

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*

en vue d'obtention du Diplôme de Master en Science de la Mer

Sujet :

Suivi de l'état d'eutrophisation dans les baies de Bou-Ismaïl et  
d'Alger : Synthèse de données disponibles.

Par

M'zyene Sadjia

Soutenu le 13/10/2012 devant le jury suivant :

<b>LOUANCHI F.</b>	<b>Professeure</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Présidente</b>
<b>BOUMAAZA S.</b>	<b>Maitre-assistante</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>ALOUACHE S.</b>	<b>Maitre de conférences</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>AIT AMEUR N.</b>	<b>Maitre de conférences</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promotrice</b>

Promotion : 2012-2013

## Remerciements

Je tiens, tout d'abord, à remercier M<sup>elle</sup> AIT AMEUR, qui a encadré ce travail, pour sa présence continue, son aide, ses précieux conseils, ses recommandations et ses réponses à toutes les questions que j'ai pu lui poser.

Je voudrais également remercier

Prof. LOUANCHI d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance, M<sup>me</sup> BOUMAAZA et ALOUACHE de nous avoir honorées de leur présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail, dont les critiques me serviront sûrement plus tard.

Un grand merci à tous les membres de ma famille pour leur soutien tout au long de cette année, et à tous mes ami(e)s.

## Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités.....	3
1.1.Définition de l'eutrophisation.....	3
I.1.1.Eutrophisation des zones côtières et estuariennes.....	3
I.2. Conditions pour qu'il y ait une eutrophisation.....	3
I.2.1. Un confinement de la masse d'eau.....	4
I.2.2. Des apports de nutriments terrigènes en excès.....	4
I.2.3. Les bassins versants et les apports terrigènes de nutriments.....	4
I.3. Manifestations de l'eutrophisation.....	4
I.3.1. Phénomènes d'anoxie.....	5
I.4. Les indicateurs de l'eutrophisation, leurs valeurs-seuils éventuelles.....	6
I.4.1. Teneur en oxygène dissous.....	6
I.4.2. Chlorophylle et composition floristique.....	6
I.4.2.1. Chlorophylle a.....	6
I.5. Eutrophisation en Méditerranée.....	7
I.6. Eutrophisation en Algérie.....	8
Chapitre 2 : Zones d'étude et méthodologie.....	9
2.1. Base de données/ matériels et méthodes.....	9
2.2. présentation des campagnes.....	9
2.2.1. La baie de Bou-Ismaïl.....	9
2.2.2. La baie d'Alger.....	9
2.2.3. positions des stations pendant les campagnes .....	10
2.2. 3.1. baie de Bou-Ismaïl.....	10
2.2.3.2. La baie d'Alger .....	11
2.3. Méthodologie .....	12
2.4. Les paramètres pris en compte dans cette étude.....	13
2.4.1. les paramètres hydrologiques.....	13
2.4.1.1. Température.....	13
1.4.1.2. Salinité.....	13
1.4.1.3. Précipitation et Débits des Oueds.....	13
I.4.2. les sels nutritifs.....	13
2.4.2.1. L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	14
2.4.2.2. Les nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	14
2.4.2.3. Les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	14
2.4.2.4. Les orthophosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	14
2.4.2.5. La silice dissoute (Si(OH) <sub>4</sub> ) .....	14
I.4.3. les paramètres biologiques .....	14
2.5. Positionnement des points choisis pour effectuer le suivi d'évolution des paramètres étudiés.....	15
2.5.1. Baie de Bou-Ismaïl.....	16

2.5.2. La baie d'Alger.....	16
	17
Chapitre 3 : Résultats et discussions.....	
3.1. Paramètres hydrologiques et physico-chimiques.....	17
3.1.1. Précipitations et débits des Oueds.....	17
3.1.2. Température.....	18
3.1.2.1. Baie de Bou-Ismaïl .....	18
3.1.2.2. Baie d'Alger .....	19
3.1.3. Salinité .....	20
3.1.3.1. Baie de Bou-Ismaïl.....	20
3.1.3.2. Baie d'Alger .....	22
3.2. Evolution rétrospective des sels nutritifs.....	24
3.2.1. Baie de Bou-Ismaïl.....	24
3.2.1.1. Orthophosphates.....	25
3.2.1.2. Azote .....	25
3.2.1.3. Ammonium.....	26
3.2.1.4. Silicates.....	27
3.2.1.5. Evolution des sels nutritifs à la station 12 (en face Oued Mazafran).....	27
3.2.2. La baie d'Alger.....	29
3.2.2.1. Orthophosphates.....	29
3.2.2.2. L'azote.....	30
3.2.2.3. Ammonium .....	31
3.2.2.4. Silicates .....	31
3.2.2.5. Evolution des sels nutritifs à la station Sh (en face Oued El-Harrach) dans la baie d'Alger.....	32
3.3. Paramètres relatifs à la distribution des sels nutritifs.....	33
3.3.1. Baie de Bou-Ismaïl.....	33
3.3.1.1. Rapport de Redfield.....	33
3.3.2. Baie d'Alger.....	33
3.3.2.1. Rapport de Redfield.....	34
3.4. Paramètres relatifs à la qualité de l'eau.....	34
3.4.1. Baie de Bou-Ismaïl.....	34
3.4.1.1. Variation spatio-temporelle de la concentration en oxygène dissous....	34
3.4.1.2. Variation spatio-temporelle de la concentration en chlorophylle a.....	36
3.4.2. Baie d'Alger.....	36
3.4.2.1. Variation spatio-temporelle de la concentration en oxygène dissous...	36
3.5. Discussion et évaluation de l'état d'eutrophisation.....	37
3.5.1. Teneur en oxygène.....	37
3.5.2. Chlorophylle a.....	38
3.6. Synthèse de l'ensemble des indicateurs d'eutrophisation.....	38
Conclusion.....	39
Références bibliographiques.....	41
Annexes	

