

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 de Master
en sciences de la mer

Option : environnement

Thème :

***Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs
dans la baie d'Alger : étude rétrospective et influence
continentale et des eaux du large***

Présenté par :

AMROUCHE Walid

Soutenu le 18/10/2012 devant le jury suivant :

M^{me} BENZOUAI S.	(MA.B – ENSSMAL)	Présidente
Dr. HOUMA-BACHARI Fouzia	(MC.A – ENSSMAL)	Examinatrice
Mr. REFES W.	(MC.B – ENSSMAL)	Examinateur
Pr. BOULAHDID Mostefa	(Professeur – ENSSMAL)	Promoteur

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. J'adresse tout d'abord mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury de thèse ;

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 ;

Mme. BENZOUAI S., Maître assistante 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 ;

Mme. HOUMA-BACHARI Fouzia, Maître de conférences à l'ENSSMAL, de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail et d'en évaluer la qualité. Qu'elle trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance et ma sincère gratitude ;

Mr. REFES W., Maître de conférences 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 voudrais surtout remercier l'ensemble de mes amis : Adel, Adel 2, Mohammed Ali, Khalil, Abdou, Malik, Lydia, Redwan, Housseem, Rym, Wassila, Zinou, Pépé et tous ceux que j'ai oublié de mentionner.

Enfin, je voudrais associer à ces remerciements toute ma famille pour ses encouragements et son soutien durant ces cinq années, et toute la famille Khechni. Je tien particulièrement à remercier mon père pour son aide précieuse, ainsi que ma tante qui m'a ouvert ses portes.

A vous tous ...

Walid

Sommaire

INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : GÉNÉRALITÉS	
I. Circulation générale en Méditerranée.....	3
1. Circulation générale	3
2. L'eau atlantique.....	3
3. Eau levantine intermédiaire (LIW)	4
4. Eau méditerranéenne profonde.....	5
5. Mouvements verticaux ascendants : divergences et remontées	6
I.1. les sels nutritifs et la production primaire dans la Méditerranée occidentale.....	7
II. Hydrologie des milieux marins.....	7
III. Le bassin algérien	8
III.1. Situation géographique du bassin algérien	8
III.2. Hydrologie du Bassin Algérien	8
IV. Pollution marine.....	8
V. Paramètres physico-chimiques.....	9
1. Température	9
2. Salinité.....	9
3. Le potentiel hydrogène (pH)	9
VI. Les sels nutritifs.....	10
VI.1. Rôle des sels nutritifs	10
VI.2. Différentes formes des sels nutritifs.....	10
1. L'Azote.....	10
2. Le Phosphate.....	11
3. la silice dissoute.....	12
VI.3. Origines des sels nutritifs	12
VI.4. Cycle et régénération des sels nutritifs	12
VI.5. Distribution des sels nutritifs	13
VII. Production primaire	14
VII.1. Eutrophisation.....	14
VII.2. Sels nutritifs et le rapport de Redfield	15

Chapitre 2 : ZONE D'ÉTUDE

I. Présentation de la baie d'Alger	16
II. Géomorphologie	16
III.Sédimentologie	16
IV. FACTEURS HYDRODYNAMIQUES	17
IV.1. Les houles	17
IV.2. Réseaux hydrographiques	18
1. Oued El Harrach	18
2. Oued El Hamiz	18
IV.3. Facteurs météorologiques	18
IV.4. Facteurs hydrodynamiques	19
V. État de la pollution dans la baie d'Alger	20
V.1. Influences continentales	21
VI. Port d'Alger	22
VI.1. Présentation du port d'Alger	22

Chapitre 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. Travail réalisé en mer	24
I.1. Campagnes de prélèvements :	24
II. Matériel de prélèvement	24
II.1. Prélèvement d'eau de mer	24
II.2. Conditionnement des moyens de prélèvement	25
II.3. Prélèvement et conservation des échantillons	25
III. Les sites de prélèvement	25
III.1. Localisation des stations de prélèvement	25
IV. Paramètres étudiés et analyses durant la campagne de Mai 2012	27
1. Température	27
2. Salinité et conductivité	27
3. Le pH	28
V. Analyse chimique des sels nutritifs	28
V.1. Méthode d'analyse	28
V.2. Définition de la colorimétrie	28
V.3. Matériel utilisé	28
V.4. Dosage chimique des sels nutritifs	29

Chapitre 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Hydrologie de la baie d'Alger	30
I.1. Suivi du diagramme Température-Salinité	30
I.2. Variation temporelle de la salinité	32
II. Évolution temporelle de la salinité et des sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach	33
III. Suivi des teneurs en sels nutritifs dans quelques stations :	36
a. Station portuaire (Sp)	36
b. Station S1 (en face l'oued El Harrach).....	37
c. Station Sh (en face l'oued El Hamiz)	38
IV. Évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques sur la radiale de l'oued El Harrach.....	39
IV.1. Salinité	39
IV.2. Sels nutritifs	40
V. Suivi des sels nutritifs dans la baie d'Alger	41
a. Nitrates	41
b. Phosphates.....	42
c. Silicates.....	43
d. Ammonium.....	43
e. Nitrite.....	44
VI. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate.....	45
VI.1. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate de la baie d'Alger en Mai 2012	45
VI.2. Suivi du rapport de Redfield (N/P)	45
CONCLUSION	48

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste des acronymes

(CEE) : la Communauté économique européenne

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

(JICA) : Agence de coopération internationale japonaise

(LEM) : Laboratoire des Etudes Maritimes

(OMI) : Organisation maritime internationale

(OMS) : Organisation mondiale de la Santé

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

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

(SEED) : Schlumberger Excellence in Educational Development

(MES) : Matière en suspension

(MOP) : Matière organique particulaire

(DCO) : Demande Chimique en Oxygène

(NTU) : Nephelometric Turbidity Unit

(pH) : Potentiel hydrogène

(POPs) : Polluants organiques permanents

(P.S.U) : Unité de salinité pratique

(T°C) : Température en degré Celsius

(UV) : Ultra violet

Liste des figures

Figure 1.1 : Circulation de l'eau atlantique (AW) dans toute la Méditerranée. (MILLOT and TAUPIER-LETAGE., 2004),	4
Figure 1.2 : Circulation de l'eau levantine intermédiaire (LIW) dans la Méditerranée (MILLOT and TAUPIER-LETAGE., 2004)	5
Figure 1.3 : Circulation de l'eau profonde en Méditerranée (MILLOT and TAUPIER-LETAGE., 2004).....	6
Figure 1.4 : Représentation schématique de l'hydrodynamisme Algérien et des processus associés (RAIMBAULT., 1988)	14
Figure 2.1 : Situation géographique de la baie d'Alger (Google earth., 2012)	16
Figure 2.2 : Carte sédimentologique de la baie d'Alger (MAOUCHE., 1987)	17
Figure 2.3 : Schéma synthétique de la dynamique littorale dans la baie d'Alger (BELKESSA., 2005).....	20
Figure 2.4 : Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (PAC., 2005)	22
Figure 2.5 : Situation du port d'Alger (<i>in</i> BACHOUICHE., 2010)	23
Figure 3.1 : Localisation des stations dans les eaux du large de la baie d'Alger (RAIMBAULT et al., 1991)	25
Figure 3.2 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (ROUIBAH et al., 2005 ; <i>modifié</i>).	26
Figure 3.3 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (TAOUDIAT., 2009).	26
Figure 3.4 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (MADI., 2009).	26
Figure 3.5 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (BOZETINE et ZERROUKI., 2011)	26
Figure 3.6 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (KASSAR., 2011).	26
Figure 3.7 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (AMROUCHE et KHECHNI., 2012).	26
Figure 3.8 : Plan de situation des stations de la radiale en face l'Oued El Harrach (Google Earth).....	27
Figure 4.1 : Diagramme température-salinité (Février 2003)	Annexes
Figure 4.2 : Diagramme température-salinité (Février 2004)	Annexes
Figure 4.3 : Diagramme température-salinité (Mai 2004)	Annexes
Figure 4.4 : Diagramme température-salinité (TAOUDIAT., 2009).....	Annexes
Figure 4.5 : Diagramme température-salinité (BOZETINE et al., 2011)	Annexes
Figure 4.6 : Diagramme température-salinité (Mai 2012)	Annexes

Figure 4.7 : Diagramme température-salinité (Juillet 2004).....	Annexes
Figure 4.8 : Diagramme température-salinité (RAIMBAULT et al., 1991)	Annexes
Figure 4.9 : Évolution temporelle de la salinité de surface sur la radiale de l'Oued EL Harrach (Février 2003 - Juil. 2004)	33
Figure 4.10 : Évolution temporelle de la salinité du fond sur la radiale de l'Oued EL Harrach (Février 2003 - Juil. 2004)	33
Figure 4.11 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S1	34
Figure 4.12 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en surface	34
Figure 4.13 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en profondeur.....	34
Figure 4.14 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S2	34
Figure 4.15 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en surface	35
Figure 4.16 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en profondeur.....	35
Figure 4.17 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S3	35
Figure 4.18 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en surface	36
Figure 4.19 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en profondeur.....	36
Figure 4.20 : Distribution verticale de la salinité dans la station S3 (Juillet 2004)	36
Figure 4.21 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33, au large de la baie (RAIMBAULT et al., 1991)	36
Figure 4.22 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station portuaire (Sp) en surface (Février 2003 - Mai 2012).....	37
Figure 4.23 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station portuaire (Sp) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012).....	37
Figure 4.24 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station S1 (en face l'oued El Harrach) en surface (Février 2003 - Mai 2012)	38
Figure 4.25 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station S1 (en face l'oued El Harrach) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012).....	38
Figure 4.26 : débits mensuels de l'oued El Harrach en 2003 et 2004 (ANRH., 2004).....	58

Figure 4.27 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station Sh (en face l'oued El Hamiz) en surface (Février 2003 - Mai 2012)	38
Figure 4.28 Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station Sh (en face l'oued El Hamiz) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012)	38
Figure 4.29 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Décembre 2003 - Février 2004).....	39
Figure 4.30 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Février 2004 - Mai 2004).....	39
Figure 4.31 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mai 2004 - Juillet 2004)	39
Figure 4.32 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009).....	39
Figure 4.33 : Distribution verticale de la salinité dans la station S4 (Mars 2009).....	40
Figure 4.34 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Juillet 2004) en surface	40
Figure 4.35 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Juillet 2004) en profondeur	40
Figure 4.36 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009) en surface.....	41
Figure 4.37 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009) en profondeur	41
Figure 4.38 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33, au large de la baie (RAIMBAULT et al., 1991)	41
Figure 4.39 : Distribution verticale des teneurs en sels nutritifs dans la station S4 (Mars 2009)	41
Figure 4.40 : Intervalle des teneurs en nitrates dans la baie d'Alger	42
Figure 4.41 : Intervalle des teneurs en phosphates dans la baie d'Alger	42
Figure 4.42 : Intervalle des teneurs en silicates dans la baie d'Alger	43
Figure 4.43 : Intervalle des teneurs en ammonium dans la baie d'Alger	44
Figure 4.44 : Intervalle des teneurs en nitrites dans la baie d'Alger	44
Figure 4.45 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates de la baie d'Alger en Mai 2012	45
Figure 4.46 : Diagramme nitrate-phosphate (Décembre 2003)	Annexes
Figure 4.47 : Diagramme nitrate-phosphate (Février 2004)	Annexes
Figure 4.48 : Diagramme nitrate-phosphate (Juillet 2004)	Annexes
Figure 4.49 : Diagramme nitrate-phosphate (Mars 2009) (TAOUDIAT., 2009)	Annexes

Figure 4.50 : Diagramme nitrate-phosphate (Mars 2011).....	Annexes
Figure 4.51 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2009) (MADI., 2009).....	Annexes
Figure 4.52 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2012)	Annexes
Figure 4.53 : Diagramme nitrate-phosphate (Février 2003)	Annexes
Figure 4.54 : Diagramme nitrate-phosphate sans la station S1 (Mai 2012).....	Annexes
Figure 4.55 : Évolution temporelle du rapport de Redfield (Février 2003 – Mai 2012)	Annexes
Figure 4.56 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2011)	Annexes

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Les activités polluantes en baie d'Alger (PAC., 2005).....	20
Tableau 2.2 : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (<i>in</i> KESSOURI., 2008).	21
Tableau 3.1 : Liste des campagnes de prélèvement.....	24
Tableau 3.2 : Coordonnées des stations de la radiale	27

INTRODUCTION

Les zones côtières littorales sont les plus précieuses et les plus vulnérables des habitats sur Terre (**JICKELLS., 1998**). En effet, ces milieux sont susceptibles d'être pollués par la population littorale, par le déversement de matières solides, déposées sur les rivages ou en suspension dans les eaux. Des apports significatifs d'éléments nutritifs majeurs se font via les rivières, les eaux souterraines et les émissaires. Ces voies d'apports en éléments nutritifs ont été exacerbées ces dernières décennies par les activités humaines.

La surveillance de ces écosystèmes fragiles se généralise par la mise en place de réseaux de suivi des paramètres physico-chimiques de qualité, base indispensable à la caractérisation globale du système aquatique.

Dans la présente étude, l'accent est mis sur les eaux de la baie d'Alger qui est classée parmi les segments de la côte algérienne les plus affectés par la pollution hydrique et détritique. Cette zone marine constitue, en effet, le réceptacle de plusieurs sources de pollution issues de la plus grande unité urbaine et industrielle du pays.

A ce titre, cette zone a déjà fait l'objet de plusieurs études pluridisciplinaires, plus ou moins complètes et disparates. En effet, ce type de surveillance a déjà été pratiqué par (**ROUIBAH et al., 2005**) dans le cadre du suivi de la pollution du littoral algérois, sur huit stations côtières et d'autres situées plus loin au large de la baie d'Alger. 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 2009 et en 2011, au niveau de la baie d'Alger, par divers auteurs (**TAOUDIAT., 2009**), (**KASSAR., 2011**)...Etc.

Les résultats obtenus en 2005 montrent que la zone est soumise à des apports d'eaux continentales, en particulier les apports des principaux oueds (El-Harrach et El-Hamiz), marquant une dessalure plus ou moins importante des eaux superficielles, observées selon la période de l'année en face des embouchures de ces oueds et des émissaires. De plus, ces apports participent à l'enrichissement des eaux littorales en sels nutritifs. Cet enrichissement surtout en phosphate par les eaux usées de l'oued El-Harrach cause une dégradation de la qualité chimique des eaux de la baie d'Alger, en faisant diminuer le rapport de Redfield. (**ROUIBAH et al., 2005**).

Même constat en 2009 et 2011 avec une certaine envergure. En 2009, la zone portuaire a été signalée comme étant très polluée chimiquement (**TAOUDIAT., 2009**).

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 compagnes 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. Circulation générale en Méditerranée

1. Circulation générale

La circulation générale de surface est gouvernée, globalement par la force de Coriolis. 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 (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 p.s.u) 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. Le parcours de l'AW le long des côtes algériennes est détaillé plus loin. 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 (ALBEROLA 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 (ALBEROLA et al., 1995).

La circulation dans le golfe du Lion, dont le plateau continental est à une profondeur moyenne de 90 m jusqu'à l'aplomb du talus au sud, est influencée par le panache du Rhône, le vent et la

circulation générale. L'influence du fleuve peut être négligée du point de vue dynamique. Celle du vent (vent nord-ouest, Mistral et Tramontane) fait apparaître des upwellings le long des côtes de Provence, de Camargue et du Languedoc. Par ailleurs, l'influence de la circulation générale se manifeste par le fait que le courant nord est perturbé par les différents canyons qui le coupent, entraînant ainsi une turbulence, une partie du courant se détache alors de la veine principale à l'est du golfe pour pénétrer dans le plateau continental et longer la côte.

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) (Figure 1.2).

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 (EI-GINDY and EI 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) (Figure 1.1).

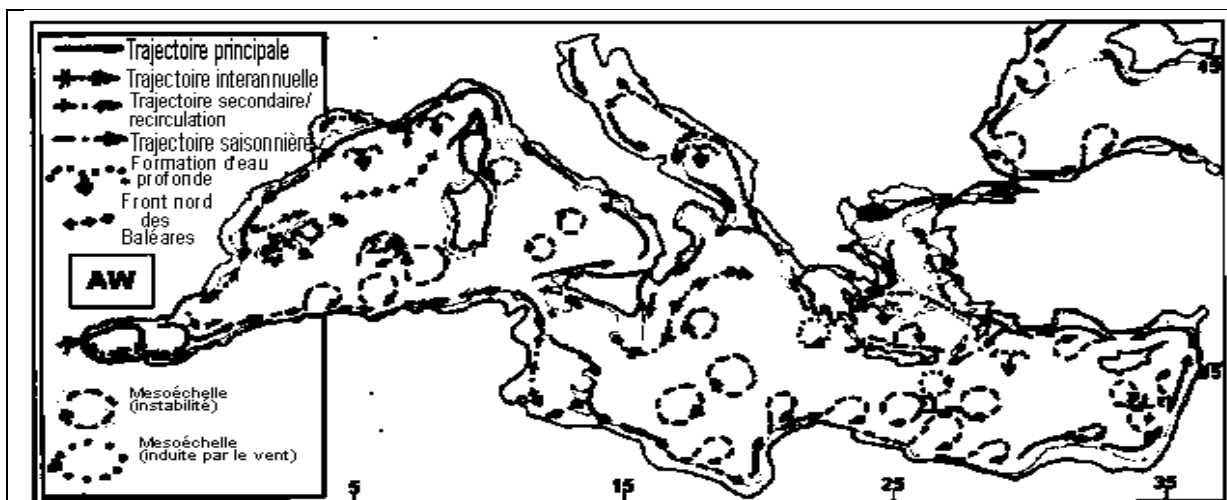
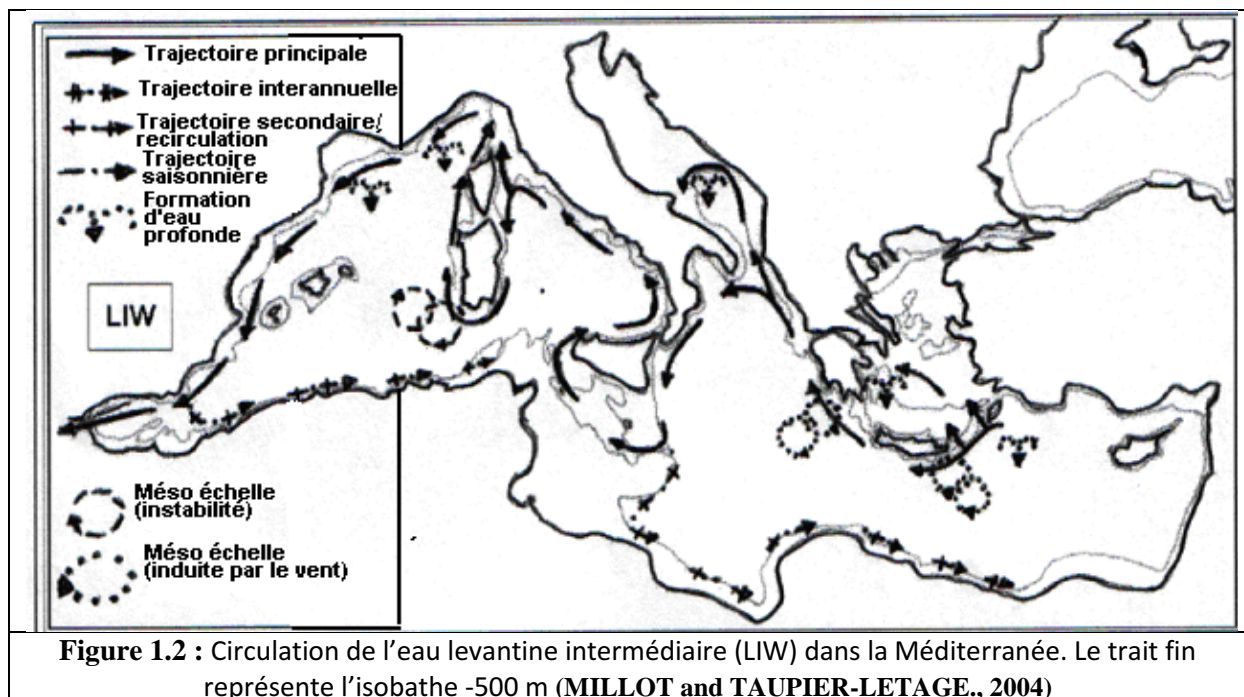


Figure 1.1 : Circulation de l'eau atlantique (AW) dans toute la Méditerranée. Le trait fin correspond à l'isobathe -200 m. ΣA_E , ΣL_W , ΣL_E correspondent aux zones d'accumulation de tourbillons dans, respectivement, l'est algérien, l'ouest levantin et l'est levantin, (MILLOT and TAUPIER-LETAGE., 2004),

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).

