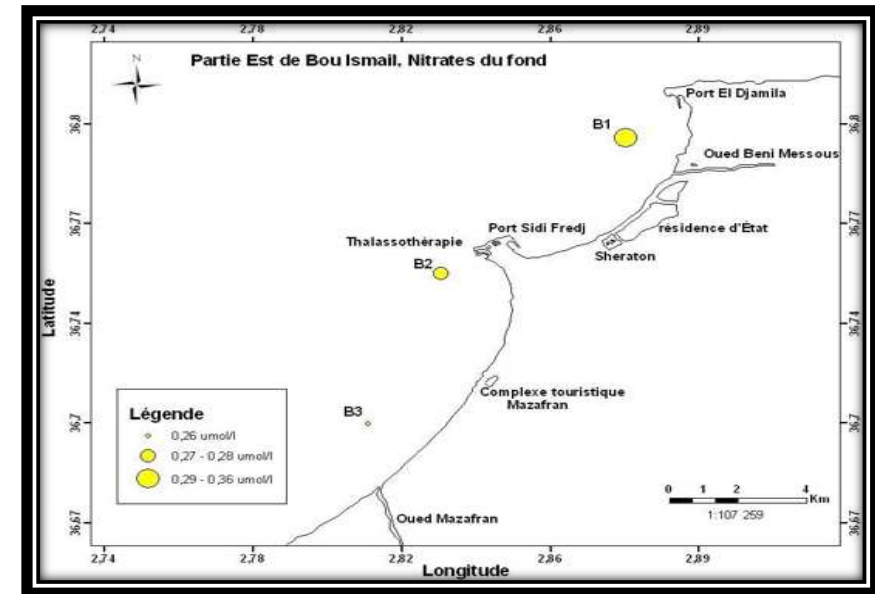


Figure 4.89 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

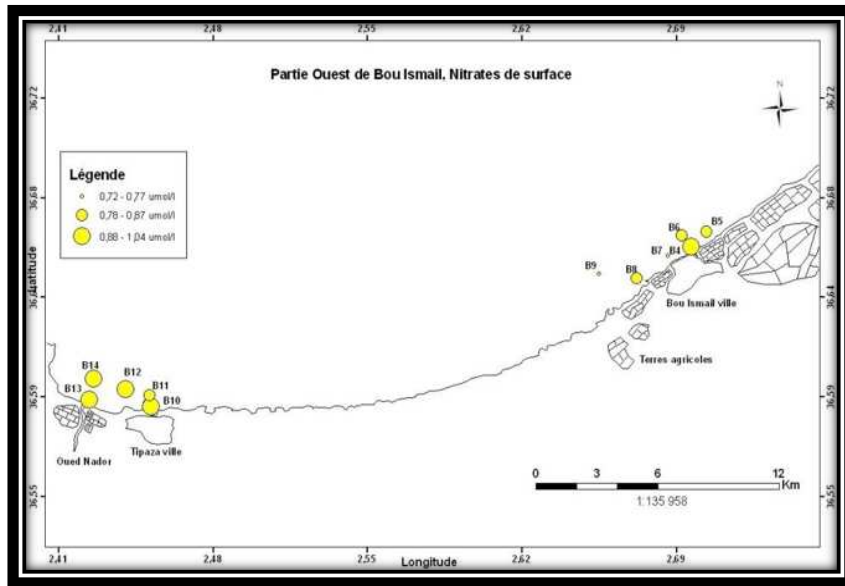


Figure 4.90 : Carte de distribution des nitrates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

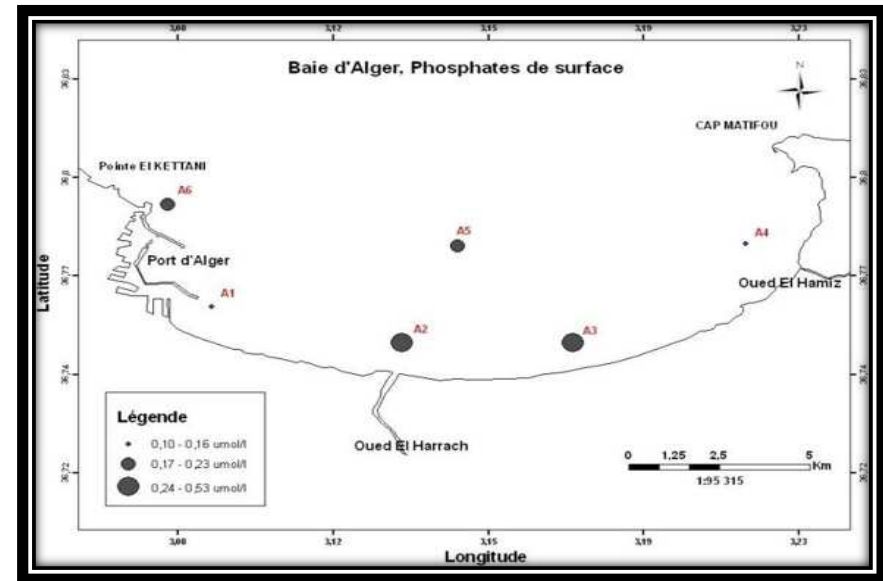


Figure 4.92 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la baie d'Alger

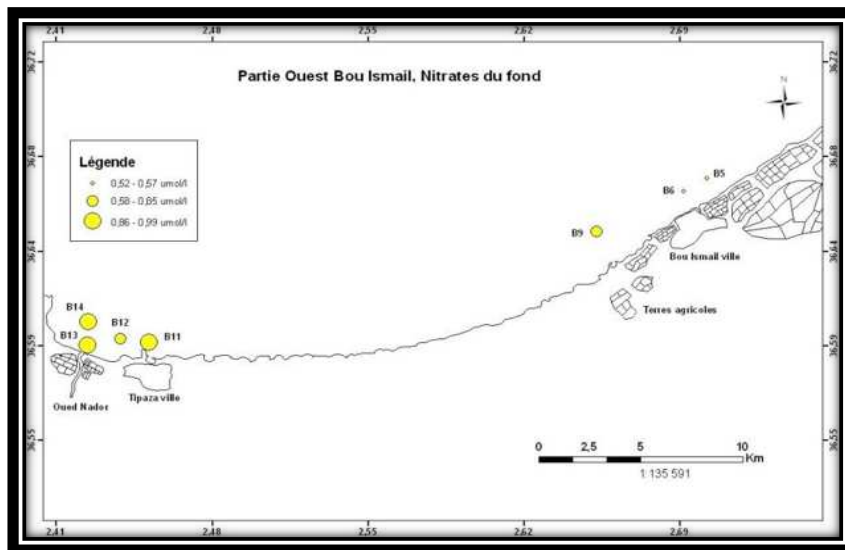


Figure 4.91 : Carte de distribution des nitrates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

