

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme Master en sciences de la mer

Thème :

Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl : étude rétrospective et influence continentale et des eaux du large

Présenté par :

KHECHNI Adel

Soutenu le 16/10/2012 devant le jury suivant :

M ^{me} ILLOUL H.	Chargée de cours	Présidente
Pr. BOULAHIDID M	(Professeur ENSSMAL)	Promoteur
Mr. DERICHE M.	Maitre de conférences	Examineur
M ^{me} CHAOU N.	Chargée de cours	Examinatrice

Promotion : (2011/2012).

REMERCIEMENTS

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

Je suis très heureux de pouvoir exprimer ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Mes plus vifs remerciements s'adressent à :

M. Boulahid M., Professeur à l'ENSSMAL, qui m'a encadré avec patience et m'a orienté tout au long de mon stage. Je suis 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 mon profond respect ainsi que mes remerciements les plus sincères ;

M^{me} ILLOUL H, chargée de cours à l'ENSSMAL, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury. Qu'elle trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance,

M^{me} CHAOU Nadia, chargée de cours à l'ENSSMAL d'avoir acceptée d'examiner mon travail, puisse-elle trouver dans ces lignes ma sincère gratitude.

Mr. DERRICHE Mohamed., chargé de cours à l'ENSSMAL, d'avoir accepté d'examiner mon travail, puisse-il trouver dans ces lignes ma sincère gratitude.

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

Je tiens à remercier mes parents qui m'ont soutenus, et surtout de m'avoir supporté.

Je tiens à remercier mes mon frère Redouane et mes sœur ainsi que ma tante de m'avoir encourager.

Je tien particulièrement à remercier la famille Amrouche pour leurs aide précieuse.

Je tiens à remercier tous mes amis qui m'ont encouragés, notamment Walid, Abdou, Malik,, Zinou,, Alilou, Mohammed, Miloud, Youcef, Mestafa, Adel et Rougi.

Sommaire

INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : Généralités	3
I. Définitions.....	3
I.1. Définition de la pollution marine :.....	3
I.2. Définition des eaux usées :	3
I.2.1. Origine et des eaux usées.....	3
II. Caractéristiques des eaux :	4
II.1. Les paramètres physico-chimiques :.....	4
II.1.1. Salinité (PSU)	5
(Practical Salinity Unit)	
II.1.2. Oxygène dissous (O.D) :.....	5
II.1.3. La température :.....	6
II.1.4. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :.....	6
II.1.5. La turbidité :.....	7
II.1.6. Les matières en suspension :.....	7
II.2. Paramètres indicateurs de pollution :.....	7
II.2.1. La demande biologique en oxygène (DBO ₅) :.....	7
II.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO) :	8
II.2.3. Les matières oxydables (MO) :.....	8
II.2.4. Le carbone organique total (COT) :.....	8
II.3. Les Sels nutritifs (azote et phosphore) :	9
II.3.1. Définition	9
II.3.2. Rôle des sels nutritifs.....	9
II.3.3. Origine des sels nutritifs	10
II.3.4. Apports de sels nutritifs en Méditerranée	10
II.3.5. Différentes formes des sels nutritifs	11
II.3.6. Distribution des sels nutritifs	13
II.3.7. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs	13
II.4. Rapport de Redfield.....	15
II.5. Notion de facteur limitant.....	16
III. Production primaire	16
III.1. Définition	16
III.2. Chlorophylle.....	16

III.2.1. La chlorophylle- <i>a</i>	17
III.2.2. Les phéopigments	17
III.3. Eutrophisation	17
III.3.1. Conséquence de l'eutrophisation sur le milieu marin	18
IV. Circulation générale en Med.....	18
1. Circulation générale :	18
2. L'eau atlantique :	19
3. Eau levantine intermédiaire (LIW) :	20
4. Eau méditerranéenne profonde :	21
5. Mouvements verticaux ascendants : divergences et remontées :	22
V. les sels nutritifs et la production primaire dans la Méditerranée occidentale	22
VI. Le bassin Algérien	23
VI.1. Situation géographique du bassin algérien :	23
VI.2. Hydrologie du Bassin Algérien :	23
Chapitre 2 : Zone d'étude	25
I. La Baie de Bou-Ismaïl :	26
I.1. Localisation géographique :	26
I.2. Topographie de la baie :	27
I.3. Sédimentologie de la baie :	27
I.4. Réseau hydrographique :	28
II. Conditions météorologiques dans la baie de Bouismail:	29
II.1. Climat :	29
II.2. Vents :	29
II.3. Température et précipitations:	29
II.4. Pluviométrie:	30
III. Facteurs hydrodynamiques:	30
IV. Géomorphologie de la baie :	31
V. Sources de pollution dans la baie de Bou Ismail :	32
Chapitre 3 : Matériel et méthodes	36
I. Choix et localisation des stations.....	36
I.1. Campagnes de prélèvements :	36
II. Matériel de prélèvement.....	36
II.1. Prélèvement d'eau de mer	36

II.2. Conditionnement des moyens de prélèvement	36
II.3. Prélèvement et conservation des échantillons	37
II.4. Les sites de prélèvement.....	37
III. Localisation des stations de prélèvement.....	37
IV. Paramètres étudiés et analyses durant la campagne de Mai 2012	39
IV.1. Température	39
IV.2. Salinité et conductivité.....	39
IV.3. Le pH.....	39
V. Analyse chimique des sels nutritifs.....	40
V.1. Méthode d'analyse	40
V.2. Définition de la colorimétrie	40
V.3. Matériel utilisé.....	40
V.4. Dosage chimique des sels nutritifs	41
V.4. 1. Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH_4^+).....	41
V.4. 2. Principe de dosage des Nitrates et Nitrites (NO_3^- , NO_2^-).....	42
V.4. 3. Principe du dosage des Orthophosphates (PO_4^{3-})	43
V.4. 4. Principe du dosage des silicates (SiO_2)	44
Chapitre 4 : Résultats et discussion.....	46
I. Hydrologie de la Baie de Bou Ismail.....	46
I.1. Suivi du diagramme Température-Salinité	46
I.1.1.Suivi di diagramme T-S dans la partie Est de la Baie de Bou Ismail	47
I.2. variation temporelle de la salinité.....	48
II. Évolution temporelle de la salinité et des sels nutritifs sur la radiale de l'Oued Mazafran.	49
III. Évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques sur la radiale de l'oued Mazafran	52
III.1. Salinité.....	52
III.2. Sels nutritifs.....	53
IV. Zonation de la baie de Bou Ismail	55
IV.1. Zonation de la baie de Bou-Ismaïl en fonction de la distribution des sels dans la colonne d'eau	55
V. Suivi des sels nutritifs dans la baie de Bou Ismail.....	58
a. Ammonium :.....	58
b. Nitrate :.....	58
c. Nitrites :	59

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

(JICA) : Agence de coopération internationale Japonaise.

(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

(SEED): Schlumberger Excellence in Educational Development

(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).	14
Figure 1.2 : Circulation de l'eau atlantique (AW) dans toute la Méditerranée (Millot and Taupier-Letage, 2004).	19
Figure 1.3 : Circulation de l'eau levantine intermédiaire (LIW) dans la Méditerranée (Millot and Taupier-Letage, 2004).....	21
Figure 1.4 : Circulation de l'eau profonde en Méditerranée (Millot and Taupier-Letage, 2004).	22
Figure 2.1 : Situation géographique de la baie de Bou Ismail (Google Earth, 2010).	26
Figure 2.2 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismail (PAC, 2005).	27
Figure 2.3 : Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail.	28
Figure 2.4 : Morphologie côtière de la baie de Bou Ismail (Grimes, 2004).	32
Figure 2.5 : Les principaux rejets dans la baie de Bou Ismail (Grimes ; 2004).	35
Figure 3.1 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Brahmia et al., 1997).	37
Figure 3.2 : Localisation des stations au niveau de la partie Est de la baie de Bou Ismail (Boulaïdid et al, 2005 ; <i>modifié</i>).	37
Figure 3.3 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Djerrad C et al, 2010)	38
Figure 3.4 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Amrouche et al, 2012).....	38
Figure 3.5 : Localisation des stations au niveau de la partie Ouest de la baie de Bou Ismail (Amrouche et al, 2012).....	38
Figure 3.6 : Localisation des stations au niveau de la partie Est de la baie de Bou Ismail (Amrouche et al, 2012).....	38
Figure 3.7 : Plan de situation des stations de la radiale en face l'Oued Mazafran.....	39
Figure 3.8 : Localisation des stations dans les eaux du large de la baie de Bou-Ismaïl (RAIMBAULT et al., 1991).....	39
Figure 3.9 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium.....	42
Figure 3.10 : Courbe d'étalonnage des nitrates	43
Figure 3.11 : Courbe d'étalonnage des nitrites	43
Figure 3.12 : Courbe d'étalonnage des phosphates.....	44
Figure 3.13 : Courbe d'étalonnage des silicates.....	45
Figure 4.1 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (Mai 1997).....	Annexe
Figure 4.2 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Mai 1997).	Annexe
Figure 4.3 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Février 2003)	Annexe
Figure 4.4 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Décembre 2003).	Annexe
Figure 4.5 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Février 2004).	Annexe
Figure 4.6 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Mai 2004).	Annexe

Figure 4.7 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Juillet 2004).....	Annexe
Figure 4.8 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (Mai 2012).....	Annexe
Figure 4.9 : intervalle des valeurs de salinité de la Baie de Bou Ismail.	48
Figure 4.10: Évolution temporelle de la salinité de surface sur la radiale de l'Oued Mazafran (Mai 1997 - Juil. 2004)	49
Figure 4.11: Évolution temporelle de la salinité du fond sur la radiale de l'Oued Mazafran (Mai 1997 - Juil. 2004)	49
Figure 4.12 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S1.	50
Figure 4.13 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en surface.	50
Figure 4.14 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en profondeur.	50
Figure 4.15 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S2.	50
Figure 4.16 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en surface.	51
Figure 4.17 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en profondeur.	51
Figure 4.18 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S3.	51
Figure 4.19 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en..	52
Figure 4.20 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en..	52
Figure 4.21 : Distribution verticale de la salinité dans la station S3 (Mail 1997).....	52
Figure 4.22 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33 (RAIMBAULT et al., 1991).....	52
Figure 4.23: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Mai 1997)..	52
Figure 4.24 : évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (février 2003).	52
Figure 4.25: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Décembre 2003).	53
Figure 4.26: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Février 2004).	53
Figure 4.27: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Mai 2004)..	53
Figure 4.28: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Juillet 2004).	53
Figure 4.29 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Mai 1997) en surface.	54
Figure 4.30 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Mai 1997) en profondeur.	54

Figure 4.31 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Juillet 2004) en surface.....	54
Figure 4.32 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Juillet 2004) en profondeur.....	54
Figure 4.33 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Décembre 2003) en surface.....	54
Figure 4.34 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Décembre 2003) en profondeur.....	54
Figure 4.35 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (Mai 1997).....	55
Figure 4.36 : Répartition des teneurs en nitrites en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	56
Figure 4.37 : Répartition des teneurs en nitrites en profondeur dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	56
Figure 4.38 : Répartition des teneurs en phosphates en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	56
Figure 4.39 : Répartition des teneurs en phosphates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	56
Figure 4.40 : Répartition des teneurs en nitrates en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.41 : Répartition des teneurs en nitrates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.42 : Répartition des teneurs en silicates en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.43 : Répartition des teneurs en silicates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.44 : Répartition des teneurs en Ammonium en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.45 : Répartition des teneurs en Ammonium en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).....	57
Figure 4.46 : Intervalle des teneurs en ammonium dans la baie de Bou Ismail.....	58
Figure 4.47 : Intervalle des teneurs en nitrates dans la baie de Bou Ismail.....	59
Figure 4.48 : Intervalle des teneurs en nitrites dans la baie de Bou Ismail.....	59
Figure 4.49 : Intervalle des teneurs en silicates dans la baie de Bou Ismail.....	60
Figure 4.50 : Intervalle des teneurs en phosphates dans la baie de Bou Ismail.....	60
Figure 4.51 : Intervalle des teneurs en nitrates dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.....	61

Figure 4.52 : Intervalle des teneurs en nitrites dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.	62
Figure 4.53 : Intervalle des teneurs en Phosphates dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.	62
Figure 4.54 : Intervalle des teneurs en ammonium dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.	63
Figure 4.55 : Intervalle des teneurs en silicates dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.	64
Figure 4.56 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie de Bou-Ismaïl (2012).....	64
Figure 4.57 : Evolution temporelle du rapport de Refdfield dans la Baie de Bou Ismail (1997-2012)..	65
Figure 4.58 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (1997).....	Annexe
Figure 4.59 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (2010).....	Annexe
Figure 4.60 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (2012).....	Annexe
Figure 4.61 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Mai 1997).	Annexe
Figure 4.62 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Décembre 2003).....	Annexe
Figure 4.63 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Février 2004).	Annexe
Figure 4.64 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juillet 2004).	Annexe
Figure 4.65 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juin 2010).	Annexe
Figure 4.66 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Mai 2012).	Annexe
Figure 4.67 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juillet 2012).	Annexe
Figure 4.68 : Evolution temporelle du rapport de Refdfield dans la partie Est de la Baie de Bou Ismail (1997-2012).....	61
Figure 4.69 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates dans la baie de Bou-Ismaïl (Mai 1997).	Annexe

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Classification des eaux d'après leur pH. D'après <i>IFEREMER</i>6
Tableau 1.2 : les principaux mécanismes impliquant les nutriments (<i>Aminot et al, 2004</i>).....	13
Tableau 2.1 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Béni Messous (ANRH).....	29
Tableau 2.2 : Températures mensuelles moyennes de la baie de Bou Ismail pour la période 1976 – 2005 (ONM : Office national de la météorologie).....	30
Tableau 2.3 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (étude d'aménagement du littoral .Wilaya de Tipaza, synthèse-bilan diagnostic (2006).....	33
Tableau 2.4 : Principaux industries dans la région de Bou Ismail (<i>Aouidad ; 1997</i>).	34
Tableau 2.5 : Principales activités industrielles dans la baie de Bou Ismail.....	34
Tableau 2.6 : Les différentes pressions exercées sur la baie de Bou-ismail	Annexe
Tableau 3.1 : compagnes de prélèvement	36
Tableau 3.2 : Coordonnées des stations sur les trois radiales	39

Introduction

La zone côtière est un lieu particulièrement fragile et sensible. En effet, elle apparaît de plus en plus menacée, aussi bien d'un point de vue global (modifications climatiques) qu'à l'échelle régionale (altérations anthropiques). Il s'agit d'une évolution d'une variabilité importante de phénomènes physico-chimiques et biologiques qui s'y manifestent. Cette diversité naturelle résulte des fluctuations des mécanismes d'apports des nutriments et des climats avec un important nombre de combinaison simultanées de l'hydrodynamisme des masses d'eau (courants, houles, vagues...),

Il semble que toute tendance relevée dans la concentration d'un polluant majeur soit liée avant tout aux activités humaines puisque les variations dues aux processus naturels ont plus ou moins atteint un état d'équilibre (PNUD, 1995).

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.

L'approche méthodologique adoptée s'articule autour de l'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'environnement climatique et l'analyse de l'impact des actions de développement sur le littoral occidental algérien, sur la base d'indicateurs d'occupation et d'utilisation du milieu.

Dans la présente étude, l'accent est mis sur les eaux de la baie de Bou Ismail où l'altération de la qualité des eaux marines côtière est la plus perceptible. Cette zone marine constitue, en effet, le réceptacle de plusieurs sources de pollution issues de l'une des plus grandes unités urbaines et industrielles côtières du pays.

A ce titre, cette zone a déjà fait l'objet de plusieurs études pluridisciplinaires. En effet, ce type de surveillance a déjà été pratiqué par (Boulaïdid et al, 2005) dans le cadre du suivi de la pollution du littoral algérois, au niveau de la partie Est de la baie. Ce suivi comporte plusieurs campagnes, durant cinq périodes différentes (Février 2003, Décembre 2003, Février 2004, Mai 2004 et enfin Juillet 2004).

D'autres travaux ayant le même objectif, ont été réalisés en 1997 et en 2010, au niveau de la baie de Bou Ismail par divers auteurs (Brahmia et al, 1997), (Djerad, 2010)...Etc.

Les résultats obtenus en 2005 montrent que la zone est soumise à des apports d'eaux continentales, en particulier les apports de l'oued Mazafran, marquant une dessalure plus ou moins importante des eaux superficielles, observées selon la période de l'année en face de l'embouchure de cet estuaire (Boulaïdid et al, 2005). De plus, ces apports participent à l'enrichissement des eaux littorales en sels nutritifs. Cet enrichissement surtout en phosphate au niveau de la partie Est de la baie, cause une dégradation de la qualité chimique des eaux de la baie, en faisant diminuer le rapport de Redfield (Amrouche Walid et Khechni Adel, 2012).

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 (Rouibah et al, 2007).

Il paraît intéressant de faire aujourd'hui la synthèse des résultats acquis depuis 2003 et voir ainsi comment la situation a évolué depuis le dernier état des lieux présenté.

La présente étude essaye, par l'utilisation des paramètres hydrologiques et les sels nutritifs, de suivre l'évolution de l'influence des milieux continental et marin du large, de manière à évaluer l'ampleur de ces dernières sur l'état de la qualité de l'eau de mer, notamment le niveau de fertilité, le degré de dessalure du milieu...Etc.

Le présent mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Le premier sera consacré aux généralités sur les paramètres physiques et chimiques dans le milieu marin. on va évoquer des définitions et des notions de bases sur la circulation dans la méditerranée en général et les courants Algérien en particuliers
- Le deuxième chapitre présentera avec détail la zone 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, on va interpréter les résultats et les comparer avec les données d'autres campagnes qui font des mesures en mer.
- Enfin notre présent travail sera synthétisé sous forme d'une conclusion générale, celle-ci dénombrera les phénomènes les plus importants concernant cette étude.

I. Définitions

I.1. Définition de la pollution marine

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. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées dont les propriétés naturelles sont transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe, aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations (Bliefert et Perraud, 2001).

I.2.1. Origine des eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

a. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (Gomella et Guerree, 1978).

b. Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, d'après Gaujous (1995), elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries) ;
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;

- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Dans certains cas, avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux industrielles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

c. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses (Bontoux, 1993).

Les épandages d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ou en quantité, telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues. Parmi les polluants d'origine agricole, il faut tenir compte aussi des détergents se dispersant lors des applications de traitement des cultures (Gomella et Guerree, 1978).

d. Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) (Bontoux, 1993).

Dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

II. Caractéristiques des eaux

L'évaluation de la qualité de l'eau nécessite de nombreuses analyses, incluant le dosage de multiples paramètres physico-chimiques. Ces analyses sont réalisées par des méthodes dont les protocoles sont bien définis.

II.1. Les paramètres physico-chimiques

Selon Gaujous (1995), la pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération. Elle se traduit généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure par analyse de ces derniers (au niveau du rejet, du milieu naturel ou du milieu pollué) permet de l'étudier.

II.1.1. Salinité (PSU) (Practical Salinity Unit)

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (Aminot et Kérouel, 2004), il forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (Aminot et Chausse-Pied, 1983). Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (Rodier et al, 2005). Les premières définitions de la salinité et de la chlorinité ont été données par Sorensen en 1902 :

- « **La salinité** est la masse en grammes des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer ».
- « **La chlorinité** est la masse en gramme de chlore équivalent à la quantité totale d'halogènes, dans un kilogramme d'eau de mer ».

La relation entre la salinité et la chlorinité est donnée par l'équation suivante :

$$S \text{ (PSU)} = 1.80655 \text{ Cl (‰)}$$

Après la première définition de la salinité et de la chlorinité par Sorensen (1902), des techniques furent développées permettant de déterminer la salinité à partir de mesures de conductivité, de température et de pression. Dès 1978, l'échelle pratique de salinité (PSU) définit la salinité en termes de rapport de conductivité. (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

II.1.2. Oxygène dissous (O.D)

Ce paramètre détermine la qualité du milieu (Aminot et Chausse-Pied, 1983), et gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Aminot et Kérouel, 2004). La mesure de ce paramètre concerne exclusivement la mesure de l'oxygène moléculaire (O₂) en solution. Sa concentration et sa saturation dans l'eau de mer est régie par plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques :

- Échanges à l'interface air-mer ;
- Oxydation chimique ;
- Diffusion et mélange au sein des masses d'eau ;
- Respiration et photosynthèse.

Les processus biologiques permettent soit :

- Sa saturation dans les zones eutrophies (accroissement important du phytoplancton) ;
- Ou sa sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées (oxydation de la matière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

Dans le cas de leur absence, sa concentration dans l'eau de mer en contact de l'air n'est qu'en fonction de la pression atmosphérique, la température et de la salinité de l'eau, on parle de la concentration d'équilibre ou saturation (Aminot et Kérouel, 2004).

Le processus de purification naturelle des cours d'eau requiert des niveaux d'oxygène adéquats pour assurer la vie aérobie dans l'eau. Lorsque les niveaux d'oxygène dissout dans l'eau tombent au-dessous de 5,0 mg/l, la vie aquatique est menacée (Seed, 2003).

II.1.3. La température

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur : ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermiques induisant ainsi une forte perturbation du milieu. La température est mesurée par thermosonde (ou par thermomètre) (Gaujous, 1995).

II.1.4. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (Gomella et Gueree, 1978). Sa mesure doit s'effectuer sur place de préférence par la méthode potentiométrique. La mesure électrique, quoique délicate, peut seule donner une valeur exacte, car elle est indépendante du potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, ou de la turbidité et des matières colloïdales (Rodier et al, 2005).

En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être, dans ce cas, un indice de pollution (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

Tableau 1.1: Classification des eaux d'après leur pH. D'après IFEREMER	
pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée=> majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

II.1.5. La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau. Elle est mesurée :

- soit visuellement par la hauteur d'eau à travers laquelle on ne distingue plus un objet (disque de Secchi, fil de platine) ; elle est alors exprimée en mètre.
- soit électroniquement (néphélométrie) par comparaison avec une gamme de solution de référence (silice, mastic, formazine) ; elle est alors exprimée en mg/l de silice, de mastic, ... ou en unité (NTU, Nephelometric Turbidity Unit, ou JTU -Jackson ou FTU, Formazine-) (Gaujous, 1995).
- La turbidité varie suivant les matières en suspension (MES) de l'eau.

La turbidité mesure la quantité de particules suspendues dans l'eau. Les algues, les sédiments en suspension et les matières organiques augmentent la turbidité de l'eau jusqu'à des niveaux nuisibles pour certains organismes. La turbidité est un élément important, car une forte présence de particules suspendues dans les rivières diffuse davantage de lumière solaire et absorbe de la chaleur, augmentant ainsi la température et réduisant la lumière bénéfique aux plantes. La turbidité s'accroît avec l'érosion des berges, la croissance excessive des algues et les modifications du courant des rivières.

II.1.7. Les matières en suspension

En plus des substances dissoutes, les eaux de mer contiennent des matières en suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature, soit biogénique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons), soit terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, débris déversés par l'homme), soit éolienne (particules transportées par les courants atmosphériques et tombant dans la mer), soit enfin météorique (Ivanoff, 1972).

La détermination des matières en suspension (MES) est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre pollution dissoute et pollution sédimentable, car le devenir de ces deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration.

La composition des matières en suspension peut être appréciée par analyse directe : plus souvent, elle est obtenue par différence des caractéristiques des eaux brutes et des eaux filtrées. Les erreurs sur les valeurs résultantes sont alors élevées (Bontoux, 1993). Les matières en suspension sont exprimées en mg/l.

II.2. Paramètres indicateurs de pollution

II.2.1. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène DBO, exprimée en mg d'oxygène par litre, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux (Bontoux, 1993). Plus

précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie.

Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅.

Berne et Cordonnier (1991) définissent la DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

La DBO₅ est un paramètre intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux : dans les eaux pures elle est inférieure à 1 mg d'(O₂)/l, et quand elle dépasse les 9 mg/l l'eau est considérée comme étant impropre (Gomella et Guerree, 1978).

II.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'(O₂)/l, correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique est dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau (Grosclaude, 1999). Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières oxydables.

II.2.3. Les matières oxydables (MO)

C'est un paramètre utilisé par les agences de l'eau pour caractériser la pollution organique de l'eau, il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante (Badia-Gondard, 2003) :

$$MO = (2 \times DBO_5 + DCO) / 3$$

II.2.4. Le carbone organique total (COT)

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (cellulose, sucres, huiles, etc.). Suivant que

l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (COD) ou le carbone total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO.

Les méthodes de dosage du carbone organique utilisent toutes le même principe, qui consiste à oxyder le carbone organique en dioxyde de carbone. Cette oxydation peut être obtenue par combustion, irradiation UV, oxydation chimique ou par tous autres procédés appropriés. Le dioxyde de carbone est ensuite mesuré, soit directement, par un analyseur infrarouge ou par toutes méthodes convenant à son dosage, soit réduit en méthane et analysé par un décanteur à ionisation de flamme (Rodier et al, 2005).

II.3. Les Sels nutritifs (azote et phosphore)

II.3.1. 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.

II.3.2. 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).

II.3.3. 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.

a. 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 (Boulaïdid, 1987).

b. Source interne

Est la source la plus importante, car à elle seule présente environ 97% (Boulaïdid, 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.

II.3.4. 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.

a. Apports terrestres

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

b. Apports atmosphériques

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

II.3.5. 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).

- **Nitrites (NO_2^-)**

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification.



Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. Ils provoquent une dégradation de l'hémoglobine du sang des poissons qui ne peut plus véhiculer l'oxygène. Il en résulte la mort par asphyxie (Sevrin-Reyssac et al, 1995).

- **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 ($\Delta H^\circ = -18 \text{ Kcal}$) opérée par des bactéries (le Nitrobacter) et on parle de nitratisation (Aminot et al ; 1983).



b) Phosphore

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 Chaussé-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.

c) La silice dissoute (SiO_2 -)

L'élément nutritif silicium entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (Diatomées, Radiolaires...) (Aminot et Chaussé-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).

d) Oligo-éléments et les toxiques minéraux

Les oligo-éléments sont toujours présents dans l'eau en quantités très faibles. Leur présence est généralement indispensable au développement des êtres vivants, et leur absence peut entraîner des carences. A plus fortes concentrations, ils deviennent toxiques.