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1</b> : campagnes effectuées dans la baie de Bou- Ismail.....	9
<b>Tableau 2</b> : campagnes effectuées dans la baie d'Alger .....	9
<b>Tableau 3</b> : valeurs moyennes et extrêmes de température en surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	18
<b>Tableau 4</b> : valeurs moyennes et extrêmes de températures (surface, fond) dans les trois campagnes étudiées dans la baie d'Alger.....	19
<b>Tableau 5</b> : valeurs moyennes et extrêmes de salinité, à la surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	20
<b>Tableau 6</b> : valeurs moyennes et extrêmes de salinité, à la surface et au fond dans la baie d'Alger.....	22
<b>Tableau 7</b> : valeurs moyenne et extrêmes de sels nutritifs dans les trois campagnes étudiée dans la baie de Bou-Ismaïl.....	24
<b>Tableau 8</b> : valeurs extrêmes des sels nutritifs dans la baie d'Alger.....	29
<b>Tableau 9</b> : concentrations moyenne et extrêmes en oxygène dissous à la surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	35
<b>Tableau 10</b> : valeurs moyenne et extrêmes en oxygène dissous dans la baie d'Alger.....	37
<b>Tableau 11</b> : tableau comparatif de nos données dans la baie de Bou-Ismaïl face aux seuils fixés par différents pays.....	38
<b>Tableau 12</b> : grille d'évaluation de l'eutrophisation.....	39

## Liste des figures :

<b>Figure 1 :</b> Zones de la Méditerranée où des phénomènes d'eutrophisation ont été constatés.....	8
<b>Figure 2 :</b> Image satellitaire de la baie de Bou-Ismaïl avec le positionnement des stations échantillonnées Haddouche (Juillet 2002) et Khaoui, (Mars 2003).....	10
<b>Figure 3 :</b> Image satellitaire de la baie de Bou-Ismaïl avec le positionnement des stations échantillonnées Djaoudi et M'zyene, (2012).....	10
<b>Figure 4 :</b> Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées Eddalia, (1989).....	11
<b>Figure 5 :</b> Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées. Bozetine et Zerrouki, (2011).....	11
<b>Figure 6 :</b> Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées. Djeridi et Mensouri, (2012).....	12
<b>Figure 7 :</b> Positions des points choisis pour le suivi des campagnes de Juillet 2002, Mars 2003 et Mai 2012 dans la baie de Bou-Ismaïl.....	15
<b>Figure 8 :</b> Positions des points choisis pour le suivi des campagnes de Mai 1989, Avril 2011 et Mai 2012 dans la baie d'Alger.....	16
<b>Figure 9 :</b> évolution des précipitations en fonction des mois dans la baie de Bou-Ismaïl.....	13
<b>Figure 10 :</b> évolution des débits de Oued Mazafran en fonction des mois .....	17
<b>Figure 11 :</b> évolution des débits de Oued El Harrach en fonction des mois.....	17
<b>Figure 12 :</b> valeurs moyennes et extrêmes de la température de surface dans la baie de Bou-Ismaïl.....	18
<b>Figure13 :</b> valeurs moyennes et extrêmes de la température de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	18
<b>Figure 14 :</b> évolution temporelle de la température de fond dans la baie de Bou-Ismaïl aux stations 10,12 et 15.....	19
<b>Figure 15 :</b> évolution temporelle de la température de surface dans la baie de Bou-Ismaïl aux stations 10,12 et 15.....	19
<b>Figure 16 :</b> valeurs moyennes et extrêmes de la température de surface dans la baie d'Alger.....	20

<b>Figure 17</b> : valeurs moyennes et extrêmes de la température de fond dans la baie d'Alger	20
<b>Figure 18</b> : Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de surface dans la baie de Bou-Ismaïl.....	21
<b>Figure 19</b> : Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	21
<b>Figure 20</b> : Variation spatio-temporelle de la salinité de surface dans la baie de Bou-Ismaïl.....	21
<b>Figure 21</b> : Variation spatio-temporelle de la salinité de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	21
<b>Figure 21</b> : Variation spatio-temporelle de la salinité de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	21
<b>Figure 23</b> : Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de surface dans la baie d'Alger.....	22
<b>Figure 24</b> : Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de fond dans la baie d'Alger....	22
<b>Figure 25</b> : évolution spatio-temporelle de la salinité dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF et SL.....	23
<b>Figure 26</b> : évolution spatio-temporelle des phosphates dans la baie de Bou-Ismaïl.....	25
<b>Figure 27</b> : évolution spatio-temporelle des Nitrites+Nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl.	26
<b>Figure 28</b> : évolution spatio-temporelle de l'ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl.....	26
<b>Figure 29</b> : évolution spatio-temporelle des silicates dans la baie de Bou-Ismaïl.....	27
<b>Figure 30</b> : évolution temporelle des sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl à la station 12.....	28
<b>Figure 31</b> : évolution temporelle des orthophosphates dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF, SL.....	30
<b>Figure 32</b> : évolution spatio-temporelle des nitrites +nitrates dans la baie d'Alger.....	31
<b>Figure 33</b> : évolution spatio-temporelle de l'ammonium dans la baie d'Alger.....	31
<b>Figure 34</b> : évolution temporelle des silicates dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF, SL.....	32
<b>Figure 35</b> : évolution temporelle des sels nutritifs à la station Sh dans la baie d'Alger à la station Sh.....	33
<b>Figure 36</b> : diagramme de corrélation N/P dans la baie de Bou-Ismaïl en mars 2003.....	34
<b>Figure 37</b> : concentration en Oxygène dissous à la surface dans la baie de Bou-Ismaïl.....	35

<b>Figure 38</b> : concentration en Oxygène dissous au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.....	35
<b>Figure 39</b> : évolution spatiotemporelle de la concentration en oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl.....	35
<b>Figure 40</b> : concentration en chlorophylle a en fonction de la latitude dans la baie de Bou-Ismaïl.....	36
<b>Figure 41</b> : variation spatiotemporelle de l'oxygène dissous à la surface dans la baie.....	37
<b>Figure 42</b> : variation spatiotemporelle de l'oxygène dissous au fond dans la baie d'Alger.....	37

# **INTRODUCTION**

## Introduction :

La zone côtière à l'interface entre la terre, l'océan et l'atmosphère, joue un rôle majeur comme récepteur des substances issues de l'activité industrielle, de l'agriculture et des rejets domestiques, dont les nutriments inorganiques (N, P). Ces zones sont ainsi fragiles et exposées à la pollution, notamment à l'eutrophisation.

L'eutrophisation est la forme la plus étudiée de la pollution marine côtière (Rodhe, 1969), elle désigne à la fois les causes et les conséquences de la fertilisation du milieu (Ménèsquen *et al.*, 2001). Les causes sont essentiellement liées à l'apport de nutriments dans des proportions excessives ou inadaptées à la croissance, ainsi qu'au déplacement de l'équilibre entre autotrophie et hétérotrophie traduisant alors un dysfonctionnement de l'écosystème.