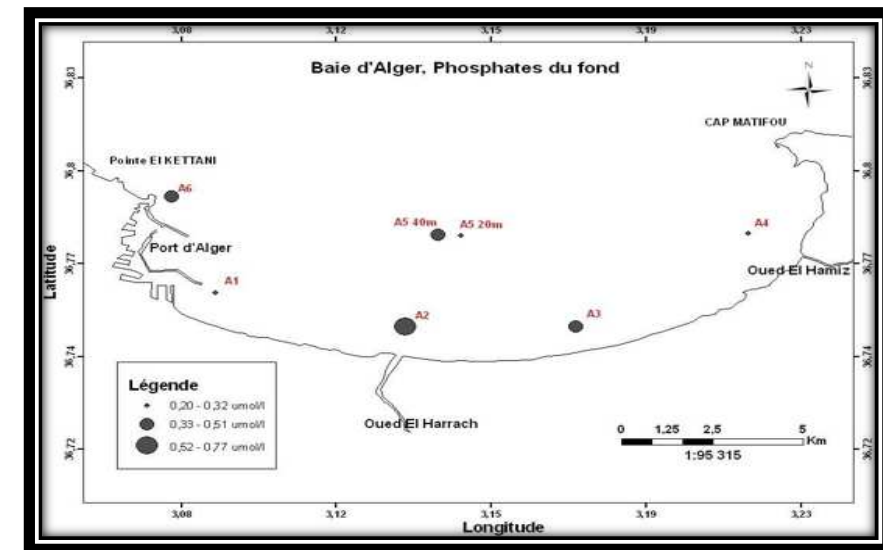


Figure 4.93 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la baie d'Alger

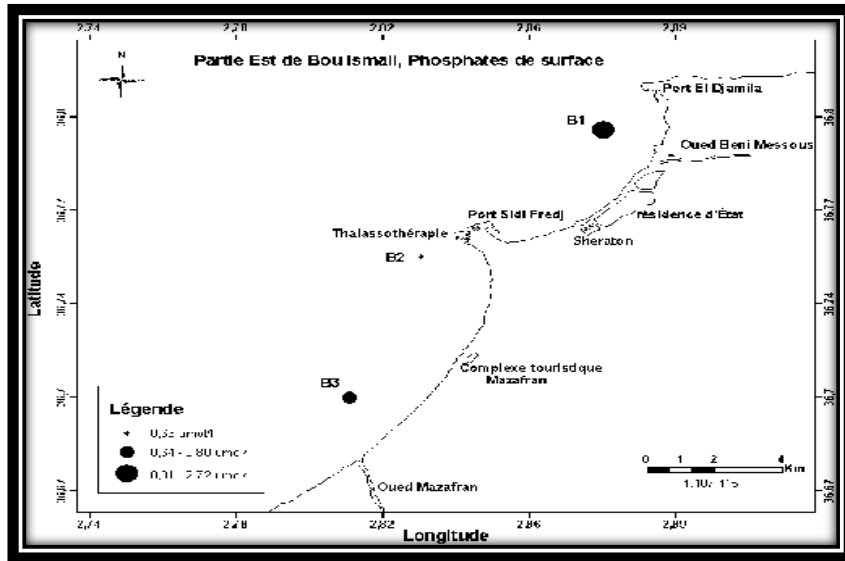


Figure 4.94 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

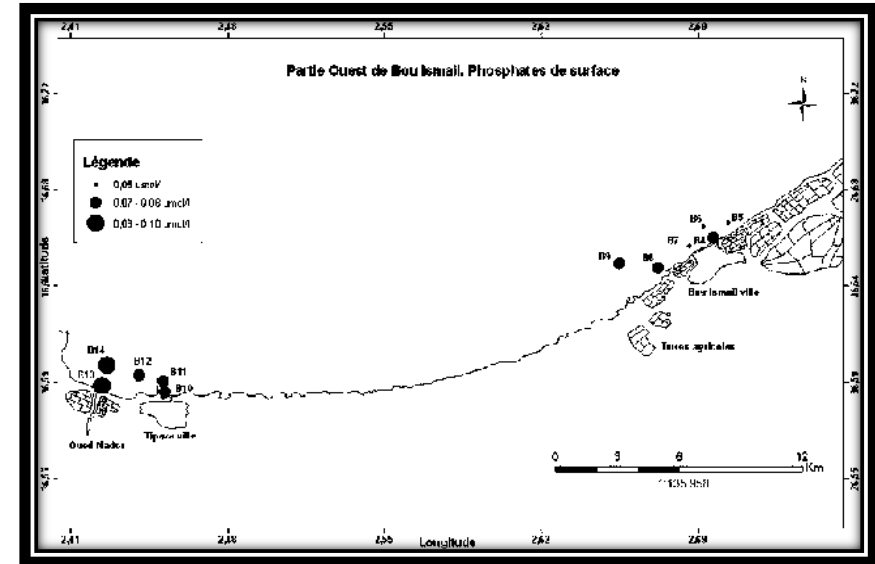


Figure 4.96 : Carte de distribution des phosphates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