La plupart sont désignés comme étant "métaux lourds", bien que tous ne soient pas des métaux ; ces éléments sont soumis à des normes, particulièrement en eau potable, mais aussi en rejets industriels, pour les boues d'épuration valorisable en agriculture, pour les épandages de boues de curage de rivières ... (Gaujous, 1995).

II.3.6. 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).

II.3.7. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs

Dans un écosystème naturel, les nutriments sont consommés sous forme minérale dissoute par les producteurs primaires (phytoplancton). Intégrés dans la biomasse (assimilés).

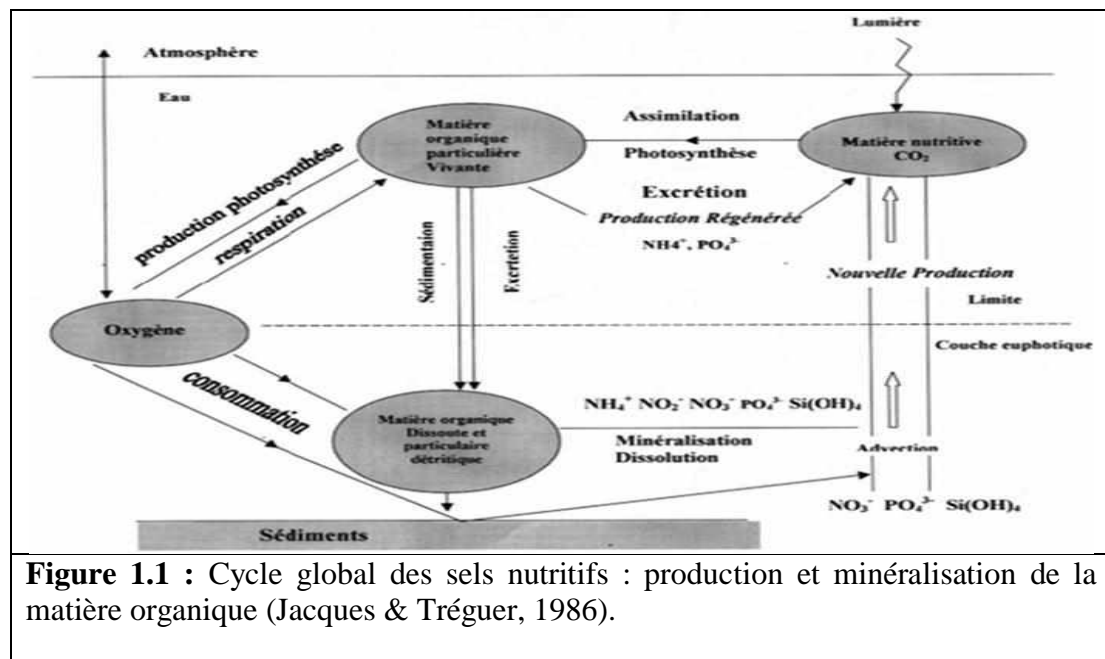
Les nutriments organiques sont progressivement régénérés sous leur forme minérale originelle :

- ❖ soit par le biais de leur ingestion puis de leur excrétion par les différents échelons des animaux de la chaîne alimentaire.
- ❖ soit à la mort de la biomasse, par suite de la dégradation directe par les bactéries hétérotrophes.

C'est le cycle des éléments nutritifs, qui fonctionne grâce à plusieurs processus que selon les conditions environnementales, peuvent se dérouler plus ou moins simultanément ou se succéder. (Aminot et *al* , 2004) (**Tableau 1.2**).

Tableau 1.2 : les principaux mécanismes impliquant les nutriments (Aminot et <i>al</i>, 2004)		
mécanismes	consommation	production
photosynthèse	NID, PO ₄ ³⁻ , H ₄ SiO ₄	NOP, POP, BSi
Minéralisation (excès de N, P)	NOP, POP, NOD, POD	NH ₄ , PO ₄ ³⁻ , NOP, NOD
Minéralisation (excès de C)	NOP, POP, NOD, POD	NOP, POP
Sécrétion, excrétion		NOD, NOP, POP , NH ₃
Rupture des cellules	NOP, POP	NOD, POD, PO ₄ ³⁻
Nitrification (nitritation)	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻
Nitrification (nitration)	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
dénitrification	NO ₃ ⁻	N ₂ , N ₂ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻
dissolution	BSi	H ₄ SiO ₄

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



II.3.7.1 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 ou 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 CO₂ (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 N₂, mais de l'oxyde nitreux est aussi produit N₂O. Au sens large, on y inclut la réduction du nitrate en ammonium. Dans les sédiments, les deux types de processus sont présents.

II.4. 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 (Boulaïdid, 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.

II.5. Notion de facteur limitant

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

III. Production primaire

III.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).

III.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*.

III.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).

III.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 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. 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).

III.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'eaux (Lefeuvre.M et al, 1999).

III.3.1. 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).

IV. Circulation générale en Med

1. Circulation générale

Toutes les masses d'eau (eau atlantique, AW et eau méditerranéenne MWs) qui circulent à l'échelle du bassin tendent à suivre, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, les isobathes à leur propre niveau et à décrire, dans les deux bassins, des gyres quasi permanentes de quelques dizaines de Km d'épaisseur et de quelques milliers de Km de long, le long de la pente continentale (**Fig.1.2**) (Millot and Taupier-Letage, 2004).

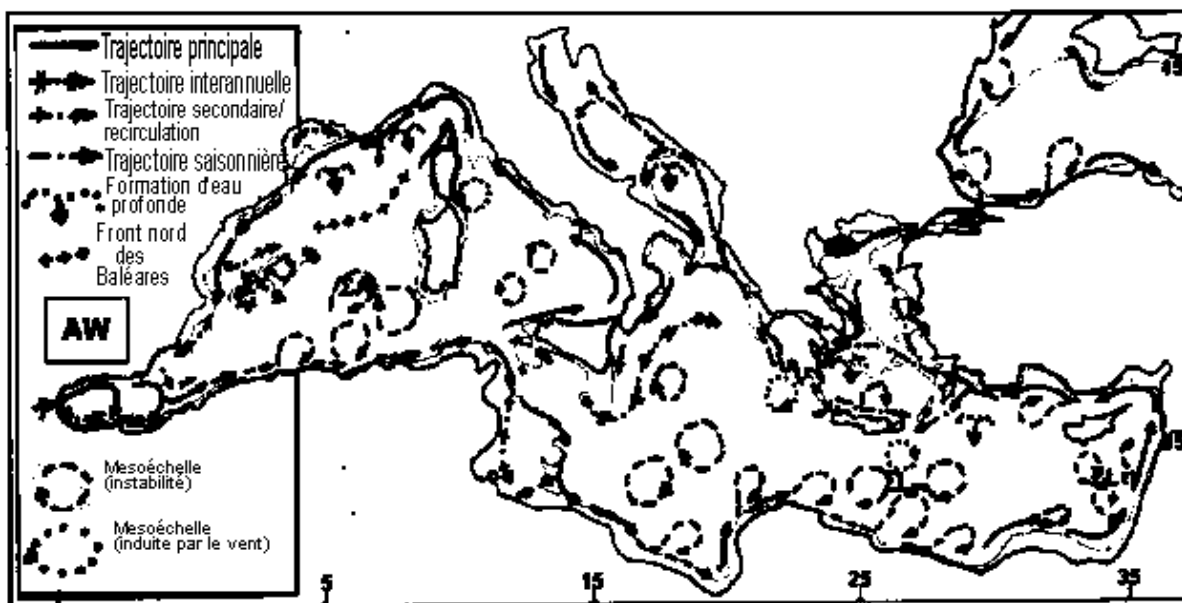


Fig. 1.2 Circulation de l'eau atlantique (AW) dans toute la Méditerranée (Millot and Taupier-Letage, 2004).

2. L'eau atlantique

A cause de la diminution du niveau de la mer (déficit hydrique), une eau d'origine atlantique pénètre en surface dans le bassin méditerranéen, pour compenser ce déficit. L'eau atlantique (AW) est caractérisée par une température s'échelonnant de 15 à 16 °C, une salinité de 36-37 psu et une densité de 1,026-1,027. En progressant à l'intérieur de la mer, l'AW entrante est modifiée continuellement, d'où le nom de l'eau atlantique modifiée (MAW), premièrement à cause des interactions avec l'atmosphère, mais aussi à cause du mélange avec une eau atlantique ancienne restée en surface et avec des eaux sous-jacentes. Tout au long de son cheminement, l'AW est réchauffée saisonnièrement (jusqu'à 20-28 °C dans la couche de mélange) ou rafraîchie (descendre jusqu'à 13 °C ou moins localement), mais, dans l'ensemble, la salinité ne fait qu'augmenter (jusqu'à 38-39 psu) et l'eau devient plus dense (jusqu'à 1,028-1,029) (Millot and Taupier-Letage, 2004).

En entrant par le détroit de Gibraltar, l'eau Atlantique est, tout d'abord, dirigée vers le nord à cause de l'orientation du détroit, puis elle décrit une gyre dans le sens des aiguilles d'une montre à l'ouest de la Mer d'Alboran, entre l'Espagne et le Maroc. Elle décrit, généralement, une deuxième gyre à l'est de cette même mer, entre l'Espagne et l'Algérie. En dehors de la Mer d'Alboran, l'AW se restructure le long de la côte algérienne aux environs de 0°, notamment, à cause de la force de Coriolis. Ici, la gyre du Bassin Occidental commence à être nettement identifiée et montre des particularités qui permettent de reconnaître le Courant Algérien et le système spécifique associé. Annuellement, l'AW coule le long des côtes ouest de la Sardaigne et la Corse (Millot and Taupier-Letage, 2004), formant ainsi le Courant Ouest Corse (Albérola et al., 1995). Un tiers du flux de l'AW (Millot, 1987) circule dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de la Mer Tyrrhénienne en longeant la côte nord de

la Sicile et les côtes italiennes et franchît ensuite le Canal de Corse en formant le Courant Est Corse. Ces 2 courants fusionnent dans le golfe de Gênes pour donner naissance au courant nord dont la circulation est cyclonique et annuelle depuis la mer Ligure jusqu'à la mer catalane, le long du talus continental des côtes italiennes, françaises et espagnoles (Albérola et al, 1995).

3. Eau levantine intermédiaire (LIW)

La LIW se forme à partir de la convection hivernale dans la partie nord de la Mer Levantine, le long de la pente des îles de l'Arc Crétois, de Rhodes à Crète et au Péloponnèse (Millot and Taupier-Letage, 2004).

Elle est située, au départ, entre 150 et 400 m de profondeur et est caractérisée par une température comprise entre 15 et 16°C et une salinité de 39,1 à 39,2 psu (El-Gindy and El Din, 1986). La topographie et les côtes semblent avoir un rôle important sur la circulation, principalement due à la gravité, de l'eau levantine.

Une petite partie de cette eau entre dans le sud de la Mer Egée, où elle se mélange avec l'AW, en hiver, pour former l'AeDW (eau égéenne profonde). La majeure partie de la LIW circule le long de la pente au sud de l'île de Crète, dont une partie est entraînée par le système tourbillonnaire (au large du Péloponnèse et de Ierapetra), induit par le vent, vers le large, et la partie qui continue de prolonger la pente, pénètre, en partie, dans le sud de l'Adriatique où elle se mélange avec l'AW, en hiver, pour former l'AdDW (eau adriatique profonde) et le reste de la LIW progresse vers l'ouest le long de la pente jusqu'au Canal de Sicile, où la grande partie passe dans le bassin occidental. Cependant, toute la LIW qui contourne le Canal de Sicile et qui demeure associée au gradient de pression, va recirculer le long de la pente autour du bassin oriental dans sa grande partie (Millot and Taupier-Letage, 2004).

A l'intérieur du Canal de Sicile, la LIW circule le long de la pente sicilienne et contourne la Sicile, s'accumule dans le Bassin Tyrrhénien en longeant la côte italienne. Une partie franchit le canal de Corse et la majeure partie suit un circuit cyclonique autour de ce bassin et sort par le canal de Sardaigne pour remonter, ensuite, vers le nord le long de la côte ouest de Sardaigne et de la Corse (Millot and Taupier-Letage, 2004) rejoignant la partie sortante par le canal de Corse. Le tout suit le talus continental le long des côtes françaises et espagnoles (Millot, 1987), dont une partie sort par le détroit de Gibraltar et une autre partie entraînée par l'eau de surface d'origine atlantique venant de la mer d'Alboran, suit les côtes algériennes (Millot, 1994) (**Fig.1.3**).

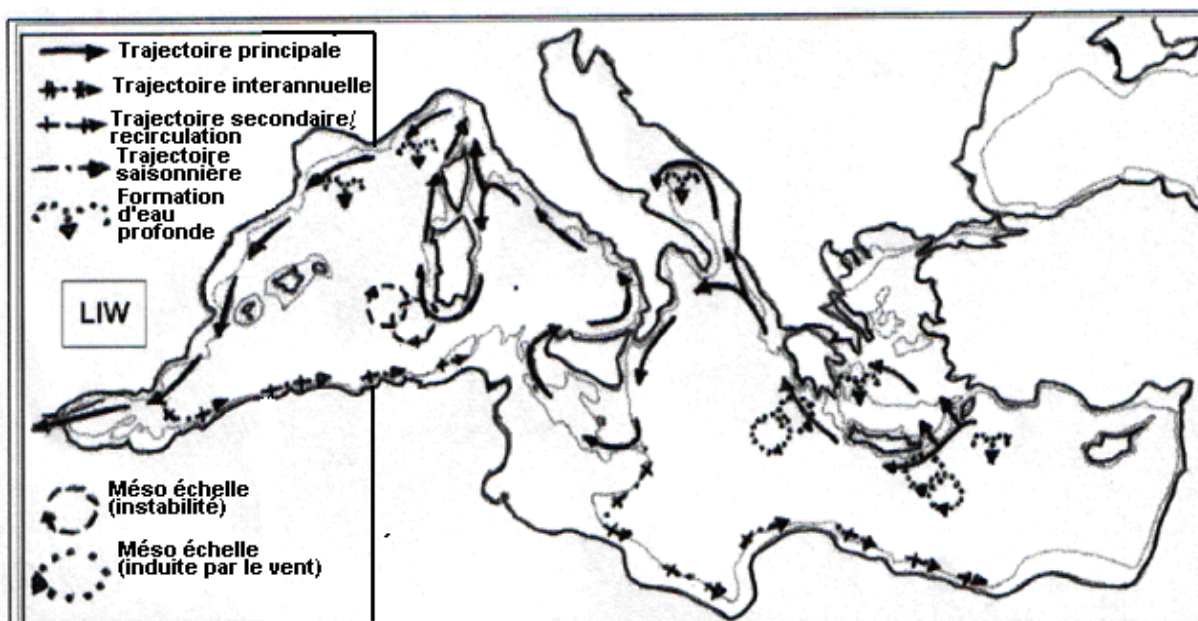


Fig. 1.3 Circulation de l'eau levantine intermédiaire (LIW) dans la Méditerranée. Le trait fin représente l'isobathe -500 m (Millot and Taupier-Letage, 2004).

4. Eau méditerranéenne profonde

En ce qui concerne le bassin méditerranéen, l'eau profonde se forme en mer Ligure et au large du golfe du Lion (Millot, 1994). L'eau méditerranéenne profonde représente la plus grande quantité d'eau de l'ensemble de la Méditerranée occidentale. Sa formation est due à la convection hivernale intense sous l'influence de vents froids et secs (Millot, 1994) de secteur nord et nord-ouest : le Mistral et la Tramontane, qui entraînent l'augmentation de la densité des couches superficielles de l'eau atlantique modifiée et de l'eau levantine qui deviennent plus denses que les couches inférieures, donc, plongent et se mélangent verticalement aux autres eaux. La masse d'eau profonde est composée de 1/4 à 1/3 d'eau d'origine atlantique et de 2/3 à 3/4 d'eau levantine par rapport au volume sortant de Méditerranée par le détroit de Gibraltar (Millot, 1987). Elle se situe entre 800 et 3000 m de fond et est caractérisée par une température froide comprise entre 12,7 et 13,0 °C et une salinité relativement peu élevée variant de 38,40 à 38,48 psu. L'eau méditerranéenne profonde suit un circuit cyclonique le long du talus continental vers l'ouest pour sortir enfin de la Méditerranée en franchissant le détroit de Gibraltar (Millot, 1994) (Fig.1.4).

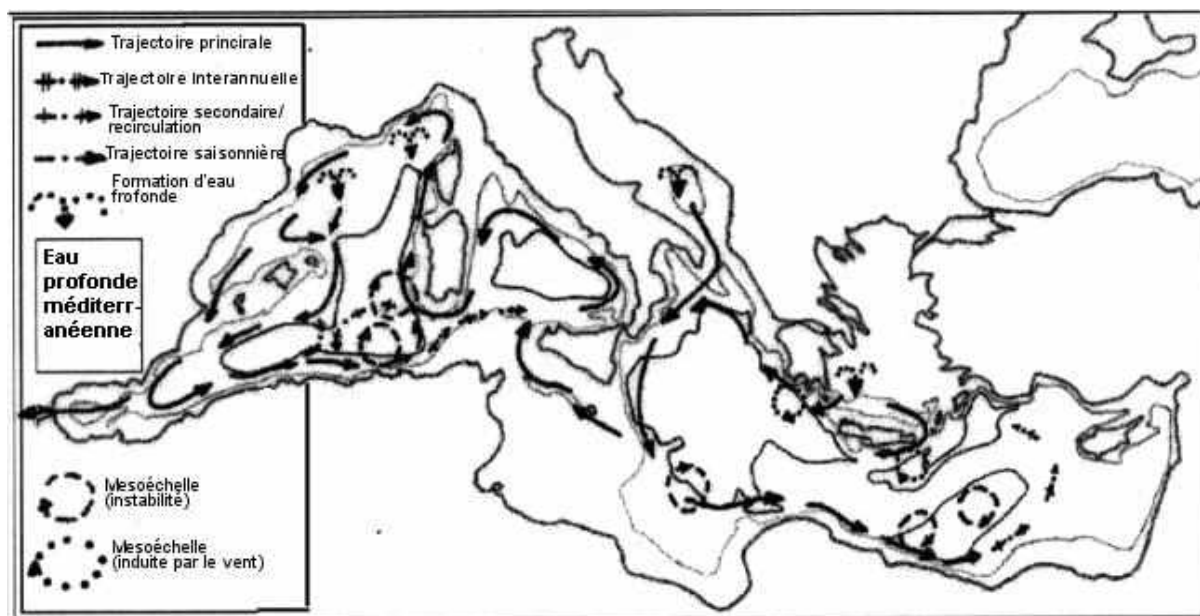


Fig.1.4 Circulation de l'eau profonde en Méditerrané, les lignes fines représentent, respectivement, selon l'épaisseur croissante, les isobathes 1000 m et 2750 m (Millot and Taupier-Letage, 2004).

Donc, la Méditerranée est une machine qui transforme l'eau atlantique qui est rencontrée juste à l'ouest du Déroit de Gibraltar en une eau plus dense qui est reconnue à 1000-2000 m dans l'Océan Atlantique Nord Ouest (Millot and Taupier-Letage, 2004).

5. *Mouvements verticaux ascendants : divergences et remontées*

Bien que la Méditerranée soit une mer oligotrophe, il existe quand même, quoique occasionnellement, des mouvements ascendants qui ramènent des sels nutritifs dans la couche euphotique.

Cet apport d'eau profonde peut s'expliquer par 4 mécanismes (Jacques et Tréguer, 1986):

- La circulation cyclonique comme celle du Bassin Liguro-Provençal.
- Remontée d'eau à la bordure nord des tourbillons anticycloniques du courant atlantique (mer d'Alboran le long des côtes espagnoles).
- Remontées côtières par l'effet du vent, notamment, dans la partie septentrionale du bassin (vents du nord).
- Mélange vertical hivernal.

V. Les sels nutritifs et la production primaire dans la Méditerranée occidentale

A l'exception des zones littorales situées au débouché des fleuves et celles de divergence, la Méditerranée est bien une mer oligotrophe. Cette oligotrophie est inhérente à la faiblesse des apports telluriques (Jacques et Tréguer, 1986). A toutes les profondeurs, ses concentrations en sels nutritifs sont très faibles en la comparant avec l'océan mondial. Cela est dû à son régime

hydrologique puisque, elle reçoit par le détroit de Gibraltar, un courant d'eau superficielle atlantique déjà appauvrie en nutriments par l'activité biologique.

A l'intérieur du bassin, les apports continentaux augmentent les teneurs initiales des eaux entrantes en sels nutritifs qui ne s'accumulent pas car, ils sont captés et précipités par les organismes marins, puis évacués par le contre courant profond sortant à Gibraltar, qui est nettement plus riche que l'eau atlantique entrante. Donc, les teneurs de la Méditerranée en sels nutritifs restent très inférieures à celles de l'océan avec lequel elle communique.

Le rapport N/P est voisin en Méditerranée occidentale de 20, alors qu'il n'est de 15 à 16 pour l'océan mondial. Cela peut être dû à un taux de fixation élevé de l'azote atmosphérique par l'écosystème méditerranéen : posidonie, bactério-plancton pélagique, (Copin-Montégut, 1996), ou bien à un déficit généralisé mais modéré en phosphates (Jacques et Tréguer, 1986).

La Méditerranée est caractérisée par une production primaire faible, de l'ordre de $125 \text{ g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ (Antoine et al, 1996).

La nouvelle production en Méditerranée est liée aux apports de nutriments par l'eau atlantique de surface, les dépôts terrigènes et les flux marins ascendants (Béthoux et al, 1998).

VI. Le bassin Algérien

VI.1. Situation géographique du bassin algérien

Le bassin algérien est localisé au sud du bassin occidental méditerranéen à une latitude de 35° à 40° Nord pour une longitude de 2° Ouest à $7^\circ 45$ Est. Il est situé à l'est de la Mer d'Alboran, entre l'Algérie au sud, les Iles Baléares au nord ouest et la Sardaigne au nord est (Benzohra and Millot, 1994).

VI.2. Hydrologie du Bassin Algérien

Le bassin algérien constitue une zone clé pour la circulation générale dans la Méditerranée occidentale (Puillat et al, 2002), un réservoir où l'eau d'origine atlantique s'accumule avant de s'écouler vers le nord et vers l'est (Millot, 1985).

Le courant algérien correspondant au flux de l'eau atlantique modifiée (MAW) le long du talus algérien où ses caractéristiques sont particulières, est initialement un courant côtier (aux alentours de 0°) de quelques dizaines de km de large et quelques centaines de km d'épaisseur. Ce courant est instable car il génère deux types de phénomènes à méso-échelle observés de $\sim 0^\circ$ à 8°E . La plupart du temps, il engendre des séries de tourbillons relativement peu importants et peu profonds qui n'ont pas de conséquences significatives sur la circulation des masses d'eau. Cependant, ce courant forme, occasionnellement, de larges méandres qui ont des conséquences dramatiques sur la circulation de ces masses d'eau (Millot and Taupier-Letage, 2004). La trajectoire de ces tourbillons et méandres commence par une propagation vers l'est, le long de la pente algérienne, de quelques km/j, alors qu'en s'intégrant à l'intérieur d'un méandre, l'eau coule à une vitesse d'environ 50 km/j.

A proximité du canal de Sardaigne, quelques tourbillons se détachent de cette pente et se propagent le long de celle de Sardaigne. Il est supposé que les tourbillons suivent, ensuite, un circuit dans le sens des aiguilles d'une montre dans la partie orientale du bassin. Seuls les tourbillons anticycloniques peuvent se développer et atteindre un diamètre au dessus de 200 km avec une extension en profondeur. Par une étude interdisciplinaire au large de l'Algérie (ELISA, 1997-1998) et une étude d'une série d'images satellitaires NOAA/AVHRR pendant 3 ans, on a montré que la durée de vie de ces tourbillons peut atteindre 3 ans (Puillat et al., 2002). Aux frontières de ces tourbillons, le long des côtes africaines, apparaissent des panaches d'eau froide indicateurs de résurgence. Ces remontées ne dépendent pas, en priorité, du vent ni ne sont attachées à la topographie de la côte ou du fond, mais étroitement liées aux formations tourbillonnaires (Jacques et Tréguer, 1986).

En ce qui concerne la LIW, une partie de celle-là est arrachée de la veine principale, déjà décrite plus haut, par les tourbillons algériens à méso échelle. Puisque il y a souvent un de ceux-ci qui interagit avec la veine, des fragments sont presque constamment entraînés à l'intérieur des tourbillons, éventuellement à travers le bassin algérien centre. Les fragments sont finalement libérés dans le Bassin Central, ce qui est peut être dû à la disparition des tourbillons. Ils peuvent être identifiés pendant longtemps et/ou loin vers l'est, ce qui signifie que le mélange à l'intérieur du tourbillon est faible (Millot and Taupier-Letage, 2004).

La baie de Bou Ismail a intéressé beaucoup de scientifiques selon les thèmes qui les est préoccupés, c'est ainsi que nous retrouvons des travaux effectués dans les domaines se rapportant à la biologie, le benthos, la sédimentologie, les paramètres physicochimiques....etc.

I. La Baie de Bou-Ismaïl

I.1. Localisation géographique

La baie de Bou Ismail (ex golfe de Castiglione) est située à l'ouest d'Alger du Ras Acras (ou Acrata) jusqu'au Cap Mont Chenoua entre 2° 54' E et 36° 48' N à 2° 24 E et 36° 38' N, d'une superficie de 350 km², est délimitée à l'Ouest par le massif du Chenoua et à l'Est par le massif de Bouzaréah. L'ouverture de la baie s'orientent selon un axe nord-ouest d'environ 40 km. La baie de Bou-Ismaïl peut être divisée en quatre zones géographiques (Figure 2.1) :

- La baie d'El Djamilia limitée à l'Est par Ras Acrata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. Elle est caractérisée par une côte basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.
- Le secteur Sidi Fredj – Oued Mazafran, constitué sur environ 12 km de plage de sables fins.
- Une côte rocheuse, faisant suite au secteur ci-dessus, longue de 30 km dont la limite à l'Ouest est Tipaza.
- La baie du Chenoua ou se jette l'oued Nador débute à partir de Tipaza ; elle est bordée dans sa partie Ouest par le massif du Chenoua. Tout le fond de cette baie est occupé par une plage de sables fins.