Les nutriments déversés dans la zone côtière dépendent de leur concentration dans la rivière, qui est en fonction de l'intensité des activités humaines et des précipitations. Les apports fluviaux de nutriments contrôlent très étroitement le fonctionnement des zones marines côtières (Billen et Garnier, 1997).

Toutefois, le lien entre les nutriments délivrés dans le bassin versant et les entrées dans la zone côtière, est loin d'être direct en raison des processus biogéochimiques, qui éliminent, immobilisent ou transforment ces éléments le long du continuum aquatique (Billen *et al.*, 1991).

Vue l'ampleur de ce phénomène en Méditerranée, diverses zones ont été l'objet de plusieurs travaux et parmi, ceux de Billen dans la baie de Seine en 2007 et de Thieux en 2009 dans la même zone, cependant en Algérie il y'a peu de travaux qui traitent cette thématique notamment en zone côtière, parmi ces travaux celui de Arour en 2002 sur l'ensemble du littoral Algérien ainsi que le travail de Haddouche en 2002 et Khaouni en 2003 sur la baie de Bou-Ismaïl.

Ce travail est fait dans le cadre d'un projet national de recherche qui est 'la réponse des écosystèmes marins à l'anthropisation dans le bassin Algérien' qui s'intègre dans le projet Méditerranéen MERMEX (Marine ecosystems Response in the Mediterranean Experiment).

L'objectif de ce travail, est de réaliser une étude rétrospective des paramètres indicateurs de l'eutrophisation, dans la baie de Bou-Ismaïl et la baie d'Alger sur des périodes allant

respectivement de 10 à 20 ans et essayer de voir si ces zones sont eutrophisées, ou du moins diagnostiquer l'état du milieu pour évaluer le risque d'eutrophisation.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons tenu à structurer notre travail sous trois grands axes, représentant trois chapitres distincts :

Dans un premier temps, nous définirons le phénomène d'eutrophisation des eaux côtières et nous présenterons brièvement son ampleur en Méditerranée et en Algérie.

Ce premier chapitre nous permettra donc d'accéder aux notions générales, mais nécessaires pour la compréhension des mécanismes, causes et critères d'évaluation de l'eutrophisation.

Le deuxième chapitre porte sur la description et localisations des zones étudiées, mais aussi sur les données à traiter et sur la méthodologie utilisée.

Le troisième et dernier chapitre est celui de l'illustration de notre objectif, à savoir celui d'établir le lien entre les apports de nutriments et leurs évolution ainsi que celle de divers paramètres qui nous permettront d'avoir un aperçu de l'état d'eutrophisation des zones étudiées en comparant aux normes établies par quelques pays.

# CHAPITRE I

## 1.1. Définition de l'eutrophisation

L'eutrophisation est un enrichissement des eaux en nutriments (essentiellement le phosphore et l'azote) qui vont favoriser la croissance des végétaux (micro-algues et macrophytes) pour finalement induire des efflorescences microalgales (eaux colorées), des algues flottantes à la surface des eaux et des macrophytes (notamment des algues sur les rivages ou sur les fonds). Lors de sa dégradation ce matériel végétal provoque une déplétion des réserves en oxygène des plans d'eau qui en retour induit des problèmes secondaires tels que la mortalité de poissons, la libération de gaz corrosifs et autres substances indésirables tels que CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, des substances organoleptiques (responsables de goûts et d'odeurs), des toxines, ...

### 1.1.1 Eutrophisation des zones côtières et estuariennes

Dans les zones côtières eutrophes les problèmes généraux ne sont pas très différents de ceux qui se présentent en eau douce. Le processus d'eutrophisation est à la base de riches chaînes alimentaires qui vont jusqu'aux poissons et aux macroinvertébrés pêchables.

Selon la convention OSPAR (Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est) de 2003, la définition de l'eutrophisation estuarienne est la suivante : « l'enrichissement du milieu entraîne une accélération de la production primaire qui engendre une modification des biomasses ainsi qu'un développement excessif de végétaux qui ont des conséquences écologiques ».

On peut observer deux phénomènes liés à l'eutrophisation la prolifération de macroalgues (aussi appelée « marées vertes ») et l'eutrophisation à phytoplancton.

## 1.2. Conditions pour qu'il y ait une eutrophisation

La prolifération de macroalgues vertes (Ulves, Entéromorphes, Cladophores) ou l'augmentation de la masse phytoplanctonique au printemps se produit dans les zones littorales peu profondes et soumises à des enrichissements massifs en nutriments.

Pour atteindre un niveau d'enrichissement qui soit source d'eutrophisation, il faut que certaines conditions soient réunies.

### 1.2.1. Un confinement de la masse d'eau

En effet, l'eutrophisation touche surtout les lagunes et les eaux littorales peu profondes.

### 1.2.2. Des apports de nutriments terrigènes en excès

Si la capacité d'évacuation ou de dilution d'un milieu aquatique est dépassée par un apport important de nutriments, celui-ci enrichit le milieu jusqu'à l'eutrophisation.

Le bassin versant, joue un rôle important dans l'apport de nutriments via les fleuves et les estuaires qui débouchent dans la zone côtière. Le type d'activités se déroulant sur ce bassin versant définit aussi le type et la quantité d'apports arrivant à la côte, à leurs transformations près (assimilation, élimination, sédimentation) dans le fleuve et l'estuaire.

Le lien direct entre enrichissement en nutriments et eutrophisation d'une zone (Ménèsquen *et al.* 2001) est cependant très difficile à établir en raison du rôle de divers facteurs tels que

- l'hydrodynamisme de la zone (courants résiduels, courants de marée, stratification de la colonne d'eau) qui permet une exportation des apports fluviaux vers le large,
- la limitation principale de la production phytoplanctonique par la température de l'eau et l'intensité lumineuse,
- la nature du sédiment qui permet une reminéralisation plus ou moins rapide de la matière organique détritique.

### 1.2.3. Les bassins versants et les apports terrigènes de nutriments

Le flux global d'azote arrivant au littoral est influencé à la fois par la sensibilité moyenne du bassin versant et par sa superficie. En l'absence d'excédents de fertilisation agricole, les petits bassins versants côtiers généreront donc des apports d'eau douce relativement faibles, influençant assez peu le littoral. Par contre, les bassins versants les plus étendus, apportant d'importantes quantités d'eau douce au littoral en période estivale, seront les principaux pourvoyeurs d'azote à la mer, avec les conséquences potentielles en matière d'eutrophisation.