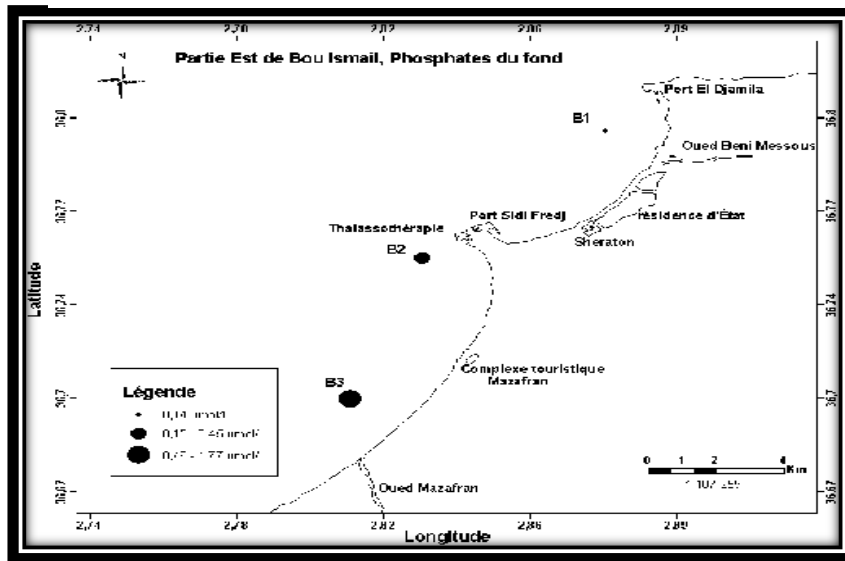


Figure 4.95 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

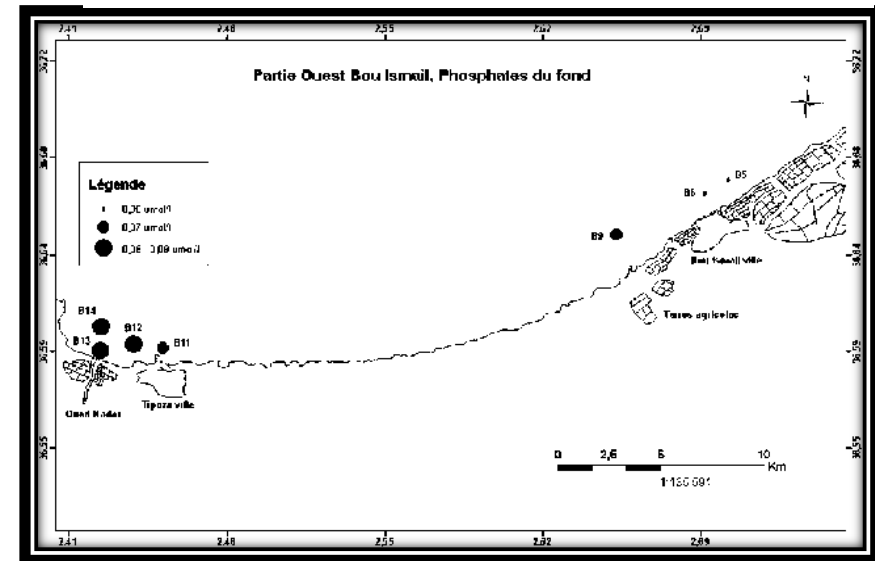


Figure 4.97 : Carte de distribution des phosphates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