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 p.s.u). 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) (Figure 1.3).



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 TREGUER., 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.

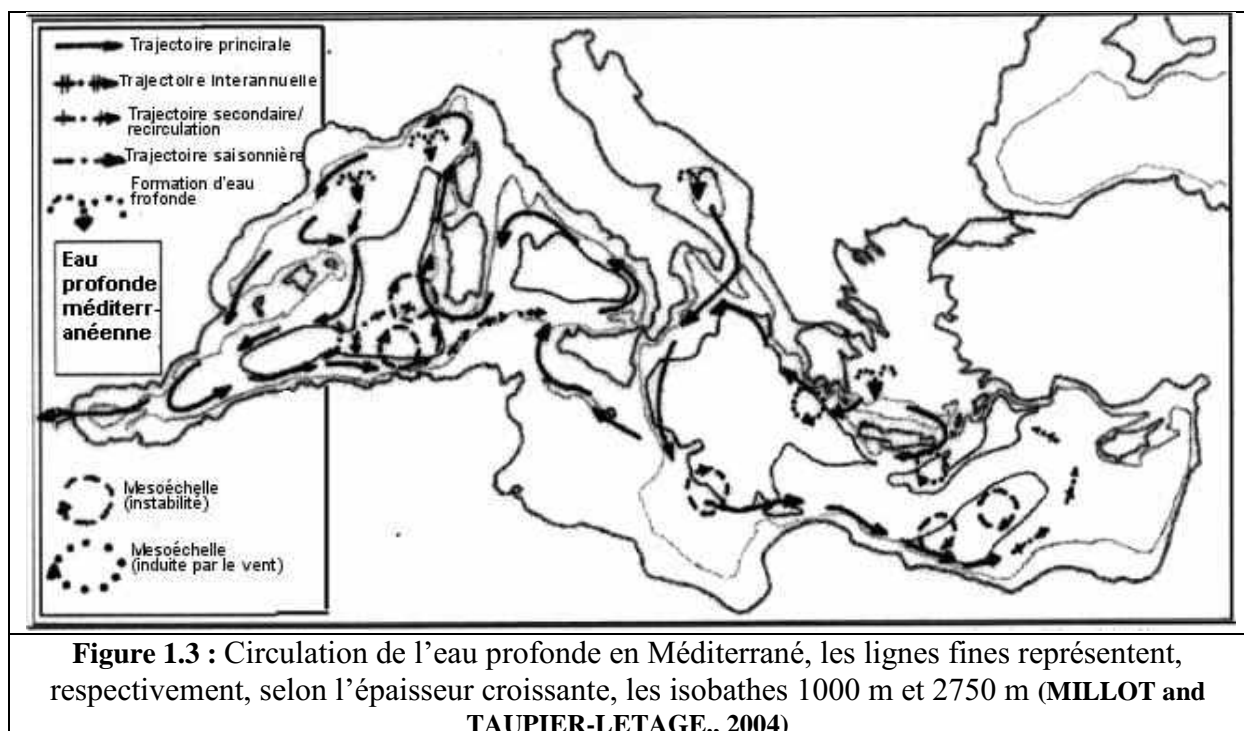


Figure 1.3 : Circulation de l'eau profonde en Méditerranée, les lignes fines représentent, respectivement, selon l'épaisseur croissante, les isobathes 1000 m et 2750 m (MILLOT and TAUPIER-LETAGE., 2004)

I.1. 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 TREGUER., 1986). A toutes les profondeurs, ses concentrations en sels nutritifs sont très faibles en le 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-MONTEGUT., 1996), ou bien à un déficit généralisé mais modéré en phosphates (JACQUES et TREGUER., 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 (BETHOUX et al., 1998).

II. Hydrologie des milieux marins

L'hydrologie marine englobe la description et l'étude des écosystèmes aquatiques à travers les propriétés physiques et chimiques des masses d'eau caractérisant le fonctionnement des milieux. Elle repose sur les paramètres nécessaires à la compréhension des processus qui gouvernent les cycles naturels. Elle diffère de celle des eaux douces par deux particularités essentielles :

- **Le déplacement des masses d'eau :** En milieu marin, les masses d'eau se déplacent dans toutes les directions et à grande échelle sous l'effet des courants marins résultant de la *circulation générale*, de la *marée* et du *vent*, facteurs d'importance variable selon la région considérée.
- **La salinité du milieu :** Il faut considérer l'importance de ce facteur sous deux angles, l'un relatif à la stratégie d'étude du milieu, l'autre relatif à l'analyse des eaux (AMINOT et al., 2004).

III. Le bassin algérien

III.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° 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**).

III.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 ~ 0° 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.

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**).

IV. 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 ».

Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type, ainsi les différentes pollutions affectent le milieu marin à des niveaux variables, et dépendent:

- Du type de pollution (instantané ou permanent);
- De la capacité d'autoépuration du milieu récepteur;
- Et du niveau de persistance et de la réactivité de la substance polluante.

V. Paramètres physico-chimiques

Ces paramètres sont les caractéristiques spécifiques des eaux, ils varient en fonction des latitudes et longitudes, des saisons et de la profondeur, à chaque région donc des caractéristiques hydrologiques propre à elle qui la distingue d'une autre.

1. 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).

2. Salinité

Dans le pratique océanographique, la salinité à été déduite, jusqu'en 1961, de la chlorinité puis progressivement à partir de cette date, de nouvelles techniques furent développées permettant de déterminer la salinité à partir de mesures de conductivité, de température et de pression. Depuis 1978, l'échelle pratique de salinité définit la salinité en termes de rapport de conductivité. (AMINOT., 1983).

3. Le potentiel hydrogène (pH)

Les variations du pH sont en rapport de l'oxygène, une forte production de l'oxygène suite à l'activité Photosynthétique implique une diminution de la teneur de l'eau en CO₂, en conséquence le pH augmente (LEFEBVRE et al., 1993).

Sa modification est due aussi à des facteurs physiques (échanges air-mer, la température, pression) et chimique, des rejets industriels ou des rapports d'eau continentale à pH acide.

Celui de l'eau de mer est proche de (8,2), essentiellement fixé par la présence des carbonates (CO₂ – HCO₃⁻ - CO₃²⁻), (AMINOT., 1983). En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux continentales sont la cause de variations du pH qui s'avère dans ce cas un indice de pollution

VI. Les sels nutritifs

Les sels nutritifs appelés aussi nutriments sont des éléments chimiques indispensables à la synthèse autotrophes de la matière organique. Ces sels représentent l'ensemble de l'azote (15%), du phosphore (3%) et du silicium (AUBERT *et al.*, 1972). Le Phytoplancton a besoin de ces sels nutritifs qu'il trouve dans le milieu marin pour sa croissance, son développement et la formation de son squelette. Les faibles concentrations d'éléments nutritifs dans le milieu marin, minimisent la photosynthèse tandis que les excès provoquent une eutrophisation du milieu, qui se traduit par une importante croissance de certaines espèces phytoplanctoniques.

On trouve très souvent, une augmentation considérable des concentrations en sels nutritifs près des estuaires et les milieux portuaires (AMINOT., 1983).

VI.1. Rôle des sels nutritifs

Les Phytoplanctons fabriquent leurs squelettes et leurs matières organiques par assimilation des sels nutritifs dissous dans l'eau de mer et puisent l'énergie solaire. La lumière et la circulation océanique qui transportent les sels dissous (Azote, Phosphore, Silicium) sont les facteurs importants pour la production biologique.

Les Upwellings sont le siège d'une production biologique intense car ils sont riches en sels nutritifs. (JEAN DEL., 1998). D'où l'importance des sels nutritifs dans l'étude de la circulation des masses d'eaux et de leurs mélanges. Il existe des relations entre certains sels avec certains métaux lourds tels que celles qui lient les phosphates aux calciums. Ce qui permet la compréhension du comportement et du devenir de ces derniers dans le milieu marin (COSSA et LASSUS., 1989).

VI.2. Différentes formes des sels nutritifs

1. L'Azote

L'Azote est un élément essentiel des structures vivantes, il est prélevé dans l'atmosphère par certaines bactéries capables de le fixer directement. Il existe sous trois formes essentielles selon le degré d'oxydation : nitrates (NO_3), Nitrites (NO_2) ammonium (NH_4^+), ainsi que l'urée aux acides amines. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (COPIN-MONTEGUY., 1998).

a. L'Azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH_3) et l'ammonium NH_4^+ dont les proportions relatives dépendent du pH de la température et de Salinité. (AMINOT., 1983). La forme d'ions ammonium NH_4^+ est non toxique, NH_3 est la forme toxique (GAUJOUS., 1995).

L'azote ammoniacal provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source et d'oxyder par les bactéries nitrifiantes. Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des

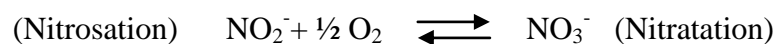
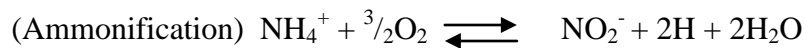
concentrations inférieures été oxydé en nitrite puis nitrate. Lorsque l'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine (AMINOT., 1983).

b. l'azote nitreux (NO₂⁻)

Dans le cycle de l'azote, les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu marin qui sont de l'ordre de zéro à quelques micromoles par litres d'azote nitreux. (AMINOT., 1983).

Ces concentrations connaissent des variations saisonnières, en hiver, elles varient entre 0.5 et 1 µmol/l puis suite au développement phytoplancton, chutent en été et peuvent atteindre des valeurs très faibles, moins de 0.01 µmol/l (AMINOT, 1983). Dans les eaux estuariennes où l'on trouve de faibles teneurs en oxygène les concentrations des nitrites sont supérieures à 5 µmole/l. ce qui reflète la richesse de la zone en matière organique. (AMINOT., 1983).

Les nitrites proviennent de l'excrétion directe ou de l'oxydation des composés azote excrètent, suivant les réactions ci-dessous :



c. l'azote nitrique (NO₃⁻)

Les ions nitrates sont les plus stables en solution aqueuse. Dans le cycle de l'azote ils sont considérés comme la forme principale. L'azote nitrique est issu de l'oxydation des nitrites par des bactéries (les nitrobacters). Dans les estuaires, lorsque la salinité décroît, l'effet des apports terrigènes devient important et la concentration peut atteindre, aux faibles salinités, plusieurs centaines de micromoles par litre. (AMINOT., 1983).

2. Le Phosphate

Le phosphore est un élément nutritifs qui se trouve généralement en mer sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire. Les Orthophosphates sont la forme la plus abondante PO₄³⁻ (10 %) et HPO₄⁻ (90%) et (1%) de H₂PO₄ (AMINOT., 1983). Les fortes concentrations suite à l'enrichissement d'origine domestique ou agricole provoquer le phénomène d'eutrophisation (BONTHOUX., 1993). Les teneurs en Orthophosphates sont normalement assez faibles en surface (0 à 1 µmol/l), elles augmentent avec la profondeur. Dans les estuaires, les concentrations des phosphates sont très élevés et peuvent atteindre plusieurs dizaines de µmoles par litre (AMINOT., 1983).

3. la silice dissoute

Le silicium est un élément nutritif car il entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées, radiolaires...) (AMINOT., 1983). A pH habituel de l'eau de mer (≈ 8.2), le silicium dissous se trouve à 95 % sous les formes d'acide orthosilicium, $\text{Si}(\text{OH})_4$, 5 % $\text{Si}(\text{OH})_3^-$.

VI.3. Origines des sels nutritifs

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes).

1. Sources externes

La source externe regroupe tous les apports continentaux qui sont transférés à la mer par:

- Les rejets qui ont différentes origines : agricole, industrielle ou domestique, ces dernières contribuent à la dégradation du milieu marin, en agissant directement sur ces qualités physico-chimiques et sur l'écosystème.

Soit par voie atmosphérique

- Les précipitations : les eaux de pluies lessivent les sols agricoles et créent des ruissellements qui rejoignent la mer et enrichissent ainsi le milieu marin en apport terrigène dont les sels nutritifs entrants dans la composition des engrais et fertilisants.

2. Sources internes

La plus importante est l'activité biologique comprenant toutes les réactions biochimiques et autres (oxydation et dégradation, ayant lieu au niveau de la colonne d'eau. L'excrétion des niveaux trophiques supérieurs, ou encore la minéralisation bactérienne, sont des sources d'Ammonium (JACQUES et TREGUER., 1986). En infinies quantités, le sédiment peut aussi rediffuser les sels nutritifs qui y sont immergés.

VI.4. Cycle et régénération des sels nutritifs

La production primaire est basée sur l'assimilation des sels nutritifs pendant la photosynthèse en présence de lumière. Cette activité biologique est localisée dans la couche euphotique où les conditions favorables (lumière, température, etc....) sont réunies pour la croissance et le cycle assez court. Ces organismes fournissent après leur mort une quantité importante de matière organique et de matériel biogénique (test, fécales,...etc.)

Le processus de dégradation biologique, conduit le long de la colonne d'eau à des réactions d'oxydoréduction en libérant sous forme dissoute du gaz carbonique, des composés minéraux de l'azote et du Phosphore et consomme de l'oxygène.

La réduction des Nitrates se fait par des bactéries nitrifiantes, d'abord la matière organique se décompose en NH_4^+ puis il y a nitrosation en NO_2^- en suite la nitratisation des NO_2^- en NO_3^- . Pour les phosphates, l'oxydation se fait sous l'effet de métabolisme des plantes ou des animaux ou sous l'effet des bactéries. Ces dernières transforment les phosphates organiques en phosphates minéraux.

La régénération de silice et des carbonates de calciums se fait par la dissolution des squelettes siliciques est calciques le long de la colonne d'eau lors de leur chute en profondeur.

Le recyclage des sels nutritifs est favorisé aussi par les phénomènes de Down Welling, d'Up Welling et de la circulation sous-marine.

VI.5. Distribution des sels nutritifs

Le comportement des sels nutritifs dans le milieu marin impose une distribution stricte. Cette distribution se trouve influencée par divers facteurs, tels que la proximité des côtes, la profondeur, les teneurs en oxygène dissous ainsi que l'importance de la population phytoplanctoniques.

La distribution des sels nutritifs est caractérisée par une stratification ou large avec des teneurs faibles en surface, et qui augmente progressivement en profondeur pour atteindre un maximum dans les eaux ou niveau intermédiaires. Cette distribution est contrôlée par les phénomènes physiques et par l'activité biologique qui peuvent modifier la distribution (**JACQUES et TREGUER., 1986**).

La distribution varie étroitement d'une zone à une autre distribution générale des sels nutritifs dans le bassin algériens (**RAIMBAULT et al., 1990**) (**Figure 1.4**). A ce propos on distingue :

- Les zones d'Up Welling.
- Les zones subsuperficielles, déficitaires en sels nutritifs souvent localisées entre 80 et 100 m de profondeur.
- La couche de maximum de phosphates et de nitrates située entre 300-500 m de profondeur, le long des côtes algériennes entre 0° et $4^\circ 40' E$. Elle s'étend ou large et disparaît ou delà de $38^\circ N$.

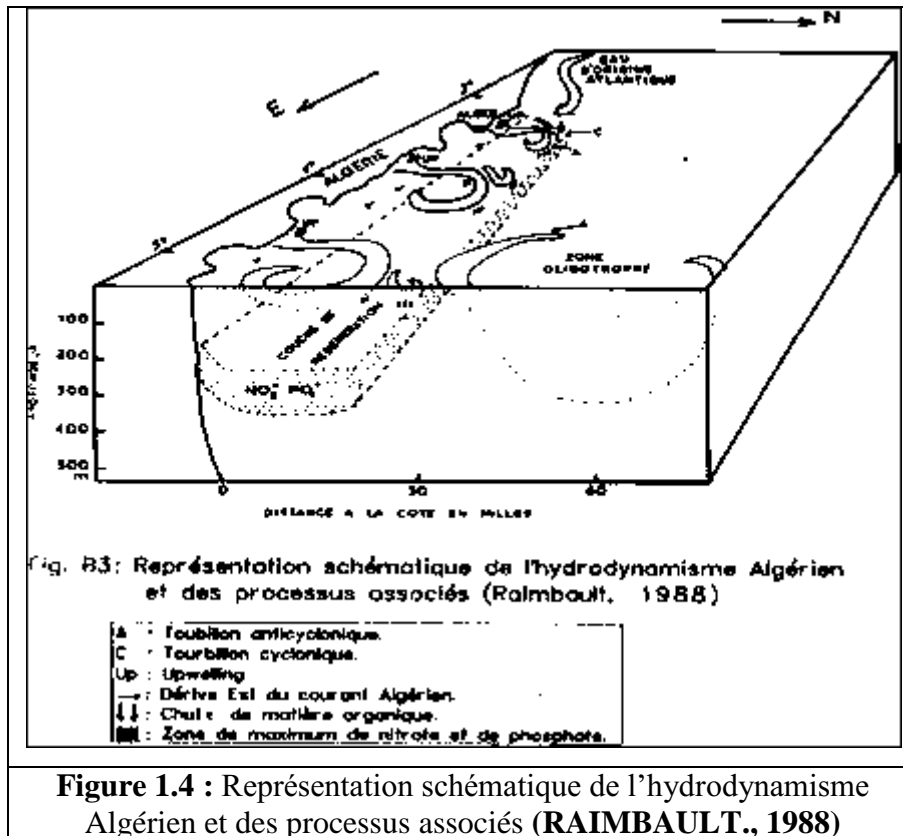


Figure 1.4 : Représentation schématique de l'hydrodynamisme Algérien et des processus associés (RAIMBAULT., 1988)

VII. Production primaire

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).

VII.1. 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).

VII.2. Sels nutritifs et le rapport de Redfield

L'assimilation phytoplanctonique et la régénération du carbone, de l'azote, du phosphore et de l'oxygène se font dans les proportions quasi constantes (COPIN-MONTEGUT., 1996). Une relation existe entre l'oxygène et les éléments biochimiques liés à l'oxygène. Cette relation est exprimée par les apports biochimiques dits de Redfield (COPIN-MONTEGUT., 1996) :

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

Cet apport matières exprime la consommation de 138 moles d'oxygène pour oxyder 1 mole de carbone, 16 moles d'azotes, et 106 moles de phosphates. Ce rapport est à peu près constant sauf en milieu pollué où il n'existe plus de proportions significatives entre les différents éléments (essentiellement N et P) car ils peuvent être issus de rejets et non d'activités biologiques.

I. Présentation de la baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne entre les longitudes Est : de 03° 13' 25'' à 03° 02' 21''E et les latitudes Nord : de 36° 48' 53'' à 36° 44' 38'' N. De forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180 Km², elle s'inscrit en creux dans la plaine de La Mitidja. Elle est délimitée par deux caps, La Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord. Deux Oueds se déversent dans la baie d'Alger, ce sont Oued El Hamiz et Oued El Harrach (**Figure 2.1**).