## 1.3. Manifestations de l'eutrophisation

Les manifestations de l'eutrophisation peuvent prendre deux aspects, soit une prolifération importante des macrophytes, soit une augmentation de la masse phytoplanctonique.

Ce déséquilibre dans la composition de la biocénose, s'accompagne souvent de l'apparition d'espèces non siliceuses indésirables (toxiques).

Les effets manifestes de l'eutrophisation apparaissent souvent comme des changements qualitatifs de la structure et du fonctionnement du réseau trophique au niveau du pelagos et du benthos, avec comme résultats de nombreux effets adverses. Peu d'effets bénéfiques, comme l'augmentation des ressources biologiques ont été attribués à l'eutrophisation.

Les espèces non siliceuses soutenues par les apports anthropiques de nutriments additionnels (azote et phosphore) incluent souvent des espèces nuisibles, toxiques ou « inbrutable » par le zooplancton indigène ce qui a des conséquences indésirables.

En parallèle, diminution d'oxygène, mortalité des poissons, réduction de la biodiversité, et raccourcissement de la chaîne trophique peuvent également être observés dans les eaux eutrophisées.

### 1.3.1. Phénomènes d'anoxie

L'hypoxie ou anoxie même est le dernier stade de l'eutrophisation (Gray, 1992). Lorsque les apports de matières organiques et nutritives sont excessifs, la dégradation de cette matière par les bactéries, en consommant de l'oxygène, peut provoquer des crises d'anoxie la teneur de l'eau en oxygène devient alors insuffisante pour que les poissons et la plupart des autres organismes puissent respirer.

Les anoxies peuvent durer de quelques heures (anoxie ponctuelle – par exemple en Vilaine au cours de l'été 1982) à plusieurs mois (anoxie de longue durée).

En résumé, l'eutrophisation est causée par une teneur en éléments nutritifs (azote, phosphore et carbone organique) provenant d'activités humaines qui excède la capacité de charge du milieu récepteur. Les caractéristiques morphologiques et hydrologiques d'une masse d'eau - comme la faible profondeur et/ou le recyclage limité des eaux - accroissent la sensibilité aux problèmes d'eutrophisation, ce qui est typique des baies et lagunes côtières qui sont plus à risque en raison de la proximité d'un littoral urbanisé. Néanmoins, même des bassins plus ouverts au grand large comme l'Adriatique, le golfe du Lion et le nord de la mer Égée sont affectés par des épisodes d'eutrophisation. Les principales sources d'azote sont le ruissellement issu du lessivage des terres agricoles et le dépôt atmosphérique. La majeure partie du phosphore émane de sources ponctuelles, d'eaux usées urbaines et industrielles brutes ou peu traitées. De même, les exploitations piscicoles avec cages occasionnent fréquemment des problèmes d'eutrophisation à un niveau local.

### 1.4. Les indicateurs de l'eutrophisation, leurs valeurs-seuils éventuelles

La surveillance de l'état d'eutrophisation fait classiquement appel aux paramètres chimiques trahissant le degré de dysfonctionnement de l'écosystème : l'oxygène dissous, la quantité de phytoplancton estimée par la concentration de chlorophylle, et la quantité des apports en éléments nutritifs.

#### 1.4.1. Teneur en oxygène dissous

Les gaz se dissolvent dans l'eau de mer jusqu'à ce qu'une concentration d'équilibre soit atteinte ; celle-ci, appelée saturation ou solubilité, ne dépend que de la température, de la salinité et de la pression.

Sa concentration et sa saturation dans l'eau de mer est régie par plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques

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

L'importance de ces processus permet soit :

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

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

Donc la détermination de la qualité du milieu et de son niveau d'eutrophisation nécessite impérativement la connaissance de variations des concentrations en oxygène dissous.

#### 1.4.2. Chlorophylle et composition floristique

##### 1.4.2.1. Chlorophylle a

Les concentrations en chlorophylle sont évoquées par de nombreux pays comme critère synthétique permettant d'évaluer le niveau d'eutrophisation en zone côtière ou estuarienne. Cette approche est intéressante car la concentration en chlorophylle constitue une des réponses du milieu aux apports de nutriments, réponse qui intègre les spécificités physiques

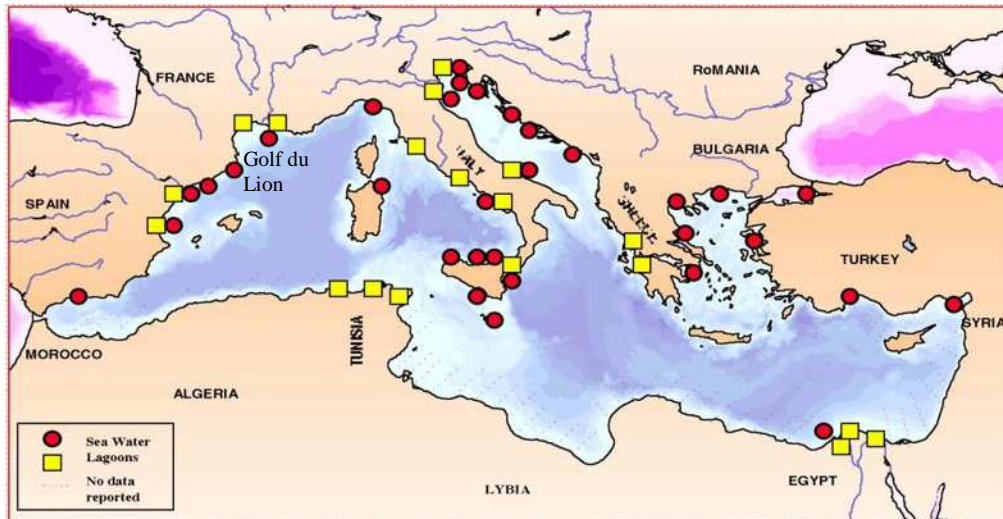
de la zone considérée. Néanmoins de grandes différences apparaissent dans les valeurs proposées suivant que l'on prend en compte soit les concentrations **maximales**, soit les concentrations **moyennes** durant la période productive.

Au niveau européen (OSPAR, 1997) des valeurs-seuils fondées sur les concentrations **maximales** sont également avancées pour identifier les zones eutrophisées; l'Allemagne par exemple propose ainsi la valeur de 25 µg/l.