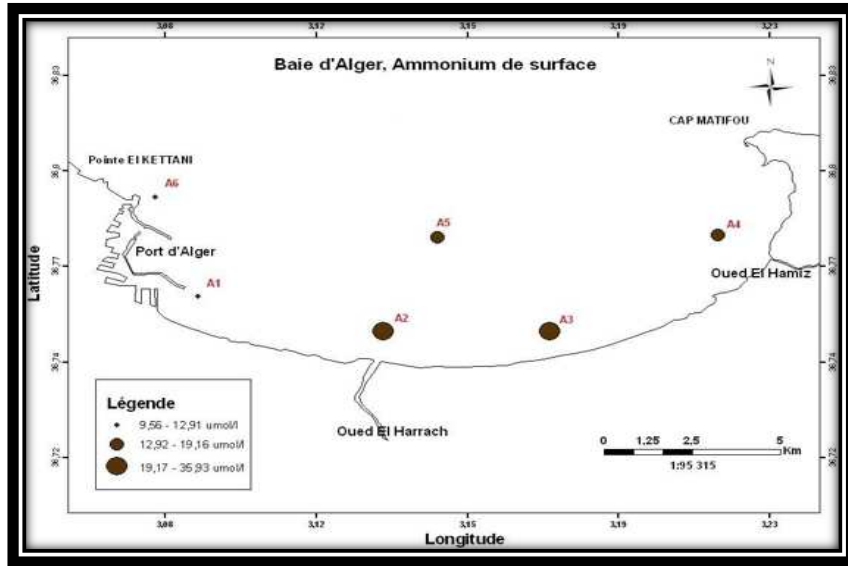


Figure 4.98 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la baie d'Alger

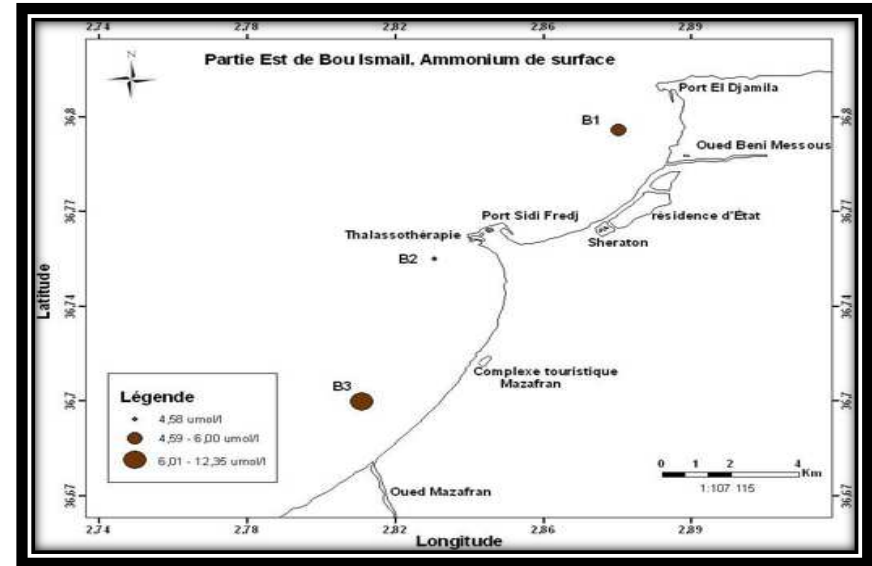


Figure 4.100 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

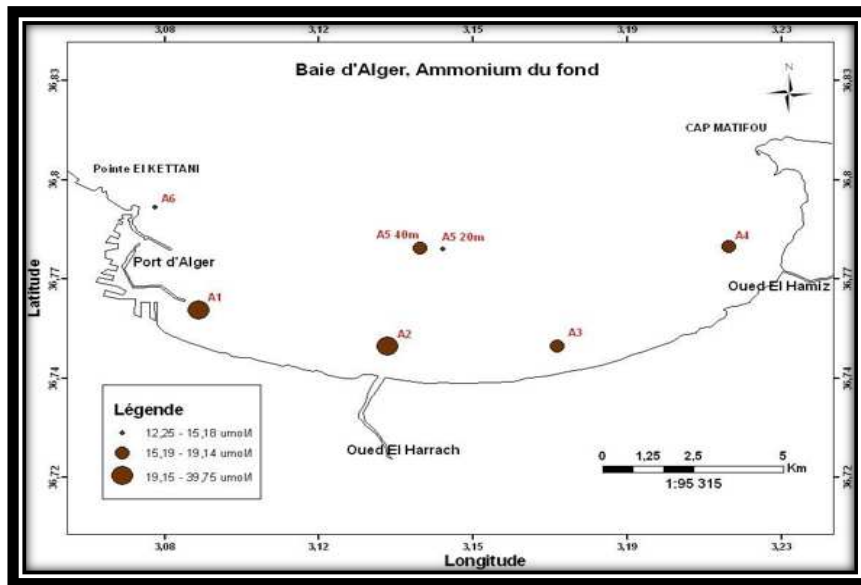


Figure 4.99 : Carte de distribution de l'ammonium du fond dans la baie d'Alger

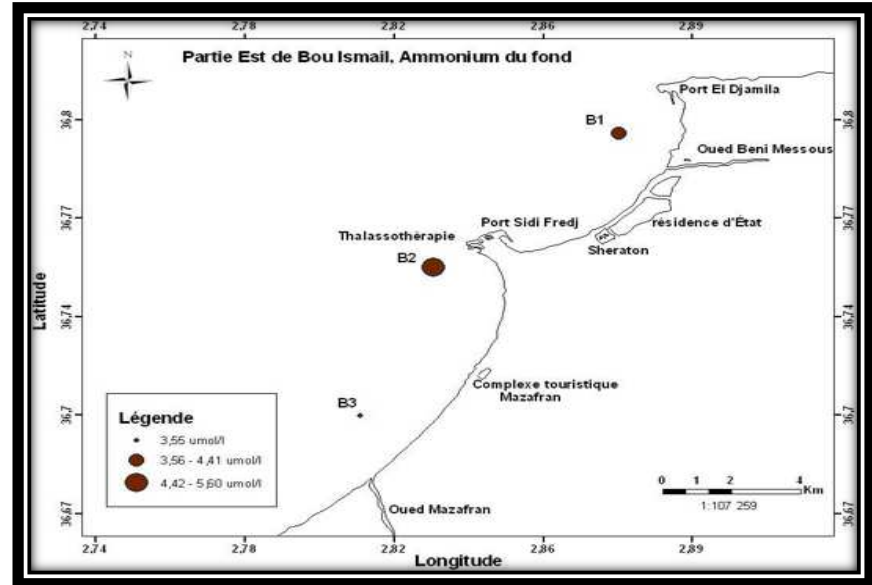


Figure 4.101 : Carte de distribution des l'ammonium du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

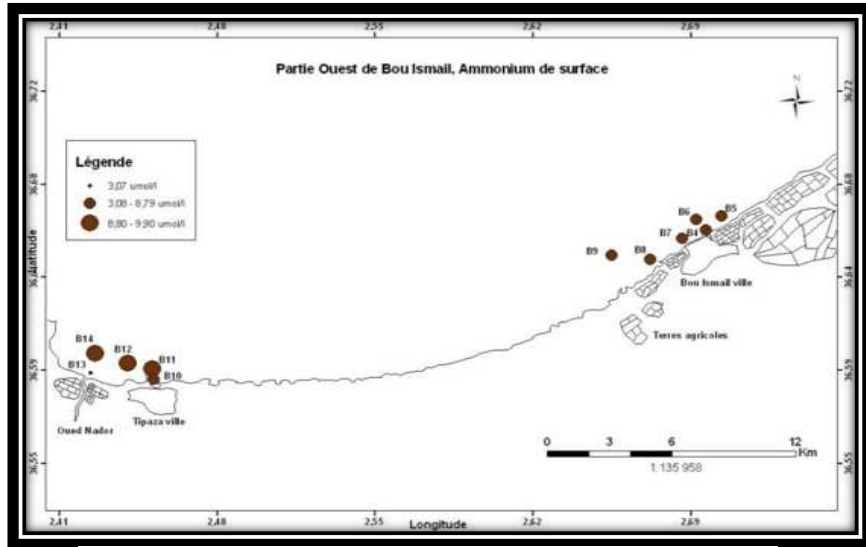


Figure 4.102 : Carte de distribution de l'ammonium de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

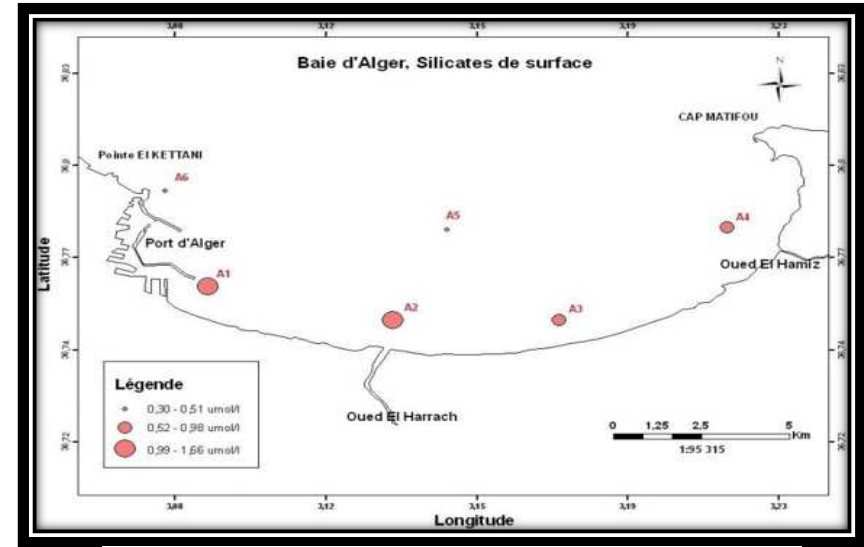


Figure 4.104 : Carte de distribution des silicates de surface dans la baie d'Alger

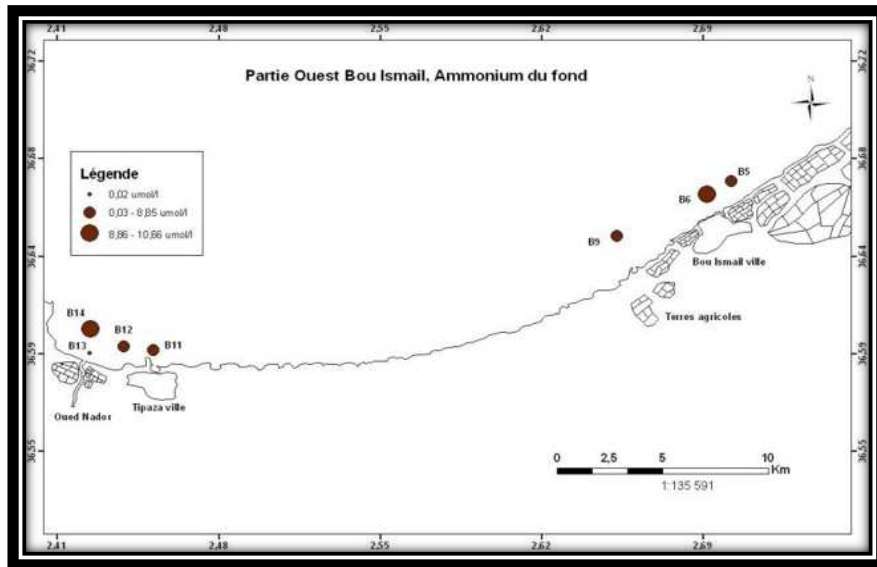


Figure 4.103 : Carte de distribution des l'ammonium du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