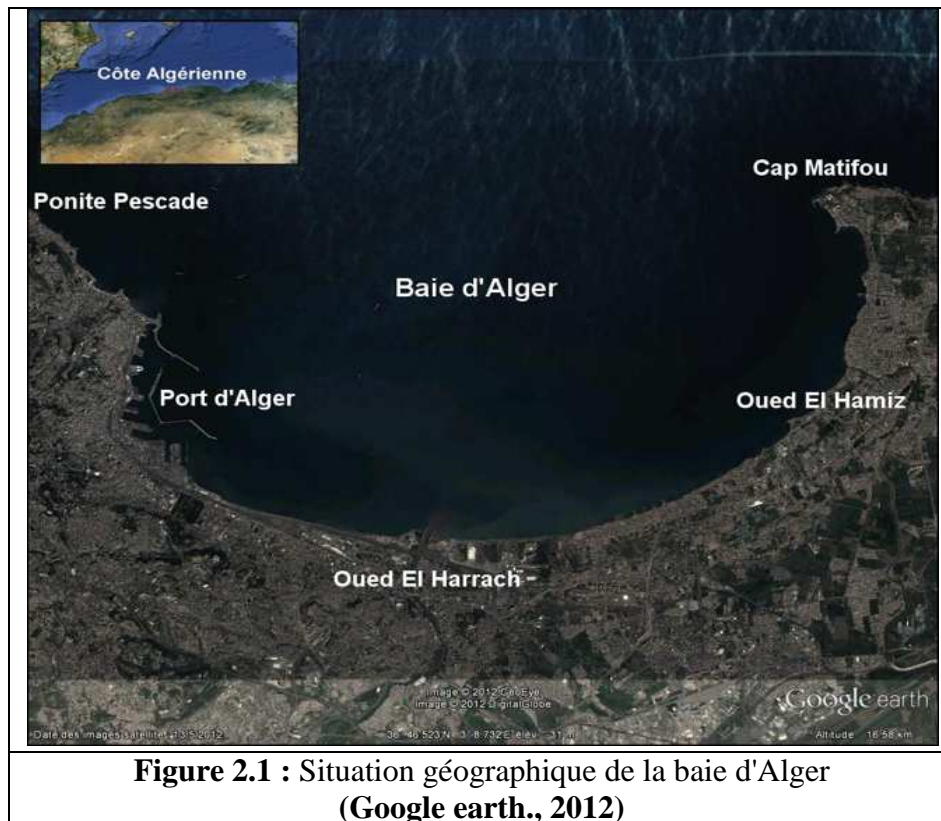


Figure 2.1 : Situation géographique de la baie d'Alger (Google earth., 2012)

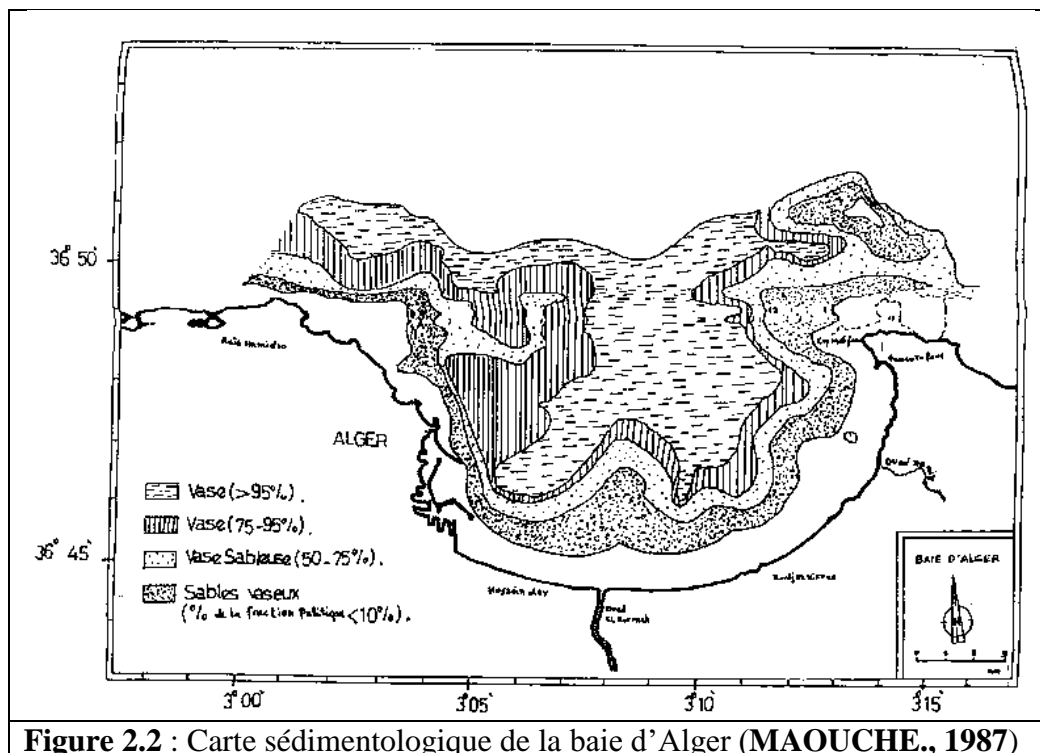
II. Géomorphologie

Le plateau continental de la baie d'Alger est large d'environ 9 km. Cependant, aux deux points extrêmes de la baie, on constate qu'il se réduit à une largeur maximale de à 1 km. Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celle des 100 m (**PAC., 2004**).

III. Sédimentologie

Les travaux de sédimentologie ou sur la nature des fonds en baie d'Alger, comparativement aux autres baies et golfes de la côte algérienne, sont nombreux et détaillés. Le **DANOIS (1925)**, **GROVEL (1961)**, **LECLAIRE (1972)**, **CAULET (1972)**, **PETIT (1972)**, **MAUCHE (1987)** sont les principaux auteurs ayant abordé l'étude de la couverture sédimentaire de la baie (**figure 2.2**). Ces différentes études ont mis en évidence :

1. La distribution bathymétrique des sédiments de la côte vers le large selon un gradient d'envasement croissant ;
2. des sables fins essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds de la baie ;
3. des zones sédimentaires de transition : les sables envasés et les vases sableuses, assurant le passage progressif des sables fins infralittoraux aux vases pures ;
4. des vases pures dans la partie centrale et septentrionale de la baie, témoignage d'un important envasement de ce secteur de la baie d'Alger ;
5. des graviers organogènes ou des formations grossières carbonatées localisés uniquement aux zones très réduites du plateau continental qui font suite aux bordures rocheuses est et ouest de la baie (PAC., 2004)



IV. FACTEURS HYDRODYNAMIQUES

IV.1. Les houles

D'après LECLAIRE (1972), le régime saisonnier se caractérise par deux directions privilégiées :

En hiver : Les houles prédominantes sont W.N.W (pour plus de 80 %) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes. Des périodes pouvant atteindre parfois 13 secondes ont été relevées lors des grandes tempêtes.

En été : La houle de direction N.N.E. se caractérise par une période moyenne plus faible de 6 à 7 secondes et des amplitudes moins élevées de 0,5 à 1 m. 50 % de ces houles ont une période de 6 à 9 secondes et n'atteignent que très rarement 3 m d'amplitude.

IV.2. Réseaux hydrographiques

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

1. Oued El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie 970 km², il englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest. Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui en faveur d'une forte érosion et d'un alluvionnement important (LEM, 1999). Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influe sur la qualité physico-chimique et microbiologiques du milieu marin de la baie d'Alger, ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel.

2. Oued El Hamiz

La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en Mer (LEM, 1999). Ses principaux affluents sont: Oued Segia et oued Barek.

IV.3. Facteurs météorologiques

1. La température

La région algéroise en générale et celle de la baie d'Alger en particulier, selon LEM (2006), se distingue par deux périodes dans le cycle saisonnier annuel :

- La première, chaude, s'étale de mai à octobre avec un maximum en Aout (39,2°C) ;
- La seconde, relativement froide, couvre les autres mois de l'année avec un minimum en février (3°C).

2. Pluviométrie

Les précipitations sur la région varient de 600 à 1000 mm et tombent en 80 jours en moyenne. Elles sont très irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle. On observe une croissance rapide de la pluviosité de septembre à décembre puis une décroissance plus lente jusqu'en juin et enfin des pluies quasiment nulles en juillet et en Aout (LEM., 2006).

3. Les vents

Selon MAOUCHE (1987), Le régime et la vitesse des vents dans la région d'Alger sont caractérisés par :

- Des vents de secteur NE : qui sont les plus fréquents et mieux marqués en été, leur vitesse se répartisse entre 1 et 30 noeuds.
- Des vents de secteur W-SW, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 noeuds.
- Des vents de secteur S-SE : qui sont les moins représentés, ils sont marqués en automne et en hiver, leur vitesse est de 6 à 10 noeuds.

IV.4. Facteurs hydrodynamiques

1. **Les houles** D'après Leclaire (1972), le régime saisonnier se caractérise par deux directions privilégiées :

En hiver : Les houles prédominantes sont W.N.W (pour plus de 80 %) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes. Des périodes pouvant atteindre parfois 13 secondes ont été relevées lors des grandes tempêtes.

En été : La houle de direction N.N.E. se caractérise par une période moyenne plus faible de 6 à 7 secondes et des amplitudes moins élevées de 0.5 à 1 m. 50 % de ces houles ont une période de 6 à 9 secondes et n'atteignent que très rarement 3 m d'amplitude.

2. Les courants

2.1. Les courants généraux

Il existe un courant général rentrant par le détroit de Gibraltar et se dirige vers l'Est. Ce courant reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s au large des côtes Algérienne, (LEM., 2006).

2.2. Les courants côtiers

En prenant les informations de plus de 8000 observations enregistrées par le Koninklyk Nederland Météo- Logisch Institut (KMNI), les courants côtiers les plus significatifs sont dus à la houle. Les courants le long des côtes Algériennes sont généralement faibles en direction Ouest et Est. Selon la même source, les courants côtiers dominants (environ 75% du temps) ont une vitesse de 0.25m/s, et 24% de temps la vitesse est inférieure à 0.5 m/s, Seulement 1% du temps la vitesse est supérieure à 1m/s (*in AICHIOU et al., 2006*)

2.3. Les courants de dérive littorale

La dérive littorale est présente lorsque la houle atteint la côte avec une certaine obliquité (figure 5). La vitesse du courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°. Lorsque la houle est oblique, le jet de dérive se fera dans la direction de la propagation. Par contre, le retrait des eaux se fera dans le sens de la plage (OTTMAN., 1965).

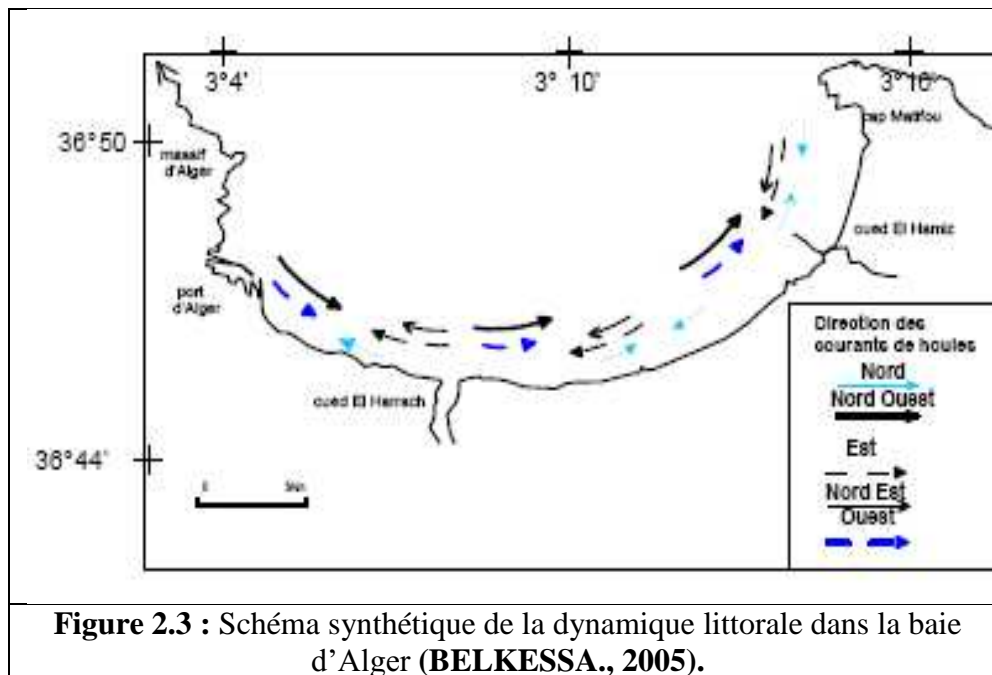


Figure 2.3 : Schéma synthétique de la dynamique littorale dans la baie d'Alger (BELKESSA., 2005).

V. État de la pollution dans la baie d'Alger

La baie d'Alger est soumise aux perturbations anthropiques de différentes origines causées par une population humaine de plus de 4,3 millions d'habitants qui vivent dans la métropole d'Alger. En outre, près de 1000 entreprises exercent dans différents domaines et se partagent cette baie : métallurgie, construction, pétrochimie, production pharmaceutique, industries mécaniques, électriques et électroniques, alimentation, production de papier, ... (PAC., 2005) (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Les activités polluantes en baie d'Alger (PAC., 2005)

Zone industrielle	Unité industrielle	Nature de l'activité
Alger - Port	COGRAL Filiale ENCG HRSA/UP5	Raffinage des huiles et fabrication de savon
	Centrale thermique	Production d'électricité
	COGRAL RSA/UP6	Production d'huile et de savon
Oued El Harrach	Parfumerie et Cosmétique de l'Oasis	Fabrication de parfum et cosmétique
	EPBH	Fabrication de boissons gazeuses et bières
	ENPC TP1G	Transformation de plastique
Oued Smar	ENPEC	Fabrication d'accumulateurs de démarrage de plomb
	SIAD	Production de détergents
	Complexe de levure ERIAD	Production de levure
	ENAP	peinture, vernis, diluants et colles
	Arômes d'Algérie	Émulsion 10t, Essences 3t/an, Arômes 2t/an

V.1. Influences continentales

Les communes littorales de la baie d'Alger contiennent 1352 unités industrielles (**Entreprise portuaire d'Alger, in KESSOURI, 2008**). L'installation de ces nombreuses zones industrielles le long du littoral du grand algérois (tableau 2) a fait augmenter le risque de la pollution de l'environnement marin. Des concentrations élevées en phosphates dissous signalées dans la baie d'Alger par (**BOULAHIDJ et al., 2003**). En effet, la quasi-totalité des affluents de toutes les natures se jette directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable (**figure 2.5**) dont les principales sources sont :

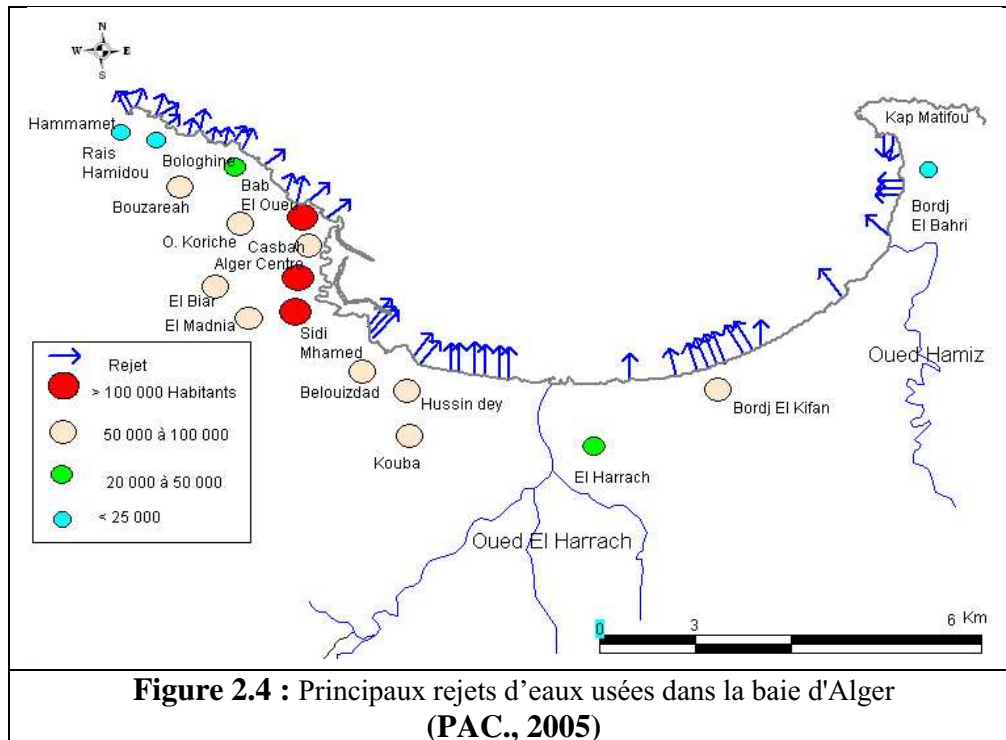
- Le port d'Alger par les activités portuaires et les égouts qui s'y déversent.
- Les émissaires urbains du secteur Hussein-dey qui véhiculent les rejets domestiques et industriels de la ville d'Alger.
- Une multitude d'égouts, de moindre importance, non signalée par les services du cadastre, déversent les eaux usées d'origine domestique dans la baie.
- Les nombreux navires en mouillage dans la rade, constituent également un risque de pollution des eaux de la baie.
- Les apports atmosphériques, en relation avec l'intense circulation automobile, particulièrement dans la ville d'Alger.

L'oued El-Harrach, véritable égout à ciel ouvert, se déverse au milieu de la baie. Les courants Est-Ouest contribuent à rendre insalubre la moitié Ouest de la baie, le port d'Alger compris. Depuis toujours, il a constitué le réceptacle «naturel» des eaux résiduaires des communes de son bassin versant. Constituées pour la plus grande partie par des effluents domestiques, les eaux de cet oued, du fait du développement industriel, reçoivent un apport non négligeable d'eaux usées industrielles, charriant des produits chimiques et des substances toxiques ; les eaux de cet oued sont déversées directement dans la baie où le milieu marin est aujourd'hui sérieusement dégradé (**IDJER et al., 1997**).

L'oued El Hamiz dont le débit, régulé par un barrage, s'est vu diminuer sensiblement. Le lit de cet oued est jonché de débris et reçoit des rejets domestiques, essentiellement.

Tableau 2.2 : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (*in KESSOURI, 2008*).

Communes de la baie d'Alger	Unités industrielles polluantes	Nombre de rejets d'eaux usées	Influence sur la mer
Bab El Oued	5	1	rejets
Casbah	0	1	rejets
Alger Centre	10	24	Rejets au PORT
Hamma	5	3	rejets
Hussein Dey	16	3	rejets
Mohammadia	5	4	Oued El Harrach et rejets
Borj El Kiffen	4	8	Oued El Hamiz et effluents ; rejets
Borj El Bahri	0	4	Oued El Hamiz, rejets



VI. Port d'Alger

VI.1. Présentation du port d'Alger

Situé dans la région centrale de la côte algérienne, la baie d'Alger s'incurve sur 47km entre Rais Hamidou (ou Point Pescade) à l'Ouest et Bordj El Bahri (Cap Matifou) à l'Est. Deux oueds débouchent dans la baie ; il s'agit de l'oued El Harrach et de l'oued Hamiz.

L'urbanisation se développe le long de cette baie et au-delà, ce qui rend cette région la plus peuplée d'Algérie (3 millions d'habitants), elle comporte à l'Est et au Sud d'importantes zones industrielles (El Harrach, Oued Smar, Rouiba) et agricoles (la plaine de la Mitidja). Le port d'Alger a été construit à l'ouest de la baie, protégé par le massif de Bouzaréah (**Figure 2.6**), c'est le port le plus important du pays.

Plus de 90% des échanges commerciaux avec l'étranger s'effectuent par voie maritime, le port d'Alger assure le tiers de ces échanges en volume du trafic national des marchandises diverses (céréales, denrées alimentaires, produits pétroliers, ciments, produits métalliques, engrais, produits chimiques, transactions, biens d'équipements).

Il constitue un milieu semi-fermé et comprend une importante zone industrielle et commerciale à aire de stockage et de manutention et une zone de pêche et de plaisance. Il couvre un plan d'eau de 179 ha et il est subdivisé en trois bassins : bassin du Vieux port, bassin de l'Agha et bassin de Mustapha.

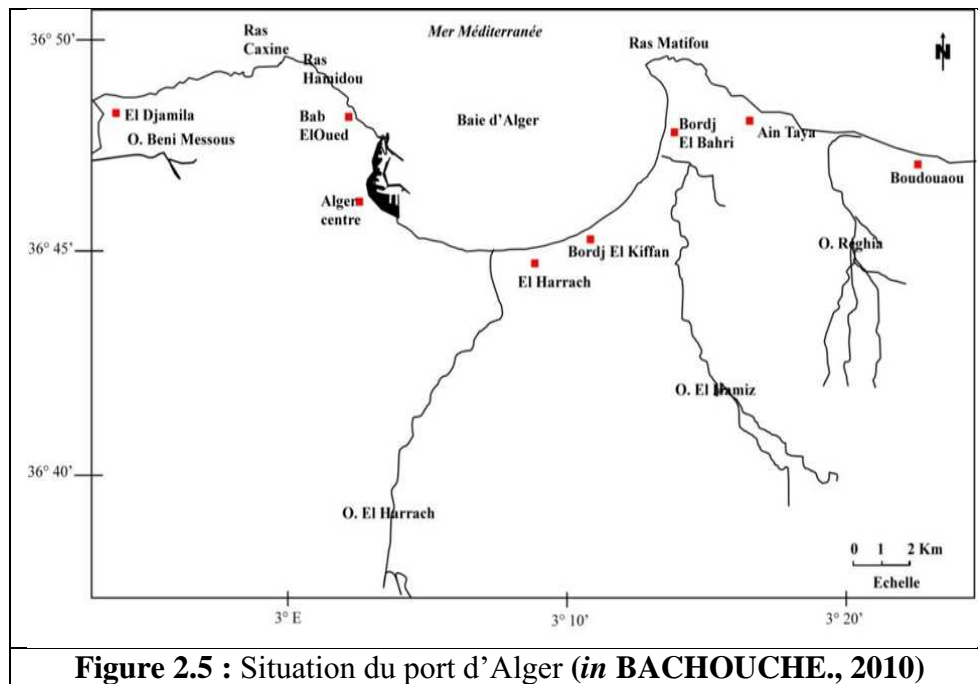


Figure 2.5 : Situation du port d'Alger (*in* BACHOUCHE., 2010)

Le port d'Alger constitue une source inépuisable de pollution qui, au-delà de son activité portuaire même, reçoit un grand nombre d'égouts (24 égouts) qui drainent les eaux usées de la ville d'Alger et dont l'influence est étalée dans l'espace et le temps (permanente). De plus des pollutions ponctuelles très localisées sont engendrées par les navires en rade dans la baie (APPL., 2011).