Concernant la limitation des poussées algales par les nutriments, les travaux de modélisation écologique développés en baie de Seine (Cugier, 1999) ont montré que cette limitation pouvait être due successivement à l'un ou l'autre des trois éléments N, P et Si, au cours du cycle annuel, selon la zone concernée (panache des eaux continentales ou eau strictement marine). Les fortes poussées de printemps et d'été dans les zones côtières sont tout d'abord limitées par le phosphore puis par le silicium alors qu'au large ce sont le silicium et l'azote qui sont concernés, successivement. Des bioessais ont confirmé les rôles du phosphore et du silicium comme facteurs potentiellement limitants dans le panache fluvial, tandis que le rôle de l'azote s'intensifiait vers le large (Videau, 1995). La limitation par le silicium est attribuée au fait que l'enrichissement en azote ou en phosphore est tel qu'un excès de ces derniers reste disponible après le développement de diatomées (organismes siliceux). D'autres espèces algales, souvent plus gênantes peuvent alors se développer (Conley *et al.*, 1993).

### 1.5. Eutrophisation en Méditerranée

L'Adriatique, le golfe du Lion et le nord de l'Égée sont des zones présentant des concentrations moyennes relativement plus élevées en éléments nutritifs, une production primaire et secondaire plus importante et, parfois, des proliférations algales locales plus ou moins en rapport avec des conditions d'hypoxie ou d'anoxie, voire rarement des proliférations algales toxiques. Les rejets d'azote et de phosphore dans la mer Adriatique sont de l'ordre de 270 000 et 24 000 t, respectivement. Le nord de la mer Égée reçoit chaque année de la mer Noire 180 000 t d'azote et 11 000 t de phosphore qui sont comparables aux apports d'origine tellurique atteignant le nord-est de la mer Méditerranée (AEE/PNUE 1999). Voir figure 1.



**Figure 1** Zones de la Méditerranée où des phénomènes d'eutrophisation ont été constatées. Source AEE/PNUE 1999

### 1.6. Eutrophisation en Algérie

D'après les évaluations nationales des apports de sels nutritifs, sur les côtes algériennes, les transferts d'éléments nutritifs du système terrestre au système marin concernent les zones agricoles, notamment de cultures intensives des plaines littorales (Annaba, Mitidja, Sahel algérois, plateau de Mostaganem) ou l'usage d'engrais phosphatés et azotés ont démultiplié les apports vers le littoral (MEDPOL Algérie). A titre indicatif, des analyses effectuées au Niveau des aquifères de la Mitidja indiquent des pics de 200 mg/l de nitrates (normes de 50 mg/l). Sur les collines du Sahel et d'autres zones côtières (Skikda, plaine du Saf Saf, Mostaganem ...) les nitrates sont apportés par les eaux de ruissellement et Transférés directement à la mer. Dans les golfes d'Arzew et d'Alger, Le schéma de distribution du carbone organique démontre un cheminement vers les zones de sédimentations des vasières situées en milieu de baie ainsi qu'à proximité des ports. Ces maxima sont relatifs à l'accroissement de la population et des activités industrielles mais également les apports fluviaux (Buscail *et al.*,1998) . Dans la quasi-totalité des ports, les concentrations en sels nutritifs dans les sédiments sont supérieures à celles mesurées aux alentours. Les ports de Jijel, Alger et Annaba sont les plus affectés. Dans certaines zones soumises à une influence continentale, des teneurs élevées en sels nutritifs et en chlorophylles sont observées ((14,9  $\mu\text{mol/l}$  en  $\text{NO}_3^-$ , 2,04  $\mu\text{mol/l}$  en  $\text{PO}_4^{3-}$ , 11,3  $\mu\text{g/l}$  en Chl a) peuvent être observées, in (Frehi *et al.*, 1997).

# **CHAPITRE II**

# Zones d'étude et méthodologie

## 2.1. Base de données

Dans notre travail on s'est intéressé à l'étude de deux grandes baies du littoral Algérois la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl, soumises à l'influence des activités humaines intensives, urbaines et industrielles, dans le but d'évaluer l'état de l'eutrophisation ou néanmoins avoir un aperçu sur l'évolution des différents paramètres contrôlant cette dernière.

Cette étude est basée sur des données récoltées dans le cadre de mémoires d'ingénieurs dont les données exploitées reviennent aux travaux de Haddouche (2002) ; Khaoui (2003) et Djaoudi et M'zyene (2012) dans la baie de Bou-Ismaïl, ainsi que les travaux de Eddalia (1989) ; Bozetine et Zerrouki (2011) et enfin Djeridi et Mansouri (2012) dans la baie d'Alger.

## 2.2. Présentation des campagnes

### 2.2.1. La baie de Bou-Ismaïl

Les campagnes ont été faites à des périodes différentes (tableau 1).

**Tableau 1** : campagnes effectuées dans la baie de Bou-Ismaïl

Références	Années	Dates
Haddouche	2002	Du 15 au 18 Juillet
Khaoui	2003	Du 11 au 12 Mars
Djaoudi et M'zyene	2012	Du 02 et 04 Mai

### 2.2.2. La baie d'Alger

Les trois campagnes ont été réalisées en période printanière, les dates sont détaillées dans le tableau 2

**Tableau 2** : campagnes effectuées dans la baie d'Alger

Références	Années	Dates
Eddalia	1989	Du 21 au 22 Mai
Bozetine et Zerrouki	2011	Du 26 au 28 Avril
Djeridi et Mansouri	2012	Du 27 au 28 Mai

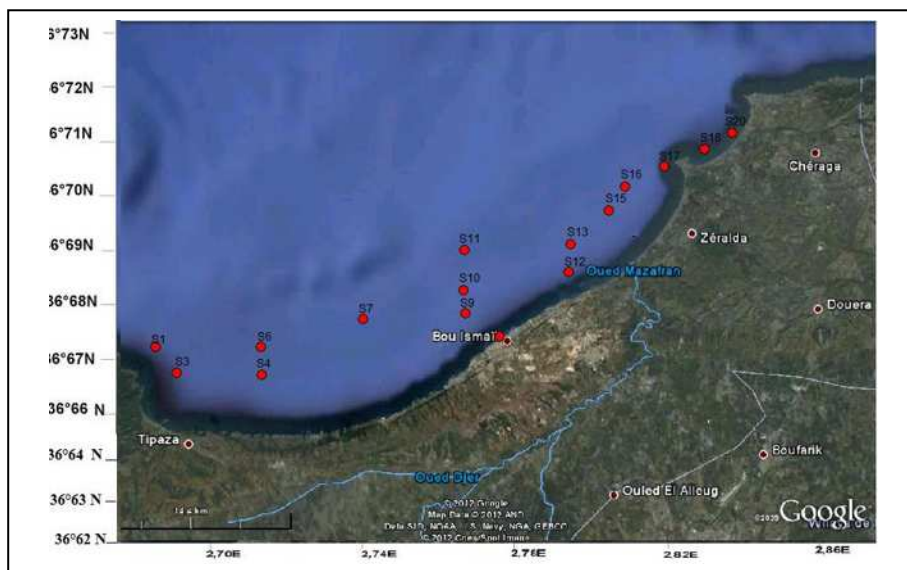
## 2.2.3. Positions des stations pendant les campagnes