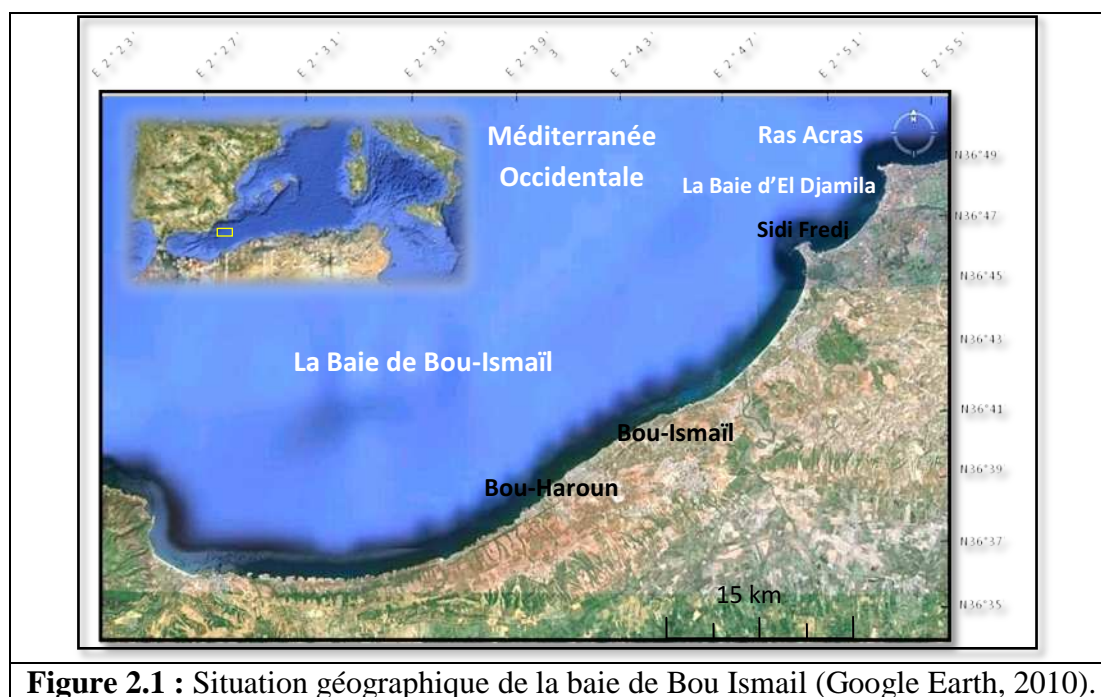


Figure 2.1 : Situation géographique de la baie de Bou Ismail (Google Earth, 2010).

I.2. Topographie de la baie

Le plateau continental est d'une manière générale, très étroit selon Vaissiere et Fredj; 1963 (in Asso, 1982). La limite la plus extrême du plateau continental au niveau du mont Chenoua atteint 7 milles. Ainsi, la surface du plateau continental de la baie de Bou Ismail est de 509 Km² (Chavance et Girardin, 1986) (in Zeghdoudi, 2006). Le plateau continental est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre 1% (Asso, 1982),

I.3. Sédimentologie de la baie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismail montre une grande diversité sur le plan sédimentaire, neuf faciès identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (Figure 2.2) et l'herbier *Posidonies océanica* (Leclair, 1972).

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

- La dérive littorale due aux houles du Nord Ouest.
- La dérive littorale dus aux houles du Nord Est.

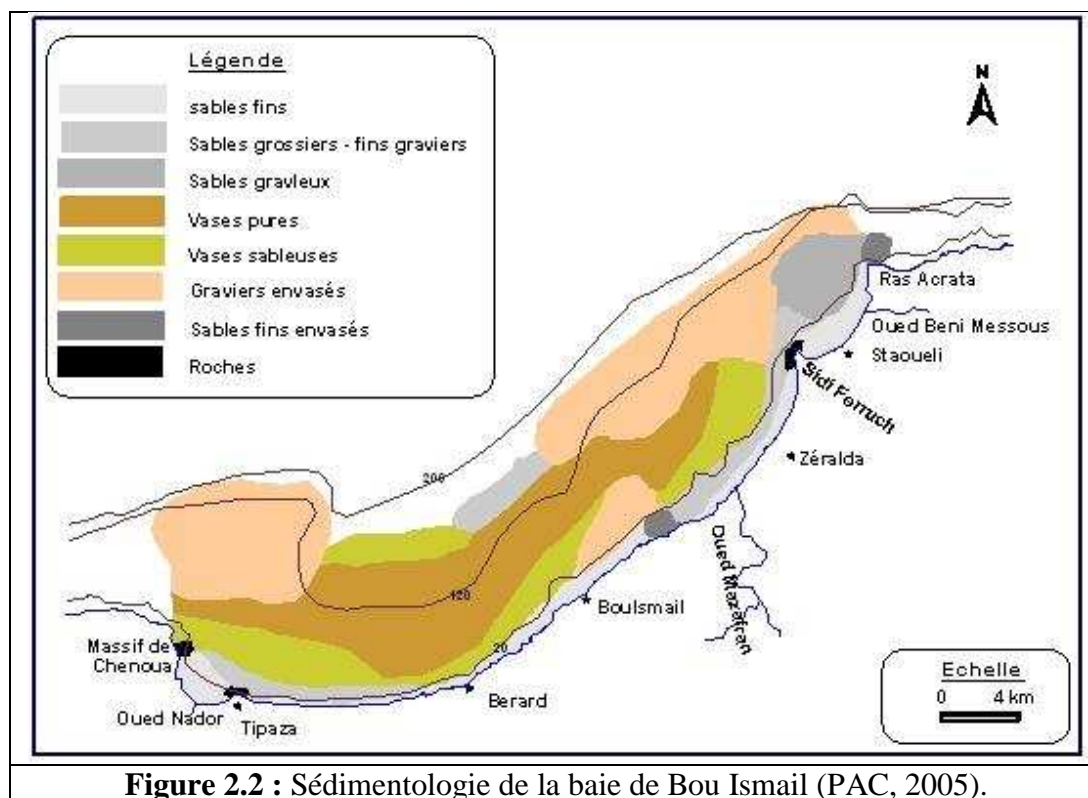


Figure 2.2 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismail (PAC, 2005).

1.4. Réseau hydrographique

Les principaux oueds qui se jettent en baie de Bou Ismaïl sont l'oued Nador dans la baie du Chenoua, l'oued Mazafran centre de la baie et l'oued Béni Messous en baie d'El Djamila (Annane et al, 2007) (Figure 2.3).

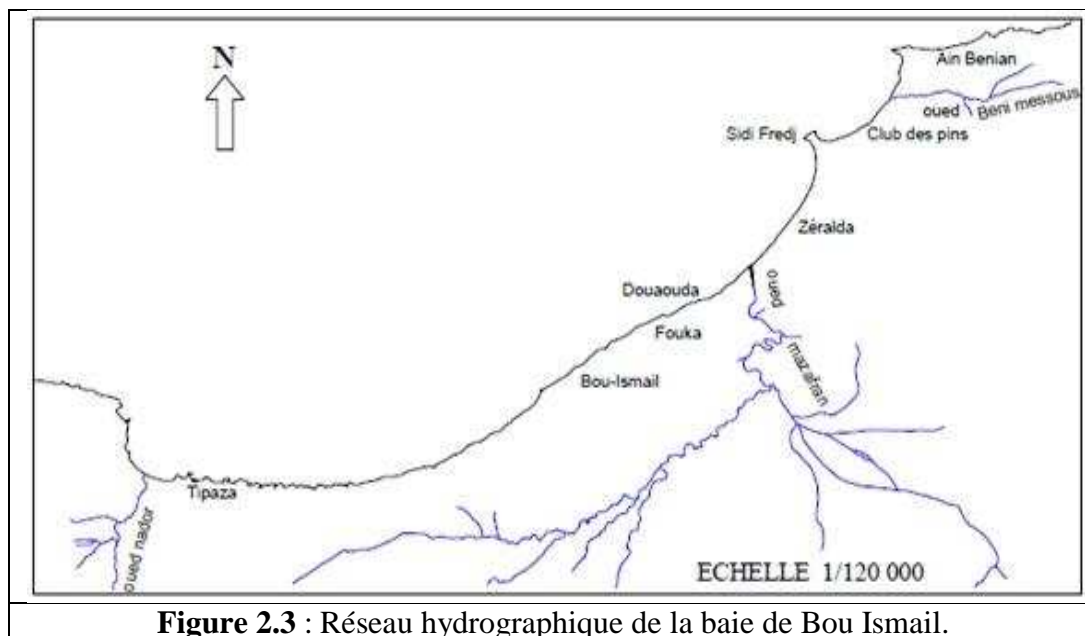


Figure 2.3 : Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismaïl.

❖ L'oued Mazafran

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

❖ L'oued Nador

Situé sur la partie occidentale, ne prend sa naissance que dans la cluse de Tipasa avant de débouchement dans la baie de Chenoua. Son bassin versant est drainé par un réseau d'affluents : l'oued Bou Yersen, oued Bouardoin ; oued Merad et oued Bourkika.

La surface de son bassin versant est de l'ordre de 230 km² avec un débit de 890 l/s, son écoulement moyen annuel est de l'ordre de 36.3 km³/année.

❖ L'oued de Béni Messous

Il prend naissance dans le massif de Bouzaréah, reçoit un grand nombre d'affluents et se jette dans la baie d'El Djamila. Son bassin versant s'étend sur 33 km², près de 7 km²,

soit 21.2% de l'aire occupée par le bassin est perméable, 11 km² (33.3%) semi-perméable et 15 km² (45.5%) imperméable (M.A.Dergali, 1997), (Tableau 2.1).

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

Tableau 2.1 : **Caractéristiques du bassin versant de l'oued Béni Messous (ANRH, 1997).**

Surface bassin versant (km ²)	Longueur (km)	Pente (%)	Altitude		perméabilité		
			min	max	Perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	7km ² 21.2%	11km ² 33.3%	15km ² 45.5%

Dans la baie de Bou Ismail se jettent de nombreuses ravines et ravins, surtout au niveau du Sahel à cause de sa topographie. Ces ravines et ravins sont responsables de la formation des anses au niveau de la baie.

II. Conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismail

II.1. Climat

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population ...etc. Du fait de sa proximité de la mer méditerranéenne, la baie de Bou- Ismail est caractérisée par un climat sub-humide, un hiver humide et un été chaud et sec (CNDPA, 2005).

II.2. Vents

Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou Ismail est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance :

- Des vents d'Ouest en Hiver et Printemps induisant des houles de grandes amplitudes, d'une vitesse moyenne de 2m/s.
- Des vents de l'Est en Été et début Automne avec des faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieure de 2m/s et peuvent être très violents de 15 à 20m/s durant 3 jours consécutifs (Asso, 1982 in Zeghdoudi, 2006).

II.3. Température et précipitations

La température de l'eau est un facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution, géographique des espèces marines.

Elle détermine les périodes de migrations et de reproduction. Il existe deux périodes durant l'année :

- Période chaude (Avril-Octobre), elle se caractérise par des faibles précipitations et une moyenne thermique de 23°C.
- Période froide (Novembre-mars), elle se caractérise par des précipitations ayant une moyenne saisonnière de 89.49 mm et une moyenne thermique de 15°C (Korichi, 1988).

Tableau 2.2 : Températures mensuelles moyennes de la baie de Bou Ismail pour la période 1976 – 2005 (ONM : Office national de la météorologie).

Mois		Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T(C°)	Min	5.5	5.9	7.1	8.8	12.3	16.1	18.9	19.8	17.6	14.2	9.8	7.2
Moye	Max	16.7	17.4	19.2	20.9	23.9	28.2	31.2	32.2	29.6	25.9	20.8	17.9

II.4. Pluviométrie

La zone d'étude fait partie du bassin méditerranéen connu par deux saisons bien distinctes :

- Une saison pluvieuse durant le mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- Une saison sèche de Mai à Septembre avec des pluies très rares dues aux orages notamment en Août (Annane et al, 2007).

III. Facteurs hydrodynamiques

La connaissance des actions hydrodynamiques marines est fondamentale pour l'étude de l'évolution des formes côtières, elle doit être à la base de toute opération d'aménagement littoral.

- **Les courants :**

La baie de Bou Ismail est soumise à un courant générale de l'ouest vers l'est, entre en surface par le détroit de Gibraltar, il résulte d'un écoulement d'eau atlantique pouvant atteindre selon (Millots 1987) 0.5 à 0.7 m/s, passant à quelques milles au large des côtes (in Dergali. M.A, 1997).

Les courants génèrent par les vagues apparaissent à proximité des côtes, essentiellement au niveau de leur déferlement. Le mouvement de va et vient engendrer produit un effet de cisaillement sur le fond qui entraîne les particules.

- **Les courants de dérive littorale**

De nombreux auteurs (Eckman, 1923 ; Munk, 1949 ; Shepard et Inman, 1950) ont noté que les vents et les houles interviennent dans la création des courants parallèles à la cote ; par conséquent dans le transit littoral des sédiments selon les travaux de Laras la dérive littorale n'est présente que lorsque la houle atteint la cote avec une certaine obliquité, la vitesse de courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

La dérive littorale a pour conséquence de modifier la morphologie littorale Et d'alimenter la plage par des sédiments venant d'autres régions. (In Dergali.M.A, 1997).

- **Les houles**

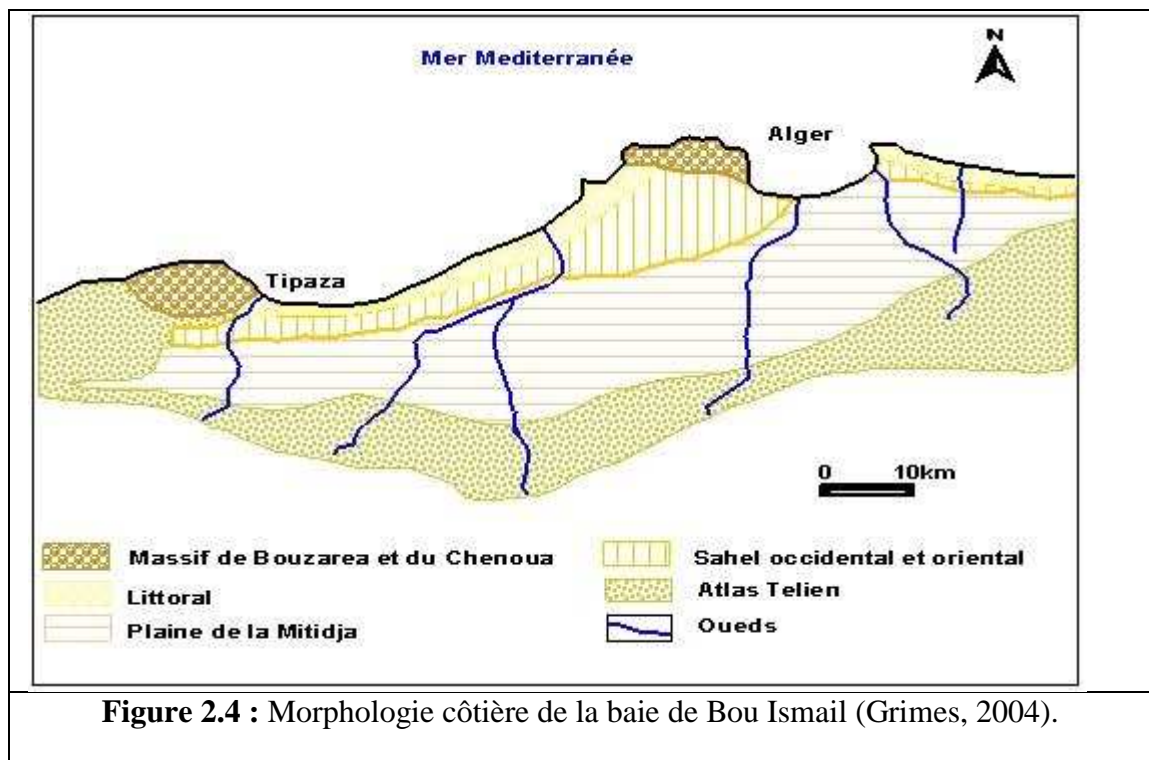
D'une manière générale la houle est définie comme une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau et dépend du régime des vents.

- **Les houles hivernales** : sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin (Kadari-Meziane, 1994).
- **Les houles estivales** : sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la cote avec transfert des sédiments qui engraisent le rivage (Braik ; 1989) (in Aouidad 1997).

IV. Géomorphologie de la baie

La baie de Bou Ismail est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes (Grimes ; 2004).

- **Les falaises** : La falaise la plus importante dans la baie de Bou Ismail est celle de Mont Chenoua qui est située à l'Ouest de la commune du chef lieu de Tipaza.
- **Les côtes rocheuses** : Il s'agit de formes rocheuses quelconques localisées entre Tipaza (les différentes anses) et Bou Haroun (rocher plat).
- **Les plages** : La baie de Bou Ismail comprend 16 plages dont la plus développée est celle de Colonel Abbas (située dans la commune de Douaouda) qui s'étale sur une longueur de 3.000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyen et de galets.
- **Les dunes** : C'est des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation (Figure 4).



V. Sources de pollution dans la baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail est caractérisée par une agriculture bien développée et plus fertile utilisant des pesticides polluants les nappes phréatiques par infiltration au niveau de la vallée de oued Damous, Messelmoun, et oued Bellah.

Ainsi, une étude menée par les services de secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres (A.N.P.E) en (Mai, 1983) in (Oueld Hocine et Hedrougue, 1993) a recensé 99 unités pour la fertilisation des sols, elles utilisent des produits phytopharmaceutiques tels que les organochlorés, engrais à base de nitrates, phosphates et potassium ou produits à base de cuivre. Les plus importantes sont les suivantes :

- Base centrale logistique de Béni Mered (rejets de cyanure, chrome, nickel et cuivre).
- Office nationale des aliments de bétail d'Attatba.
- Unité Satti de Koléa (utilisation de 44 colorants et 22 produits chimiques).
- Unité de tissage.
- Finissage et teinturerie utilisant des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux (chrome ...etc.).

Les rejets domestiques et les rejets des complexes touristiques par ce que la baie fait parti de la zone d'expansion touristique (ZET) qui s'accroissent en période estivale, plus les nombreuses unités industrielles, tous ces rejets sont évacués directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable (Tableau 2.3).

Tableau 2.3 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (étude d'aménagement du littoral .Wilaya de Tipaza, synthèse-bilan diagnostic (2006).

Communes	Nombre de rejets	Débit (m ³ /j)	Lieu de rejet
Bou Ismail	9	4000	Mer
Bouharoun	4	320	Oued Khemisti et Mer
Khemisti	6	400	Mer
Fouka	5	3600	Oued Mazafran et Mer
Douaouda	5	1600	
Tipaza	8	7140	
Cherchell	8	3600	
Sidi Ghiles	2	480	
H.Ennous	2	160	Mer
Meselmoun	3	1100	
Gouraya	3	900	
Larhat	3	312	
Damous	3	960	
Ain Tagourait	6	320	
Total	67	24892	

L'urbanisation ou la littoralisation s'accompagnera inévitablement d'un flux supplémentaire de populations sur les zones sensibles avec les effets négatifs. En plus de ces activités, les oueds entraînent vers la mer, les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Béni Mered aux niveaux de l'oued Macta Makhoulouf qui n'est que la continuité de l'oued Béni Azza ou se déversent les eaux usées de la tannerie du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agro-alimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Béni Mered.

Les principales industries qui se trouvent dans la région de Bou Ismail sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 2.4 : Principaux industries dans la région de Bou Ismail (Aouidad ; 1997).

Industries textiles	Cuire et peaux	Papeteries	Plastiques/Caouthax et verre
Ain Bénian (28)			Ain Bénian (03)
Douaouda (02)	Ain Bénian (01)	Fouka (01)	Bouismail (01)
Fouka (04)	Bouismail (02)	Zéralda (01)	Staoueli (03)
Bou Ismail (08)	Staoueli (01)		Fouka (02)
Bouharoun (03)			

D'après des données récentes communiquées par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme, les principales industries qui est pratiqué a l'heure actuelle :

Tableau 2.5 : Principales activités industrielles dans la baie de Bou Ismail

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
SARL RESITECK	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
ALUFER	Métallurgie	Chutes d'Aluminium et poussières de Fer
ALUMINAL		
SARL PROCHIMAL	Fabrication de produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques ; rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
PLASTRAM	Transformation Plastique	Eaux de nettoyage
PFIZER	Fabrication des produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
IMPRIMERIE SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
TONIC EMBALLAGE	Fabrication de boîte, gobelets, emballage de différentes dimensions	Rejet d'eaux usées domestiques + Chutes de cartons, papiers
TERRA CERAMIQUE	Production de céramiques et poteries	Lessivages d'argiles vers la mer
Autres unités :		
KN Mine Matelot	Eurl CCNBH	Sarl SAFCF Poterie
CPKD	La sahelienne	Sarl Fouka Emballage Touhami
ECOREP	Sarl SOAL BIC	Sarl Roxal
Sarl Irsal	Société Algérie Lumière	Sarl Castihygiene
Céréales d'or	Intrace	Céramique Hyppocampe

Il faut signaler aussi que la baie a été sujette à de nombreux aménagements côtiers qui causent de notables dégâts sur les herbiers et les communautés benthiques par les remblayages incessants et l'apport de matériaux et produits artificiels. De plus, très peu inventoriée, la pollution biologique, notamment, par *Caulerpa racemosa* n'est plus à négliger puisque cette algue colonise de vastes espaces de l'étage infralittoral dans la baie.

A tous ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Pêche de Bou Haroun, Port de Pêche de Khemisti, Port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, Abris de pêche d'El-Djamila, Port de plaisance de Sidi Fredj, Port de plaisance de Palm Beach (Figure 2.5).

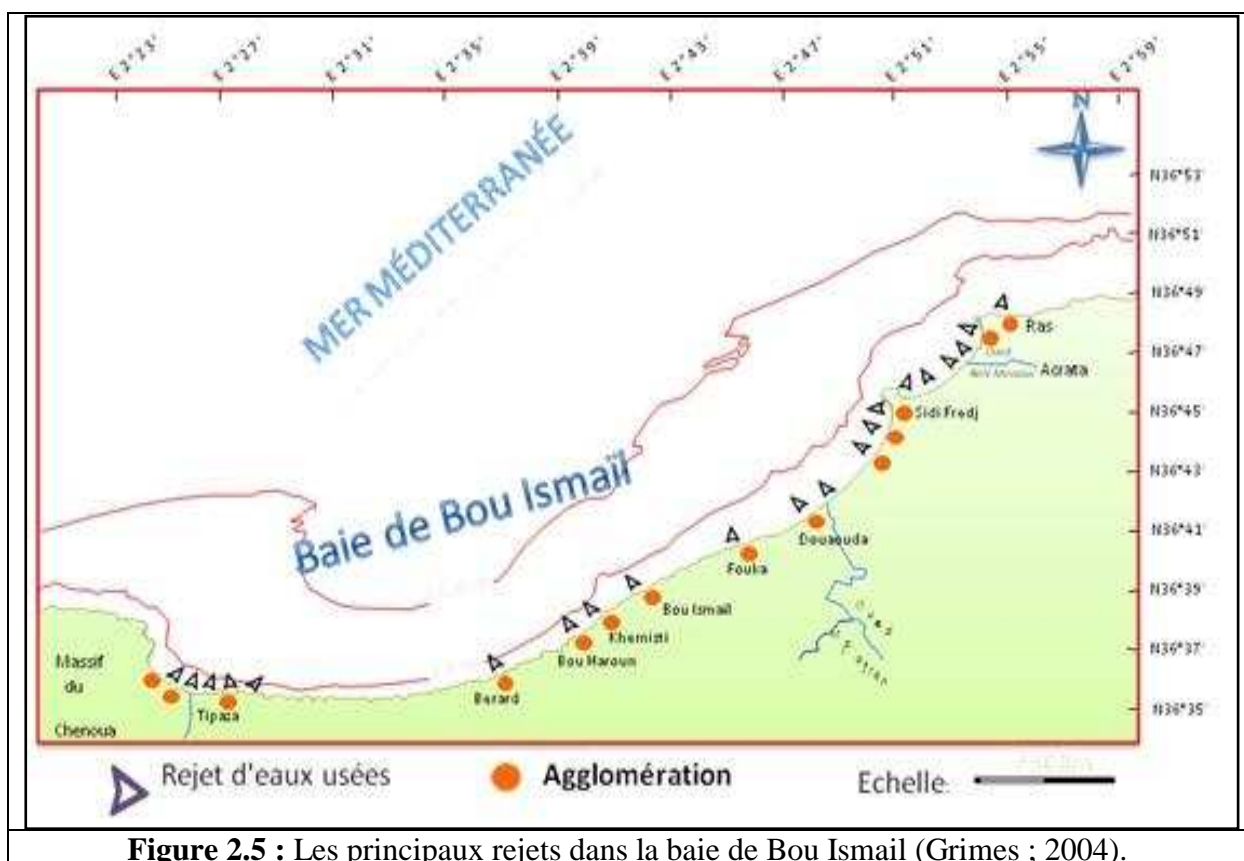


Figure 2.5 : Les principaux rejets dans la baie de Bou Ismail (Grimes ; 2004).

Les différentes pressions exercées sur les zones de prélèvement sont synthétisées dans un tableau récapitulatif (Tableau 2.6, annexe).

I. Choix et localisation des stations

Dans le but de suivre l'état de la qualité des eaux de mer dans la baie 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 14 stations au total ont été élaborées. 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 :

Date	Nombre de stations	Auteur
Mai 1997	28	(Brahmia et al.,1997)
Février, Décembre 2003	8	(Boulahtid et al, 2005)
Février, Mai, Juillet 2004	8	(Boulahtid et al, 2005)
Juin 2010	9	(Djerrad., 2010)
Mai 2012	14	(Amrouche et Khechni. 2012)
Juillet 2012	3	(Amrouche et Khechni. 2012)

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. 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 et la conductivité) a été réalisée sur le terrain, à l'aide de la valise multi-paramètres.

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. Une fois le flacon est rempli, il est directement caché dans un sachet noir, à l'abri de la lumière. Par la suite, il est conservé dans une glacière isotherme, avec « packs » de froid assurant une température inférieure à 6°C, pendant son transport jusqu'au laboratoire. Ensuite il est conservé dans un congélateur pour une analyse ultérieure.