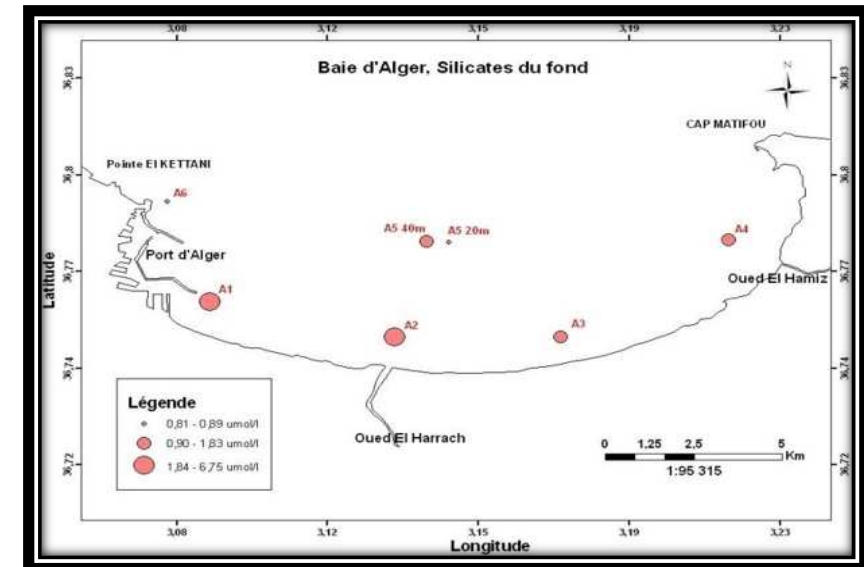


Figure 4.105 : Carte de distribution des silicates du fond dans la baie d'Alger

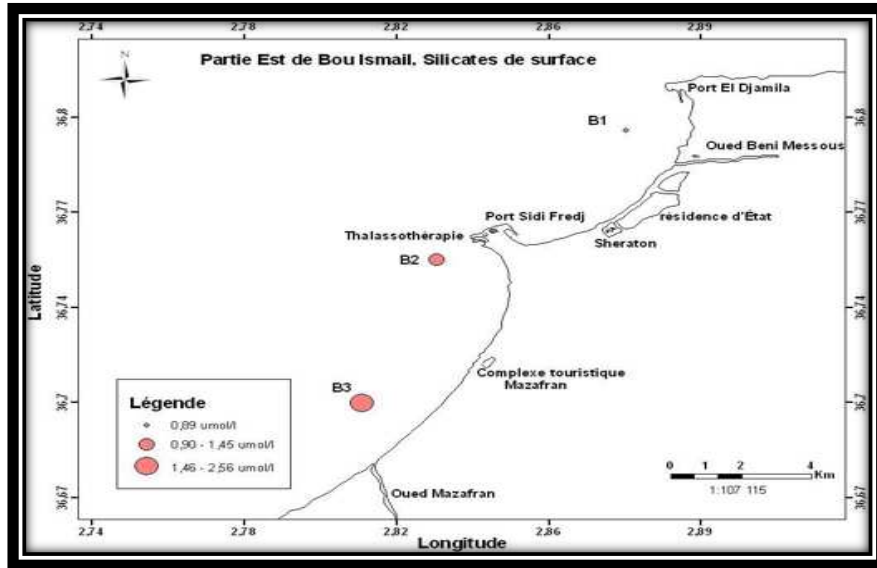


Figure 4.106 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

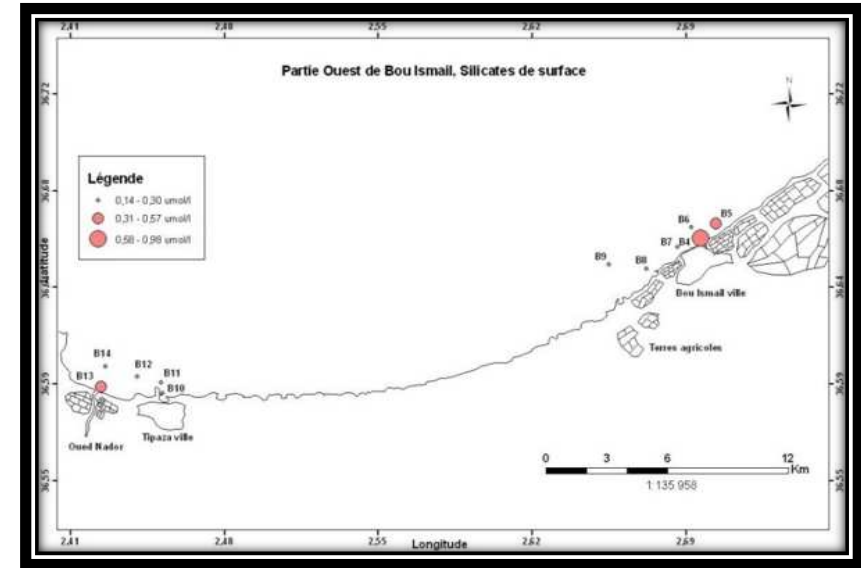


Figure 4.109 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

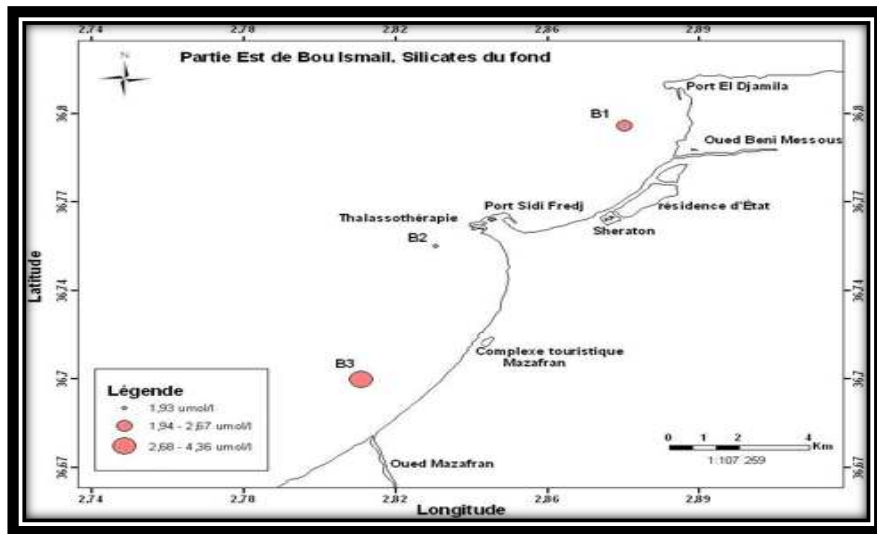


Figure 4.107 : Carte de distribution des silicates de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

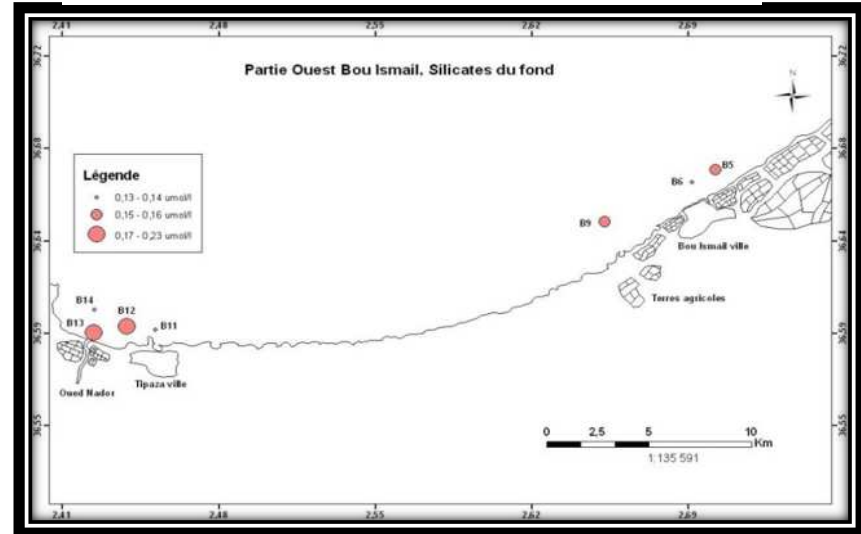


Figure 4.110 : Carte de distribution des silicates du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