Les apports des émissaires urbains situés dans le secteur de Hussein-Dey ont eux aussi une forte influence sur la qualité du milieu marin de la baie (APPL., 2010). En 2004, la baignade a été interdite au niveau de 46 plages dans la baie. L'écosystème marin a été gravement touché par la pollution, et une diminution de la biodiversité de 14% pour les espèces de grand intérêt écologique a été signalée (PAC., 2005). À partir de ces données on peut conclure que la baie d'Alger est un milieu pollué ou du moins perturbé (GRIMES., 2005)

Introduction

Pour atteindre l'objectif fixé, Une grande partie de ce travail repose sur l'exploitation de données acquises au cours de plusieurs campagnes océanographiques réalisées dans la baie d'Alger.

Ce type de surveillance porte sur les masses d'eaux. Les paramètres de base sont la température, la salinité, les sels nutritifs (nitrate + nitrite, ammonium, phosphate et silicate),

Prélèvements de la campagne (Mai 2012)

I. Travail réalisé en mer

Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés 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 6 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 de la zone.

I.1. Campagnes de prélèvements :

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Date	Nombre de stations	Auteurs
Février, Décembre 2003	8	(ROUIBAH et al., 2005)
Février, Mai, Juillet 2004	8	(ROUIBAH et al., 2005)
Mars 2009	42	(TAOUDIAT., 2009)
Mai 2009	18	(MADI., 2009)
Mars 2011	10	(KASSAR., 2011)
Mai 2011	23	(BOZETINE et ZERROUKI 2011)
Mai 2012	6	(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 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.

III. 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.1. Localisation des stations de prélèvement

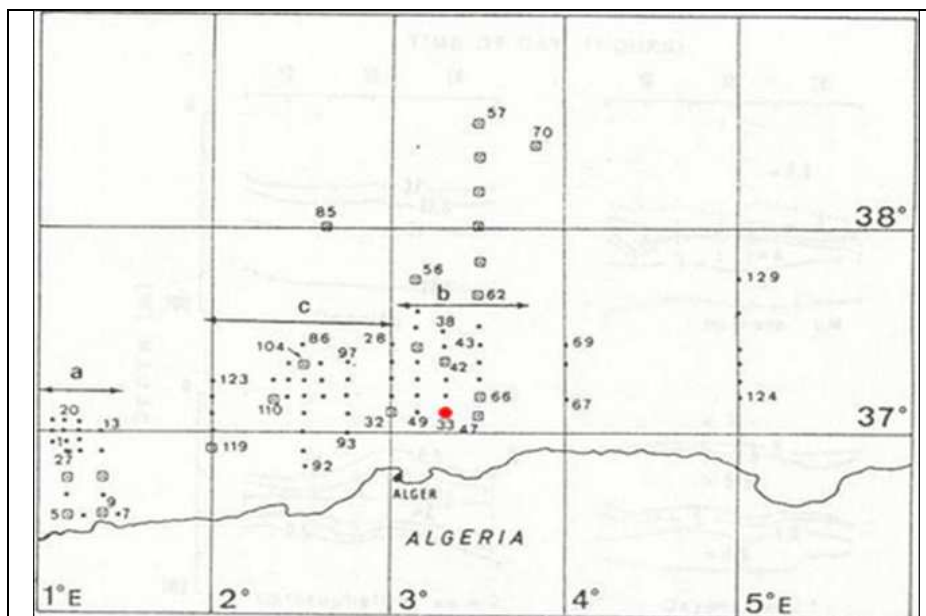


Figure 3.1 : Localisation des stations dans les eaux du large de la baie d'Alger (RAIMBAULT et al., 1991)

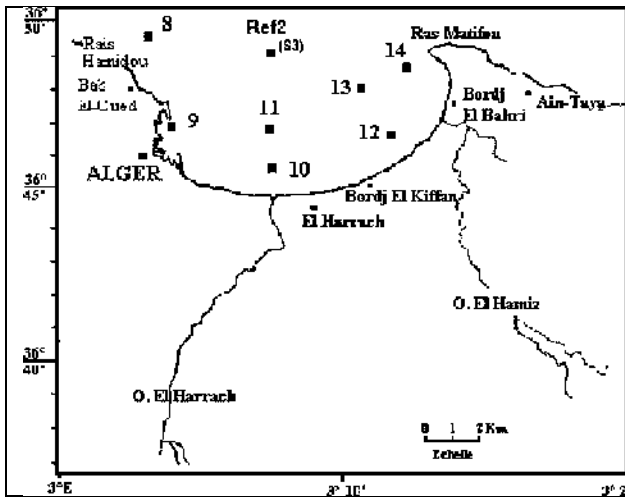


Figure 3.2 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (ROUBAH et al., 2005 ; modifié).

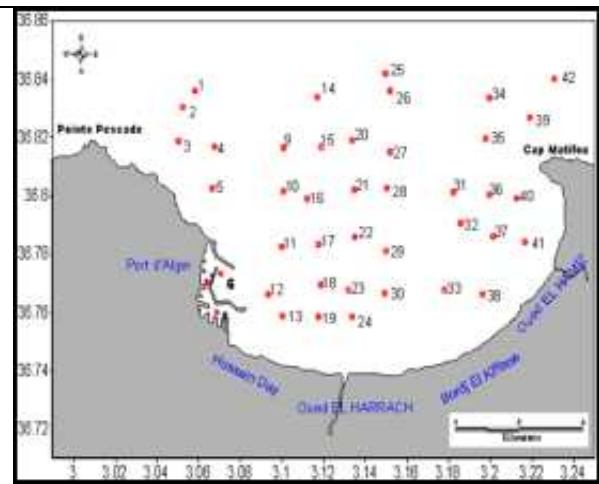


Figure 3.3 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (TAOUDIAT., 2009).

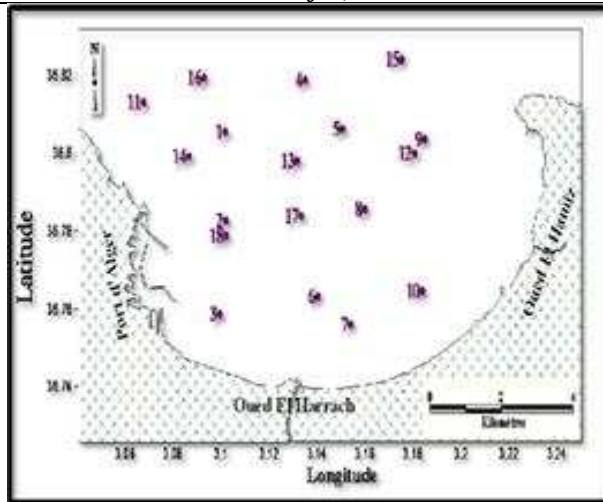


Figure 3.4 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (MADI., 2009).



Figure 3.5 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (BOZETINE et ZERROUKI., 2011)

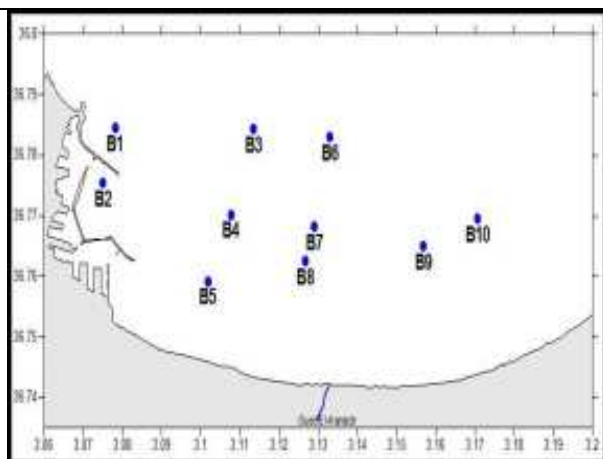


Figure 3.6 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (KASSAR., 2011).

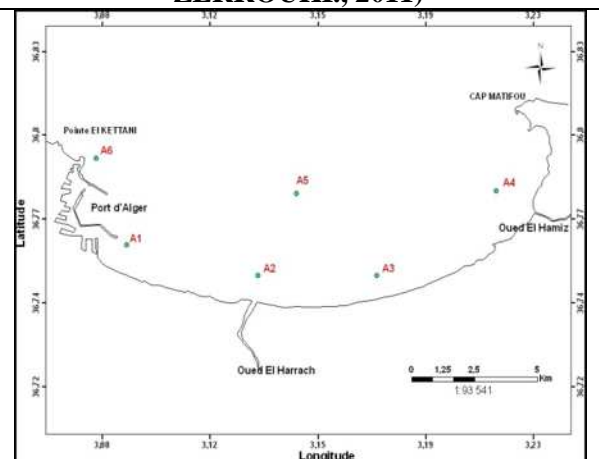


Figure 3.7 : Localisation des stations au niveau de la baie d'Alger (AMROUCHE et KHECHNI., 2012).

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 El Harrach 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 3.8**).

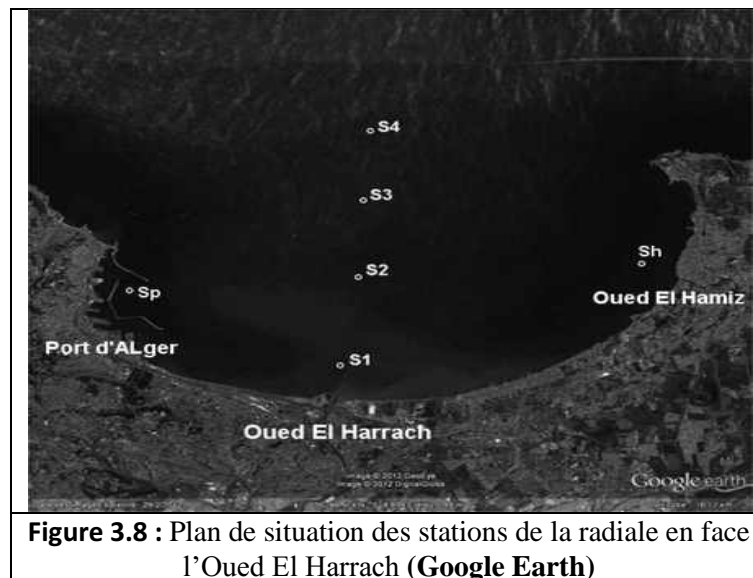


Figure 3.8 : Plan de situation des stations de la radiale en face l'Oued El Harrach (**Google Earth**)

Station	Latitude	Longitude
S1	36° 45.132'N	3° 8.026'E
S2	36° 46.692'N	3° 8.345'E
S3	36° 48.050'N	3° 8.437'E
S4	36° 49.277'N	3° 8.562'E

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.

1. Température

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

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).

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, bécher 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. Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues 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 des différentes formes de sels nutritifs

Voir (AMROUCHE et KHECHNI., 2012), pages 37-41.

Introduction

Il paraît indispensable après cette première étape, de faire un bilan sur l'ensemble des données acquises et des résultats obtenus (2012), afin d'essayer de donner une explication aux multiples anomalies constatées.

- On commencera par l'étude de l'hydrologie de la baie, par l'établissement des diagrammes température-salinité des différentes années dont on fait le suivi.
- Le deuxième type de graphique illustre l'évolution des paramètres considérés à long terme, de Février 2003 à Juillet 2004, sur la radiale de l'oued El Harrach en fonction du débit de cet émissaire.
- Celle-ci sera suivie d'une observation de l'évolution temporelle des sels nutritifs, de Février 2003 à Mai 2012, dans quelques stations, notamment la zone portuaire, la station (S1) située en face l'embouchure de l'oued El Harrach et enfin la station (Sh) recevant les eaux de l'oued El Hamiz.
- Par la suite, des graphiques permettant d'étudier l'évolution spatio-temporelle de ces paramètres le long de la radiale de l'oued El Harrach seront établis, afin de mettre en évidence l'influence des eaux du large sur la baie.
- Des graphiques de type boursier permettront de suivre l'évolution des teneurs en sels nutritifs depuis Février 2003 dans l'ensemble de la baie, et enfin l'étude sera clôturée par l'observation de l'évolution du rapport de Redfield en fonction du temps.
- Enfin, cette étude sera clôturée par une conclusion générale.

I. Hydrologie de la baie d'Alger

I.1. Suivi du diagramme Température-Salinité

Les valeurs relevées pour la salinité sont assez modérées et même, parfois, assez faible pour être typiquement méditerranéennes. En surface, des valeurs de salinité très faibles renseignent sur l'empreinte de l'eau continentale douce ;

En Février 2003, l'ensemble (a) caractérise les eaux de surface des stations proches des embouchures et celles se trouvant en face de l'oued El-Harrach et El-Hamiz, qui présentent des salinités inférieures à 36,4p.s.u. (**Figure 4.1, annexe 1**). La nappe de dilution des eaux atlantiques modifiées est beaucoup plus nette et prononcée à proximité des embouchures (34 p.s.u) devant l'oued El-Harrach) (**ROUIBAH et al, 2005**). Alors qu'en Février 2004 (**Figure 4.2, annexe 1**), l'intervalle de variation de ces eaux est compris entre (36, 21-36,24) (ensemble a), ces eaux sont caractérisées par une intensité du mélange (**ROUIBAH et al, 2005**).

En Mai 2004 (**Figure 4.3, annexe 1**), l'intervalle de variation est de (36-36,2 p.s.u) (ensemble a) (**ROUIBAH et al, 2005**).

En Mars 2009 (**Figure 4.4, annexe 1**), l'ensemble (a) caractérise les points ayant des salinités inférieures à environ 36,5 psu représentant l'eau de mer adoucie par l'eau continentale au niveau des embouchures des oueds El Harrach et el Hamiz et au niveau du port d'Alger (**Taoudiat, 2009**).

En Mars 2011 (**Figure 4.5, annexe 1**), l'intervalle de variation est de (34,89 – 35,21) (ensemble a) (**Zerrouki, 2011**).

Enfin en Mai 2012 (**Figure 4.6, annexe 1**), l'intervalle de variation est de (31,5-33,5 PSU) (ensemble a).

Le reste est presque typique de l'eau atlantique qui longe les cotes algériennes. La salinité de celle-ci au détroit de Gibraltar est de l'ordre de 36. 15 PSU (MILLOT, 1987) ;

En Février 2003 (**Figure 4.1, annexe 1**), l'ensemble b caractérise les stations éloignées de la cote, 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 (**ROUIBAH et al, 2005**).

En Février 2004 (**Figure 4.2, annexe 2**), le digramme salinité-température se distingue des autres par 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 (**ROUIBAH et al, 2005**).

En Mai 2004 (**Figure 4.3, annexe 1**), l'ensemble (b) est marqué par une dilution modérée des eaux atlantiques (36,2-36,7) et un léger réchauffement des eaux de surface particulièrement les eaux prélevées en journées calmes et ensoleillées (secteur oriental de la baie d'Alger) à la différence des autres prélèvements effectués en période du vent NE. (**ROUIBAH et al, 2005**).

En 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 1**). 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. (**ROUIBAH et al, 2005**).

En Mars 2009 (**Figure 4.4, annexe 1**), L'ensemble (b) caractérise une masse d'eau de salinité allant de 36,5 à 38 psu et des températures entre 14 et 16,8 °C. Ces valeurs décrivent l'Eau Atlantique Modifiée (MAW) qui occupe presque la totalité de la baie et forme sa masse d'eau principale (**Taoudiat, 2009**).

En Mars 2011 (**Figure 4.5, annexe 1**), ces eaux mélangées ont un intervalle de variation compris entre (35,31-36,04) (**Zerrouki, 2011**). Alors qu'en Mai 2012 (**Figure 4.6, annexe 1**), il est de l'ordre de (36,2-36,7).

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) ;

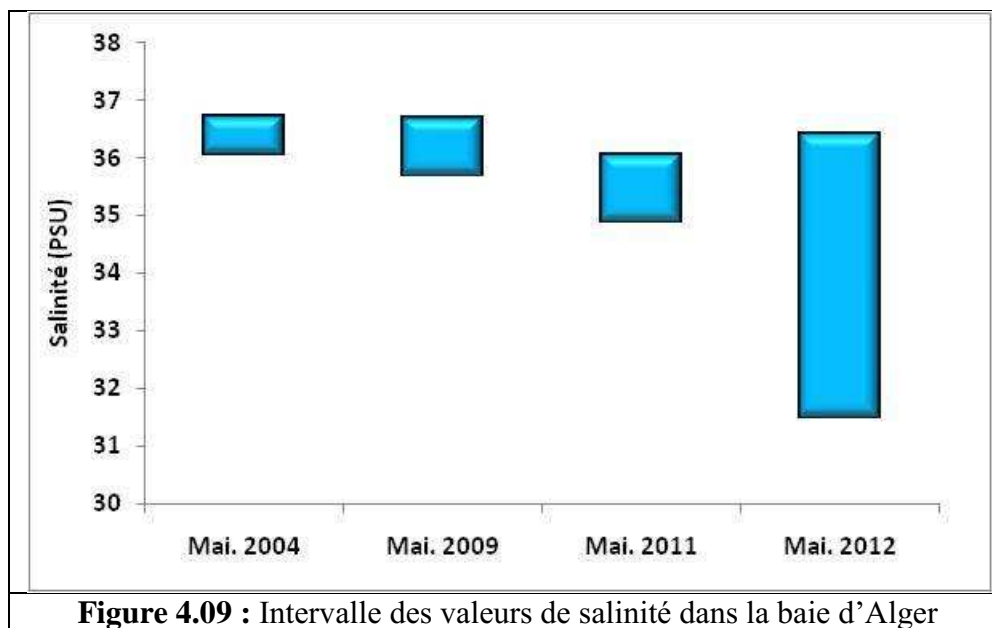
En Février 2004, Mai 2004 et Juillet 2004, la station S3 à 100m de profondeur se distingue des nuages de points. Le mélange de MAW avec l'eau méditerranéenne formant l'eau de mélange apparaît au fond (100m) plus salée (ROUIBAH et al, 2005).

En Mars 2009, l'ensemble (c) caractérise les stations ayant une profondeur comprise entre 100-200m, dont la salinité est supérieure à 38 PSU. Ces eaux forment les traces d'une petite masse d'eau dont la caractéristique principale est la salinité élevée ($S > 38$ psu) et la température entre 13,3 et 13,5 °C. Ces caractéristiques s'approchent de celles de l'eau profonde. Elle peut représenter la base de l'Eau Atlantique Modifiée (MAW) à la limite supérieure de la Levantine Intermediate Water (LIW) (Taoudiat, 2009).

Ces eaux présentent approximativement les mêmes valeurs de salinité en surface et à 100m de profondeur (Figure 4.8, annexe 1).

I.2. Variation temporelle de la salinité

Les variations mensuelles (interannuelles) de la salinité sont présentées à la Figure 4.09 :



Les valeurs de salinité mesurées dans l'ensemble des stations dans la baie d'Alger en Mai 2004 (36- 36,73 p.s.u), en Mai 2009 (35,70-36,70 p.s.u), en Mai 2011 (34,90- 36,05 p.s.u) et en mai 2012 (31,50-36,40 p.s.u) sont variables d'une période à une autre.

En Mai 2012, on enregistre les valeurs les plus faibles (31,5 p.s.u) au niveau des eaux de surface des stations situées en face l'Oued El Harrach.

L'empreinte des eaux continentales est marquée par les dessalures superficielles importantes (31,5 p.s.u) observées en face de l'embouchure de l'oued et des émissaires pour les quatre périodes étudiées. Depuis mai 2004, 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 Mai 2012.