II.4. Les sites de prélèvement

Les stations de prélèvement sont localisées à proximité des estuaires, dans des zones qui sont réputées sensibles sous l'angle des apports en éléments nutritifs et de leurs effets, ou bien dans des stations considérées comme références.

III. Localisation des stations de prélèvement

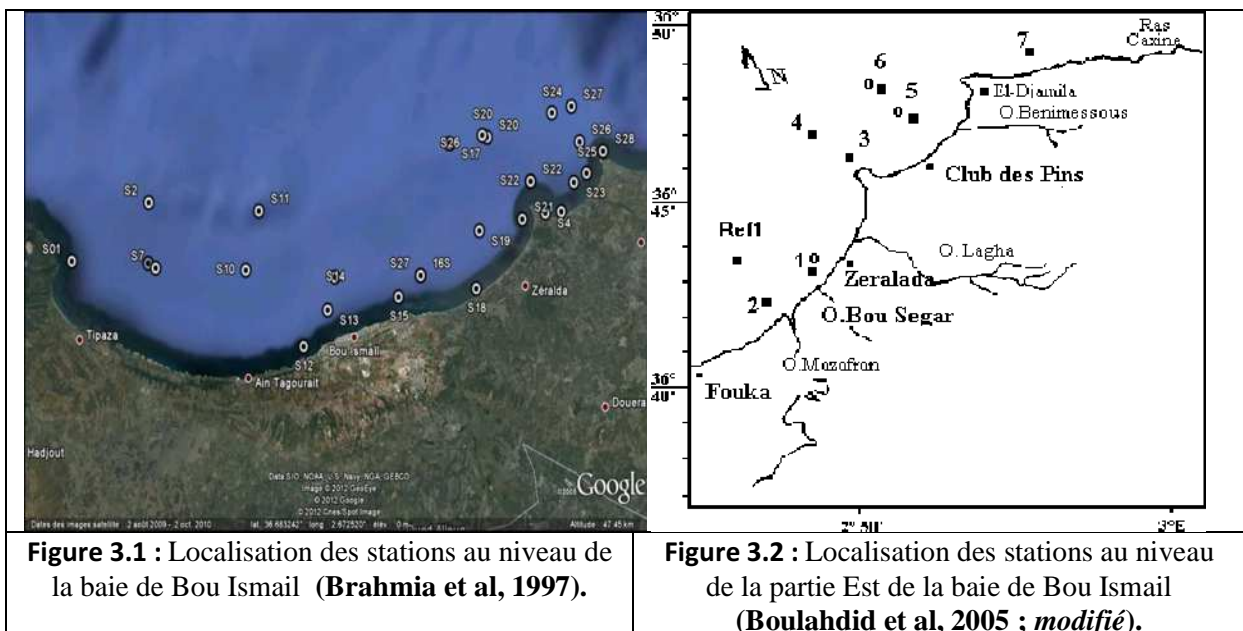


Figure 3.1 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Brahmia et al, 1997).

Figure 3.2 : Localisation des stations au niveau de la partie Est de la baie de Bou Ismail (Boulahdid et al, 2005 ; modifié).



Figure 3.3 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Djerrad C et al, 2010)

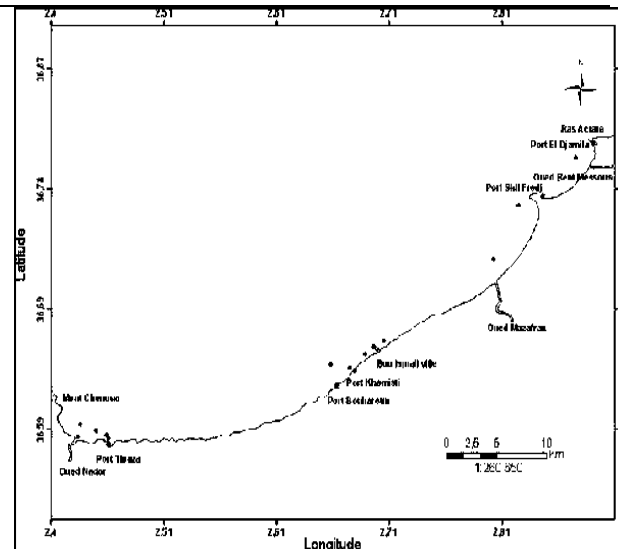


Figure 3.4 : Localisation des stations au niveau de la baie de Bou Ismail (Amrouche et Khechni, 2012)

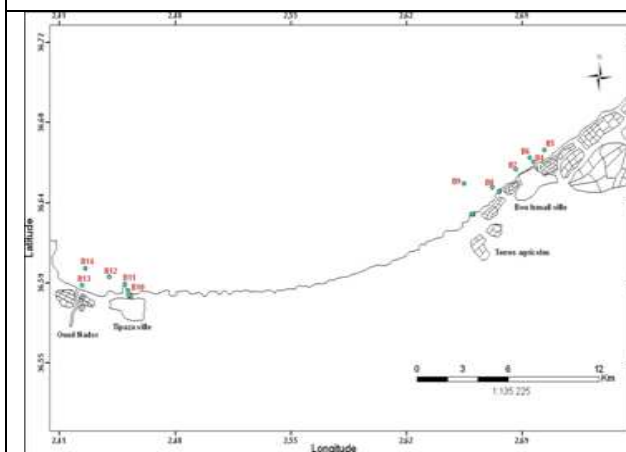


Figure 3.5 : Localisation des stations au niveau de la partie Ouest de la baie de Bou Ismail (Amrouche et Khechni, 2012).

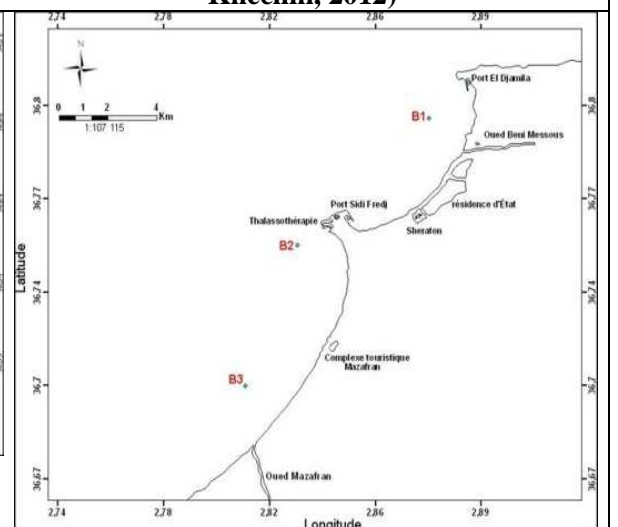


Figure 3.6 : Localisation des stations au niveau de la partie Est de la baie de Bou Ismail (Amrouche et Khechni, 2012).

Le suivi des paramètres physico-chimiques concerne les stations de l'ensemble de la baie, ainsi qu'une radiale construite à partir de la zone située en face l'embouchure de l'oued Mazafran jusqu'au large de la baie, afin d'étudier la dilution des éléments nutritifs apportés par cet estuaire de la cote vers le large, mais aussi pour évaluer l'ampleur de l'influence continentale sur les stations qui sont éloignées de la cote (Figure 3.7).

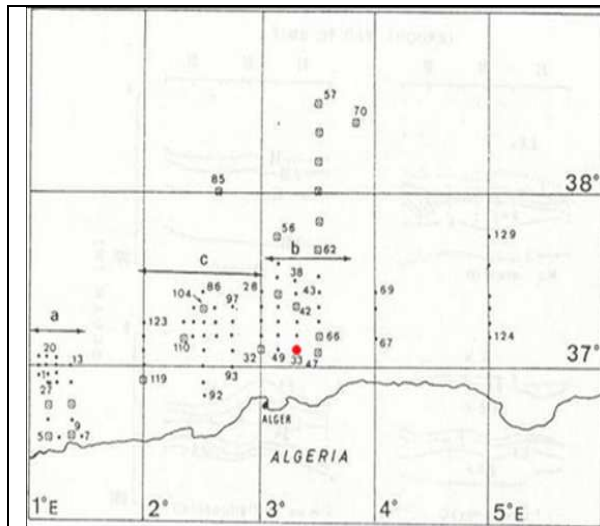


Figure 3.8 : Localisation des stations dans les eaux du large de la baie de Bou Ismail (RAIMBAULT et al., 1991)

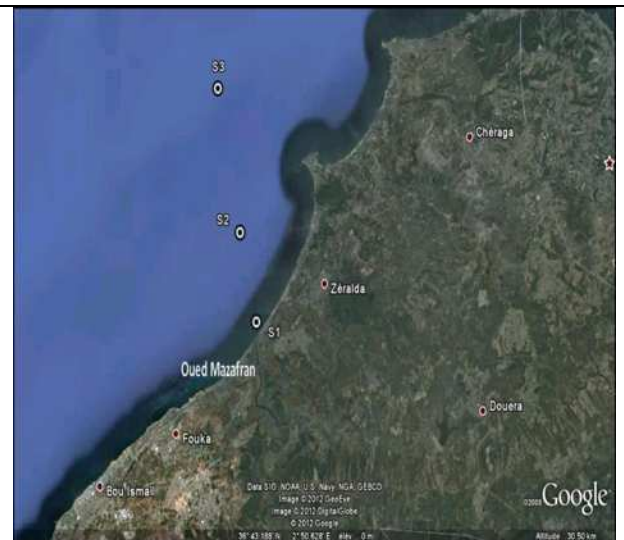


Figure 3.7 : Plan de situation des stations de la radiale en face l'Oued Mazafran.

Tableau 3.2 : Coordonnées des stations sur les trois radiales

Stations	Latitude	Longitude
S1	35,705	2,805
S2	36,738	2,796
S3	36,792	2,784

IV. Paramètres étudiés et analyses durant la campagne de Mai 2012

Des valises multi-paramètres nous ont permis de mesurer les paramètres physico-chimiques de l'eau *in-situ*. 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. Température

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

IV.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**actical **S**alinity **U**nit).

IV.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**.

V. Analyse chimique des sels nutritifs

V.1. Méthode d'analyse

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SiO_2) 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 , ensuite ils sont remplis dans des tubes de 10ml et sont installés dans un porte tube de l'appareil, 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.

V.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'adsorption 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 transmises (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.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, béccher et la hôte.
- Seringue et filtres millipores membranes.

V.4. 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 (**annexe, Tableau 3.2**). 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.4. 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 (**annexe**).

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 $y = 367,1 x - 18,99$

$R^2 (= 0,998)$ est le coefficient de corrélation du « lissage » par une droite (Figure 3.9). La loi de B er Lambert est v erifi e jusqu'à plus de 10 $\mu\text{mol/l}$.

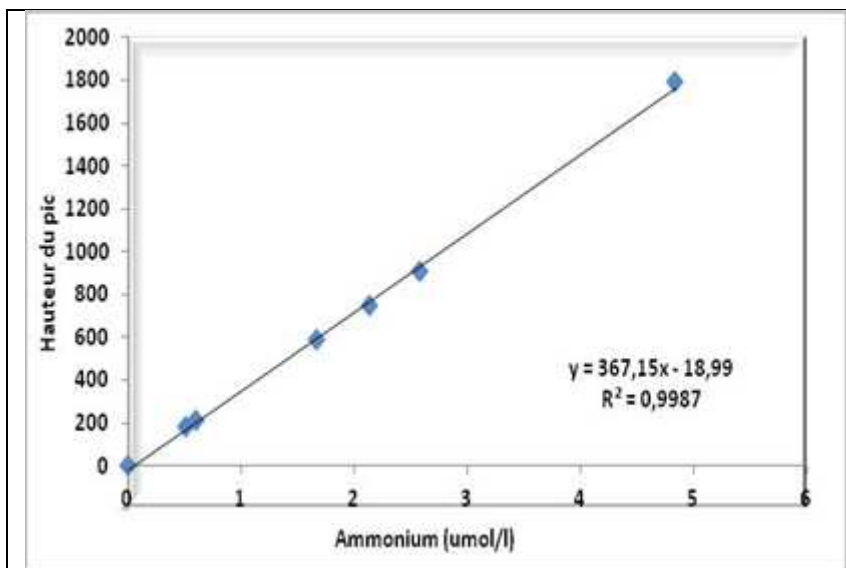


Figure 3.9 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium

V.4. 2. Principe de dosage des Nitrates et Nitrites (NO_3^- , NO_2^-)

La méthode est basée sur la réduction des nitrates en nitrites par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traitée 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 diazo ique par réaction avec la sulfanilamide en milieu acide ($\text{pH} < 2$). Ce composé formera ensuite, en présence de N-naphtylethylene di-amine, un composé azo ique de couleur rosée absorbant un maximum de lumière à 540 nm (SKALAR ,1998).

a) Préparation des réactifs et des standards (annexe).

b) Activation de la colonne réductrice de Cadmium (annexe).

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 : $y = 145,3x + 3,358$ avec $R^2 = 0,999$ (Figure 3.17).

Pour les nitrites : $y = 248,9x + 0,972$ avec $R^2 = 0,999$ (Figure 3.18).

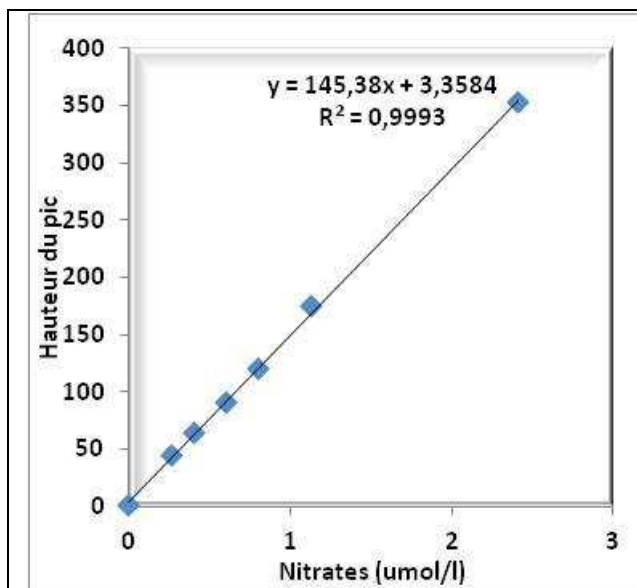


Figure 3.10 : Courbe d'étalonnage des nitrates

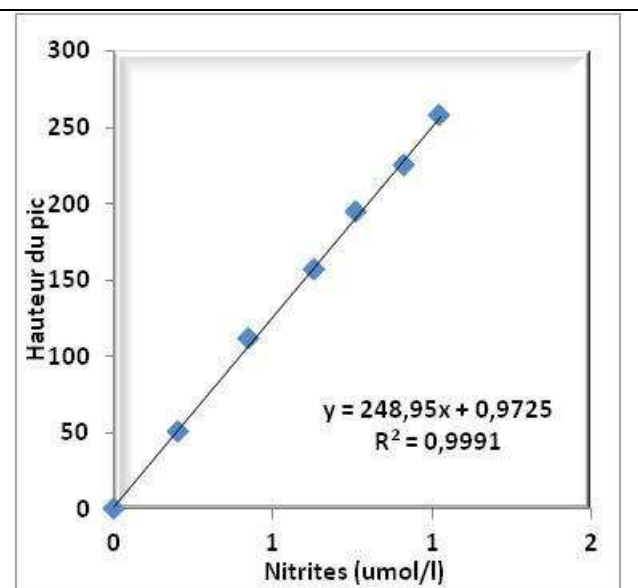


Figure 3.11 : Courbe d'étalonnage des nitrites

V.4. 3. Principe du dosage des Orthophosphates (PO₄³⁻)

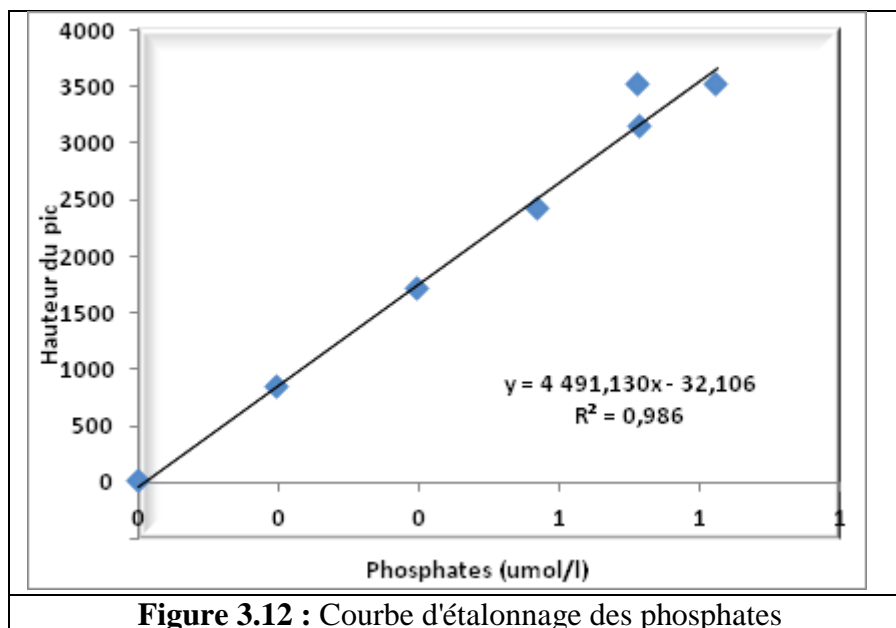
Sa méthode d'analyse est la colorimétrie du bleu phosphomolybdique, qui est basée sur la réaction de **Deniges** (1920) selon la méthode de **Murphy & Reily** (1962) (in Aminot et Kérouel, 2004). Cette méthode est utilisée et appliquée à l'eau de mer avec une concentration en orthophosphates allant de 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 Orthophosphates (PO_4^{3-}) (annexe).**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 $y = 4491,1 - 32,106x$, avec $R^2 = 0,986$ (Figure 3.12).

**V.4. 4. Principe du dosage des silicates (SiO_2)**

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 coloré en bleu absorbant à 810 nm. L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates.

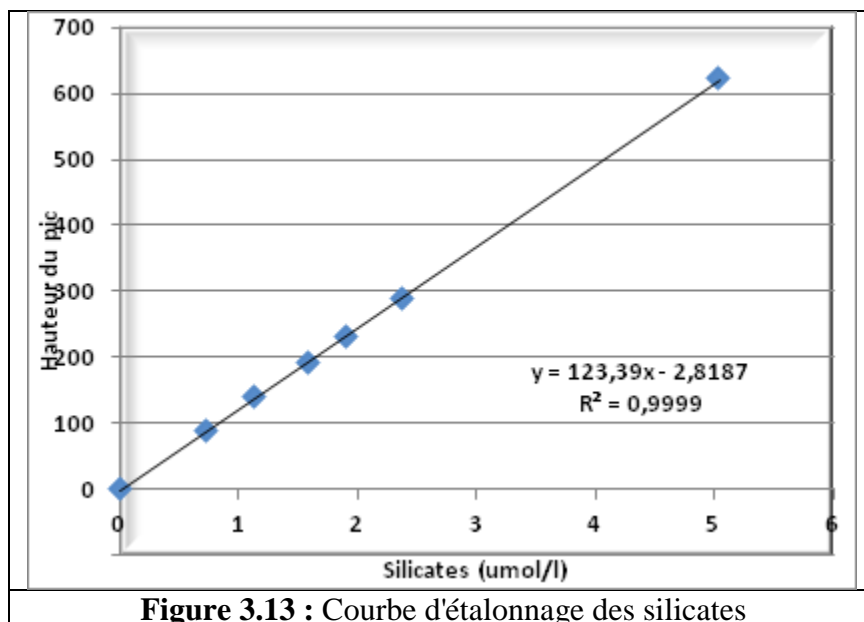
a) Préparation des réactifs et des standards (annexe).**b) Mode opératoire**

- 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 préparé à chaque analyse (quotidiennement).

La relation est $y = 66,79x + 0,113$ avec $R^2 = 1$ (Figure 3.13).



Introduction

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.

-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 de principales caractéristiques hydrodynamiques et des niveaux d'enrichissement en éléments nutritifs découleront progressivement de l'ensemble des données.

-On essayera ensuite de définir des corrélations entre paramètres, deux à deux. De plus, on établira des graphiques de type boursier et autres, afin de suivre l'évolution d'un paramètre en fonction du temps.

-Une discussion assez succincte permettra la jonction entre tous les phénomènes décèlés et sera clôturée par une conclusion générale.

-Enfin, quelques recommandations pratiques seront énumérées.

I. Hydrologie de la Baie de Bou Ismail

I.1. Suivi du diagramme Température-Salinité

En Mai 1997, les valeurs de salinité varient très peu entre les stations, elles sont relativement moyennes, ce qui correspond aux remontées des courants d'origine atlantique ($36,5 < S < 38,3$ p.s.u) qui font partie des 3 types de masse d'eaux en Méditerranée. (Bachari, 2010)

L'ensemble « **a** » caractérise les eaux profondes ayant des salinités élevées. (**Figure : 4.1, annexe**)

Dans les eaux profondes, surtout du côté du large, les valeurs de la salinité sont élevées. Elles ne sont ni typiquement méditerranéennes ni typiquement du courant algérien. Vraisemblablement, elles résultent de leur mélange (Boulaïdid et al, 2003)

L'autre ensemble « **b** » caractérise les eaux de surface ayant une salinité typiquement méditerranéenne.

Alors que l'ensemble « **c** » regroupe les stations qui sont proches de l'oued Mazafran, ces dernières ont une faible salinité, et cela renseigne sur l'empreinte de l'eau continentale douce.

I.1.1. Suivi du diagramme T-S dans la partie Est de la Baie de Bou Ismail

En Mai 1997, l'intervalle de variation de la salinité dans eaux cotières est de (36,51-36,81 psu), subissant l'influence des eaux continentales. Alors que celui des stations éloignées de la côte est de (37,33-37,62 psu). (**Figure : 4.2, annexe**)

Nous avons une stratification et une hétérogénéité verticale de la masse d'eau, on constate l'existence d'un apport d'eau domestique et industrielle qui a un impact sur les eaux superficielles et non sur les eaux profondes.

En période hivernale (Février 2003), la station de surface située en face l'embouchure de l'oued Mazafran présente une salinité inférieure à 36,4 p.s.u (**Figure : 4.3, annexe**).

La nappe de dilution des eaux atlantiques modifiées est beaucoup plus nette et prononcée à proximité de cet estuaire (34 p.s.u).

Les autres stations éloignées (surface et fond) présentent des salinités supérieures à 36,4 p.s.u suggérant la présence des eaux atlantiques légèrement mélangées en surface voire typiquement atlantiques au fond ensemble (**a**).

En Décembre 2003 (**Figure : 4.4, annexe**), le diagramme laisse apparaître deux nuages de points traduisant la présence de deux masses d'eaux. La première masse (**a**) de salinité élevée regroupe les eaux de surface et de fond des stations éloignées de la côte qui sont caractérisées par la salinité élevée et la faible température.

La salinité élevée (>36,7 p.s.u) renseigne sur la présence du courant algérien (Millot, 1985) d'origine atlantique de surface (<37 p.s.u selon La Violette, 1986).

La seconde masse d'eau (**b**) regroupe les stations situées en face des oueds (Mazafran et Beni Messous) avec des salinités comprises entre 36,09 et 36,54 p.s.u, mais de faible différence de température liée au brassage des eaux.

Les salinités relativement faible sont liées à la dilution en surface et au mélange des eaux atlantiques modifiées "MAW" venant du large et les apports d'eaux continentales locales.

En Février 2004 (**Figure : 4.5, annexe**), le diagramme salinité-température se distingue de celui de mois de décembre par le refroidissement des eaux, l'intensité du mélange ensemble (**a**) et l'ampleur de dilution ensemble (**b**) des eaux d'origine atlantique par les eaux continentales en cette période hivernale marquée par la tempête du sud et les vents violents NE et NW.

En printemps Mai 2004, on distingue deux nuages de points regroupant les eaux du fond et de surface (**Figure : 4.6, annexe**). Le premier ensemble (**a**) caractérise les eaux de salinité les plus faibles (36-36,2 p.s.u) au niveau des stations proches des embouchures (Mazafran, Beni Messous) où l'influence des eaux continentales est nettement ressentie.

Le deuxième ensemble (**b**) marqué par une dilution modérée des eaux atlantiques (36,2-36,7).

En période estivale Juillet 2004, un nuage de points se distingue regroupant les eaux de salinité comprise entre 36,2 et 36,6 p.s.u traduisant l'eau "MAW" modérément mélangé (**Figure : 4.7, annexe**). Dans le nuage, on distingue les eaux froides du fond séparées des eaux de surface relativement chaudes marquant une stratification des eaux en cette période estivale. L'influence des eaux continentales est nettement observée dans l'eau de faible salinité et chaude de la station située en face l'oued Mazafran.

En Mai 2012, l'ensemble (**a**) regroupant les stations de la partie Ouest de la baie (**Figure : 4.8, annexe**) est caractérisé par une forte intensité du mélange des masses d'eaux, avec des

valeurs de température et de salinité les plus élevées, respectivement entre (18,6-21,8 °C) et (36,2-36,6 p.s.u) et une variation de ces paramètres très faible entre la surface et le fond qui est due au mélange de la masse d'eau.

Les stations de la partie Est de la baie (B1, B2 et B3) se distinguent aisément de l'ensemble (a). Les eaux froides du fond séparées des eaux de surface relativement chaudes marquent une stratification des eaux. La station B3 se situant en face de l'embouchure de l'Oued Mazafran, présente une salinité de 34,4 p.s.u en surface. Cette faible valeur peut être expliquée par l'influence des eaux douces de l'Oued provoquant la dessalure du milieu.