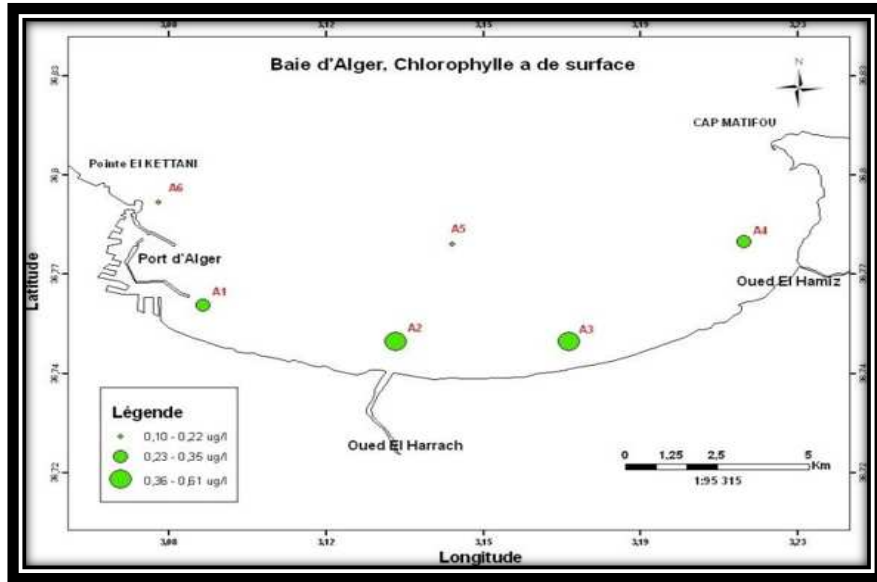


Figure 4.111 : Carte de distribution de la chlorophylle-*a* de surface dans la baie d'Alger

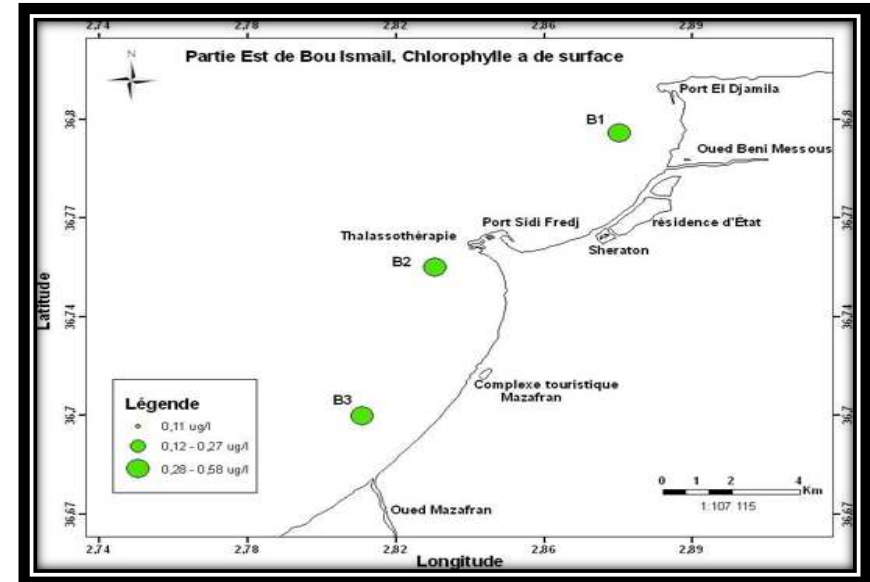


Figure 4.113 : Carte de distribution chlorophylle-*a* de surface dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

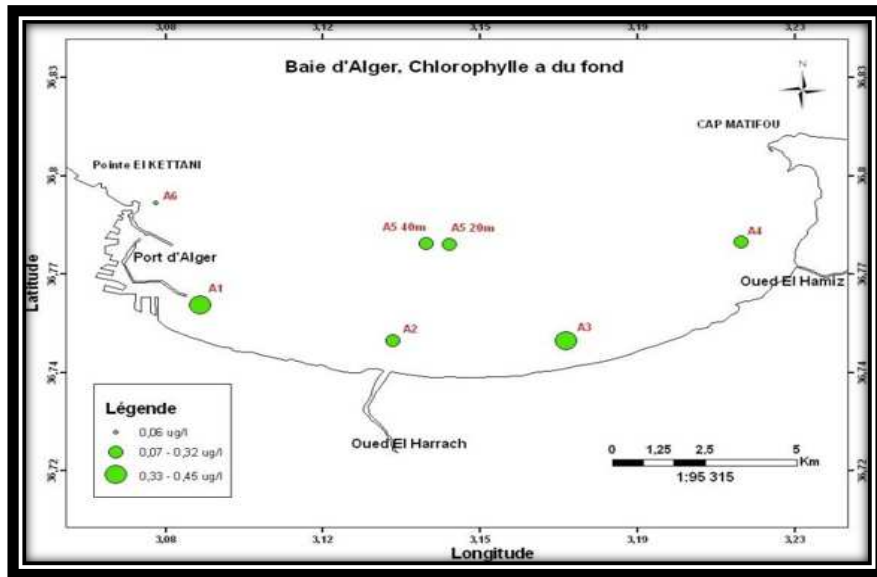


Figure 4.112 : Carte de distribution de la chlorophylle-*a* du fond dans la baie d'Alger