L'étude de la variation des paramètres sera faite sur l'ensemble des points d'échantillonnage qui sont tous côtiers donc représentatifs dans les deux baies étudiées,

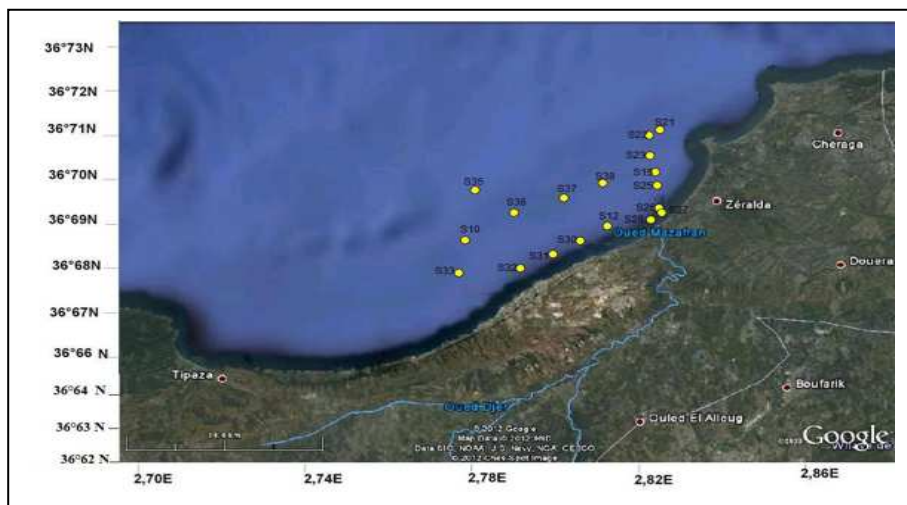
Les stations ou les prélèvements ont été effectués sont illustrées dans les figures ci-dessous. Les détails des coordonnées géographiques sont dans l'annexe 1.

Il est à noter que l'échantillonnage pendant les campagnes de Juillet 2002 et de Mars 2003 a été fait exactement aux mêmes stations (figure 2).

### 2.2.3.1. Baie de Bou-Ismaïl

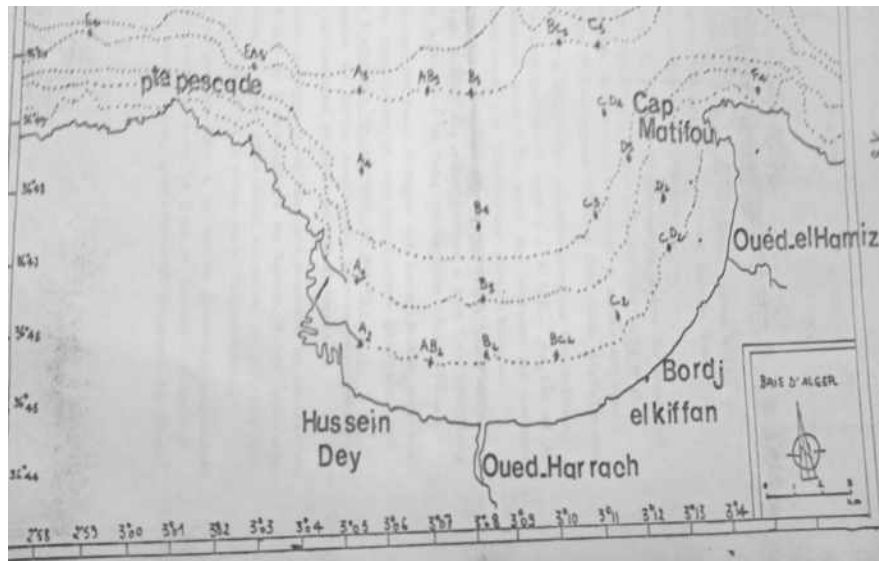


**Figure 2 :** Image satellitaire de la baie de Bou-Ismaïl avec le positionnement des stations échantillonnées Haddouche, (Juillet 2002) et Khaoui, (Mars 2003).

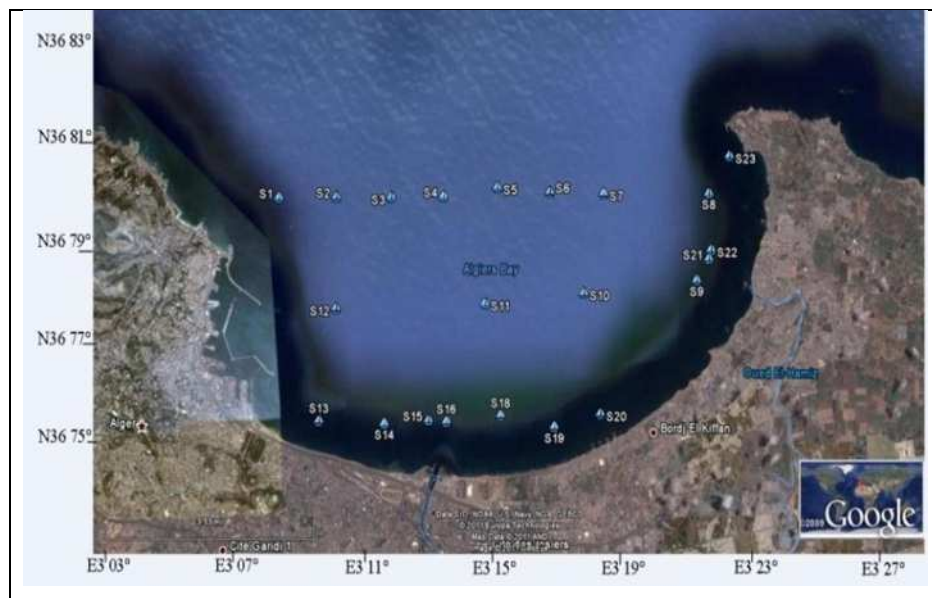


**Figure 3 :** Image satellitaire de la baie de Bou-Ismaïl avec le positionnement des stations échantillonnées Djaoudi et M'zyene, (Mai 2012).