I.2. variation temporelle de la salinité

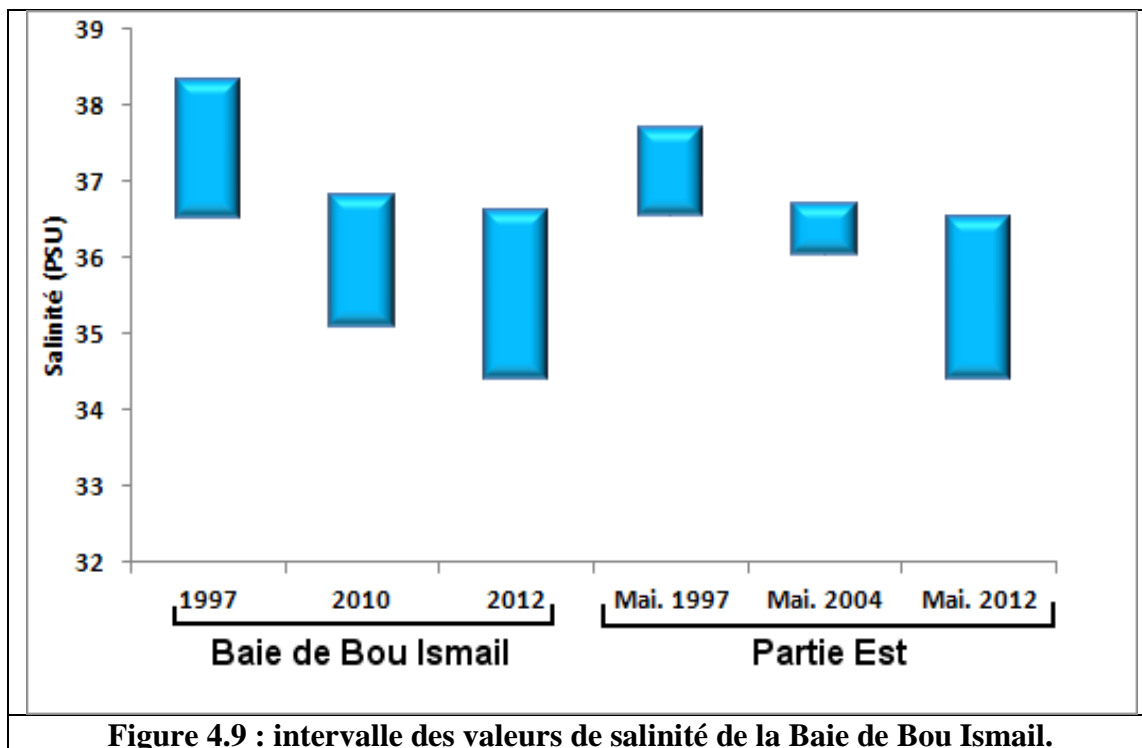


Figure 4.9 : intervalle des valeurs de salinité de la Baie de Bou Ismail.

Les valeurs de salinité mesurées dans l'ensemble des stations dans la baie de Bou Ismail en 1997 (36,51 - 38,30 p.s.u), en 2010 (35,10 - 36,80 p.s.u) et en 2012 (34,40 - 36,60 p.s.u) sont variables d'une période à une autre (Figure : 4.9).

Pour la Partie Est de la baie, l'intervalle de variation en Mai 1997 est de (36,56-37,68 p.s.u), en Mai 2004 (36,04 - 36,69 psu) et en Mai 2012 (34,4 – 36,5 p.s.u).

En Mai 2012, on enregistre les valeurs les plus faibles (34,4 p.s.u) au niveau des eaux de surface des stations situées en face Mazafran.

L'empreinte des eaux continentales est marquée par les dessalures superficielles importantes (34,4 p.s.u) observées en face de l'embouchure de l'oued et des émissaires pour les quatre périodes étudiées. Depuis 1997, l'intervalle de variation de la salinité ne cesse de diminuer. Ceci témoigne de l'ampleur de dilution des eaux continentales d'une année à une autre, jusqu'à atteindre le degré de dessalure le plus élevé en 2012.

II. Évolution temporelle de la salinité et des sels nutritifs sur la radiale de l’Oued Mazafran

La salinité est caractéristique d’un système marin côtier. En surface, elle est comprise entre 34,4 et 36,2 au niveau de la station 1, entre 36,11 et 36,14 à la station 2 et 36,5 et 36,501 à la station 3 (**Figure : 4.10**).

En profondeur, elle est comprise entre 36,07 et 37,16 au niveau de la station 1, entre 36,14 et 36,79 à la stations 2 et 36,55 et 36,95 à la station 3 (**Figure 4.11**).

Les fluctuations observées sont le reflet à la fois de conditions de prélèvements différentes (Météorologie, courantologie, débit des Oueds déversant sur la mer...Etc.) qui ne peuvent être appréhendées à cette échelle d’observation. En effet, la station S1 qui est situé directement en face l’embouchure de l’Oued Mazafran subit des fluctuations en rapport avec le débit de l’émissaire (**Figure 4.12**).

Les écarts-types et les valeurs maximales indiquent bien que cette station est enrichie par des eaux continentales (Oued Mazafran) qui augmentent les sels nutritifs (**Figures : 4.13 et 4.14**) et diminuent la salinité. Ceci explique la corrélation négative significative de la salinité avec le débit et la corrélation positive de ce dernier avec les sels nutritifs.

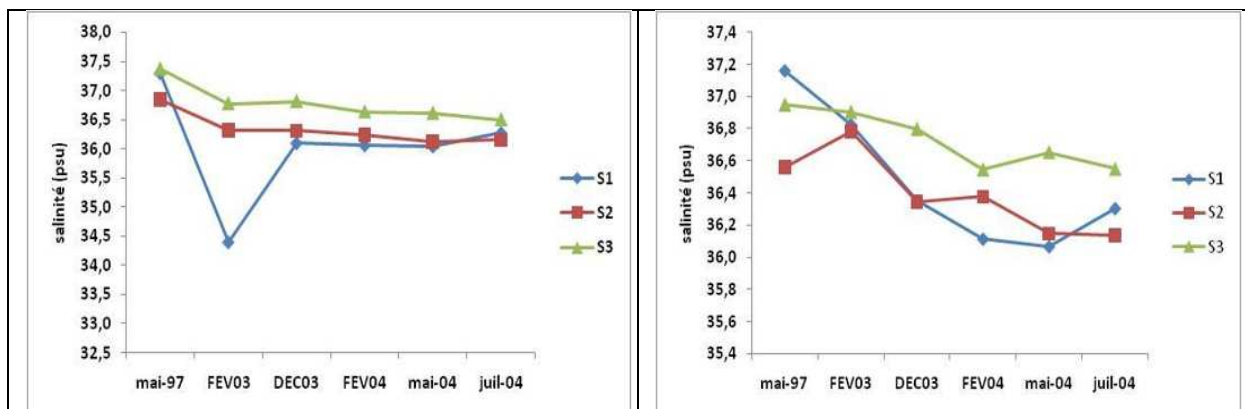


Figure 4.10: Évolution temporelle de la salinité de surface sur la radiale de l’Oued Mazafran (Mai 1997 - Jul. 2004)

Figure 4.11: Évolution temporelle de la salinité du fond sur la radiale de l’Oued Mazafran (Mai 1997 - Jul. 2004)

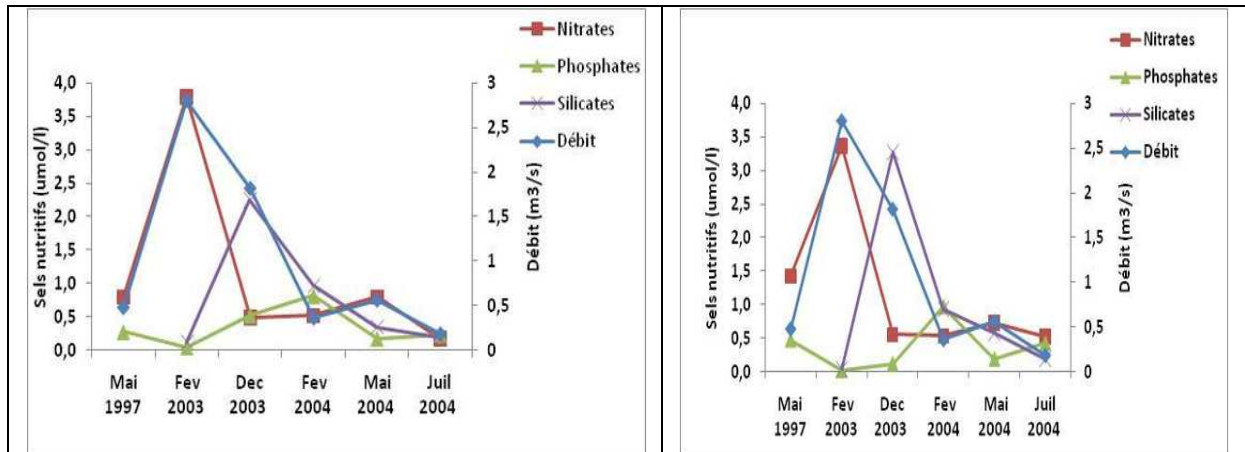


Figure 4.13 : Débits mensuels de l’oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en surface.

Figure 4.14 : Débits mensuels de l’oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en profondeur.

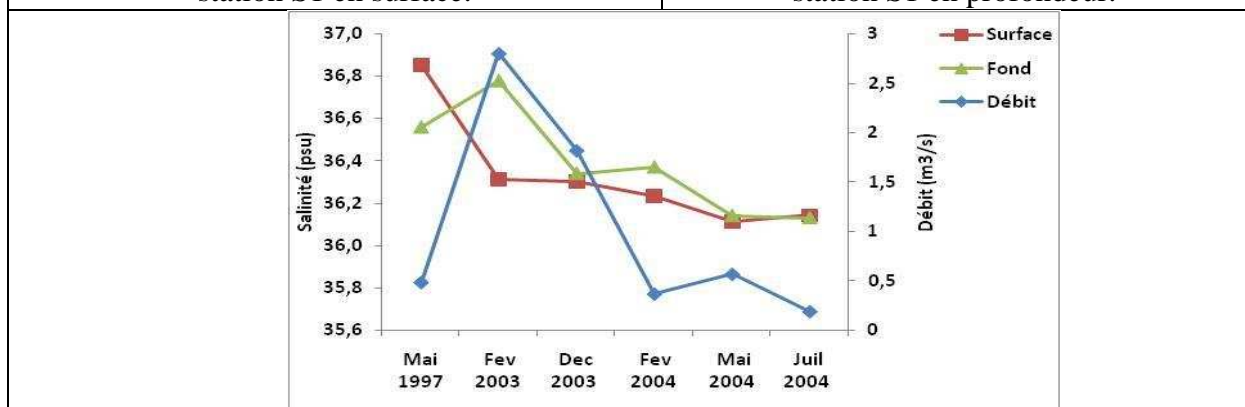


Figure 4.12 : Débits mensuels de l’oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S1.

Au niveau de la station S2, il y a toujours une la corrélation négative entre la salinité (**Figure 4.15**) et le débit et une corrélation positive de ce dernier avec les sels nutritifs (**Figures : 4.16 et 4.17**). Donc cette zone est influencée par les eaux de l’Oued Mazafran.

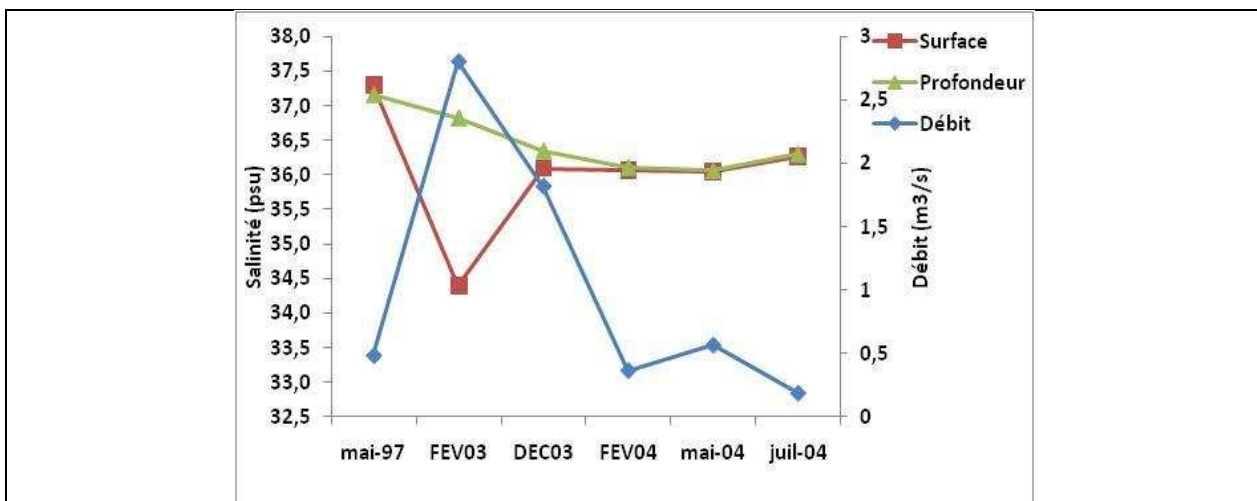


Figure 4.15 : Débits mensuels de l’oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S2.

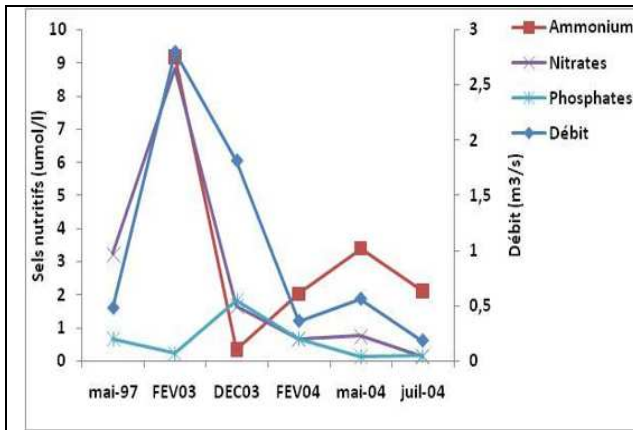


Figure 4.16 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en surface.

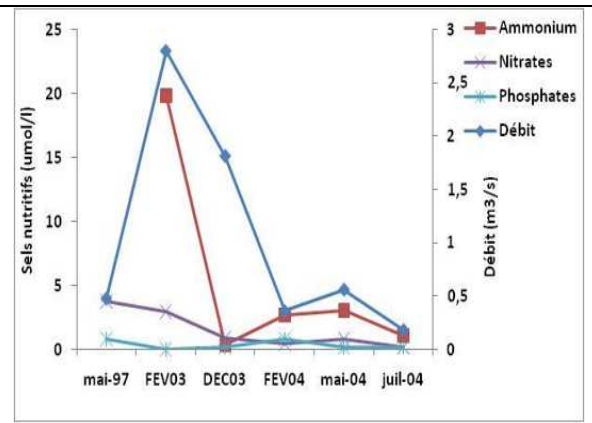


Figure 4.17 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en profondeur.

En ce qui concerne la station S3, il n'existe pas de corrélation négative entre le débit de l'Oued et la salinité du milieu (**Figure 4.18**). Pour les éléments nutritifs (**Figures : 4.19, 4.20**), la station est éloignée de la cote, leurs concentrations sont probablement liées à une autre source que l'émissaire de l'oued Mazafran, du moment où cette station soit dans une zone ouverte vers le large, soumise à un brassage important avec l'eau de mer profonde venant du large. Le mélange de MAW avec l'eau méditerranéenne (salinité > 37,5 p.s.u selon Perkins et Pistek, 1990) formant l'eau de mélange (37-37,5 p.s.u) apparaît au fond (100m) plus salée (37,25 p.s.u) et plus froide dans la station S3 (Boulahdid et al, 2005).

La distribution verticale de la salinité dans la station S3 est très voisine de celle caractérisant la masse d'eau du large (RAIMBAULT et al, 1991) (**Figures : 4.21, 4.22**).

Donc, en plus de l'action des eaux continentales sur la baie, elle est aussi soumise à l'influence des eaux du large.

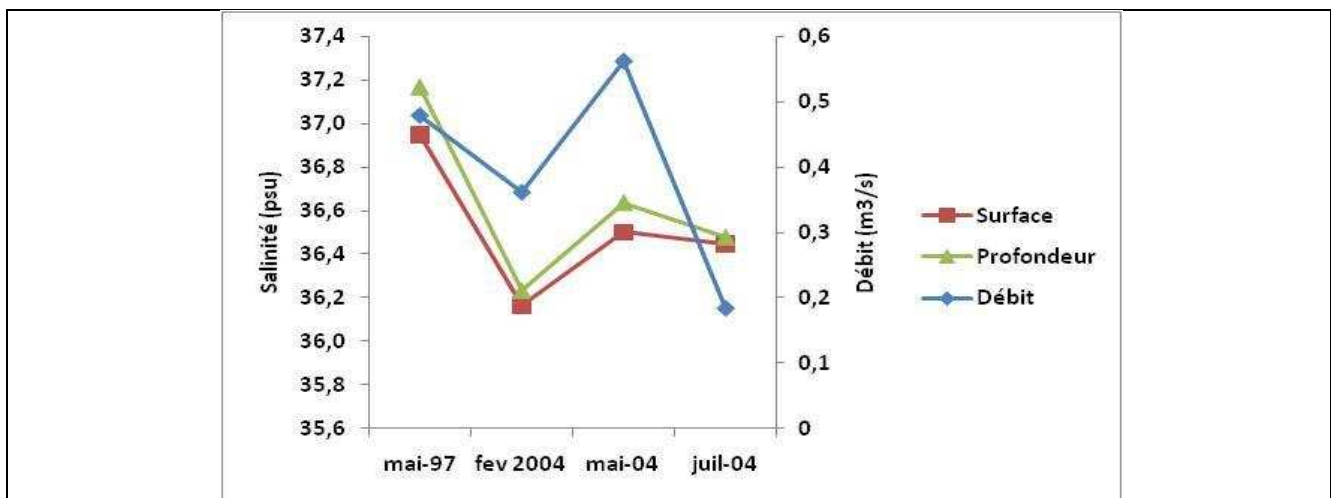


Figure 4.18 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et variations de la salinité dans la station S3.

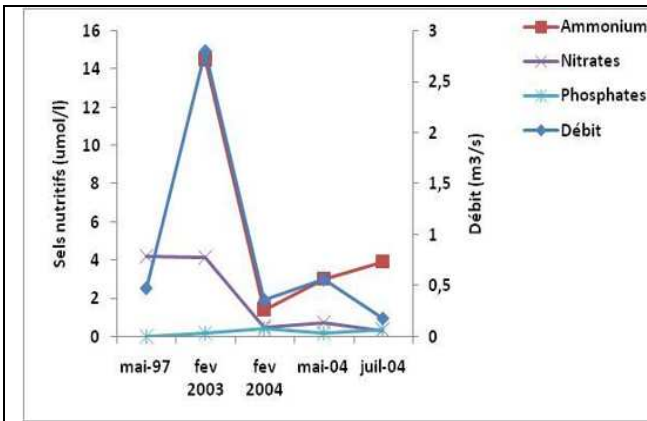


Figure 4.19 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en surface.

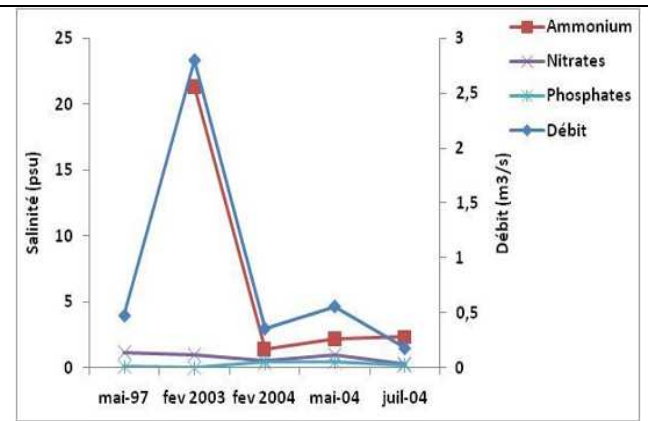


Figure 4.20 : Débits mensuels de l'oued Mazafran et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en profondeur.

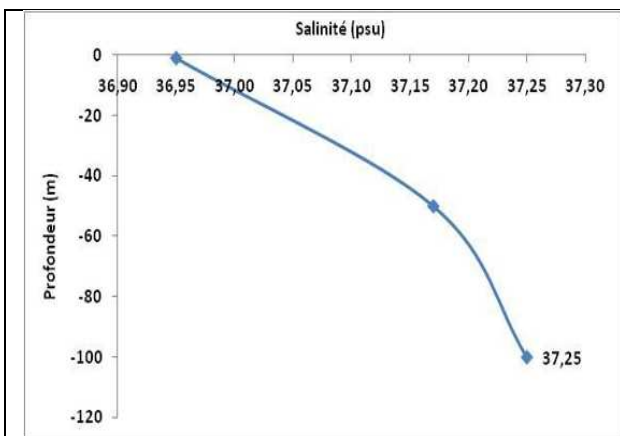


Figure 4.21 : Distribution verticale de la salinité dans la station S3 (Mail 1997).

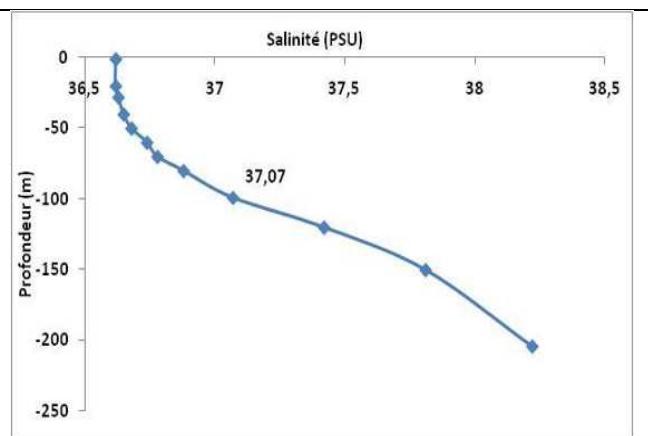


Figure 4.22 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33 (RAIMBAULT et al., 1991).

III. Évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques sur la radiale de l'oued Mazafran

III.1. Salinité

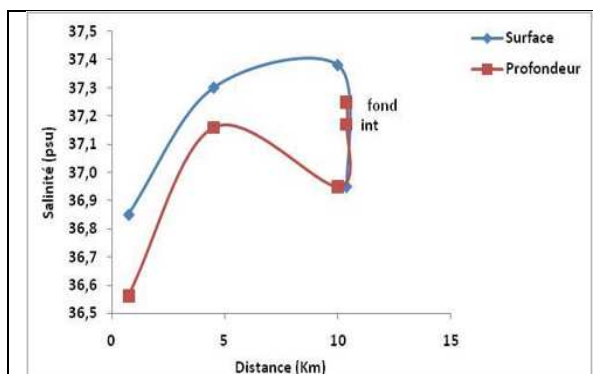


Figure 4.23: évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (Mai 97).

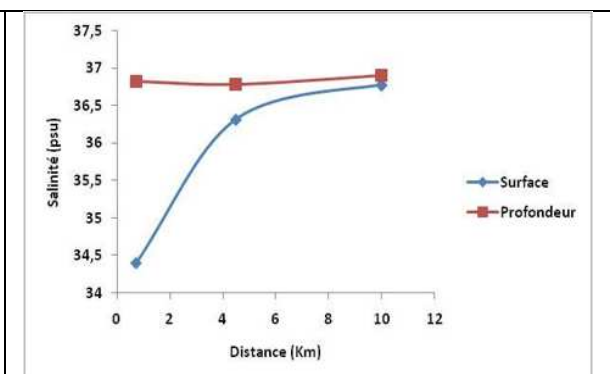
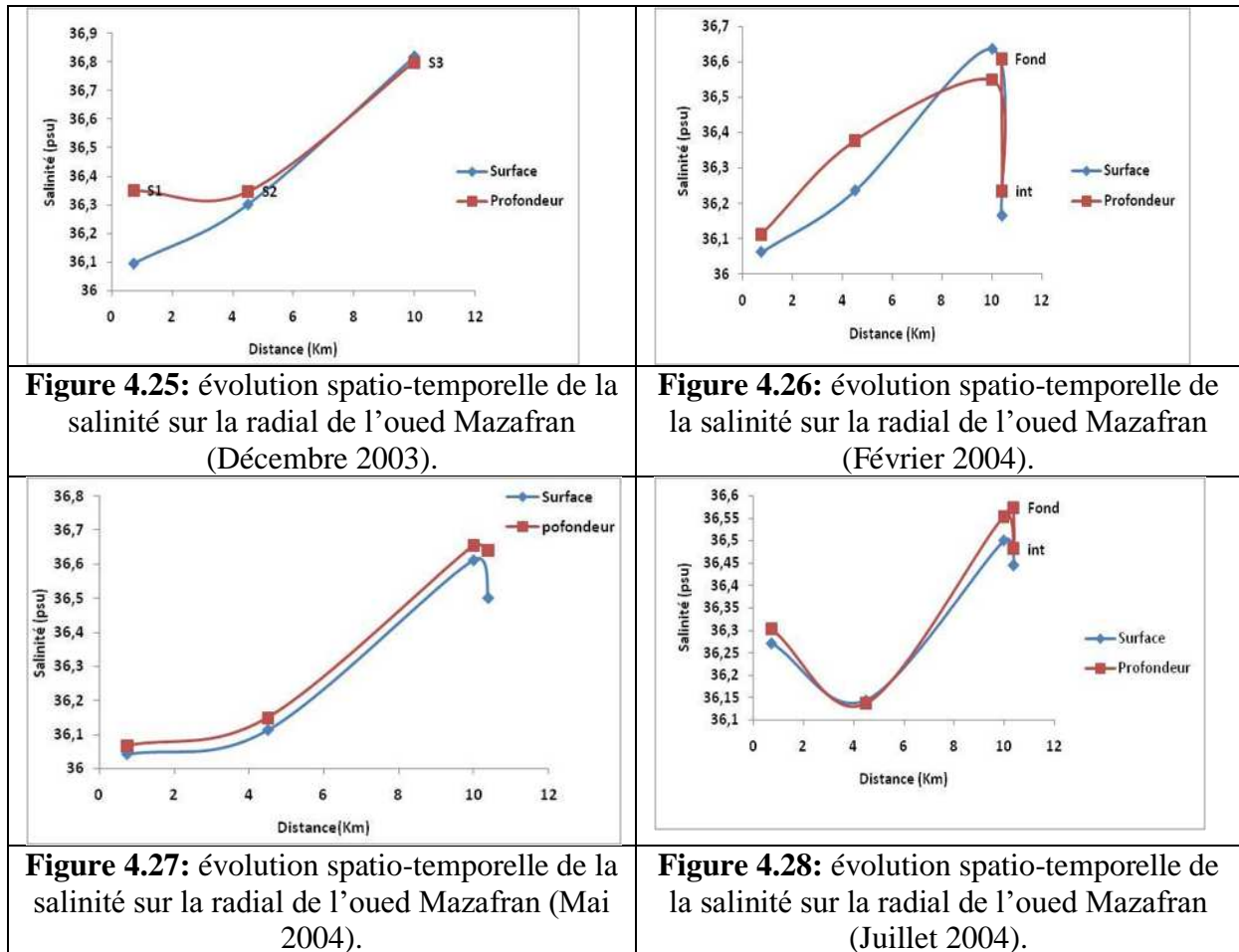


Figure 4.24 : évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radial de l'oued Mazafran (février 2003).