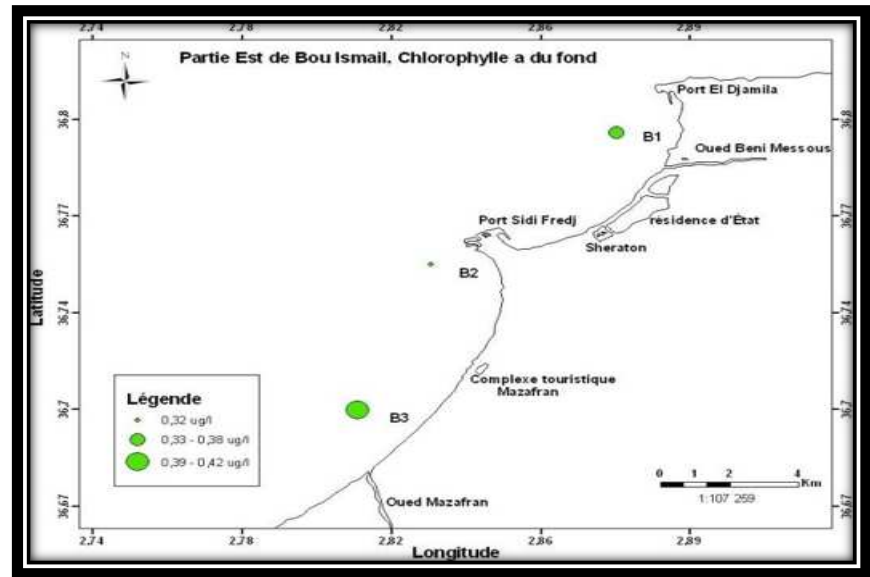


Figure 4.114 : Carte de distribution chlorophylle-*a* du fond dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl

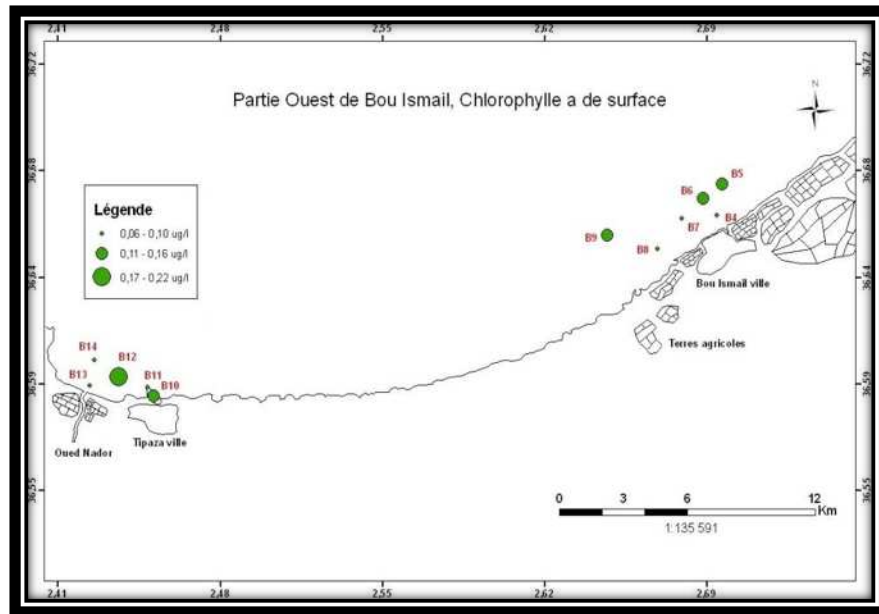


Figure 4.115 : Carte de distribution de la chlorophylle-*a* de surface dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

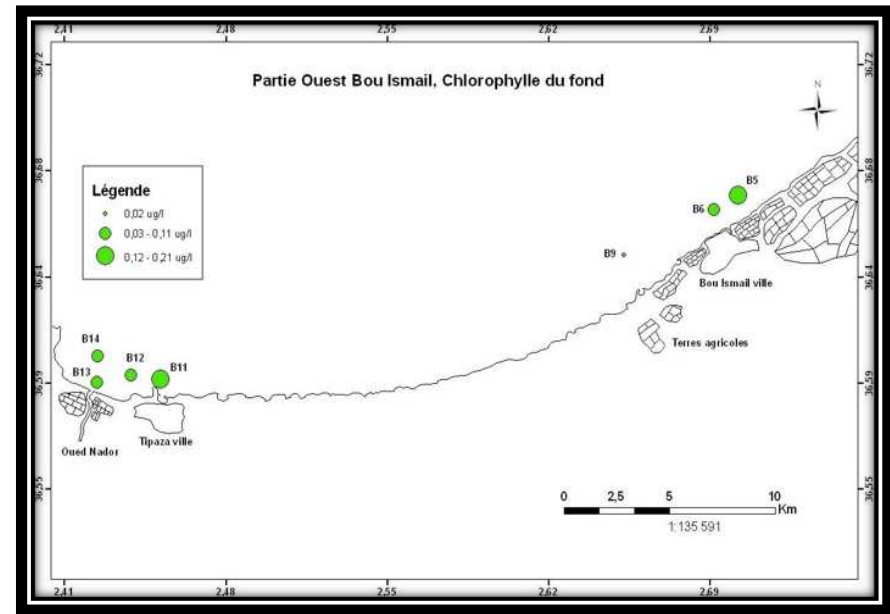


Figure 4.116 : Carte de distribution de la chlorophylle-*a* du fond dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl

Annexe 5 : Les réactifs

I. Les réactifs et les standards de l'ammonium ammoniacal (NH_4^+)

1. Réactifs

A) Solution tampon

Tartrate de sodium de potassium ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa}$, $4\text{H}_2\text{O}$).....	33 g.
Citrate de sodium ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$, $2\text{H}_2\text{O}$).....	24 g.
Acide sulfurique (H_2SO_4).....	X ml.
Eau distillée.....	1000 ml.
Brij 35 (30%).....	0,5 ml.

Dissoudre le tartrate de sodium de potassium dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter le citrate de sodium et dissoudre. Ajuster le pH à 5,0 avec un volume de 1^{er} acide sulfurique. Compléter jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée, rajouter le brij35 et mélanger. La solution est stable durant une semaine, sa conservation se fait à 4 °C.

B) Solution de phénol

Phénol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$).....	83g.
Hydroxyde de sodium (NaOH).....	40g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Dissoudre le phénol dans environ 50 ml d'eau distillée. Ajouter l'hydroxyde de sodium, compléter jusqu'à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger. La solution est stable pendant une semaine.

C) Solution de l'hypochlorite de sodium

Hypochlorite de sodium (NaClO).....	200 ml.
Eau distillée.....	800 ml.

Diluer l'hypochlorite de sodium (13% de chlore actifs) dans environ 700 ml d'eau distillée. Compléter à 1000 ml avec l'eau distillée et bien mélangé.

D) Solution de nitoprusside de sodium

Nitoprusside de sodium ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$, $2\text{H}_2\text{O}$).....	0,5 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Dissoudre le nitoprusside de sodium dans environ 800 ml d'eau distille, remplir jusqu'à 1 litre d'eau distillée et mélanger. La solution est à stocker dans une bouteille d'une couleur sombre ou opaque. Elle est stable à 4°C pendant une semaine. E) **Rinçage d'échantillon** Rinçage à l'eau distillée fraîche.

E) Solution d'épuration d'air (solution 5N acide sulfurique)

Acide sulfurique H_2SO_4 (97%)	139 ml.
Eau distillée.....	861 ml.

Diluer soigneusement l'acide sulfurique dans environ 800 ml d'eau distillée puis ajuster à un litre et mélanger.