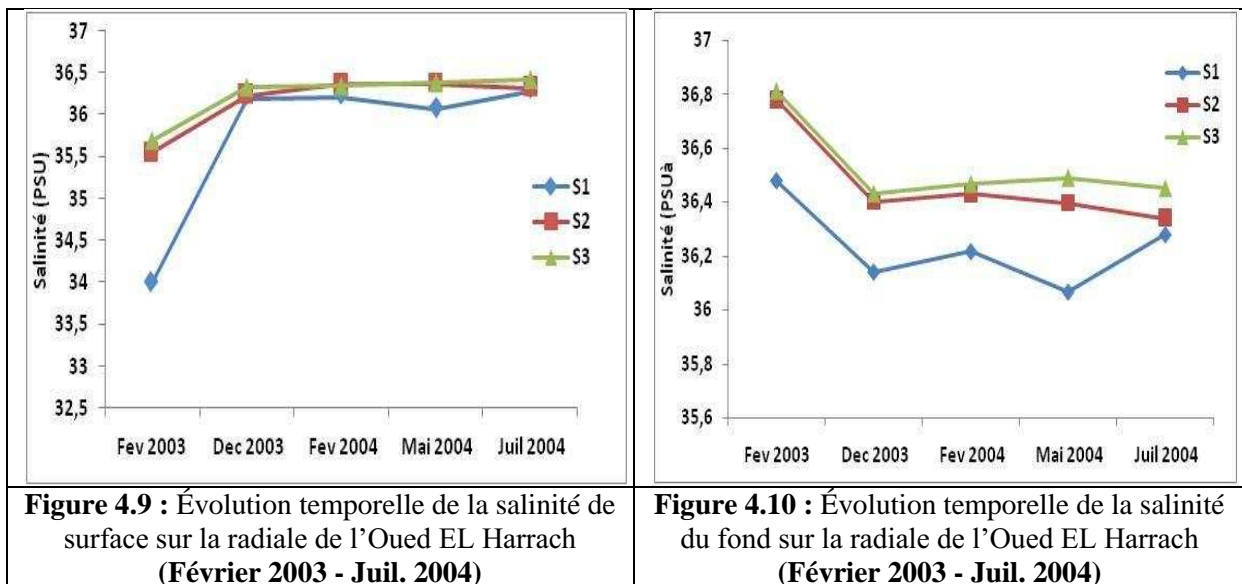
II. Évolution temporelle de la salinité et des sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach

La salinité est caractéristique d'un système marin côtier. En surface (**Figure 4.9**), elle est comprise entre 34 et 36,28 au niveau de la station S1, entre 35,55 et 36,37 dans la station S2 et 35,7 et 36,42 à la station S3. En profondeur (**Figure 4.10**), elle est comprise entre 36,06 et 36, au niveau de la station S1, entre 36,33 et 36,78 dans la station S2 et 36,43 et 36,81 à la station S3

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 El Harrach subit des fluctuations en rapport avec le débit de l'émissaire (**Figure 4.11**).

Les écarts-types et les valeurs maximales indiquent bien que cette station est enrichie par des eaux continentales (Oued) qui augmentent les sels nutritifs (**Figure 4.12 et Figure 4.13**) 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.



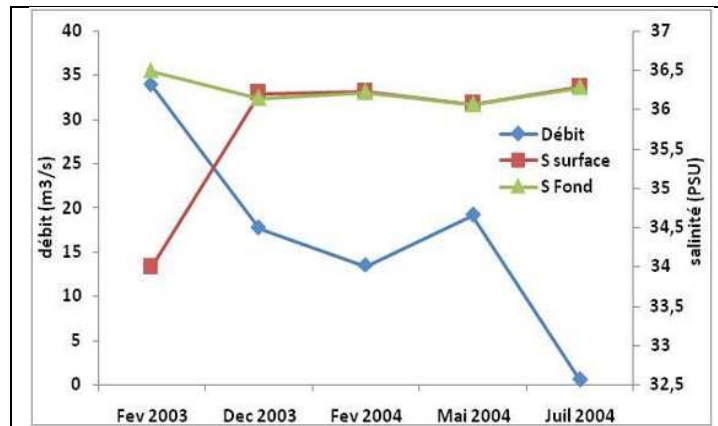


Figure 4.11 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S1

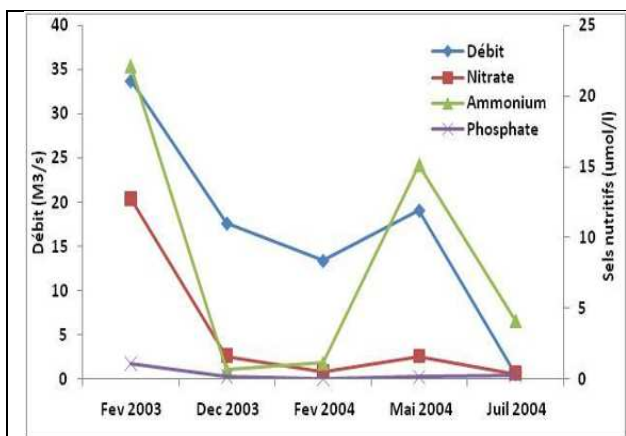


Figure 4.12 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en surface

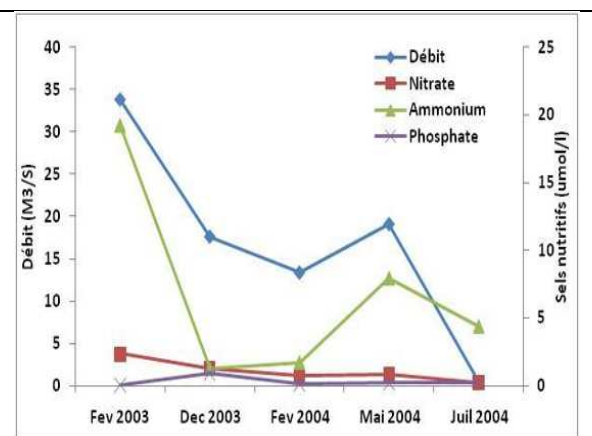


Figure 4.13 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S1 en profondeur

Au niveau de la station S2, il y a toujours une la corrélation négative entre la salinité et le débit et une corrélation positive de ce dernier avec les sels nutritifs. Donc cette zone est influencée par les eaux de l'Oued El Harrach (Figure 4.14, Figure 4.15 et Figure 4.16).

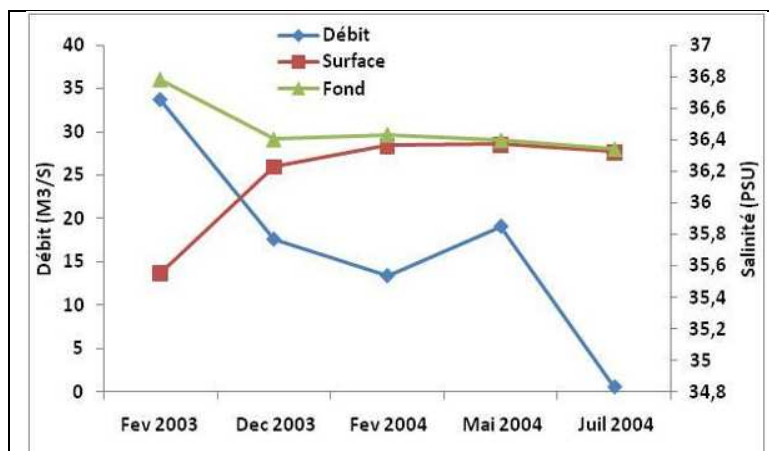


Figure 4.14 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S2

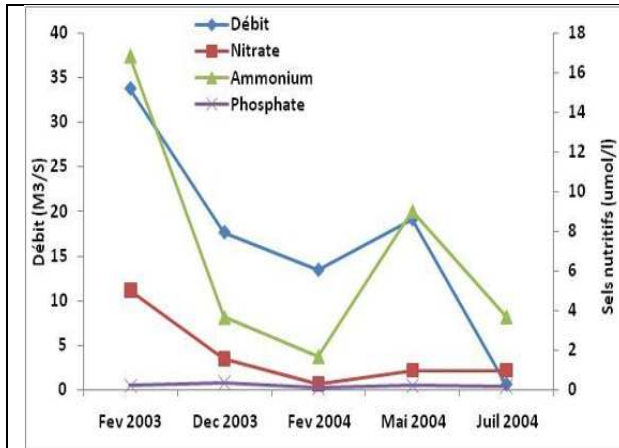


Figure 4.15 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en surface

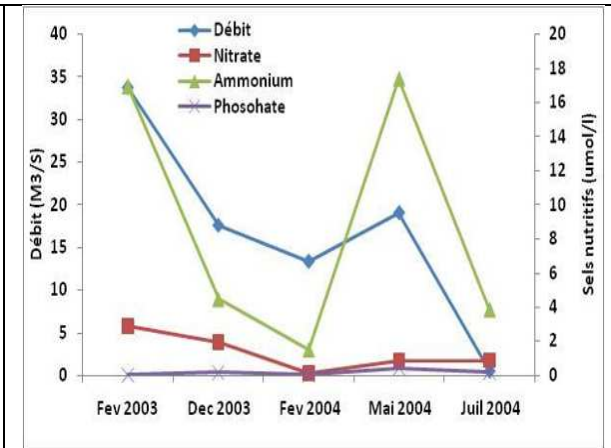


Figure 4.16 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S2 en profondeur

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. De même pour la concentration en éléments nutritifs, hormis les nitrates, les fluctuations des teneurs en sels nutritifs ne suivent pas le débit de l'émissaire (**Figure 4.17, Figure 4.18 et Figure 4.19**).

L'augmentation de la salinité enregistrée au niveau de la station S3, pourrait s'expliquer par le fait que 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 (37,04 p.s.u) et plus froide dans la station S3 (**ROUBAH et al, 2005**).

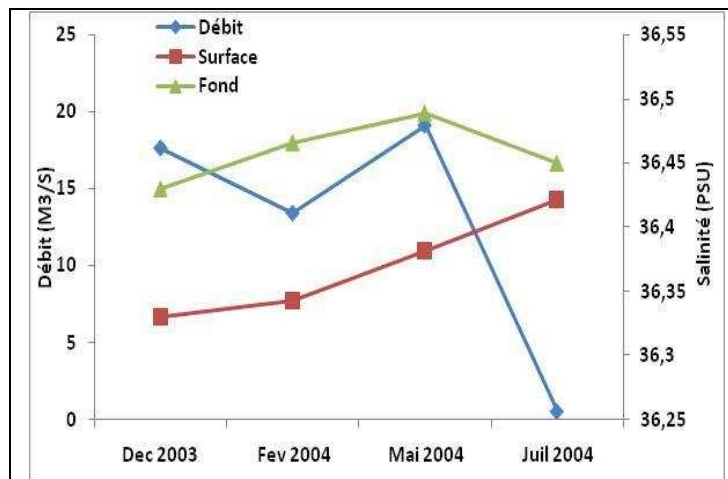


Figure 4.17 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et variation de la salinité dans la station S3

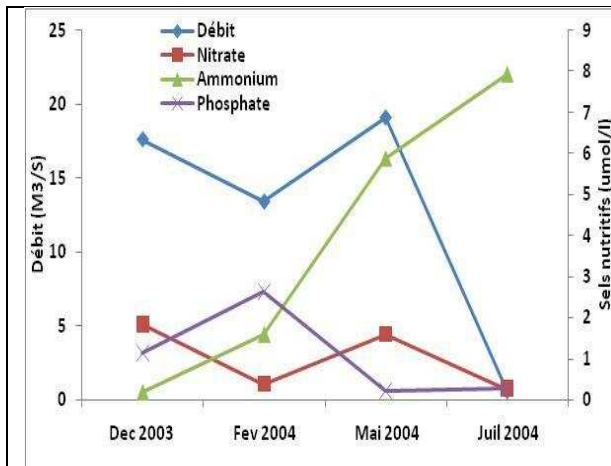


Figure 4.18 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en surface

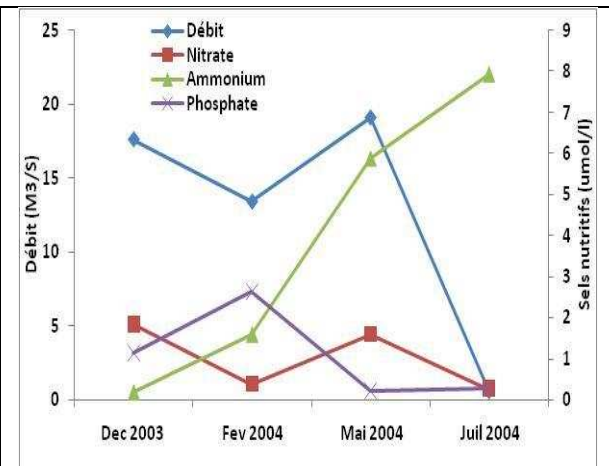


Figure 4.19 : Débits mensuels de l'oued El Harrach et teneurs en sels nutritifs dans la station S3 en profondeur

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) (Figure 4.20 et Figure 4.21).

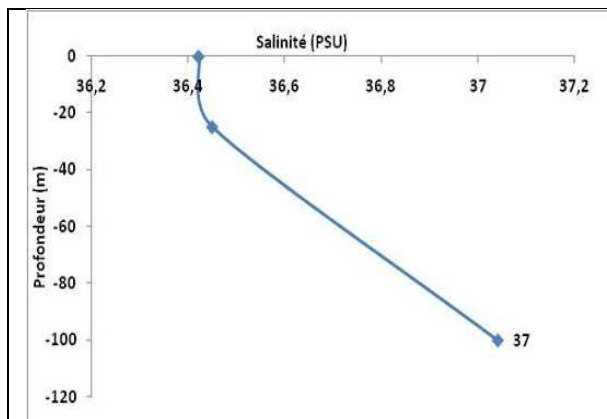


Figure 4.20 : Distribution verticale de la salinité dans la station S3 (Juillet 2004)

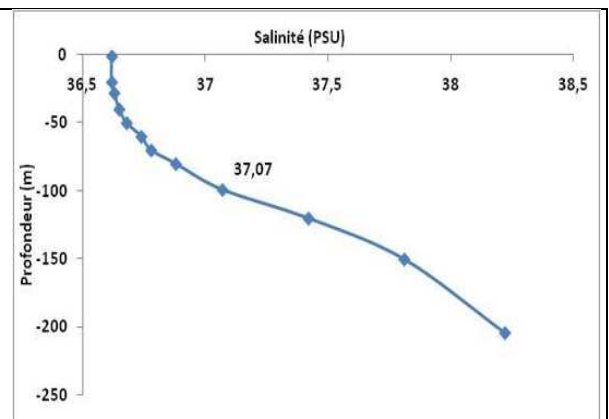


Figure 4.21 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33, au large de la baie (RAIMBAULT et al., 1991)

Donc, en plus de l'action des eaux continentales sur la baie d'Alger, elle est aussi soumise à l'influence des eaux venant du large (voir Chapitre IV).

III. Suivi des teneurs en sels nutritifs dans quelques stations :

a. Station portuaire (Sp)

L'ammonium présente des variations irrégulières. En surface, Les teneurs minimales en ammonium sont enregistrées en Février 2004, et les teneurs les plus élevées sont observées en Mai 2011. Le pic est observé durant le mois de Mai en 2004 et 2011 en surface et au niveau du fond, probablement due aux rejets urbains importants durant ce mois. En profondeur, l'année 2012 marque la valeur la plus élevée (Figure 4.22 et Figure 4.23).

Un pic de nitrates est observé en Mars 2009, qui peuvent provenir de l'intérieur du port suite à la dégradation et l'oxydation de la matière organique ainsi que les rejets urbains. L'évolution des teneurs en nitrates depuis 2003 est négative, où on trouve les valeurs les plus faibles en général en 2012 (**Figure 4.22 et Figure 4.23**).

En ce qui concerne les teneurs en phosphates, un pic en surface est observé en Décembre 2003. En profondeur, on remarque une évolution positive depuis 2003, témoignant de l'importance des rejets urbains à l'intérieur du port, enrichissant ainsi le milieu en ces éléments.

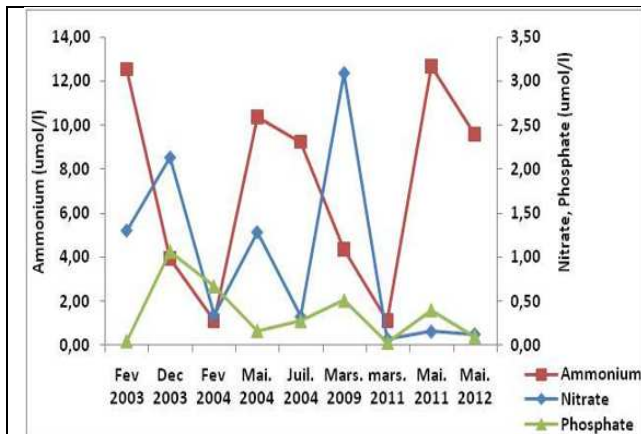


Figure 4.22 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station portuaire (Sp) en surface (Février 2003 - Mai 2012)

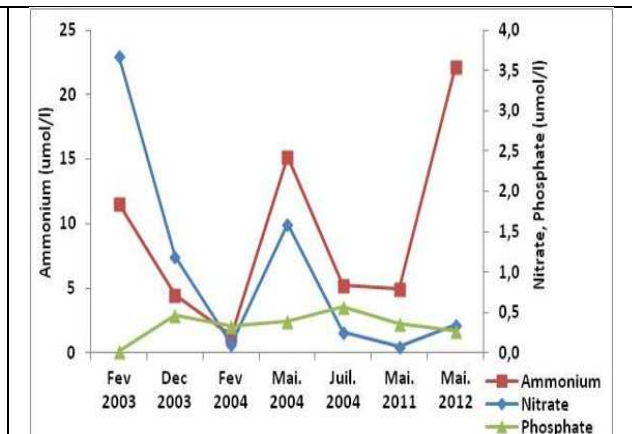


Figure 4.23 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station portuaire (Sp) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012)

b. Station S1 (en face l'oued El Harrach)

Les teneurs en ammonium sont les plus élevées en 2012. Un pic de concentration est observé dans le mois de Mai des années 2004, 2009 et 2011 en surface et en profondeur, reflétant l'importance des apports continentaux durant ce mois. Cette zone est généralement enrichie en ces composés azotés par les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles véhiculés par l'oued (**Figure 4.24 et Figure 4.25**).

En période de fortes précipitations et de régénération, qui correspond au débit maximum de l'oued (**Figure 4.26, annexe 2**), les concentrations sont fortement variables et plus élevées en février 2003. C'est en février 2003 qu'on observe les teneurs plus importantes en nitrates, en relation avec les apports d'eaux importants de l'oued El Harrach dans cette période.

Alors qu'en période de consommation et de faibles apports continentaux (printemps et été) les fluctuations diminuent. Après la période du bloom phytoplanctonique (printemps), les concentrations sont nettement plus basses, c'est ce qu'on observe durant le mois de Juillet 2004 (**ROUIBAH et al, 2005**).

En ce qui concerne les teneurs en phosphates, un pic en surface est observé en Février 2003, et en Décembre 2003 en profondeur. On remarque une évolution positive depuis 2003, témoignant de l'influence de l'émissaire en 2012, enrichissant le milieu en ces éléments.

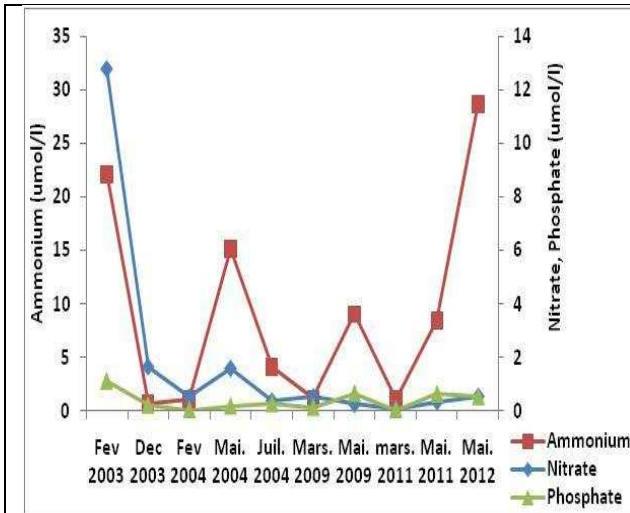


Figure 4.24 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station S1 (en face l'oued El Harrach) en surface (Février 2003 - Mai 2012)

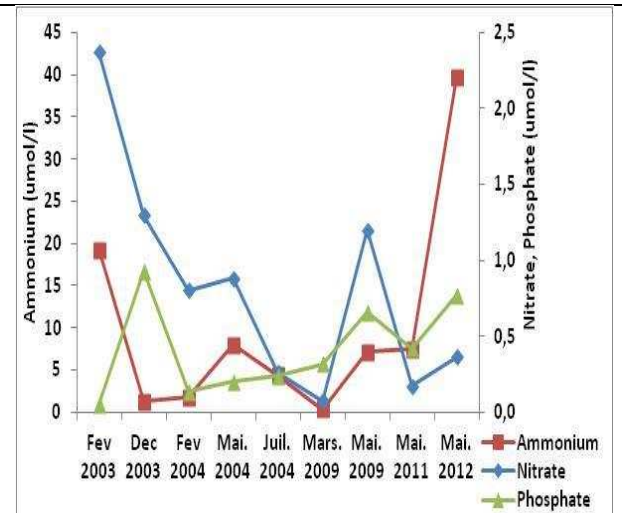


Figure 4.25 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station S1 (en face l'oued El Harrach) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012)

c. Station Sh (en face l'oued El Hamiz)

Les concentrations en phosphates varient dans une large mesure depuis 2003. Le mois de Mai présente les valeurs les plus élevées avec deux pics, un en 2004 et un autre en 2012. Une valeur significative aussi est enregistrée en Février 2003 (Figure 4.27 et Figure 4.28).