Pour toutes les périodes, on remarque une diminution plus ou moins régulière du large vers la cote (Figures : 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 et 4.28).

Les eaux les moins salées se trouvent au niveau de l’embouchure de l’Oued Mazafran. Ces salinités qui ne sont pas méditerranéennes renseignent sur l’apport continental en eau douce. Celle-ci, par l’effet de densité s’étale en surface en se mélangeant progressivement avec l’eau de mer.

L’augmentation de la salinité au niveau des stations situées au large de l’embouchure de l’Oued Mazafran pourrait s’expliquer par leur mélange avec les eaux Méditerranéenne de surface (S.M.W) de salinité > 37,5 p.s.u (BOULAHIDID et al, 2005), témoignant ainsi de l’influence des eaux du large sur la baie.

III.2. Sels nutritifs

L’évolution des teneurs en sels nutritifs de la cote vers le large se fait d’une manière irrégulière d’une période à une autre. La distribution des teneurs en nitrates évoque une consommation importante par le phytoplancton au niveau de la station S3 (juillet 2004) (Figures : 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 et 4.34).

L'augmentation des teneurs en sels nutritifs dans les stations situées au large de l'embouchure de l'Oued Mazafran pourraient s'expliquer par le fait que cette station soit dans une zone ouverte vers le large, qui subit le mélange de MAW avec l'eau méditerranéenne riche en éléments nutritifs, remettant en suspension des particules du fond qui relarguent à leur tour des nutriments dans le milieu.

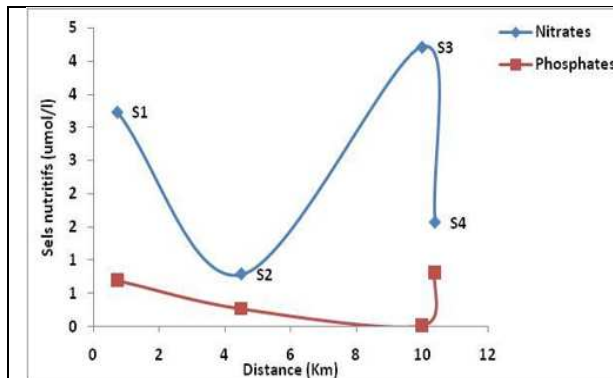


Figure 4.29 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Mai 1997) en surface.

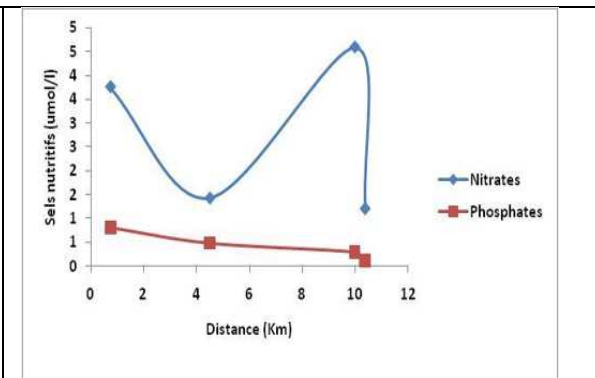


Figure 4.30 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Mai 1997) en profondeur.

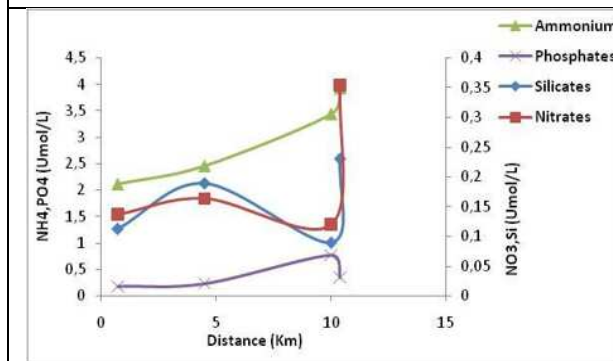


Figure 4.31 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Juillet 2004) en surface.

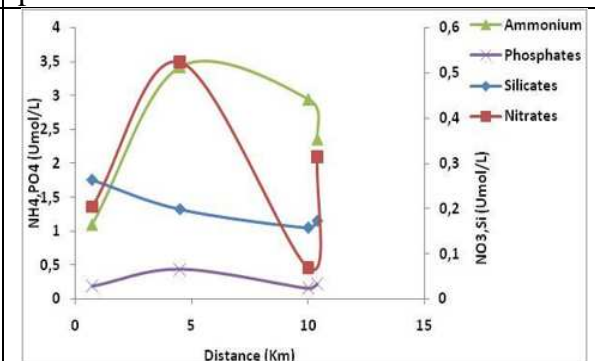


Figure 4.32 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Juillet 2004) en profondeur.

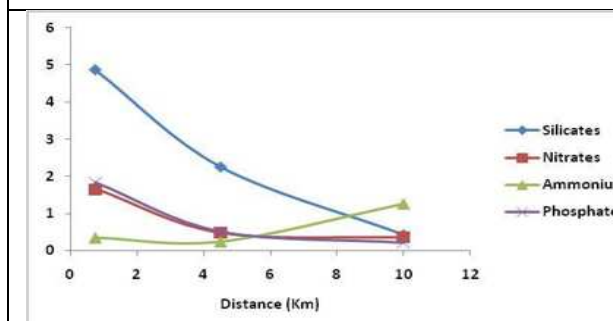


Figure 4.33 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Décembre 2003) en surface.

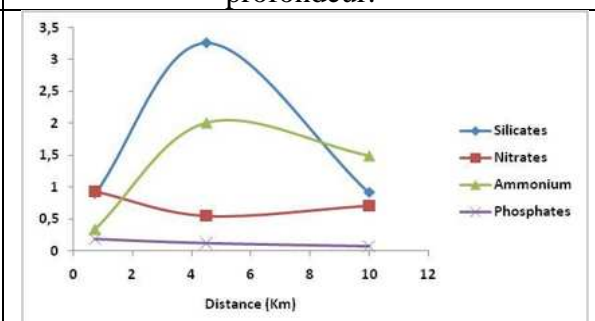


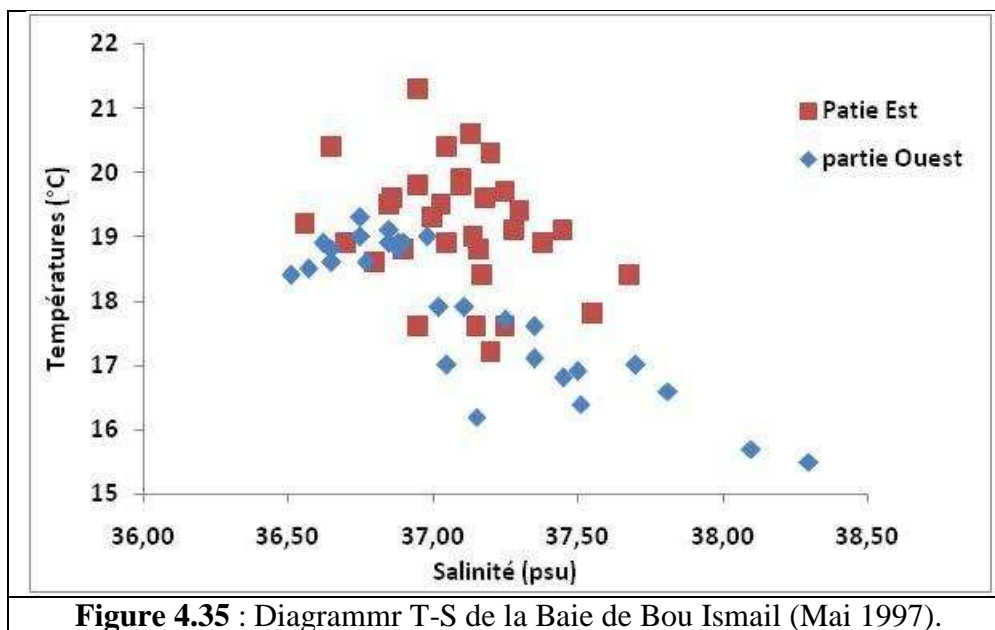
Figure 4.34 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radial de l'Oued Mazafran (Décembre 2003) en profondeur.

IV. Zonation de la baie de Bou Ismail

Durant le moi de Mai (1997 et 2012), le diagramme laisse apparaître deux nuages de points traduisant la présence de deux masses d'eaux (Partie Est et partie Ouest).

La première masse (**a**) de salinité élevée (**Figure: 4.8, annexe1**) regroupe les eaux de surface et de fond des stations éloignées de la côte qui sont caractérisées par la salinité élevée et la faible température. La salinité élevée ($>36,7$ p.s.u) renseigne sur la présence du courant algérien (Millot, 1985) d'origine atlantique de surface (<37 p.s.u selon La Violette, 1986).

La seconde masse d'eau regroupe les stations situées en face des oueds (Mazafran et Beni Messous) avec des salinités comprises entre 36,09 et 36,54 p.s.u, mais de faible différence de température liée au brassage des eaux. Les salinités relativement faible sont liées à la dilution en surface et au mélange des eaux atlantiques modifiées "MAW" venant du large et les apports d'eaux continentales locales.



IV.1. Zonation de la baie de Bou-Ismaïl en fonction de la distribution des sels dans la colonne d'eau

Les résultats antérieurs ayant pu nuancer une séparation entre l'Est et l'Ouest de la baie, des profils basés sur la distribution des éléments nutritifs en surface et en profondeurs en fonction de la latitude.

Dans la partie Est, les concentrations des nitrites les plus élevées sont enregistrées au niveau du fond. Contrairement à la partie Ouest, sauf pour la station B5 qui présente des concentrations approximativement les mêmes en surface et en profondeur (**Figures : 4.36 et 4.37**). Les fortes valeurs des nitrites en surface relevées à l'Ouest de la baie sont imputées à la remontée d'eau.

Hormis la station B1, les concentrations des phosphates dans la partie Est sont plus importantes au niveau du fond. Contrairement à l'Ouest, où les teneurs en surface sont

supérieures / relativement les même qu'en profondeur, témoignant ainsi du mélange. (Figures : 4.38 et 4.39).

Le même constat est donné pour les nitrates, les silicates et l'ammonium (Figures : 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44 et 4.45).

L'investigation des éléments nutritifs de la baie de Bou-Ismaïl laisse apparaître une distribution particulièrement zonale.

En effet, une nette distinction dans les teneurs des sels nutritifs des eaux s'établit entre les compartiments Ouest et Est de la baie.

C'est ainsi que des eaux riche en phosphates et en silicates et pauvres en nitrates sont retrouvées à l'Est de la baie ; alors que des eaux à caractéristiques opposées siègent à l'Ouest.

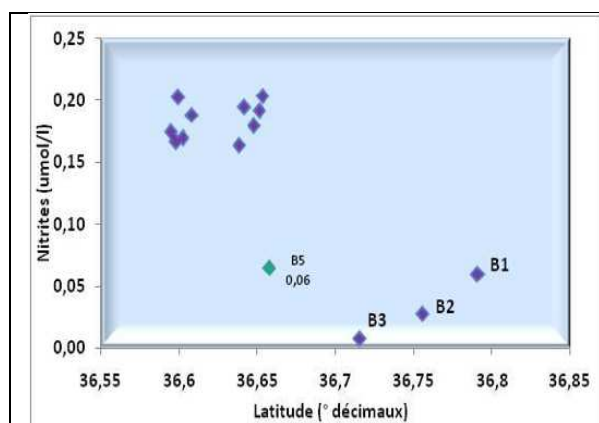


Figure 4.36 : Répartition des teneurs en nitrites en surface dans la Baie de Bou Ismaïl (2012).

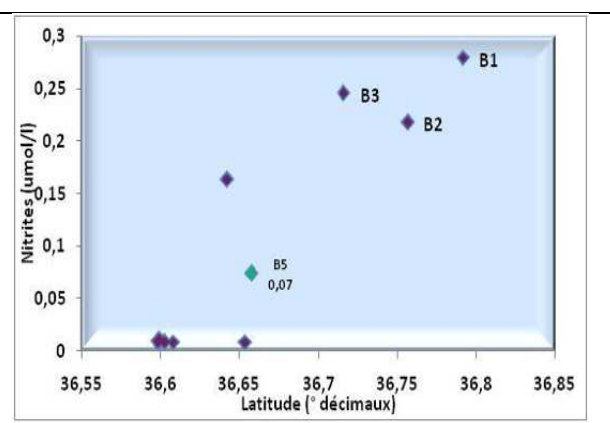


Figure 4.37 : Répartition des teneurs en nitrites en profondeur dans la Baie de Bou Ismaïl (2012).

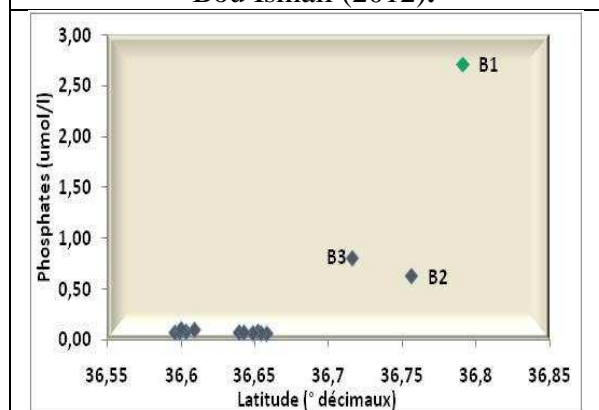


Figure 4.38 : Répartition des teneurs en phosphates en surface dans la Baie de Bou Ismaïl (2012).

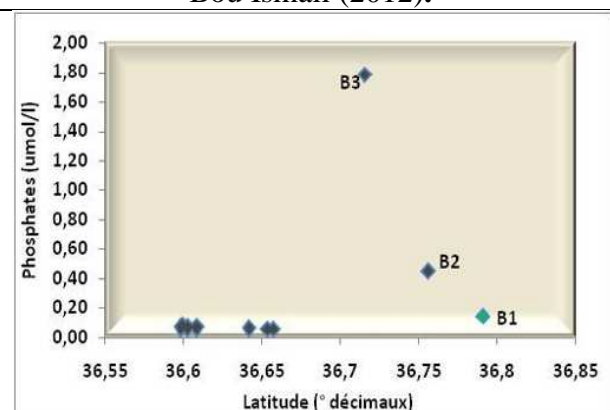


Figure 4.39 : Répartition des teneurs en phosphates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismaïl (2012).

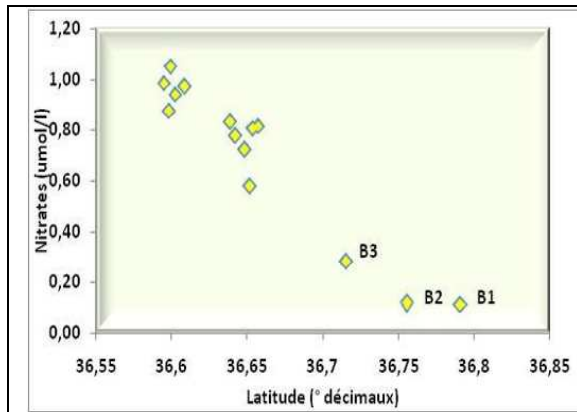


Figure 4.40 : Répartition des teneurs en nitrates en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).

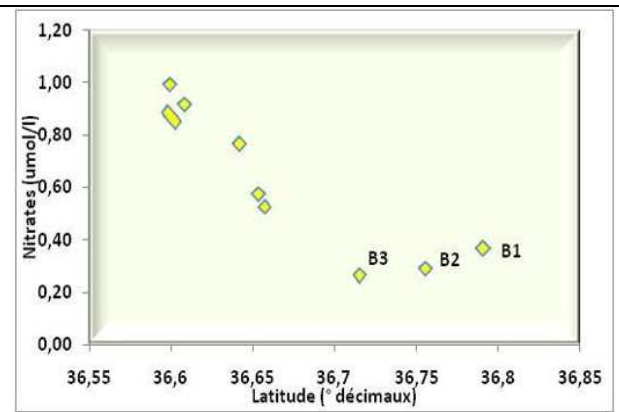


Figure 4.41 : Répartition des teneurs en nitrates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).

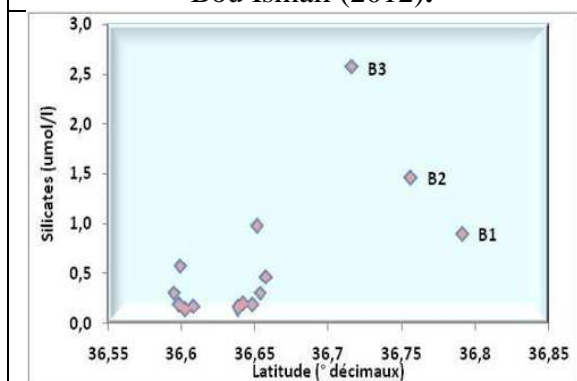


Figure 4.42 : Répartition des teneurs en silicates en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).

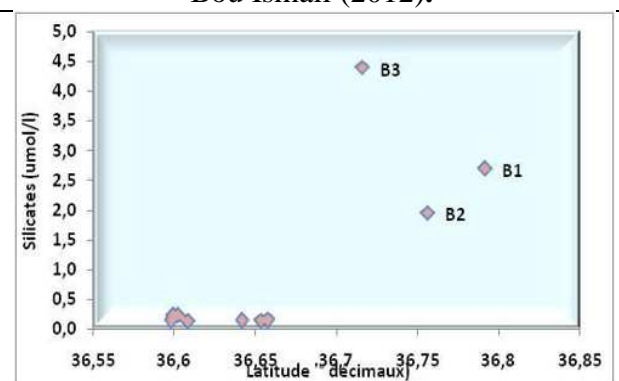


Figure 4.43 : Répartition des teneurs en silicates en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).

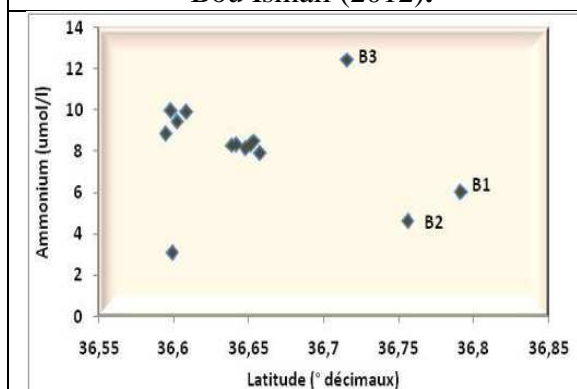


Figure 4.44 : Répartition des teneurs en Ammonium en surface dans la Baie de Bou Ismail (2012).

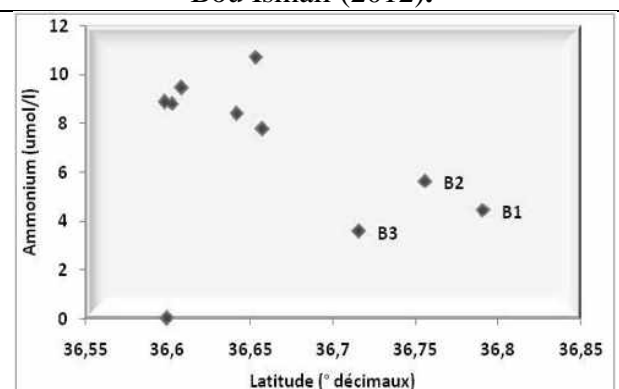


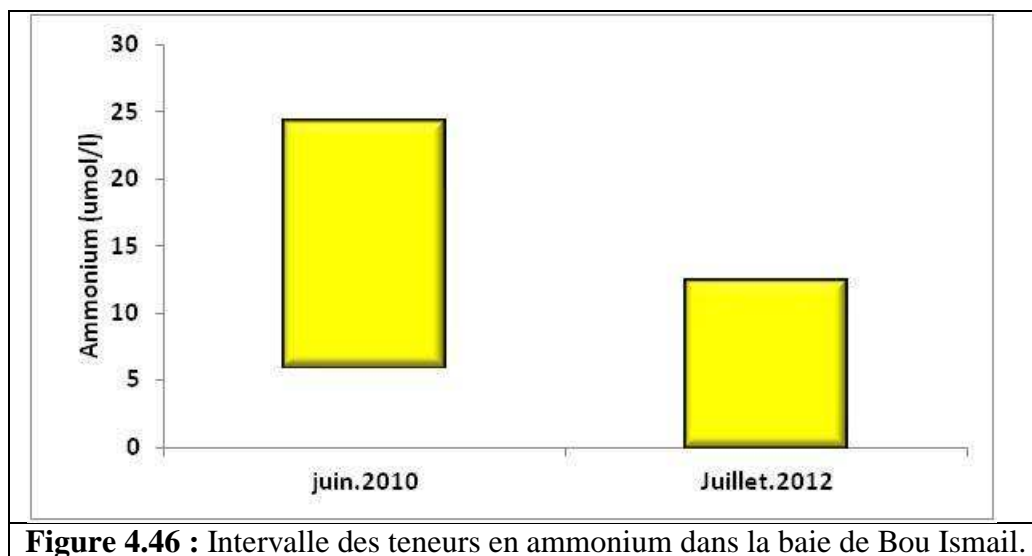
Figure 4.45 : Répartition des teneurs en Ammonium en profondeurs dans la Baie de Bou Ismail (2012).

V. Suivi des sels nutritifs dans la baie de Bou Ismail

a. Ammonium

Les concentrations en Ammonium observées en Juin 2010 (6,05 – 24,320 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet (0,024 – 12,347 $\mu\text{mol/l}$), sont variables. (**Figure 4.46**).

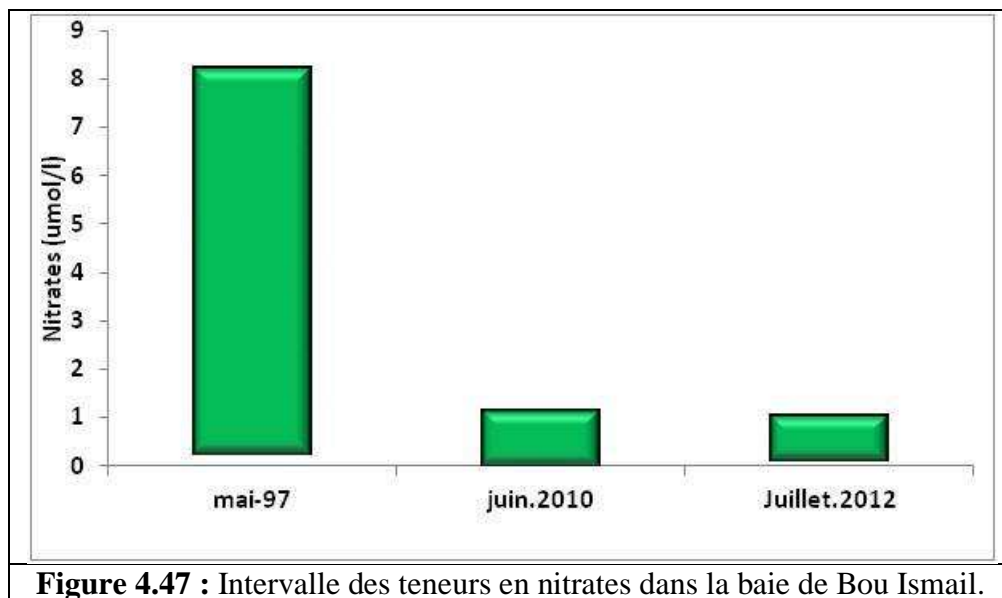
Le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, avec une valeur maximale de l'ordre de 24,32 $\mu\text{mol/l}$.



b. Nitrate

Les concentrations en nitrate observées en Mai 1997 (0,25 – 8,21 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (0,01 – 1,140 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (0,113 – 1,041 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.47**).

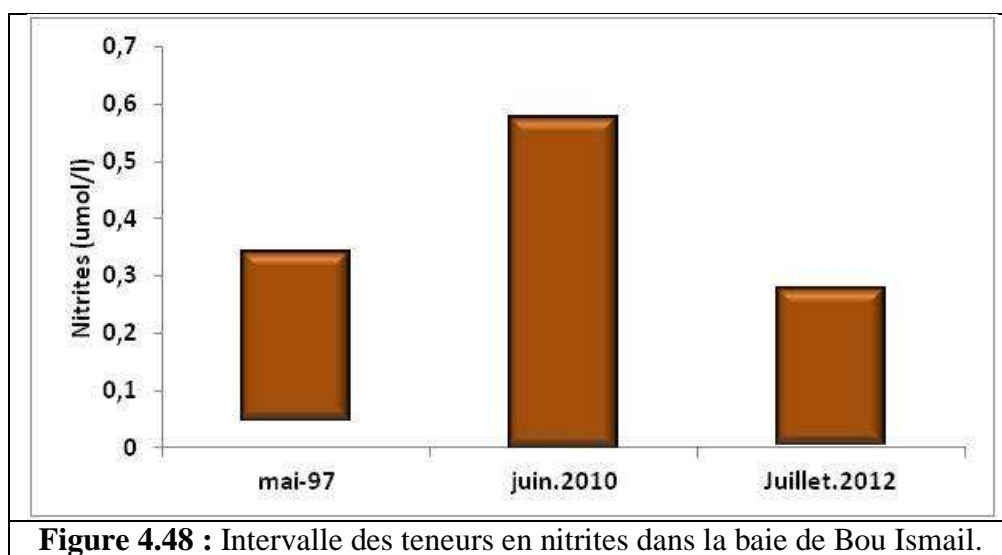
L'année 2010 marque les valeurs les plus basses contrairement à l'année 1997, où la valeur maximal enregistrée est de l'ordre de 8,21 $\mu\text{mol/l}$.



c. Nitrites

Les concentrations en nitrites observées en Mai 1997 (0,05 – 0,34 umol/l), en Juin 2010 (0,002 – 0,576 umol/l), en Juillet 2012 (0,008 – 0,277 umol/l), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.48**).