### 2.2.3.2. La baie d'Alger



**Figure 4 :** Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées Eddalia, (Mai 1989)



**Figure 5 :** Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées. Bozetine et Zerrouki ,(Avril 2011)



**Figure 6 :** Image satellitaire de la baie d'Alger avec le positionnement des stations échantillonnées.  
Djeridi et Mensouri, (Mai 2012)

### 2.3. Méthodologie

- La majorité des mesures sont effectuées en sub-surface (dans les premiers mètres sous la surface de l'eau).
- Les méthodes de mesure et d'analyse des sels nutritifs, chlorophylle sont globalement similaire, donc inter-comparables (ces méthodes d'analyses sont amplement détaillées dans les travaux de mémoires d'ingénieurs Djaoudi et M'zyene, (2012)...etc
- Les débits des Oueds sont des données de l'O.N.M d'Alger (Office Nationale de la Météo)
- Il est important de noter que les analyses de l'oxygène dissous sont effectuées par la méthode de Winkler.

### 2.4. Les paramètres pris en compte dans cette étude

#### 2.4.1. Les paramètres hydrologiques

##### 2.4.1.1. Température

C'est une caractéristique physique majeure qui a une influence sur l'activité biologique, limite la solubilité des gaz dans l'eau de mer avec son augmentation notamment l'oxygène.

La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tels que la saturation des gaz dissous, la mesure du pH (Aminot et Kérouel, 2004).

##### 2.4.1.2. Salinité

Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (Rodier *et al.*, 2005).

On l'utilisera pour voir l'influence des apports en eaux douces sur les zones côtières étudiées.

##### 2.4.1.3. Précipitation et Débits des Oueds

Nous permettrons de relier l'évolution des sels nutritifs à la variation des précipitations et débits des Oueds présents dans les baies étudiées.

#### 2.4.2. Les sels nutritifs

Les éléments nutritifs qui limitent l'activité photosynthétique des organismes photosynthétiques sont l'azote, le phosphore et le silicium sous leur forme oxydée, d'où leur appellation « éléments bio-limitants » (Copin-Montégut, 1996). Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes).

Source externe elle regroupe tous les apports continentaux déversant en mer, qu'ils soient par voie éolienne ou par voie fluviale ;

Source interne elle représente l'origine la plus importante, elle est assurée par des flux verticaux et leur régénération à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique (Levitus *et al.*, 1993). Ainsi par les excréments des microorganismes marins qui libèrent aussi certaines formes de sels nutritifs. Et enfin, par diffusion des sédiments marins (1%).

## Zones d'étude et méthodologie

---

### 2.4.2.1. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

D'origine anthropique ou naturelle (dégradation de la matière organique naturelle, fixation de l'azote atmosphérique par les bactéries fixatrices d'azote). L'ammonium sera transformé en nitrites par des bactéries nitrifiantes et se trouve donc à la base du cycle de l'azote.

### 2.4.2.2. Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Ne sont pas directement utilisables par les plantes et les algues mais potentiellement dangereux pour la santé. C'est aussi le sel nutritif le moins stable. Il est transformé en nitrate par des bactéries (Nitrobacter). Il est ainsi souvent assimilé aux nitrates dans les bilans d'azote.

### 2.4.2.3. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

D'origines agricoles, urbaines ou industrielles, ou issues de la transformation des nitrites par des bactéries (nitratisation). Ils sont directement utilisés par les plantes et les algues.

### 2.4.2.4. Les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

D'origines agricole, naturelle, urbaine ou industrielle. Ils sont directement utilisés par les plantes et les algues.

### 2.4.2.5. La silice dissoute ( $\text{Si(OH)}_4$ )

L'élément nutritif silicium entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (Diatomées, Radiolaires...) (Aminot et Chausse-Pied, 1983). A pH moyen de l'eau de mer (~8.2), les formes majoritaires dissoutes dans l'eau de mer étant à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique,  $\text{Si(OH)}_4$ , 5 %  $\text{Si(OH)}_3^-$  (Aminot et Kérouel, 2004). La distribution verticale de l'acide silicique diffère de celle du phosphore ou de l'azote. Les silicates sont régénérés à différentes vitesses et par différents processus et, il y a toujours une incertitude sur les facteurs qui contrôlent le budget marin des silicates (Jacques et Tréguer, 1986).

### 2.4.3. Les paramètres biologiques

- Oxygène dissous.
- Chlorophylle a.

### 2.5. Positionnement des points choisis pour effectuer le suivi d'évolution des paramètres étudiés

#### 2.5.1. Baie de Bou-Ismaïl

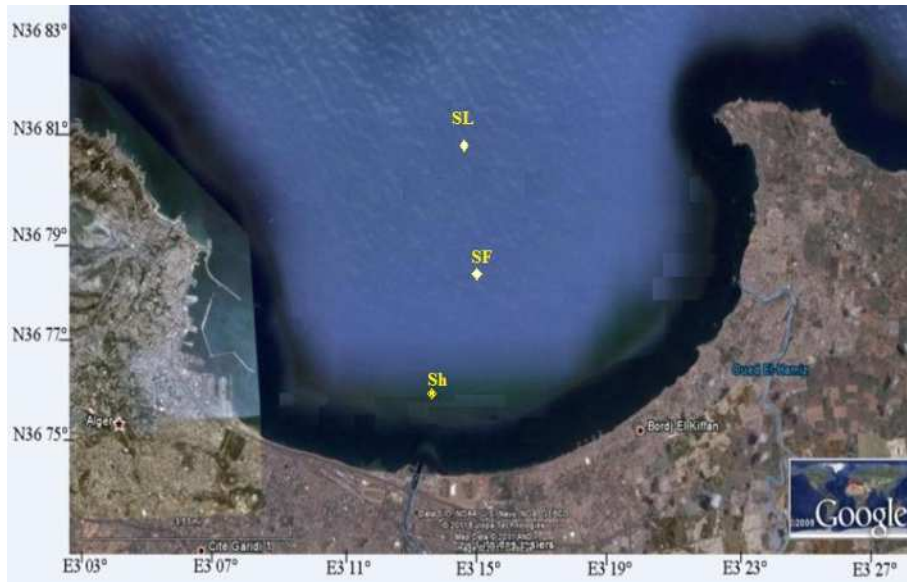
Les points choisis (figure 6), correspondent à une station en face Oued Mazafran et deux autres plus loin à gauche et à droite dans le but de voir l'influence des apports de ce Oued pour les différents paramètres étudiés. Les coordonnées géographiques de ces points sont détaillées en annexe 1 (tableau 17).