C'est en février 2003 qu'on observe les teneurs plus importantes en nitrates, en relation avec les apports d'eaux importants de l'oued El Hamiz dans cette période. Après la période du bloom phytoplanktonique (printemps), les concentrations sont nettement plus basses (Juillet 2004). On remarque une diminution des teneurs en nitrates depuis 2003.

En ce qui concerne les teneurs en phosphates, les fluctuations suivent celles observées pour les nitrates, à savoir une différence nette en concentration entre les périodes de consommation, de régénération et d'apports (Figure 4.27 et Figure 4.28).

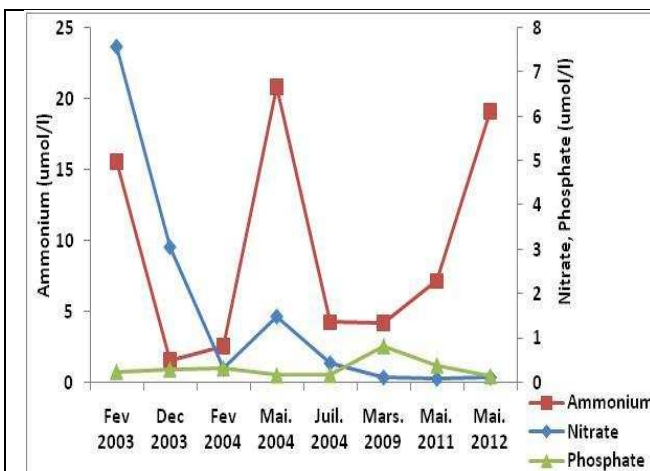


Figure 4.27 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station Sh (en face l'oued El Hamiz) en surface (Février 2003 - Mai 2012)

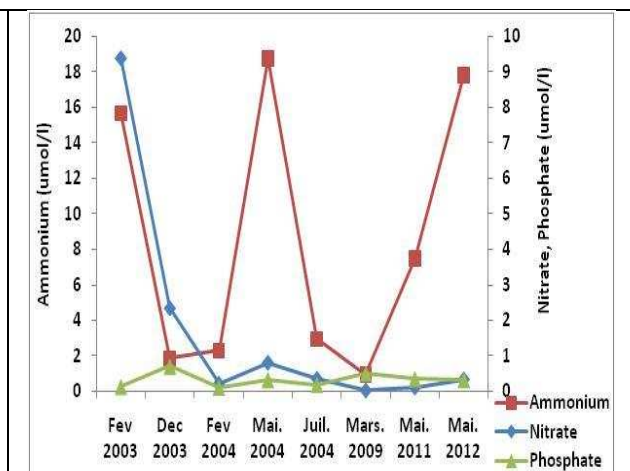


Figure 4.28 : Évolution temporelle des teneurs en sels nutritifs dans la station Sh (en face l'oued El Hamiz) en profondeur (Février 2003 - Mai 2012)

IV. Évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques sur la radiale de l'oued El Harrach

IV.1. Salinité

Pour toutes les périodes, on remarque une diminution plus ou moins régulière du large vers la cote (Figure 4.29, Figure 4.30, Figure 4.31 et Figure 4.32).

On constate que les eaux les moins salées se trouvent au niveau de l'embouchure de l'oued El Harrach. 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.

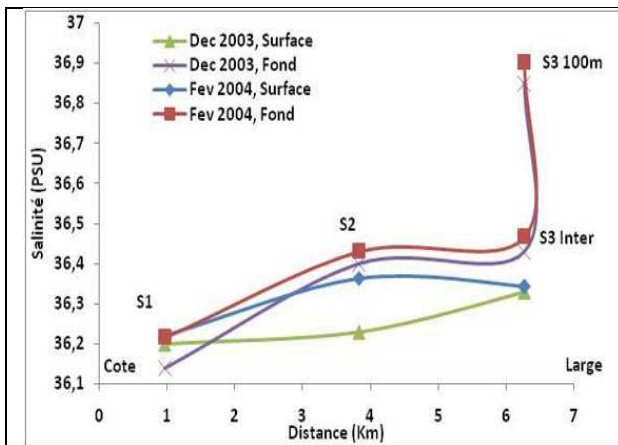


Figure 4.29 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Décembre 2003 - Février 2004)

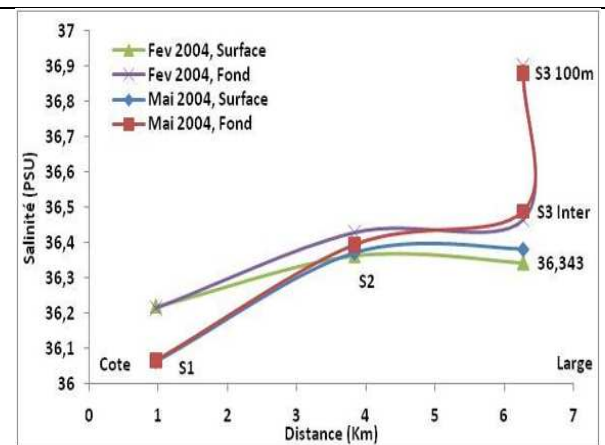


Figure 4.30 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Février 2004 - Mai 2004)

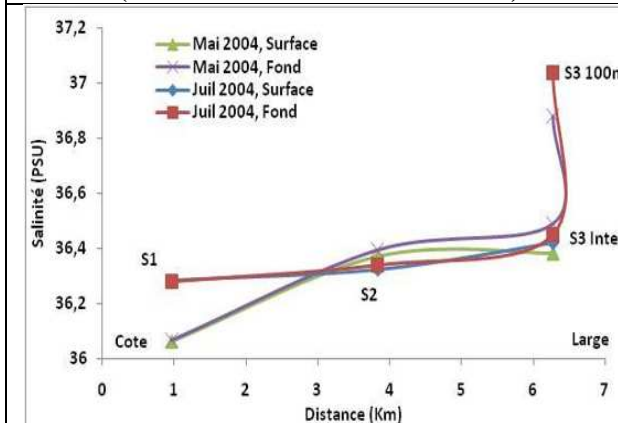


Figure 4.31 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mai 2004 - Juillet 2004)

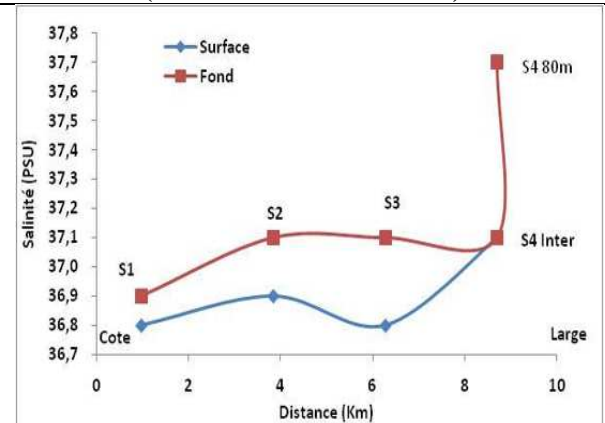


Figure 4.32 : Évolution spatio-temporelle de la salinité sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009)

La distribution verticale de la salinité au niveau de la station S4, en Mars 2009, est voisine de celle de la masse d'eau du large ((Figure 4.21 et Figure 4.33). Ceci résulte probablement du mélange de M.A.W et de l'eau Méditerranéenne de surface (S.M.W) de salinité supérieure à 37.5 p.s.u (ROUIBAH et al, 2005), témoignant ainsi de l'influence des eaux du large sur la baie d'Alger.

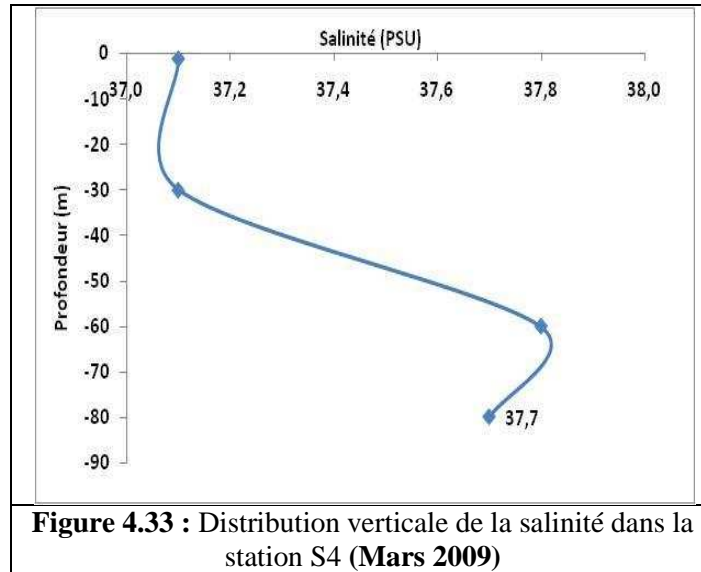


Figure 4.33 : Distribution verticale de la salinité dans la station S4 (Mars 2009)

IV.2. Sels nutritifs

On remarque une augmentation plus ou moins régulière de la cote vers le large. La distribution des teneurs en nitrates évoque probablement une consommation importante par le phytoplancton au niveau de la station S3, du fait de leurs diminution. (Figure 4.34, Figure 4.35, Figure 4.36 et Figure 4.37).

La zone où se trouve la station S3 subit un brassage important avec l’eau de mer profonde venant du large, en remettant en suspension des particules du fond qui relarguent à leur tour des nutriments dans le milieu. Ce qui explique l’augmentation de leur concentration au niveau de cette zone.

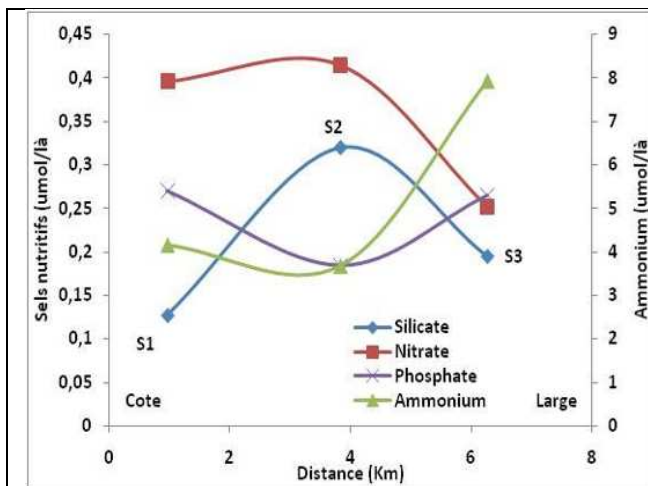


Figure 4.34 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l’oued EL Harrach (Juillet 2004) en surface

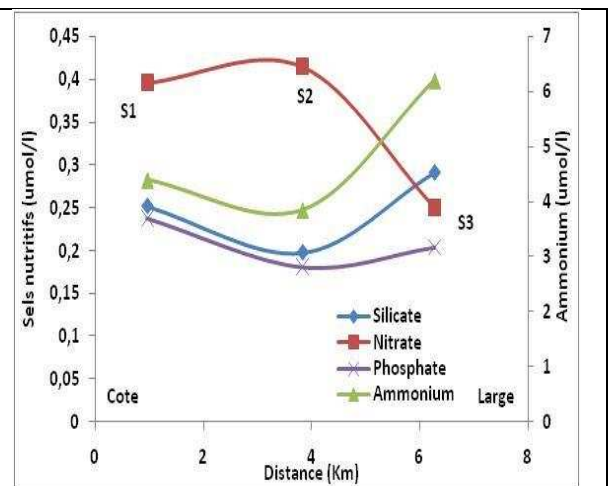


Figure 4.35 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l’oued EL Harrach (Juillet 2004) en profondeur

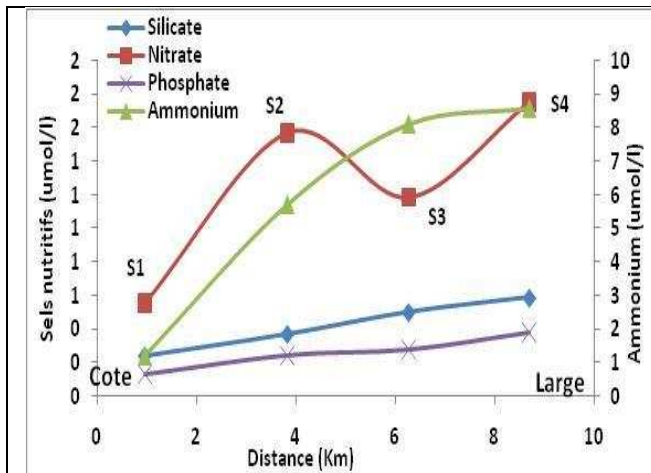


Figure 4.36 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009) en surface

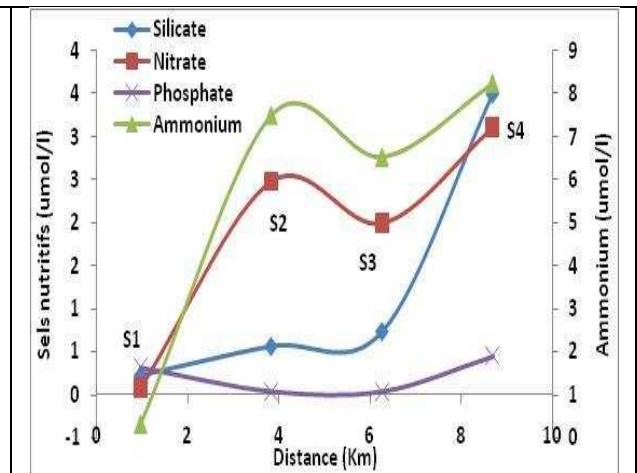


Figure 4.37 : Évolution spatio-temporelle des teneurs en sels nutritifs sur la radiale de l'oued EL Harrach (Mars 2009) en profondeur

La distribution verticale des sels nutritifs dans la station S4 est voisine de celle de la masse d'eau du large, témoignant ainsi du mélange existant entre les eaux littorales et celles du large (Figure 4.38 et Figure 4.39).

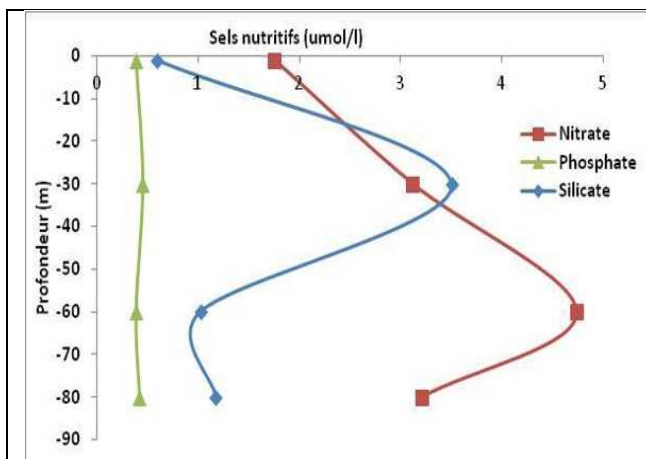


Figure 4.39 : Distribution verticale des teneurs en sels nutritifs dans la station S4 (Mars 2009)

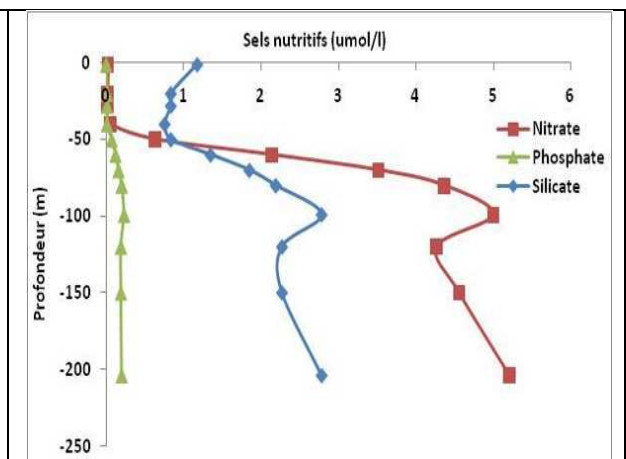


Figure 4.38 : Distribution verticale de la salinité dans la station S33, au large de la baie (RAIMBAULT et al., 1991)

V. Suivi des sels nutritifs dans la baie d'Alger

a. Nitrates

Les concentrations en nitrate observées en Février 2003 (0,05 - 12,76 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,134 - 3,06 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,10 - 1,68 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (0,66 - 2,31 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (0,22 - 0,68 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2009 (0,0008 - 6,19 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2009 (0,27 - 20,5 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2011 (0,019 - 0,09 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2011 (0,01 - 0,36 $\mu\text{mol/l}$) et en Mai 2012 (0,10 - 0,67 $\mu\text{mol/l}$) sont variables d'une période à une autre (Figure 4.40).

L'année 2009 marque les valeurs les plus basses (< 0,001 umol/l) et les plus élevées (20,5 umol/l), qui est plus de 30 fois plus grande que la valeur maximale mesurée en 2012.

C'est en printemps (mois de mai) que les teneurs sont les plus élevées, où la valeur maximale enregistrée en 2009, est de l'ordre de 20,5 umol/l.

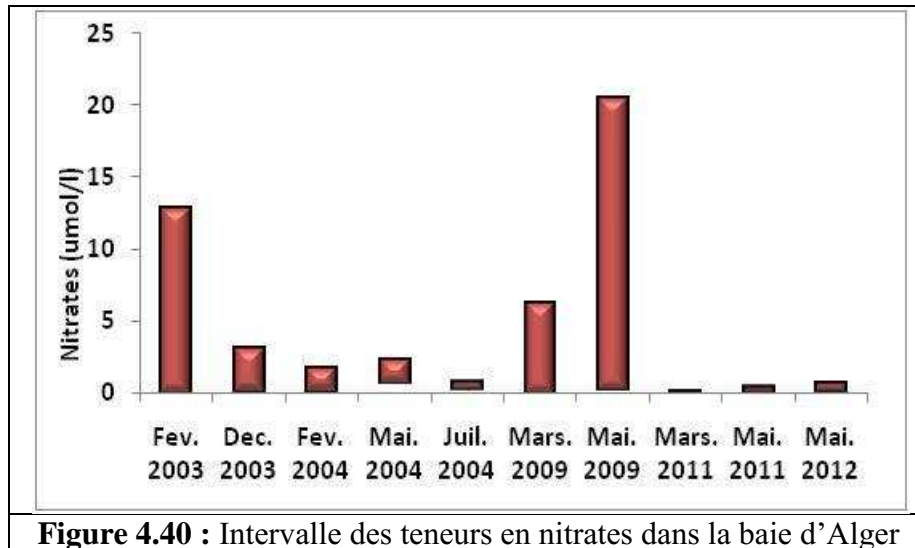


Figure 4.40 : Intervalle des teneurs en nitrates dans la baie d'Alger

b. Phosphates

Les concentrations en phosphates observées en Février 2003 (0,01 - 1,11 umol/l), en Décembre 2003 (0,01 - 1,15 umol/l), en Février 2004 (0,02 - 2,64 umol/l), en Mai 2004 (0,09 - 1,99 umol/l), en Juillet 2004 (0,18 - 0,57 umol/l), en Mars 2009 (0,01 - 0,96 umol/l), en Mai 2009 (0,04 - 0,7 umol/l), en Mars 2011 (0,03 - 0,31 umol/l), en Mai 2011 (0,27 - 0,36 umol/l) et en Mai 2012 (0,10 - 0,77 umol/l) sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.41**).

Les valeurs les plus basses (0,01 umol/l) sont observées en 2003 ; alors que le mois de Février 2004 marque les teneurs les plus importantes, atteignant la valeur maximale de (2,64 umol/l).

En 2004, les teneurs diminuent durant la saison estivale. En 2009, les valeurs sont moins importantes durant le mois de Mai, contrairement à l'année 2011.