L'année 2010 marque les teneurs les plus élevées atteignant une valeur extrême de l'ordre de 0,576 umol/l.



d. Silicates

Les concentrations en Silicates observées en Juin 2010 (0,05 – 46,09 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (0,134 – 4,364 $\mu\text{mol/l}$), sont variables (**Figure 4.49**). L'année 2010 marque les valeurs les plus basses et les teneurs les plus élevées à la fois (0,05 – 46,09 $\mu\text{mol/l}$).

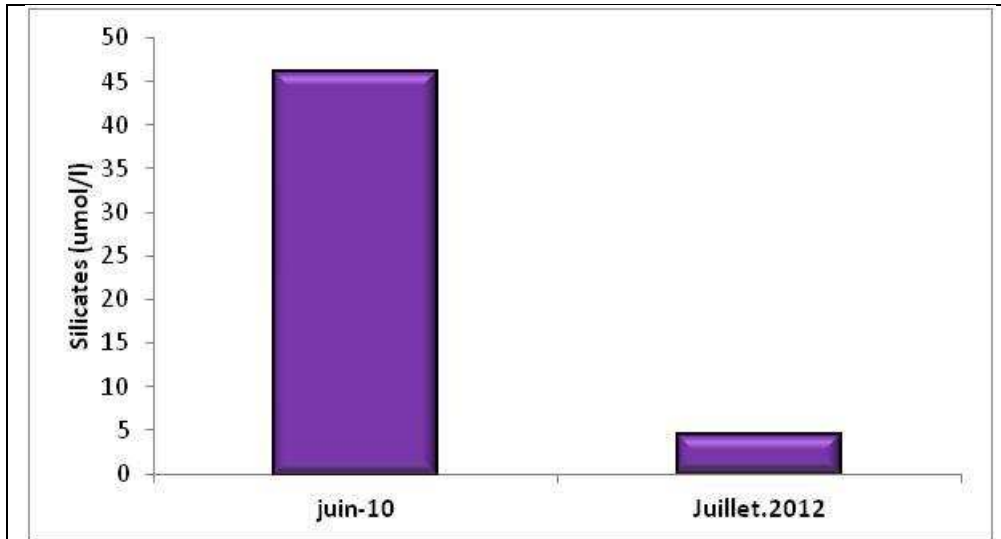


Figure 4.49 : Intervalle des teneurs en silicates dans la baie de Bou Ismail.

e. Phosphate

Les concentrations en phosphates observées en Mai 1997 (0 – 0,93 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (0,01 – 35,040 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (0,058 – 2,717 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.50**).

L'année 1997 marque les valeurs les plus basses, le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de 35,04 $\mu\text{mol/l}$.

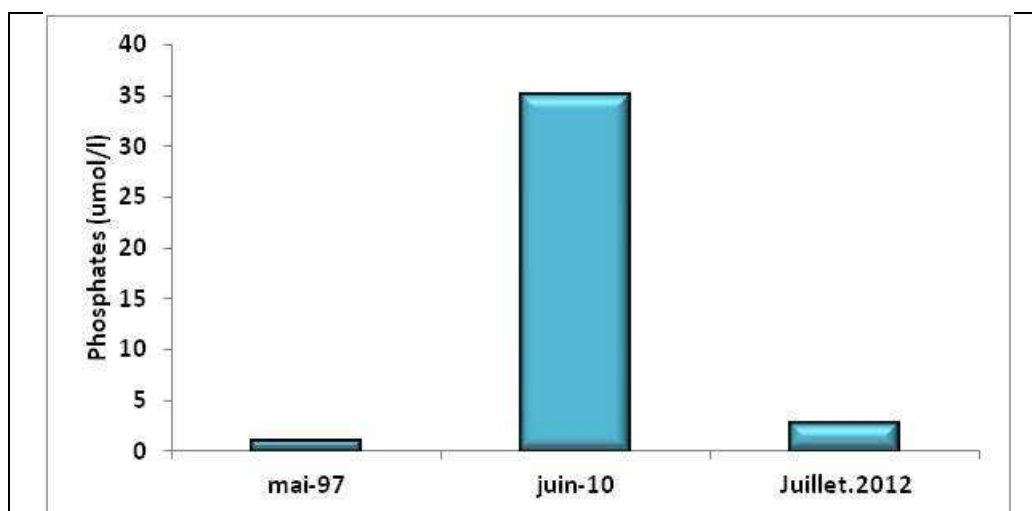


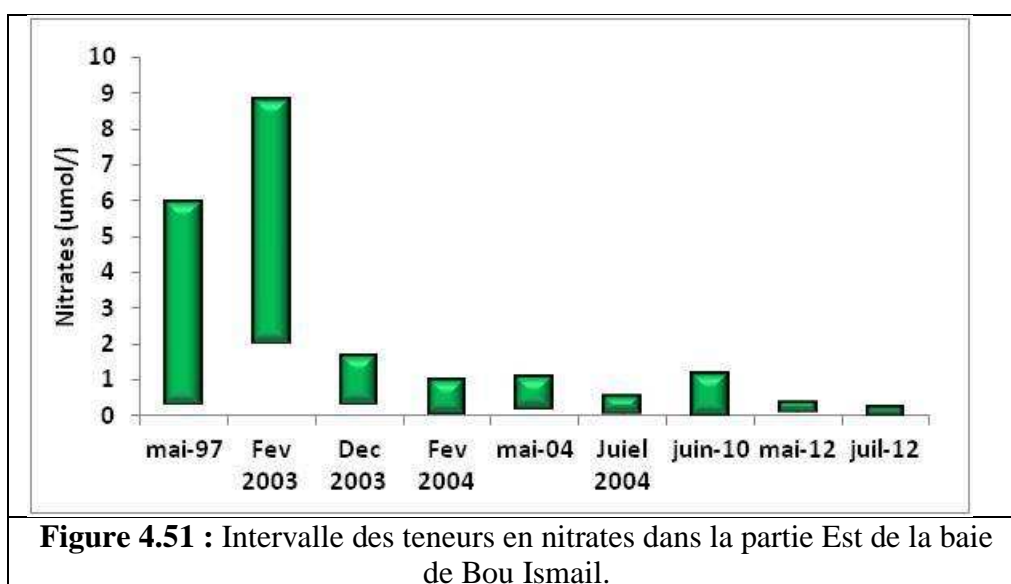
Figure 4.50 : Intervalle des teneurs en phosphates dans la baie de Bou Ismail.

V.1. suivi des sels nutritifs dans la partie Est de la Baie de Bou Ismail

a. Nitrates

Les concentrations en nitrates observées en Mai 1997 (0,35 – 5,93 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2003 (2,033 – 8,813 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,356- 1,657 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,052- 0,969 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (0,200 – 1,068 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (0,069 - 0,524 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (0,03 – 1,140 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2012 (0,113 – 0,361 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (0,026 – 0,240 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.51**).

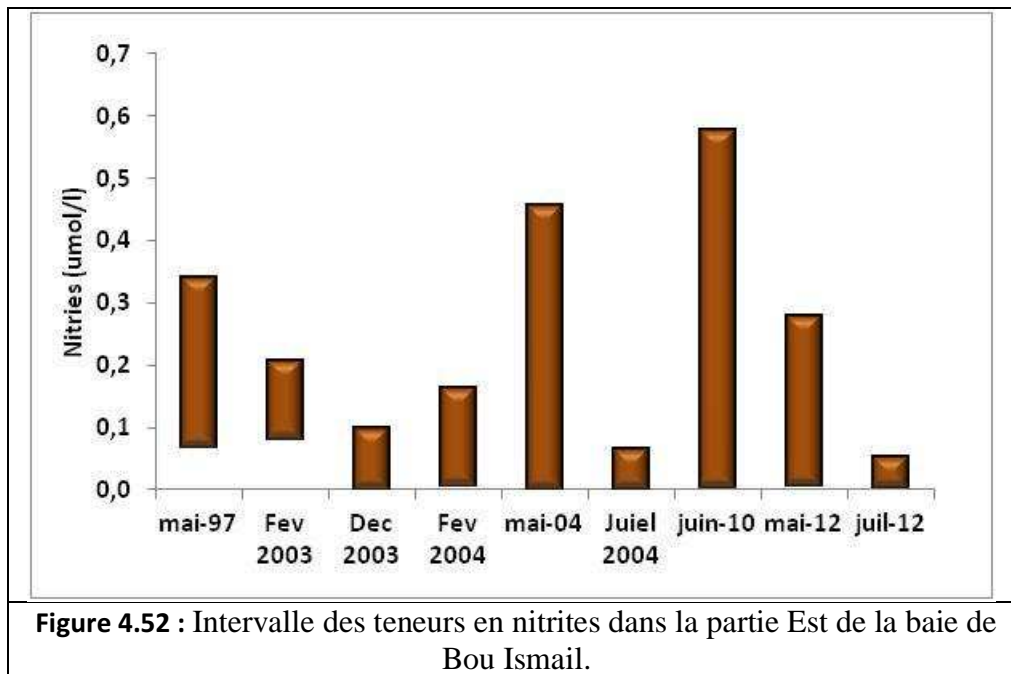
L'année 2012 marque les valeurs les plus basses ; alors que le mois de Février 2003 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de 8,813 $\mu\text{mol/l}$. Les concentrations diminuent durant la saison estivale (en 2004 et 2012).



b. Nitrites

Les concentrations en nitrites observées en Mai 1997 (0,07 – 0,34 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2003 (0,081 – 0,205 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,003- 0,098 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,008- 0,162 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (0,002 – 0,457 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (0,002 - 0,065 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (0,004 – 0,576 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2012 (0,008 – 0,277 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (0,005 – 0,053 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.52**).

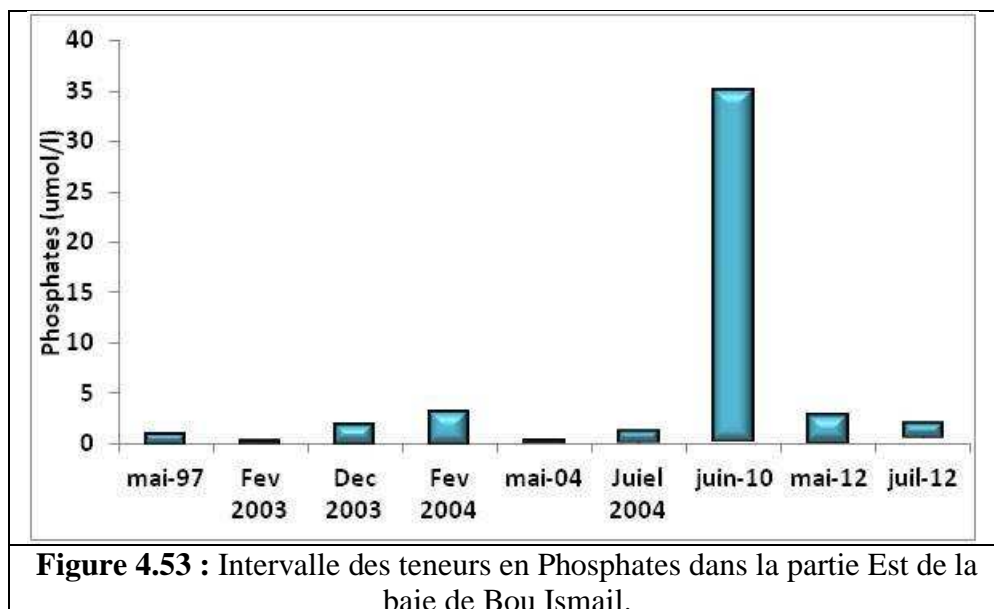
L'année 2012 marque les valeurs les plus basses (0,05 $\mu\text{mol/l}$), le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de (0,576 $\mu\text{mol/l}$). Les concentrations diminuent durant la saison estivale (en 2004 et 2012).



c. phosphates

Les concentrations en phosphates observées en Mai 1997 (0 – 0,93 umol/l), en Février 2003 (0,006 – 0,247 umol/l), en Décembre 2003 (0,017 - 1,848 umol/l), en Février 2004 (0,054 - 3,135 umol/l), en Mai 2004 (0,147 – 0,290 umol/l), en Juillet 2004 (0,161 - 1,191 umol/l), en Juin 2010 (0,350 – 35,04 umol/l), en Mai 2012 (0,136 – 2,717 umol/l), en Juillet 2012 (0,654 – 1,936 umol/l), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.53**).

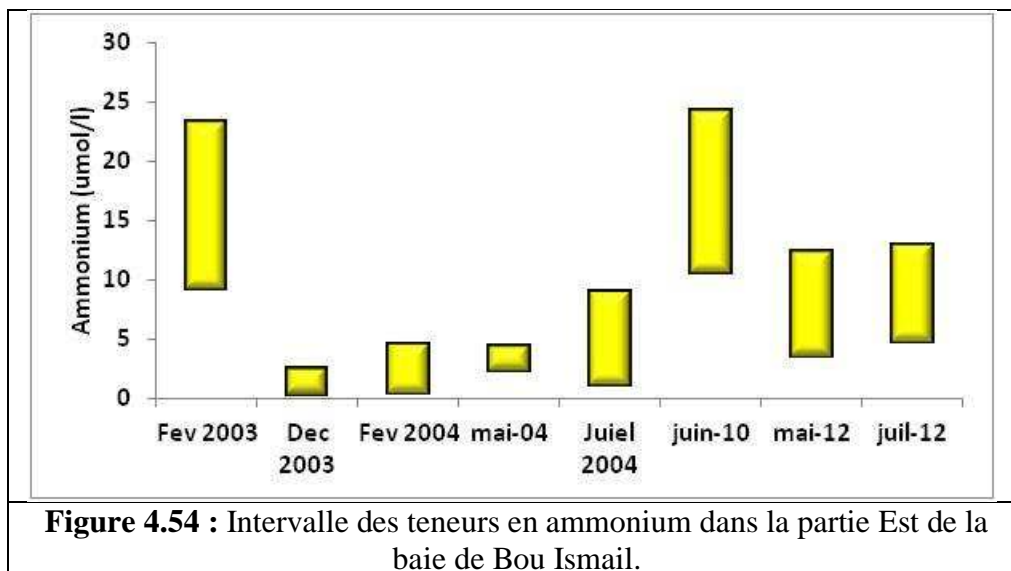
Le mois de Février 2003 marque les valeurs les plus basses (0,006 umol/l) ; alors que le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de 35,04 umol/l.



d. Ammonium

Les concentrations en Ammonium observées en Février 2003 (9,195 – 23,295 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,241 - 2,408 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,390 – 4,560 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (2,262 – 4,310 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (1,099 – 8,907 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (10,530 – 24,320 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2012 (3,552 – 12,347 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (4,722 – 12,827 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.54**).

L'année 2003 marque les valeurs les plus basses en mois de Décembre, le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de 24,32 $\mu\text{mol/l}$. Les concentrations augmentent durant la saison estivale (en 2004 et 2012).



e. Silicates

Les concentrations en Silicates observées en Février 2003 (0,018 – 0,489 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,264 - 4,875 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,180 – 1,892 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (0,354 – 0,999 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (0,09 – 0,298 $\mu\text{mol/l}$), en Juin 2010 (0,170 – 46,09 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2012 (0,891 – 4,364 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2012 (3,816 – 4,211 $\mu\text{mol/l}$), sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.55**).

L'année 2004 marque les valeurs les plus basses en mois de Juillet, le mois de Juin 2010 marque les teneurs les plus élevées, où la valeur maximum est de l'ordre de 46,09 $\mu\text{mol/l}$.

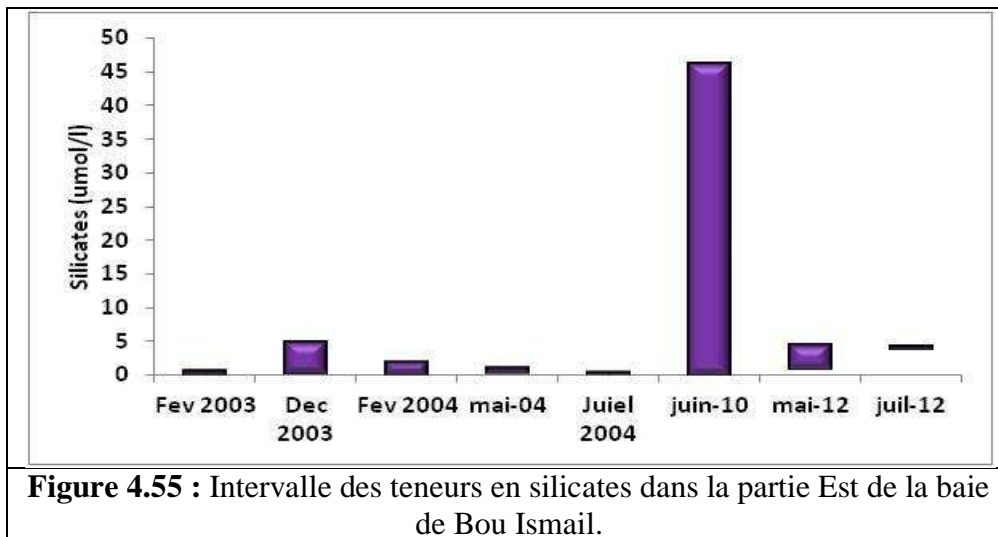


Figure 4.55 : Intervalle des teneurs en silicates dans la partie Est de la baie de Bou Ismail.

Le fait que les sels nutritifs ne présentent pas un cycle bien marqué est attribué au fait que les stations sont littorales : un apport sporadique terrestre et local peut perturber le cycle. De plus, un état de mer agité peut provoquer un brassage des eaux et remettre en suspension des particules du fond qui relarguent à leur tour des nutriments dans le milieu notamment des ions orthophosphates adsorbées sur les particules (Oren & Ravid, 1969). Enfin le vent peut changer la direction des courants locaux qui vont apporter des eaux d'origine différente.

VI. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate ($\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$)

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.

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.

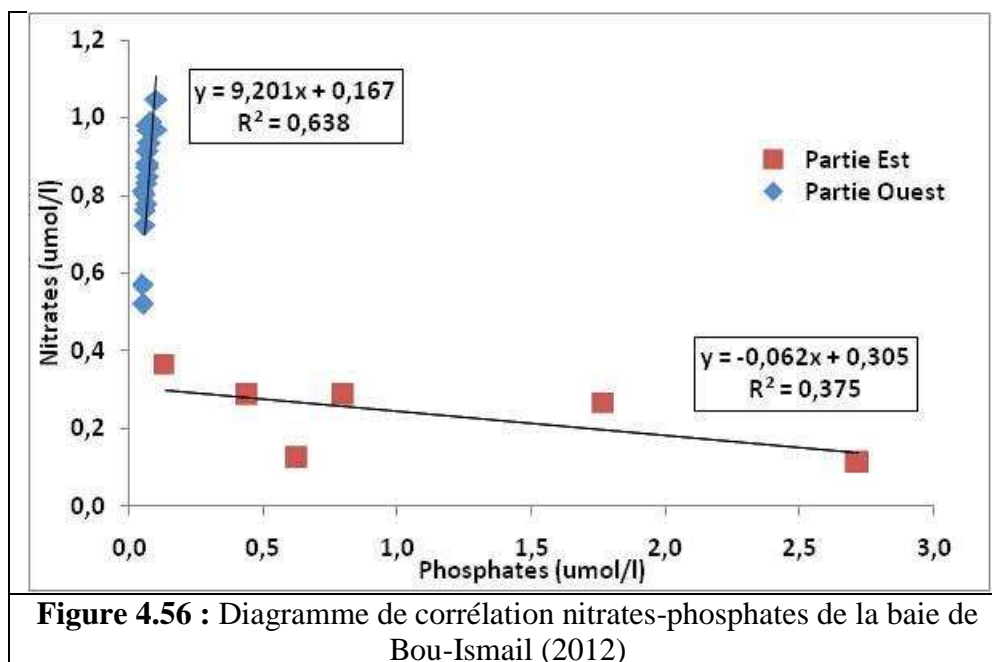


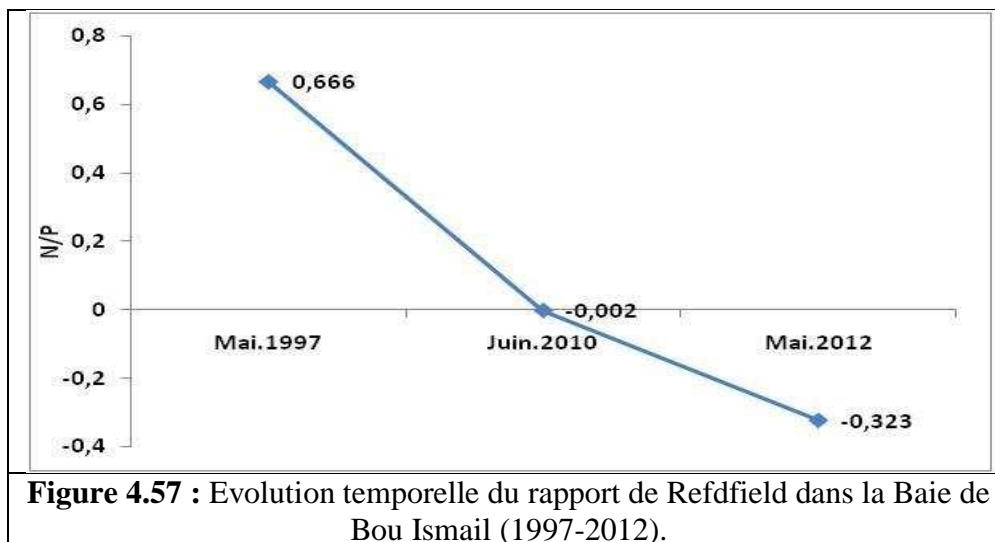
Figure 4.56 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie de Bou-Ismaïl (2012)

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.

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. 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 4.56**), même constat pour l'année 1997 (**Figure 4.69, annexe**).

VI.2. Suivi du rapport de Redfield (N/P) dans l'ensemble de la Baie



Le rapport N/P calculé en 1997 (0,66), en 2010 (-0,002), en 2012 (-0,32) sont variables d'une année à une autre. (**Figures : 4.58, 4.59, 4.60, annexe**). La courbe d'évolution du rapport de Redfield est en général décroissante depuis 1997 (**Figure : 4.57**).

VI.2.1 Suivi du rapport de Redfield (N/P) dans la partie Est de la Baie :

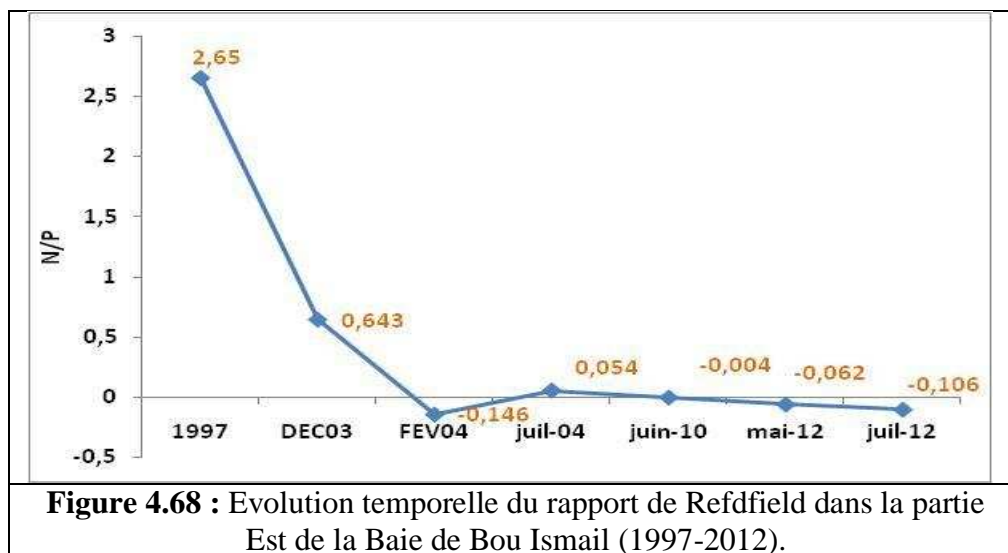
Le rapport N/P calculé en Mai 1997 (2,65), en Février 2004 (-0,14), en Juillet 2004(0,054), en Juin 2010 (-0,004), indiquent une distribution dispersée et insignifiante particulièrement en Mai 1997 (**Figure 4.61, Figure 4.63, Figure 4.64 et Figure 4.65, annexe**). Les valeurs de ces rapports sont inférieures à celle observée en 1989 pour toutes les eaux de la baie par Boulahdid et al, (2003).

La corrélation devient plus ou moins significative en Décembre 2003 ($r= 0,49$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de 0,64, ($r=0,37$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de - (0,006) en Mai 2012, ($r= 0,5$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de (-0,1) en Juillet 2012 (**Figures : 4.62, 4.66 et 4.67 annexe**).

Ces rapports restent, néanmoins, largement inférieur à la proportion moyenne dans laquelle se trouvent ces deux éléments dans l'eau de mer.

Le rapport N/P est aussi dépendant de la saison dans la zone euphotique (Kress et Herut, 2001). Les variations du rapport N/P prennent une ampleur particulière par suite des apports littoraux irréguliers et divers (apports fluviaux, effluents domestiques et industriels, précipitations et torrents).

Le rapport N/P est instable à cause de l'influence des apports d'eaux ainsi que la circulation générale des eaux au niveau du littoral. Les activités urbaine et agricole sont les principales causes du déséquilibre du rapport N/P. Il semblerait que ce déséquilibre général à toutes les périodes est plus lié à un enrichissement en phosphate qu'à un déficit en nitrate.



Le rapport N/P peut présenter un déséquilibre, vers les valeurs faibles ou fortes, de la balance de sels nutritifs. C'est en Mai 1997 qu'on trouve la valeur la plus élevée du rapport N/P, mais elle ne correspond pas aux valeurs maximales de phosphate et de nitrate. (**Figure 4.53 et Figure 4.51**).

Les valeurs les plus faibles des nitrates sont observées en Février 2004 et en Juillet 2012, ceci explique la valeur du rapport dans ces deux période qui sont les plus faible dans l'ensemble des années étudiées (**Figure 4.51**).

La courbe d'évolution du rapport de Redfield est en général décroissante depuis 1997. excepté le mois de juin 2010, le moi de février 2004 ainsi que le mois de Mai 2012 présentent les teneurs les plus élevées en Phosphates. Ce qui explique la valeur faible du rapport en comparaison avec le mois de juillet 2004 où on observe une augmentation de ce dernier.