2. Standards

A) Solution mère à 100 ppm N : [3569,86] $\mu\text{mol/l}$

Chlorure d'ammonium (NH_4Cl).....	0,19095 g.
---	------------

Annexes

Eau distillée.....500 ml.

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans un 500 ml d'eau distillée et mélanger. La solution est stable à une température de 4°C durant 1 mois.

B) Solution fille à 10 ppm N

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

II. Préparation des réactifs et des standards des nitrates et des nitrites (NO_3^- et NO_2^-)

1. Réactifs

A) Solution tampon

Chlorure d'ammonium (NH_4Cl).....50 g.
Solution d'ammoniaque (NH_4OH à 25%)..... ± 1 ml.
Hydroxyde de sodium (NaOH).....5 g.
Eau distille.....1000 ml.
Brij 35 (30%).....3 ml.

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajuster le PH à 8.5 avec la solution d'ammoniaque. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster jusqu'à un litre avec de l'eau distillée. Ajouter le Brij 35 et mélanger. La solution est stable à une température de 4°C durant une semaine.

B) Réactifs de coloration

Acide phosphorique (H_3PO_4 à 85%).....150 ml.
Sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$).....10 g.
Dichlorures a-naphtyléthylène diamine ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{C}_{12}\text{N}_2$).....0,5 g.
Eau distillée.....850 ml.

Diluer l'acide phosphorique dans environ 700 ml. Ajouter la sulfanilamide et le dichlorures a-naphtyléthylène diamine et dissoudre. Ajuster de l'eau distillée à un litre. La solution est stable pendant deux semaines. Elle est à conserver dans un flacon sombre à 4 °C.

C) Solution de rinçage

Eau distillée fraîche.

2. Standards

A) Solution mère de base à 100ppm N [3568,99] $\mu\text{mol} / \text{l}$

Nitrate de sodium (NaNO_3).....0,3034 g.
Eau distillée.....1000 ml.

Dissoudre le nitrate de sodium dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter 1 ml de chloroforme et ajuster soigneusement à jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée. Cette solution est stable pendant 1 mois. Elle est à conserver à 4 °C.

B) Solution fille à 10 ppm N

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppb N dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution est à préparer chaque semaine.

3. Activation de la colonne de cadmium

A) Solution d'acide hydrochlorique (4N)

Acide hydrochlorique (HCl à 32%).....400 ml.

Annexes

Eau distillée.....600 ml.
Dissoudre l'acide hydrochlorique dans 600 ml d'eau distillée.

B) Solution de sulfate de cuivre (2%)

Sulfate de cuivre ($\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$)..... 20 g.
Eau distillée.....1000 ml.

Dissoudre le sulfate de cuivre dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

C) Cadmium

Granules de Cadmium (0,3 -1,0 mm de diamètre).....2,5 g.

III. Les réactifs et les standards des Orthophosphates (PO_4^{3-})

1. Réactifs

A) Solution d'ammonium molybdate

Potassium antimoine tartrate ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6, 0,5 \text{H}_2\text{O}$).....230 mg.
Acide sulfurique (H_2SO_4 à 97%).....69,4 ml.

Annexes.

Molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6 \text{MO}_7\text{O}_{24}, 4\text{H}_2\text{O}$).....6 g.

Eau distillée.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

Dissoudre le potassium antimoine tartrate dans environ 800 ml d'eau distillée. A cette solution on ajoute soigneusement l'acide sulfurique tout en remuant jusqu'au refroidissement. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger. En fin, ajouter le FFD6 et mélanger. Notons qu'il ne faut pas utiliser de spatule métallique en manipulant de molybdate d'ammonium. La solution est stable durant 5 jours. Elle est à conserver à une température de 4 °C quand la solution n'est pas utilisée.

B) Solution d'acide ascorbique

Acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$).....11 g.

Acétone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$).....60 ml.

Eau distillée.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

Dissoudre l'acide ascorbique dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone et ajuster jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée. Ajouter FFD6 et mélanger. La solution est stable durant 5 jours. Elle est à conserver à 4 °C quand la solution n'est pas utilisée.

C) Solution de rinçage : Eau distillée fraîche.

2. Standards

A) Solution mère à 100 ppm P : [1604,00] $\mu\text{mol/l}$

Dihydrophosphate de potassium (KH_2PO_4).....0,2197 g.

Eau distillée.....1000 ml.

Le phosphate de potassium hydrogéné est dissous dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter jusqu'à 1 litre l'eau distillée. La solution est stable pendant un mois. Conserver à 4 °C quand la solution n'est pas utilisée.

B) Solution fille à 10 ppm P

Diluer 10 ml de la solution mère (100 ppm) dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution est à préparer chaque semaine.

IV. Préparation des réactifs et des standards des Orthosilicates (SiO₂-)

1. Préparation des réactifs

A) Solution d'acide sulfurique

Acide sulfurique (H ₂ SO ₄ à 97%).....	10 ml.
Eau distillée.....	990 ml.
FFD6.....	2 ml.

Diluer l'acide sulfurique dans 800 ml d'eau distillée. Remplir jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée. Ajouter le FFD6 et mélanger. La solution est stable pendant une semaine. Elle est à conserver à 4 °C quant elle n'est pas utilisée.

B) Solution d'ammonium molybdate

Ammonium molybdate ((NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ , 4H ₂ O).....	20 g.
Eau distillée.....	100 ml.
FFD6.....	2 ml.

Diluer l'ammonium molybdate dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajuster jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée et ajouter le FFD6 et mélanger. Cette solution est à conserver dans une bouteille polyéthylène. Elle est stable pendant un jour.

C) Solution d'acide oxalique

Acide Oxalique (C ₂ H ₂ O ₄ , 2H ₂ O).....	44 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Dissoudre l'acide oxalique dans environ 800ml d'eau distillée. Ajuster jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger. Conserver la solution dans une bouteille en polythène. Elle est stable durant un mois en la conservant à une température de 4 ° C quand elle n'est pas utilisée.

D) Solution d'acide ascorbique

Acide ascorbique (C ₆ H ₈ O ₆).....	40 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Dissoudre l'acide ascorbique dans environ 800 ml d'eau distillée. Rajouter jusqu'à 1000 ml l'eau distillée et mélanger. Elle est stable durant une semaine à une température de 4°C.

E) Solution de rinçage

Eau fraîchement distillée et conservée dans une bouteille en polythène.

2. Préparation des standards

A) Solution mère de 100 ppm Si [2384,98] µmol/l

Metasilicate de sodium (Na ₂ SiO ₃ , 9H ₂ O).....	0,50535 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Dissoudre le metasilicate de sodium dans environ 800 ml d'eau distillée. Ajouter jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger. La solution est stable durant 1 mois conservée dans une bouteille en polythène.

B) Solution fille de 10 ppm Si

Diluer 10 ml de la solution fille à 100 ppm Si dans 100 ml d'eau distillée. Sa conservation se fait dans une bouteille en polythène.