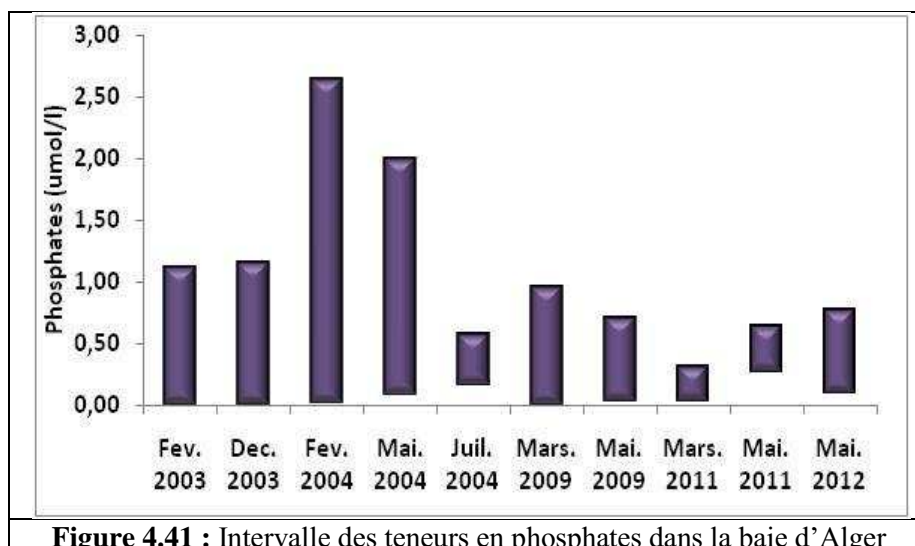


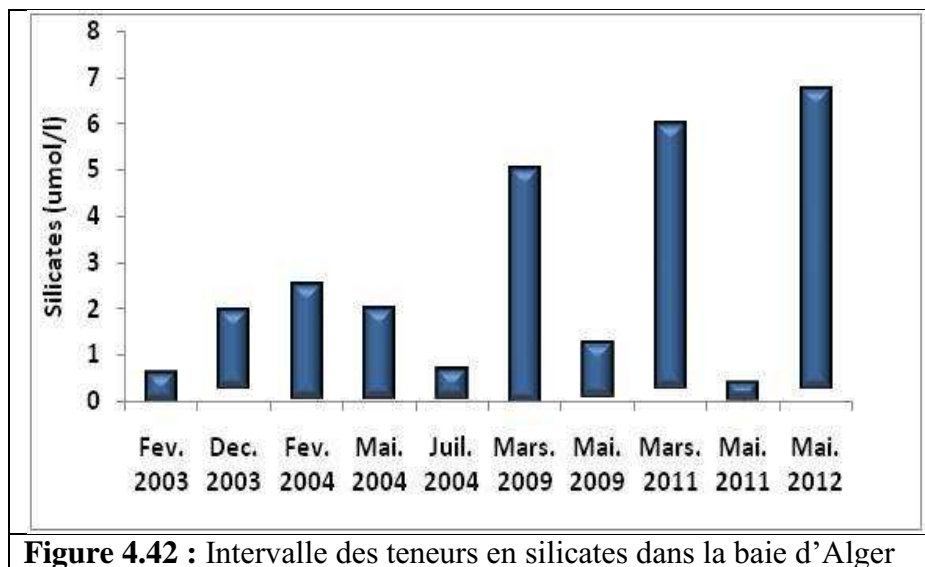
Figure 4.41 : Intervalle des teneurs en phosphates dans la baie d'Alger

c. Silicates

Les concentrations en silicates observées en Février 2003 (0,008 - 0,60 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,3 - 1,96 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,08 - 2,50 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (0,09 - 1,98 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (0,08 - 0,68 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2009 (0,01 - 5,02 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2009 (0,1 - 1,25 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2011 (0,30 - 5,98 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2011 (0,04 - 0,39 $\mu\text{mol/l}$) et en Mai 2012 (0,29 - 6,74 $\mu\text{mol/l}$) sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.42**).

Les valeurs les plus basses (0,03 $\mu\text{mol/l}$) sont observées en Février 2003 ; alors que l'année 2012 marque les teneurs les plus importantes, atteignant la valeur maximale de (6,74 $\mu\text{mol/l}$).

En 2004, les teneurs diminuent durant la saison estivale. En 2009 et 2011, les valeurs sont moins importantes durant le mois de Mai.

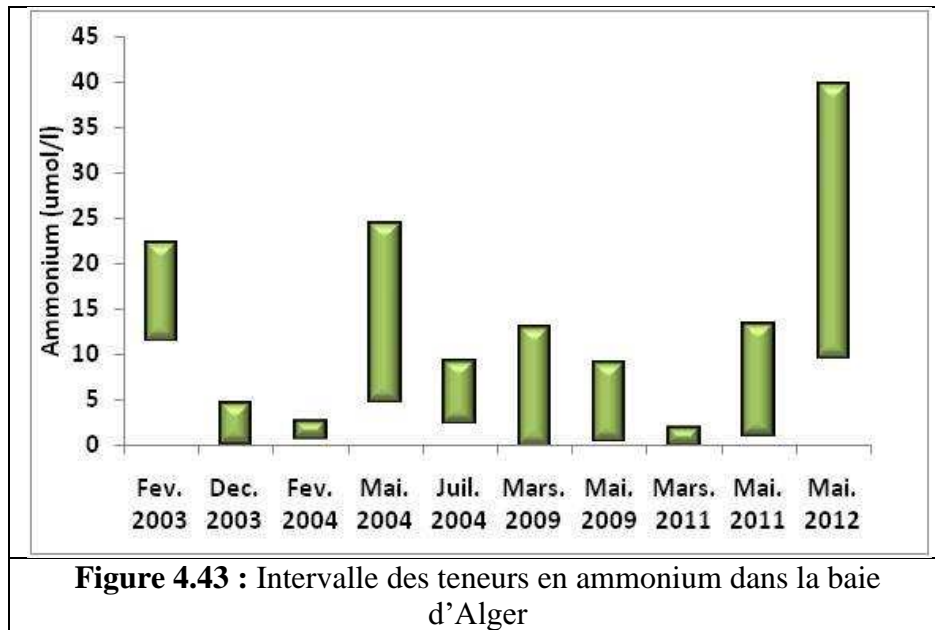


d. Ammonium

Les concentrations en ammonium observées en Février 2003 (11,52 - 22,13 $\mu\text{mol/l}$), en Décembre 2003 (0,13 - 4,50 $\mu\text{mol/l}$), en Février 2004 (0,78 - 2,59 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2004 (4,88 - 24,43 $\mu\text{mol/l}$), en Juillet 2004 (2,43 - 9,23 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2009 (0,08 - 12,88 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2009 (0,6 - 9,06 $\mu\text{mol/l}$), en Mars 2011 (0,08 - 1,87 $\mu\text{mol/l}$), en Mai 2011 (1,17 - 13,36 $\mu\text{mol/l}$) et en Mai 2012 (9,56 - 39,74 $\mu\text{mol/l}$) sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.43**).

Les valeurs les plus basses (0,08 $\mu\text{mol/l}$) sont observées en Mars 2011 ; alors que l'année 2012 marque les teneurs les plus importantes, atteignant la valeur maximale de (39,74 $\mu\text{mol/l}$).

En 2009, les teneurs diminuent durant le mois de Mai, contrairement aux deux années 2004 et 2011.

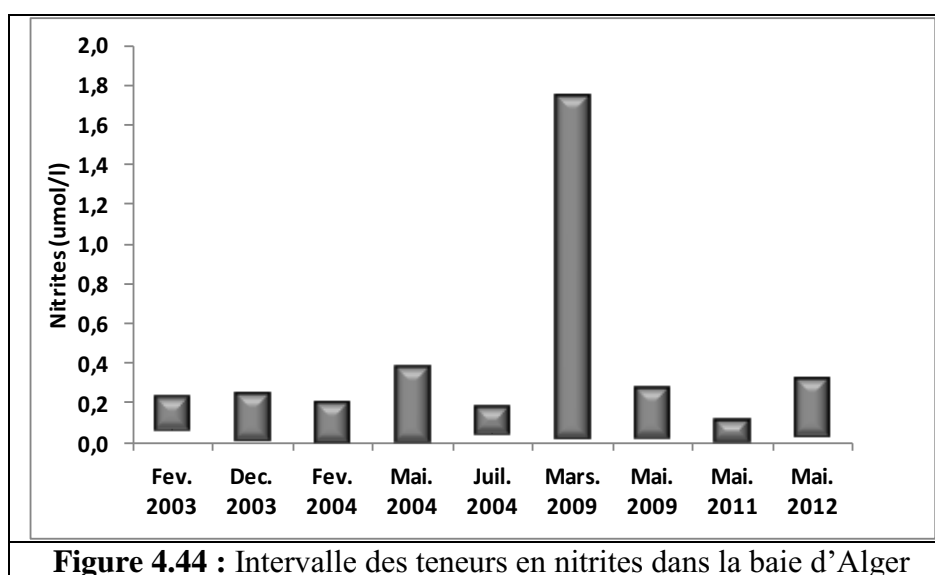


e. Nitrite

Les concentrations en ammonium observées en Février 2003 (0,06 - 0,21 µmol/l), en Décembre 2003 (0,01 - 0,523 µmol/l), en Février 2004 (0,002 - 0,19 µmol/l), en Mai 2004 (0,01 - 0,36 µmol/l), en Juillet 2004 (0,04 - 0,17 µmol/l), en Mars 2009 (0,02 - 1,74 µmol/l), en Mai 2009 (0,03 - 0,27 µmol/l), en Mai 2011 (0,01 - 0,11 µmol/l) et en Mai 2012 (0,03 - 0,31 µmol/l) sont variables d'une période à une autre (**Figure 4.44**).

Les valeurs les plus basses (0,02 µmol/l) sont observées en Février 2004 ; alors que les plus élevées sont enregistrées en Mars 2009, atteignant la valeur maximale de (1,74 µmol/l).

En 2004, les teneurs augmentent durant le mois de Mai, contrairement à l'année 2009.



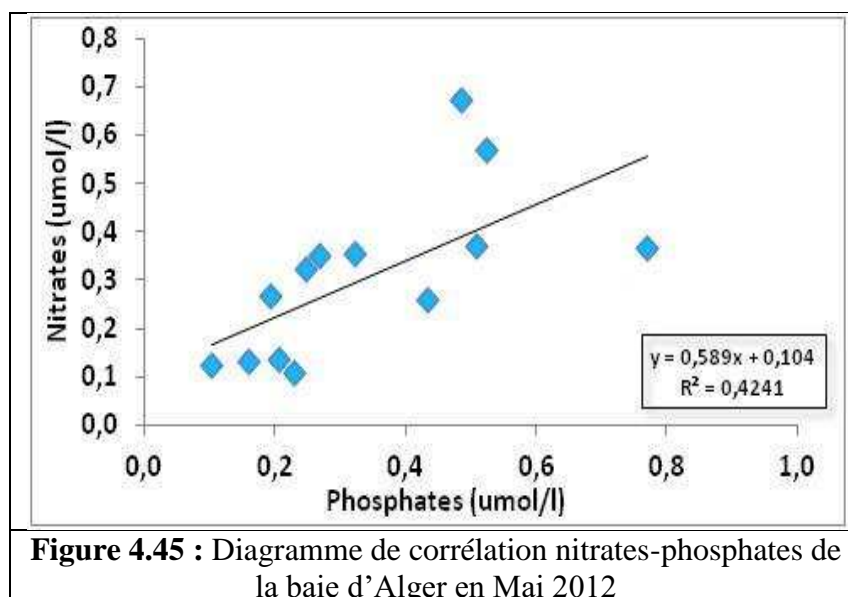
Le fait que les sels nutritifs ne présentent pas un cycle bien marqué est attribué au fait que les stations sont littorales : un apport sporadique terrestre et local peut perturber le cycle. De plus, un état de mer agité peut provoquer un brassage des eaux et remettre en suspension des particules du fond qui relarguent à leur tour des nutriments dans le milieu notamment des ions orthophosphates adsorbés 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

VI.1. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate de la baie d'Alger en Mai 2012

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.

Le rapport N/P calculé en Mai dans la baie d'Alger indique une distribution dispersée (Figure 4.45), avec une corrélation plus au mois significative ($R^2 = 0,424$). La valeur du rapport N/P est de 0,59. Elle est largement inférieure à celle généralement admise pour les eaux méditerranéennes (20-27) selon GOMEZ (2003) et pour l'océan mondial 16 (REDFIELD et al., 1963). Ce résultat indique que le milieu est très perturbé par l'épuisement des nitrates (inférieurs à $0,8 \mu\text{mol/l}$ du à l'assimilation phytoplanctonique) et/ou par l'abondance excessive des phosphates (pollution anthropique).



VI.2. Suivi du rapport de Redfield (N/P)

Le rapport N/P calculé en décembre 2003 (-0,05), en février 2004 (0,13), en juillet 2004 (-0,39), en Mars 2009 (0,49) et en Mars 2011 (-0,13) indiquent une distribution dispersée et insignifiante particulièrement en décembre 2003 (Figure 4.46, Figure 4.47, Figure 4.48, Figure 4.49 et Figure 4.50, annexe 2). Les valeurs de ces rapports sont inférieures à celle observée en 1989 pour toutes les eaux de la baie par BOULAHDID et al., (2003).

C'est en printemps (mois de mai) que la corrélation devient plus ou moins significative ;

($r= 0,45$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de 3,08 en 2004 (**Figure 4.50, annexe 2**), ($r= 0,21$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de 4,1 en 2009 (**Figure 4.51, annexe 2**), ($r= 0,42$) et un rapport d'abondance N/P de l'ordre de 0,58 en 2012 (**Figure 4.52, annexe 2**). Excepté l'année 2011 où le nuage de point montre une dispersion ($r= 0,02$) (**Figure 4.56, annexe 2**). 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).

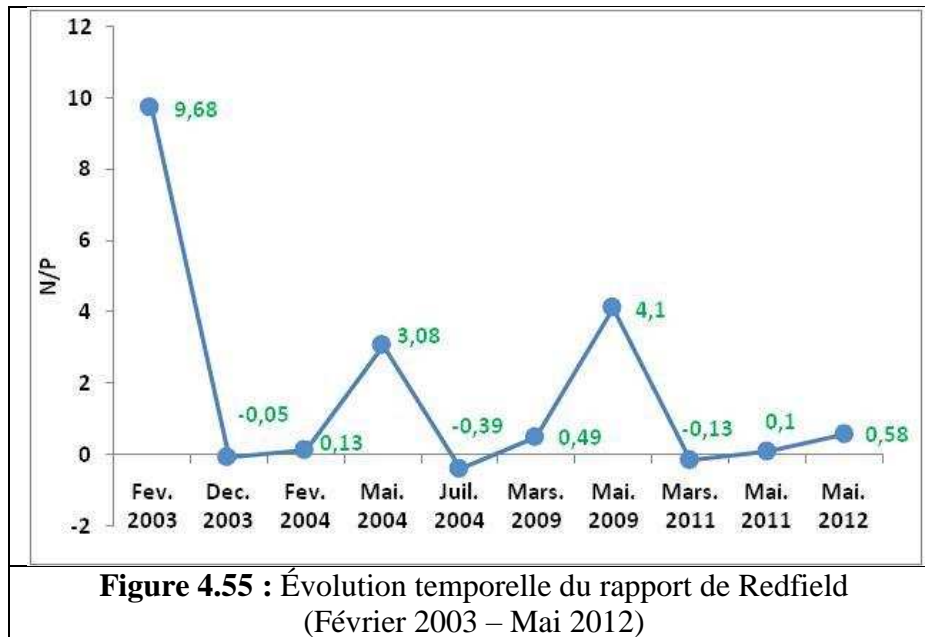
Le rapport N/P est instable à cause de l'influence des apports d'eaux ainsi que la circulation générale des eaux au niveau du littoral. Les activités urbaine et agricole sont les principales causes du déséquilibre du rapport N/P. Il semblerait que ce déséquilibre général à toutes les périodes est plus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

En effet, la période favorable au développement phytoplanctonique (**mois de mai**) est marquée par une légère augmentation du rapport N/P par rapport aux autres périodes indiquant ainsi l'importance aussi d'un apport continu en phosphate provenant des émissaires urbains.

Alors que les phosphates résistent au lessivage, les nitrates proviennent essentiellement des terres agricoles particulièrement en période de forte précipitation.

Cette observation semble être confirmée par la situation complètement différente observée juste après les fortes précipitations survenues en février 2003 (rapport N/P=9,68) (**Figure 4.53, annexe 2**). Ceci aurait entraîné un apport plus important en nitrate atténuant ainsi l'excès de phosphate en augmentant la valeur du rapport N/P.

IL semble que les eaux de l'oued El-Harrach sont plus riches en phosphates que dans les eaux apportées par d'autres oueds (Oued El Hamiz) (**Chapitre III.b**). Ainsi si on supprime le niveau de surface de la station situé en face cet estuaire, qui subit l'influence directe de l'oued, le rapport N/P (16,07) augmente en se rapprochant de la proportion moyenne dans laquelle se trouvent ces deux éléments (**Figure 4.54, annexe 2**).



Le rapport N/P peut présenter un déséquilibre, vers les valeurs faibles ou fortes, de la balance de sels nutritifs. C'est en Février 2003 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 40 et Figure 41**).

Comparées à d'autres périodes, à l'exception de Février 2003, le mois de Mai 2009 présente les taux des nitrates les plus élevés, ce qui explique la valeur du rapport (4,1) dans cette période (**Figure 40**).

En 2004, c'est en Juillet qu'on note les valeurs les plus faibles des nitrates, ceci explique la valeur du rapport (-0,39) qui est le plus faible en cette année (**Figure 40**).

La courbe d'évolution du rapport de Redfield est en général décroissante depuis 2003. Les valeurs sont élevées durant le mois de Mai (saison printanière), puis elles vont chuter progressivement pour atteindre les minima qui sont mesurés en début de la saison estivale (Juillet), et à la fin de la saison hivernale (Mars) (**Figure 4.55**).

L'étude menée à travers ce mémoire a utilisé une approche fondée conjointement sur l'exploitation de données acquises au cours de plusieurs campagnes océanographiques, ainsi que des résultats obtenus en 2012. Elle est tentée dans le but de faire un suivi sur l'évolution de l'état de la qualité du milieu marin côtier, influencé par des eaux ayant différentes sources.

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

Les données hydrologiques indiquent que le littoral algérois est soumis à la fois à l'influence des eaux du large et des eaux continentales ;

- 1- L'empreinte des eaux continentales est marquée par les dessalures superficielles, observées surtout en face des embouchures des oueds et des émissaires.
- 2- La trace des eaux du large est marquée par le courant Algérien, d'où les eaux relèvent des caractéristiques de celle d'origine Atlantique. Notamment la valeur de salinité trouvée (< 37 p.s.u), témoignant de la présence des eaux Atlantique modifiées (M.A.W), mais aussi par le mélange de ce dernier avec l'eau Méditerranéenne de surface (S.M.W) de salinité supérieure à (37,5 p.s.u), retrouvé au niveau des stations S3 et S4 à 100m de profondeur.

Le facteur météorologique peut accentuer l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs. En effet, les fortes précipitations peuvent entraîner un apport important en nitrate. De même pour les vents de terre, qui engendrent les remontées d'eaux profondes riches en éléments nutritifs, vers la surface.

On a relevé des taux assez importants de certains sels nutritifs. Les phosphates étudiés sont d'origines anthropiques, apportés surtout par l'oued El Harrach ; alors que l'oued El Hamiz quant à lui, semble apporter plus de nitrates qui proviennent du lessivage des terres de la région à vocation agricole. Cette situation semble être confirmée en 2012.

L'oued El Harrach paraît ainsi être le responsable d'un déséquilibre d'ordre chimique entre les l'azote et le phosphore, en diminuant fortement le rapport N/P. Ce déséquilibre aura sûrement un impact négatif sur les producteurs primaires. En effet, alors que les sels nutritifs sont généralement absorbés dans des rapports constants et bien définis par les producteurs primaires, le métabolisme de ces derniers se trouvera ainsi complètement bouleversé si leurs teneurs normales (éléments nutritifs) venaient à être modifiées par des apports externes. L'autre conséquence de l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs est l'eutrophisation.

On a relevé des taux assez élevés d'ammonium en 2012, surtout dans la zone située en face l'embouchure de l'oued El Harrach, ainsi que la zone portuaire en profondeur.

Le rapport de Redfield établi pour toutes les périodes est très bas, et ne cesse de diminuer au fil des années. Ceci traduit l'influence certaine de l'activité anthropique (plus précisément industrielle). 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

Conclusion

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 des fluctuations nombreuses, fréquentes et surtout, souvent aléatoires de ses caractéristiques.

De ce fait, 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.