La diminution des rapports N/P dans les deux parties de la baie en est probablement liée à la fois à l'enrichissement du milieu en orthophosphates et à la diminution des nitrates, surtout dans la partie Est où le rapport est très faible, renforçant ainsi l'idée annoncée précédemment, de la pollution par les différents complexes de la région.

Conclusion

La baie de Bou-Ismaïl constitue un écosystème particulier, alors que son ouverture et son orientation lui assurent un renouvellement et une dilution permanente des eaux, son niveau de fertilité en éléments nutritifs reste digne des milieux côtiers abrités.

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

La baie de Bou Ismaïl est le siège de mélange entre trois masses d'eaux d'origines différentes représentées principalement par les eaux Atlantiques modifiées qui occupent presque toute la baie, surtout dans sa partie Est, ainsi les eaux profondes qui se manifestent au fond de quelques stations situées vers le large.

Sur la base des données acquises en 2012, il nous a été possible de comparer le niveau d'enrichissement en sels nutritifs à celui observé dans des années antérieures, en exploitant aussi des bases de données des différentes compagnes océanographiques. Des différences considérables ont pu être retenues, qui peuvent être résumé de la façon suivante :

- En effet, la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl se distingue aisément par des teneurs élevées en phosphates, la partie Ouest de la baie, quant à elle, marque un enrichissement beaucoup plus particulier en nitrates. De ce fait une différenciation très nette s'observe entre la partie Est à littoral beaucoup plus industrialisé, et la partie Ouest dont la vocation est plutôt agricole. Il semble donc que la nature de l'activité anthropique entretenue sur le bassin versant de leur frange littorale se reflète nettement au niveau de la qualité chimique de leurs eaux.
- Il apparaît clairement un déséquilibre d'ordre chimique entre l'azote et le phosphore (observé par le rapport de Redfield N/P) aux niveaux de la baie, surtout dans sa partie Est, ceci aura sûrement un impact négatif sur les producteurs primaires.
- Par ailleurs, la topographie de la partie Ouest de la baie caractérisée par un plateau continental large avec des profondeurs relativement faibles en comparaison avec la partie orientale. Cette particularité peut toutefois expliquer la présence de ces phénomènes de résurgences à ce niveau là.

En effet, alors que les sels nutritifs sont généralement absorbés dans des rapports constants et bien définis par les producteurs primaires (proportions très proches de celles de la composition du matériel cellulaire), le métabolisme de ces derniers se trouvera ainsi complètement bouleversé si leurs teneurs normales (éléments nutritifs) venaient à être modifiées par des apports externes.

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 :

Conclusion

- ❖ 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 établi 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.
- ❖ Une partie Ouest, dont les eaux présentent une salinité élevée. 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.

Enfin, et d'une manière globale les interprétations proposées ne constituent qu'une ébauche de solution dont il serait assez prématuré et même injustifié d'en conclure. En effet, l'estimation des potentialités d'une masse d'eau de mer reste désormais un contexte très subjectif et la détermination de sa qualité encore plus délicate, car elle dépend aussi bien des sources de pollution que de la sensibilité des milieux récepteurs.

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.

Bibliographie

- ALBEROLA, C., MILLOT, C., FONT, J., 1995.** On the seasonal and mesoscale variabilities of the Northern current during the PRIMO 0 experiment in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*. Vol. 18, 163–192.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395p.
- Aminot A., Guillard J-F. et K erouel R., 1997.** La baie de Seine : hydrologie, nutriments et chlorophylle (1978-1994). *Edition : Ifremer, France, 148 P.*
- Aminot A. et K erouel R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. *Edition : Ifremer, France, 336 P.*
- Amrouche W., Khechni A., 2012.** Suivi des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs dans les eaux littorales de l'Algérois. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 85 P.*
- ANNANE.G; KEMILA. A; LADJIMA. F ; 2007.** Impact et inventaire des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou-Ismaïl. *Mémoire d'ingénieur d' tat ISMAL. 2-10 p*
- AOUIDAD Z., 1997.** Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans le sédiment superficiel et les particules en suspension dans la baie de Bouismail, Mémo Ingénieur ENSSMAL.
- ASSO., 1982.** Contribution à l'étude des polluants métallique chez la moule *Perne perna* (L) dans la région d'Alger.
- BADIA-GONDARD F., 2003.** L'assainissement des eaux usées. Edition techni.cités, 231p.
- 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.*) 306p.
- 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, 155-169p.*
- BLIEFERT C., PERRAUD R., 2001.** Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de boeck, 477p.
- BONTOUX J., 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 166p.
- Bouget J. F., 2008.** Suivi trophique en baie de Quiberon en 2008.  d. Ifremer, Paris, France, 12 p.

Bougis P., 1974. Ecologie du plancton marin : Tome I, le phytoplancton. *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.*

Boulahdid M., Rouibah M., Boudejellal B., Eddalia N., Ounadi F., 2005. ETUDE DE LA POLLUTION DU LITTORAL ALGEROIS ET DU LAC DE REGHAIA. *CONTRAT ISMAL-APPL, Algérie, 49 P.*

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.

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.*

EL-GINDY, A. A. H., EL-DIN, S. H. S., 1986. Water masses and circulation patterns in the deep layers of the Eastern Mediterranean. *Oceanologica Acta*, Vol. 9, 3, 239-248.

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

FRONTIER S., ET ETIENNE M., 1990. Étude de la diversité spécifique par les moyens des diagrammes rang-fréquences. Modélisation, variabilité d'échenillage in *Biométrie*, 6 : Lille 26-28 Mai 1986. IFREMER-ACTESDE COLLOQUE 510° : 145-177.

GAUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 220p.

GOMELLA C., GUERREE H., 1978. Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, 262p.

GRIMES S., 2004. Biodiversité marines et littorale Algérienne.

GROSCLAUDE G., 1999. L'eau : usage et polluants. Edition INRA, 210p.

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

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*

Kassar A., 2011. Suivi de la chlorophylle et du phytoplancton dans les zones côtières algéroises : Apport des mesures satellitaires à leur modélisation. *Mémoire de magister, ENSSMAL, Algérie, 161 P.*

Kress, N & Herut, B. 2001. Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean sea): chemical characterization of the water masses and inferences on the N:P ratios. *Deep-Sea Research I*, 48: 2347-2372.

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. Edition de 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.*

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.

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.*

Puillat I., Taupier-letage I. et Millot C., 2002. Algerian Eddies lifetime can near three years. *Journal of Marine Systems*, Vol. 31, P245– 259

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*

Raimbault P., Coste B., Boulahdid M., et Boudjellal B., 1993. Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the southwestern Mediterranean Sea (Algerian Current). *Deep Sea Res.,Vol.40, N°4,791-804.* <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096706379390072B>

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. 1983p.

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

RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J.-P., CHAMPSAUD H., RODI L, 2005. Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Edition DUNOD, Paris. 1383p,

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

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

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°33,13p.

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.

ZEGHDOUDIS ; 2006. Bioéconomie des pêcheries méditerranéennes. Application aux petits pélagiques de la baie de Bou-Ismaïl (Algérie). *Barcelone*.55p

Annexe

Zones	Composantes	Nature des pressions	Niveau de sensibilité
FOUKA	Fouka Marine	Érosion marine, disparition plage Rejets d'eaux usées	+++ +++ (très forte)
	Bande entre RN11 et centre ville	Décharge	+++
		Habitat spontané Habitat non réglementé	+++ +++
	Abris de pêche	Dégradé Voie parallèle au rivage Rejets d'eaux usées	++++ (forte)
BOUISMAIL	Front de mer	Urbanisation	++
		Rejets d'eaux usées	++
		Érosion-disparition plage entre Khemisti et Bouismail	+++
	Zone industrielle	Rejets industriels polluants	+++
		Implantation sur terres agricoles	
Bande entre RN11 et la haute ville	Habitat non réglementé Phagocytation des terres agricoles par mitage	++	
Oued	Rejet, Écoulement des eaux	++	
BOUHAROUN	Zone Est	Rejet d'eaux usées	++
		Urbanisation	++
	Zone de port	Fosses sceptiques	+++
		Rejets polluant dans le bassin d'accostage Activité portuaire polluante, mazout, huiles, débris de poissons	+++ +++
		Envasement des bassins	+++
Pollution visuelle Dégradation des locaux			
Bande entre la RN11 et la ville	Urbanisation par mitage des terres	++	

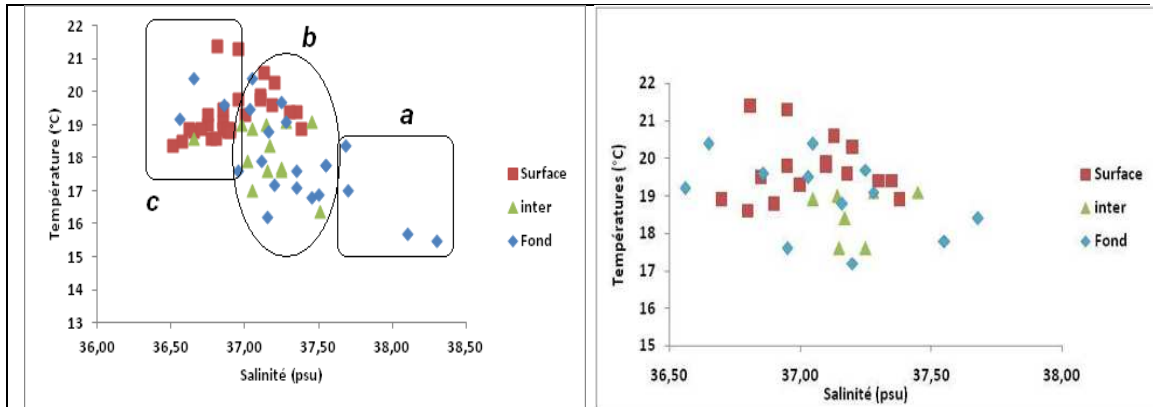


Figure 4.1 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (Mai 1997).

Figure 4.2 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Mai 1997).

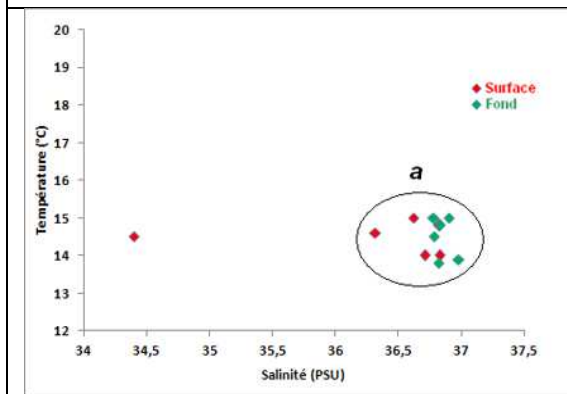


Figure 4.3 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Février 2003).

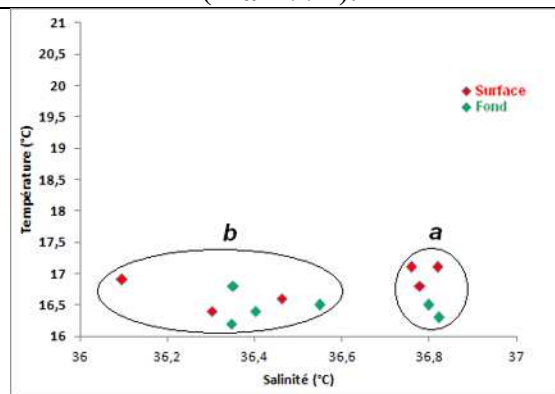


Figure 4.4 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Décembre 2003).

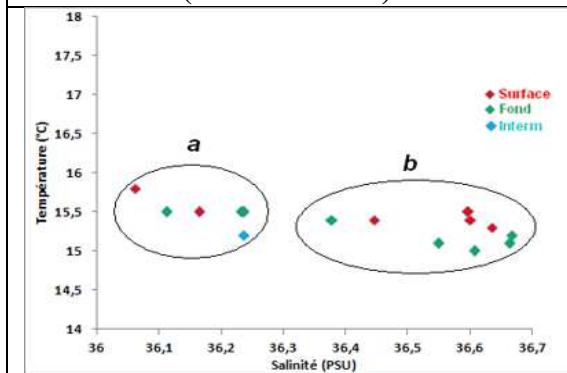


Figure 4.5 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Février 2004).

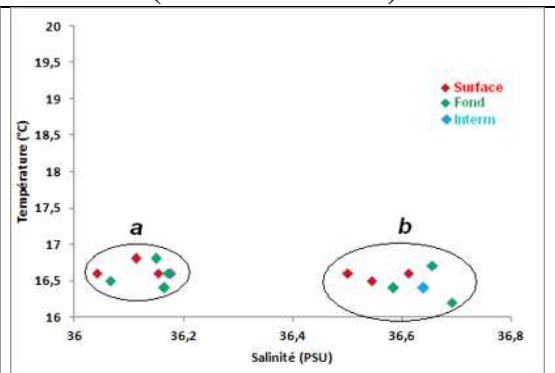


Figure 4.6 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Mai 2004).

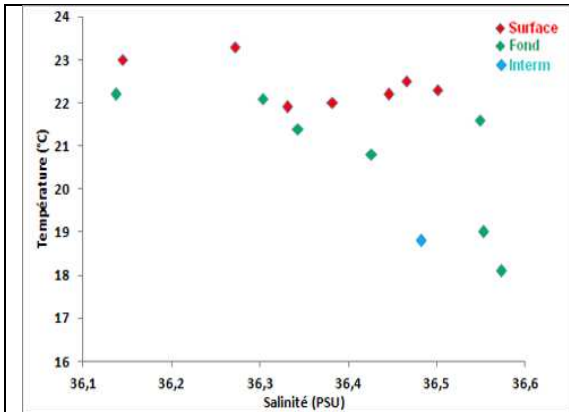


Figure 4.7 : Diagramme T-S de la partie Est de la Baie de Bou Ismail (Juillet 2004).

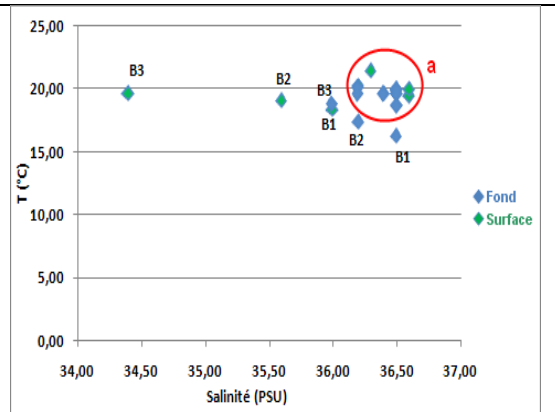


Figure 4.8 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (Mai 2012).

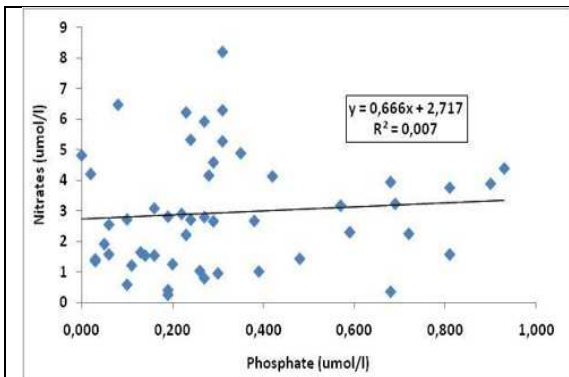


Figure 4.58 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (1997).

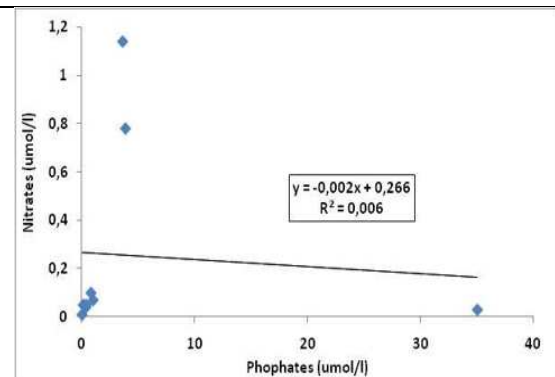


Figure 4.59 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (2010).

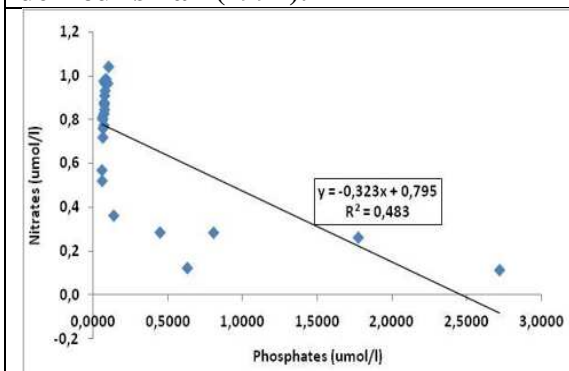


Figure 4.60 : Diagramme T-S de la Baie de Bou Ismail (2012).

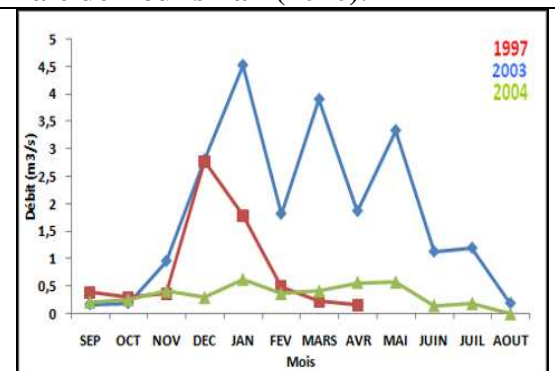


Figure 4.70 : Débit mensuel de l'oued Mazafran. ANRH (1997, 2003,2004,)

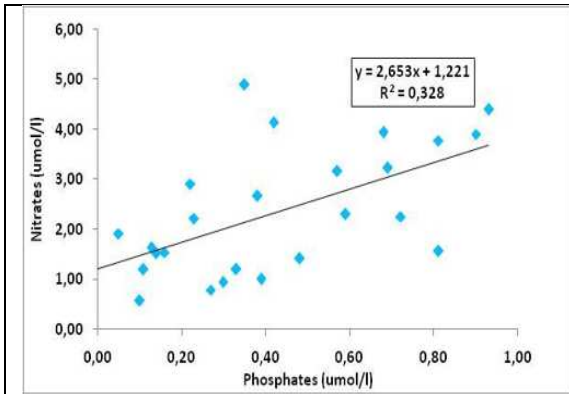


Figure 4.61 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Mai 1997).

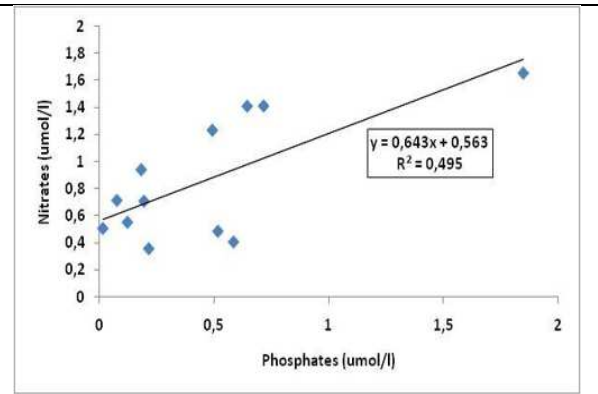


Figure 4.62 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Décembre 2003).

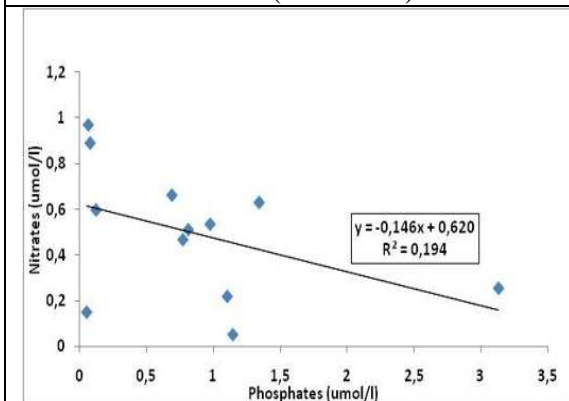


Figure 4.63 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Février 2004).

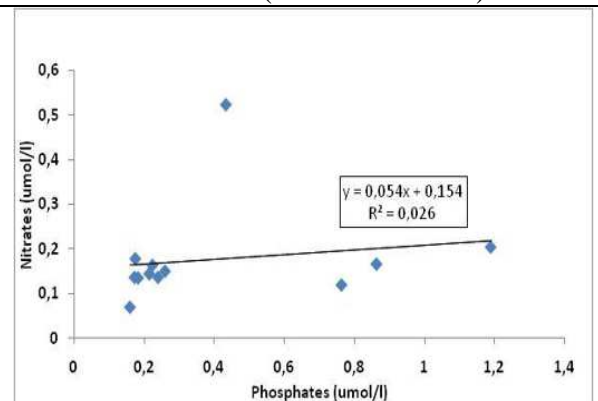


Figure 4.64 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juillet 2004).

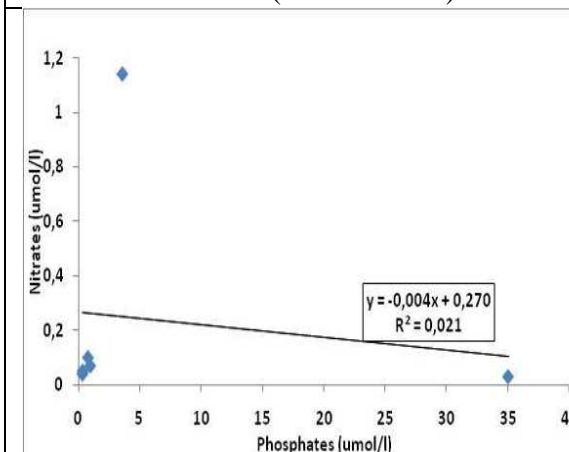


Figure 4.65 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juin 2010).

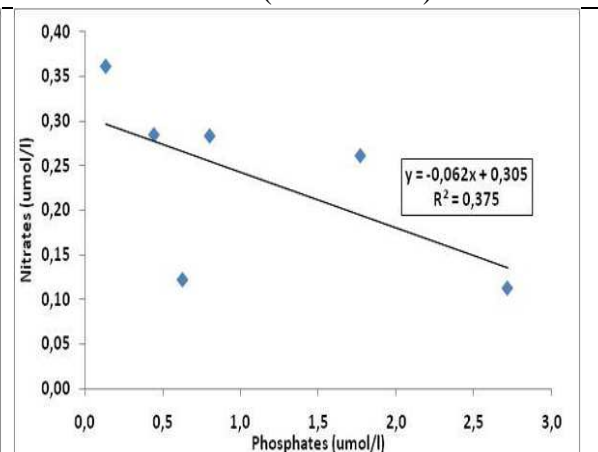


Figure 4.66 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Mai 2012).

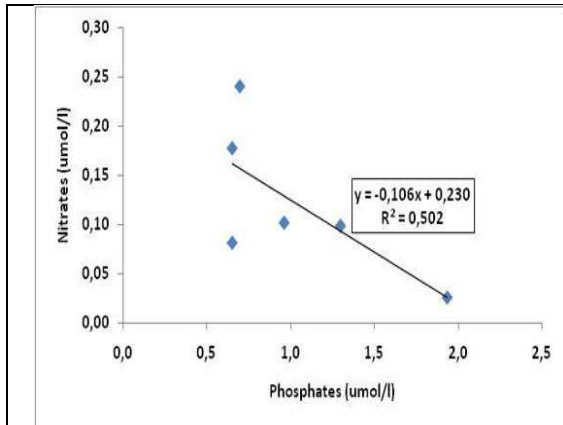


Figure 4.67 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Juillet 2012).

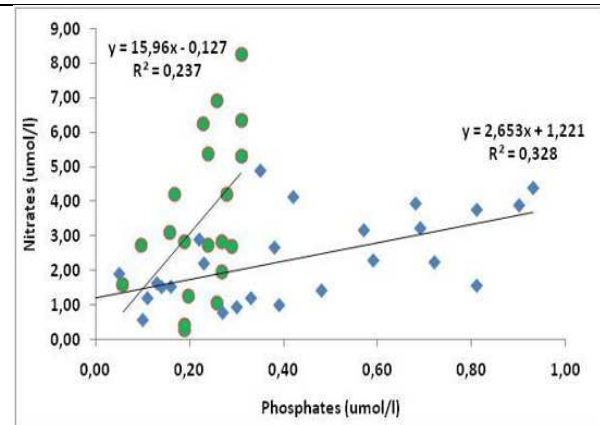


Figure 4.69 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates dans la baie de Bou-Ismaïl (Mai 1997).

Les réactifs des sels nutritifs

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 l'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 mélanger.

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.
---	------------

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 (NO₃⁻, NO₂⁻)

1. Réactifs

A) Solution tampon

Chlorure d'ammonium (NH₄Cl).....50 g.

Solution d'ammoniaque (NH₄OH 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 (H₃PO₄ à 85%).....150 ml.

Sulfanilamide (C₆H₈N₂O₂S).....10 g.

Dichlorures a-naphtyléthylène diamine (C₁₂H₁₆C₁₂N₂).....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] µmol /l

Nitrate de sodium (NaNO₃).....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.

Eau distillée.....600 ml.

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

B) Solution de sulfate de cuivre (2%)

Sulfate de cuivre (CuSO₄, 5H₂O)..... 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 (PO₄³⁻)

1. Réactifs

A) Solution d'ammonium molybdate

Potassium antimoine tartrate (K(SbO)C₄H₄O₆, 0,5 H₂O).....230 mg.

Acide sulfurique (H₂SO₄ à 97%).....69,4 ml.

Annexes.

Molybdate d'ammonium ((NH₄)₆ MO₇O₂₄, 4H₂O).....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 (C₆H₈O₆).....11 g.

Acétone (C₃H₆O).....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] µmol/l

Dihydrophosphate de potassium (KH₂PO₄).....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 (H₂SO₄ 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 quand elle n'est pas utilisée.

B) Solution d'ammonium molybdate

Ammonium molybdate ((NH₄)₆MO₇O₂₄, 4H₂O).....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 (C₂H₂O₄, 2H₂O).....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 (C₆H₈O₆).....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 (Na₂SiO₃, 9H₂O).....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.