L'usage incontrôlé du littoral et le rejet urbain excessif posent plusieurs questions: quel sera l'effet de l'enrichissement sur le milieu marin côtier à long terme ? Quand et sous quelles conditions la répercussion de ces rejets posera un problème irréversible ? Dans ce cas là, comment peut-on jouer un rôle pour y remédier à cette situation ?

Des études ultérieures permettront probablement de cerner la nature réelle de ces systèmes, ainsi de répondre à cette multitude de questions.

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

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

AMINOT A., KEROUEL R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Edt Ifremer. 336p.

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'état 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. *Éd. Ifremer, Paris, France, 12 p.*

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

BOULAHID 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.*

BOULAHID 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.*

BOULAHID M., ROUBAH M., BOUDJELLAL B., EDDALIA N., OUNADI F., 2005. ETUDE DE LA POLLUTION DU LITTORAL ALGEROIS ET DU LAC DE REGHAIA. *CONTRAT ISMAL-APPL, Algérie, 49 P.*

BOZETINE A. ; ZERROUKI M., 2011. Contribution à l'étude du système des carbonates et au suivi de l'état d'eutrophisation de la Baie d'Alger en Avril 2011. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Algérie, 61 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-MONTEGUT G., 1996. Chimie de l'eau de mer. *Collection «synthèse». Edition : Institut Océanographique de Paris, France, 319 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 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.

FRONTIER S. et PICHOD-VIALE D., 1998. Ecosystèmes : Structure, fonctionnement, évolution. 2ème édition. *Éd. Dunod, Paris, France, 447 p.*

GAUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation 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. TomeI. 208p.*

JACQUES G., et TREGUER P., 1986. Ecosystème pélagique marin. *Collection d'écologie,*

Bibliographie

Edition : Masson, Paris, France, 243 P.

JEANDEL C., 1998. Les humeurs de l'océan. Les particules. *Edt Française des scientifiques Américains* : 58- 60

JICKELLS T.D., 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 281 : 217-222.

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.*

LEFEBRE Y. et al. , 1993. Circuits eau de mer traitements et matériaux. *Edition : TECHNIP, Chambre syndicale de la recherche et de la production du gaz naturel, Comité des techniciens, 393 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.*

OREN, O. H. & Ravid, R. 1969. Phosphate in Lake kinnereth. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17: 334-341.

PULLAT 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., BOULAHID 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.

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.

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,

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.*

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.

Annexe 1

Diagrammes température-salinité des différentes périodes :

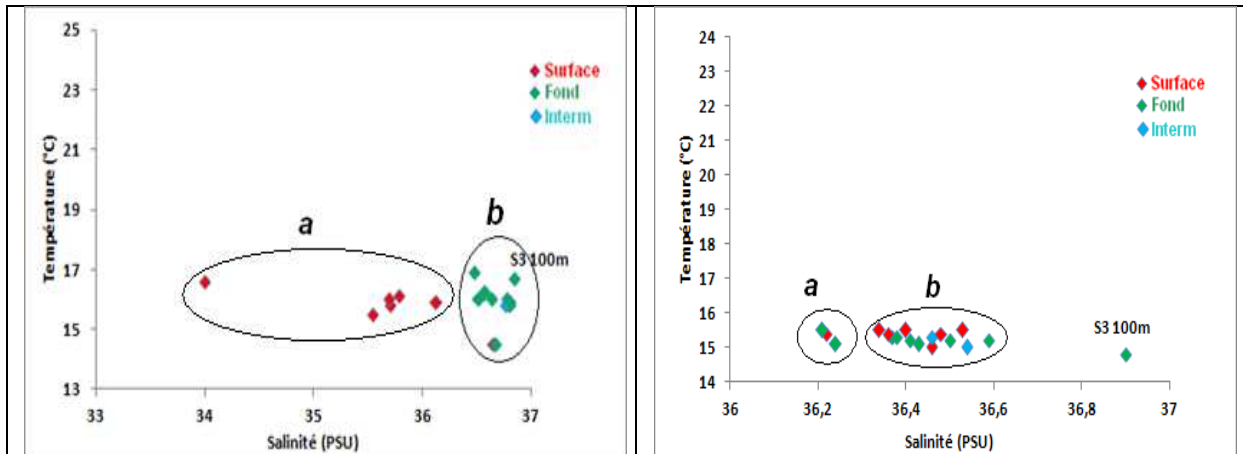


Figure 4.1 : Diagramme température-salinité (Février 2003)

Figure 4.2 : Diagramme température-salinité (Février 2004)

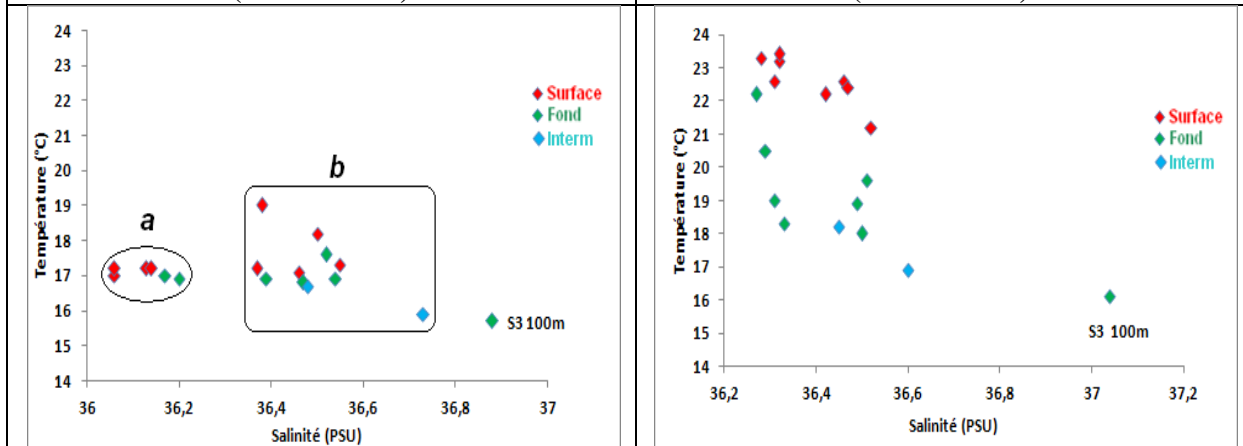


Figure 4.3 : Diagramme température-salinité (Mai 2004)

Figure 4.7 : Diagramme température-salinité (Juillet 2004)

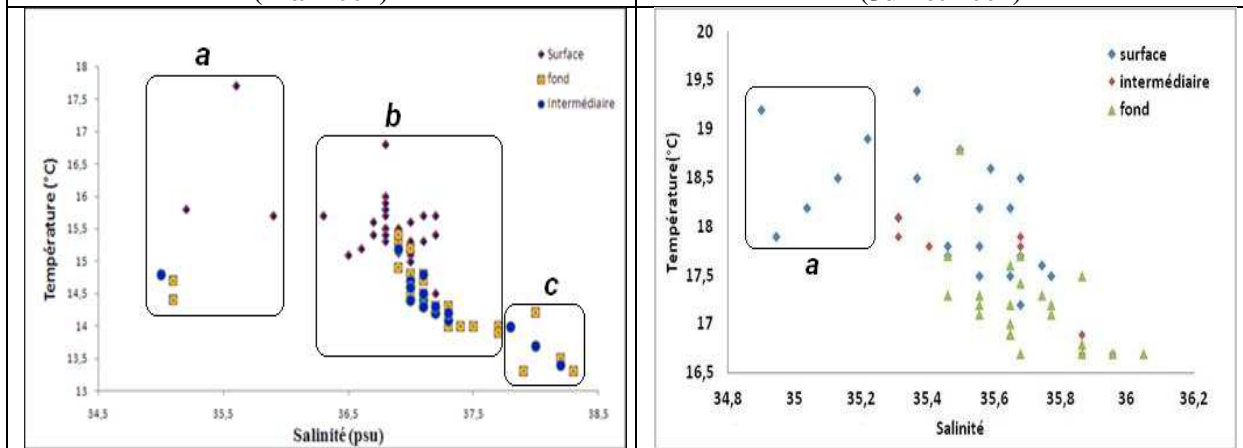


Figure 4.4 : Diagramme température-salinité (TAUDIAT., 2009)

Figure 4.5 : Diagramme température-salinité (BOZETINE et al., 2011)

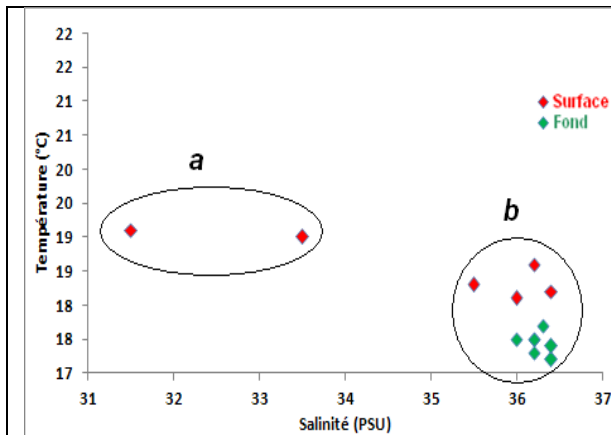


Figure 4.6 : Diagramme température-salinité (Mai 2012)

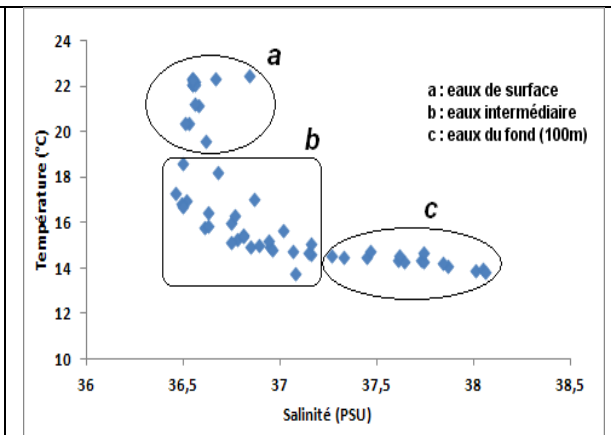


Figure 4.8 : Diagramme température-salinité (RAIMBAULT et al., 1991)

Annexe 2

Rapports N/P des différentes périodes :

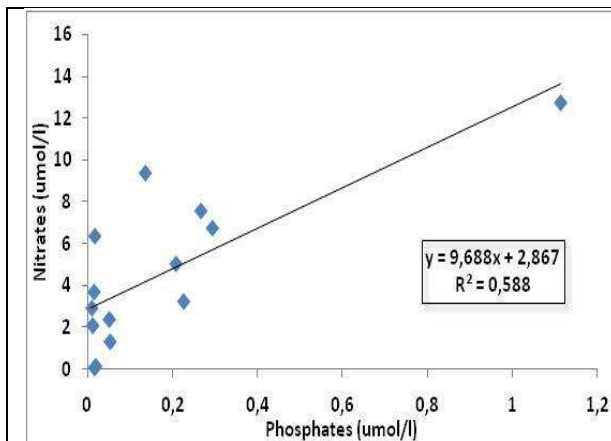


Figure 4.53 : Diagramme nitrate-phosphate (Février 2003)

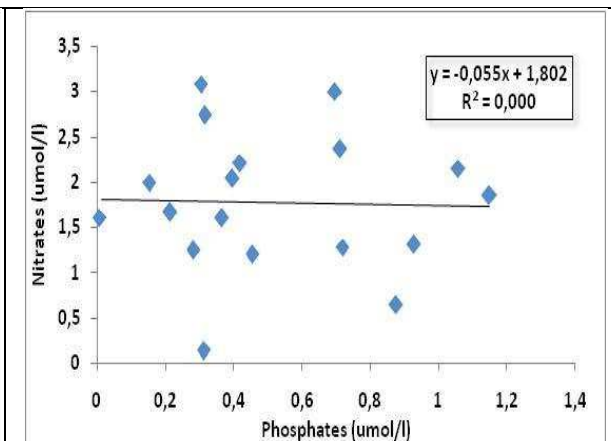


Figure 4.46 : Diagramme nitrate-phosphate (Décembre 2003)

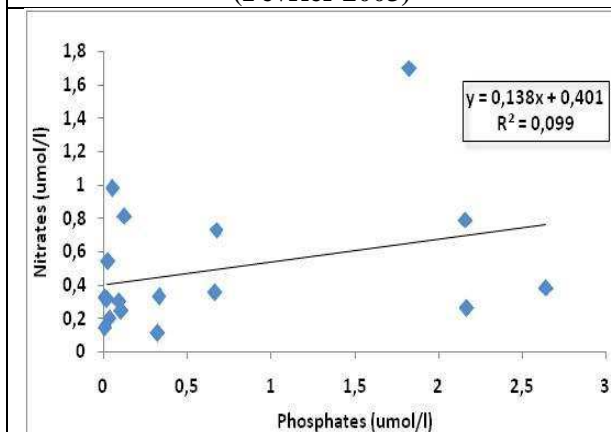


Figure 4.47 : Diagramme nitrate-phosphate (Février 2004)

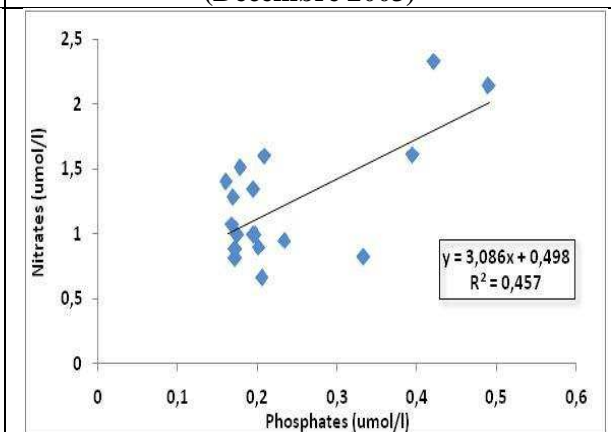


Figure 4.50 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2004)

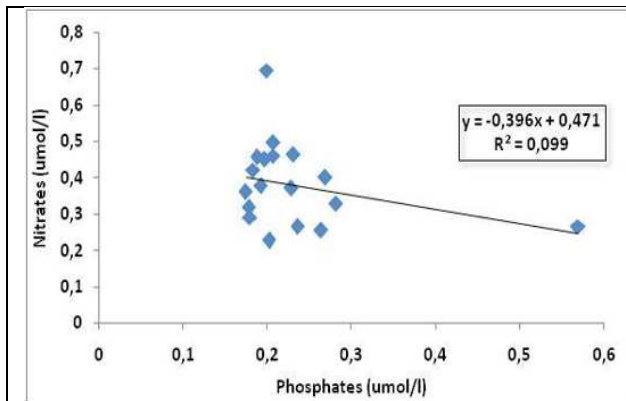


Figure 4.48 : Diagramme nitrate-phosphate (Juillet 2004)

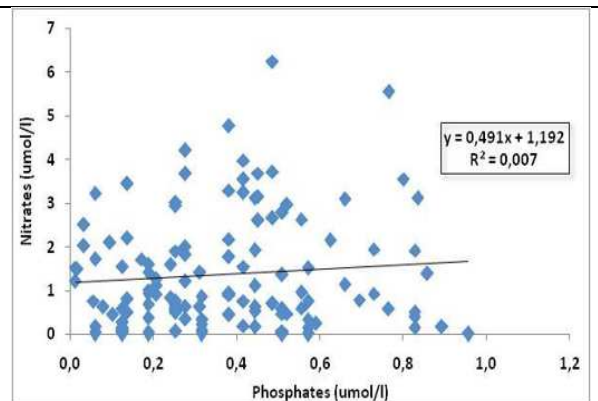


Figure 4.49 : Diagramme nitrate-phosphate (Mars 2009) (TAOUDIAT., 2009)

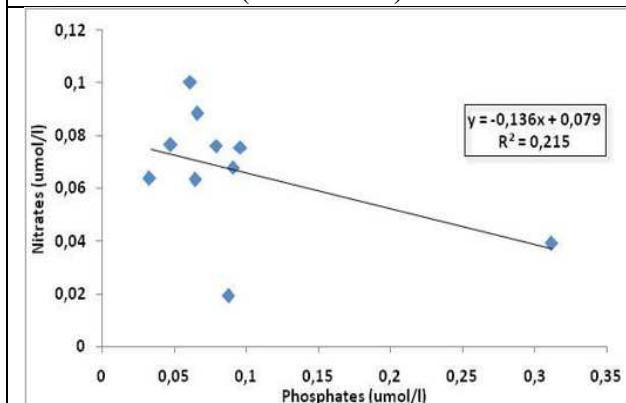


Figure 4.50 : Diagramme nitrate-phosphate (Mars 2011)

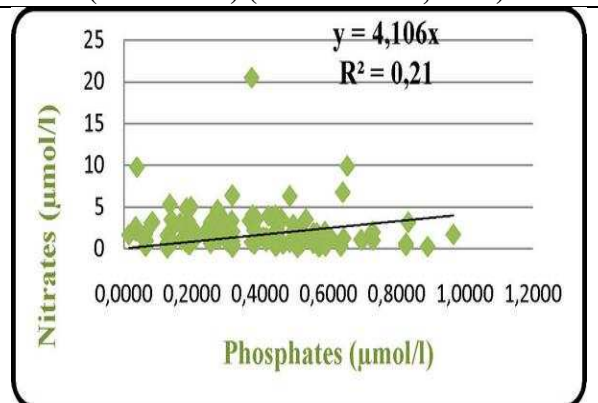


Figure 4.51 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2009) (MADI., 2009)

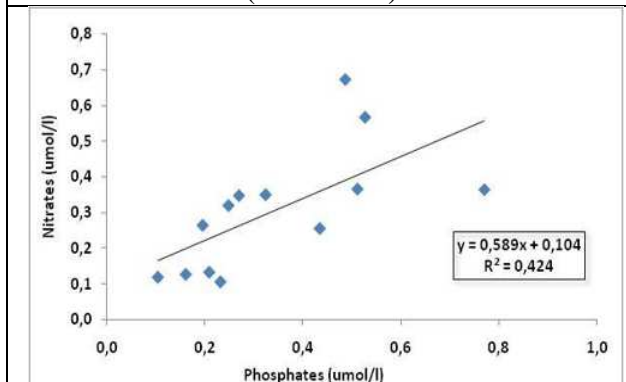


Figure 4.52 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2012)

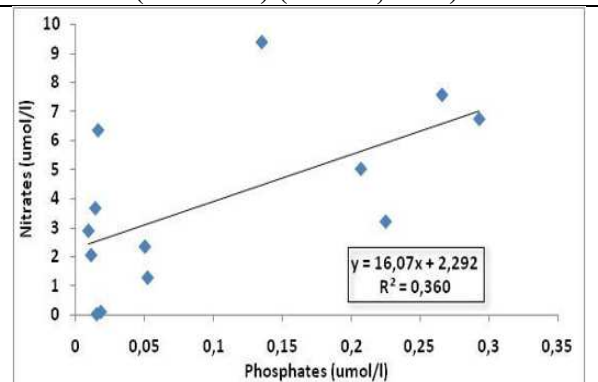


Figure 4.54 : Diagramme nitrate-phosphate sans la station S1 (Mai 2012)

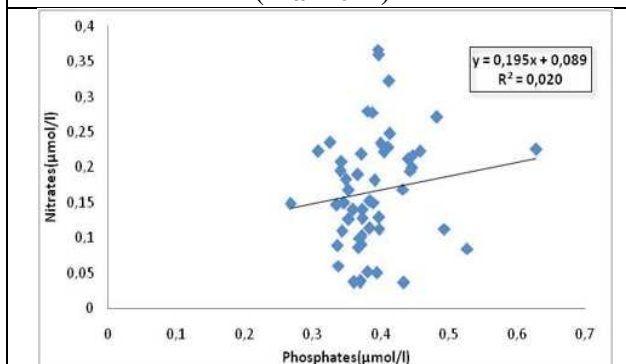


Figure 4.56 : Diagramme nitrate-phosphate (Mai 2011)

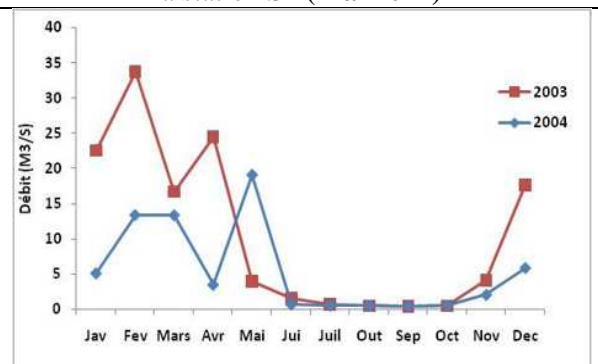


Figure 4.26 : débits mensuels de l'oued El Harrach en 2003 et 2004 (ANRH., 2004)