**Figure 7 :** Positions des points choisis pour le suivi  
Des campagnes de Juillet 2002, Mars 2003 et Mai  
2012 dans la baie de Bou-Ismaïl.

### 2.5.2. La baie d'Alger

Les stations illustrées à la figure sont choisies pour les mêmes raisons que pour la baie de Bou-Ismaïl. Les coordonnées géographiques de ces points sont détaillés en annexe 1 (tableau 18).



**Figure 8 :** Positions des points choisis pour le suivi  
Des campagnes de Mai 1989, Avril 2011 et Mai 2012  
dans la baie d'Alger.

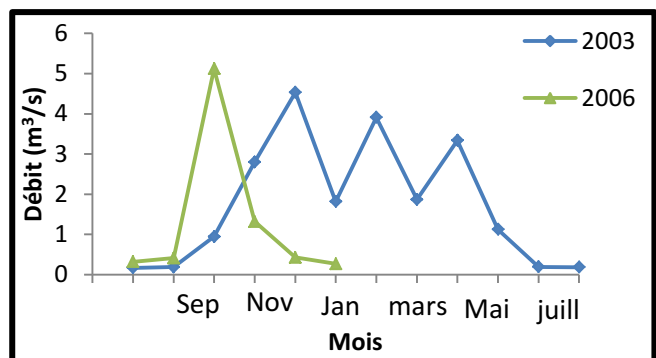
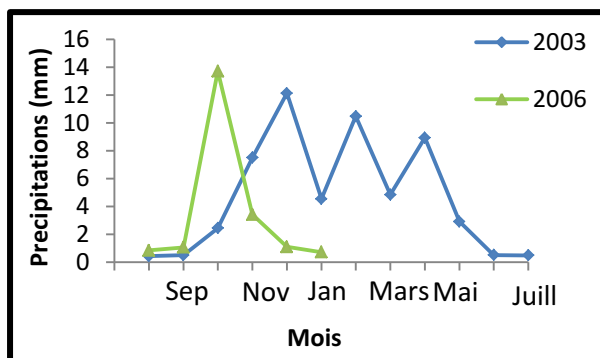
# CHAPITRE III

## 3.1. Paramètres hydrologiques et physico-chimiques

### 3.1.1. Précipitations et débits des Oueds

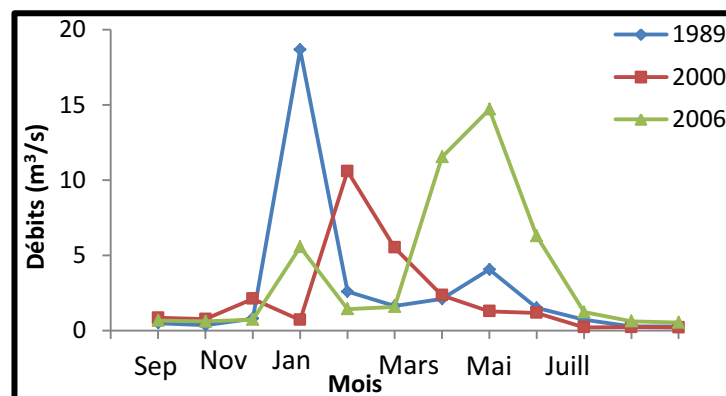
Les débits suivent en général un cycle saisonnier, relatif aux précipitations, d'une manière proportionnelle avec des valeurs maximales en hiver et minimales en été. Sur le plus long terme, les débits montrent une tendance à la variabilité avec la succession de périodes ayant des valeurs plus ou moins élevées suivant un cycle annuel, montrant l'évolution des précipitations qui est semblable à celle des débits à la même période pour l'Oued Mazafran (figure 9 et 10). Pour la région d'Alger nous n'avons eu accès qu'aux débits annuels de Oued El-Harrach (figure 11) sans les précipitations qui correspondent à la même période.

Cela permet de dire que les apports des oueds en sels nutritifs ainsi que leurs variations sont en fonction des précipitations et des débits, cela pourra expliquer en partie, la variation des concentrations en nutriments.



**Figure 9 :** évolution des précipitations en fonction des mois dans la baie de Bou-Ismaïl

**Figure 10 :** évolution des débits de Oued Mazafran en fonction des mois.



**Figure 11 :** évolution des débits de Oued El-Harrach en fonction des mois.

## 3.1.2. Température

### 3.1.2.1. Baie de Bou-Ismaïl

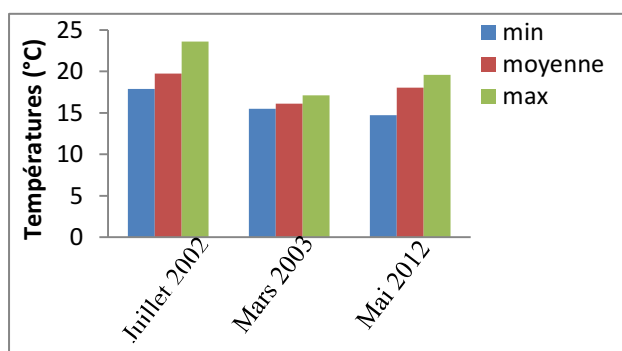
De façon générale, les températures mesurées reflètent les périodes saisonnières en relation avec les conditions météorologiques (figures 12 et 13), à savoir les plus élevés en juillet 2002 (17,9-23,9°C) en surface et les plus basses en Mars 2003 (15,15-14,7°C) au fond tandis qu'en Mai 2012 les températures se situaient entre les deux intervalles précédents avec des valeurs comprises entre (14,7-17,7°C), ce qui est normal en ces différentes périodes d'échantillonnage.

On remarque que les températures les plus basses sont observées, en général, en profondeur et les plus élevées en surface (figure 14 et 15), cela en fonction du mélange en relation avec les températures de l'air.

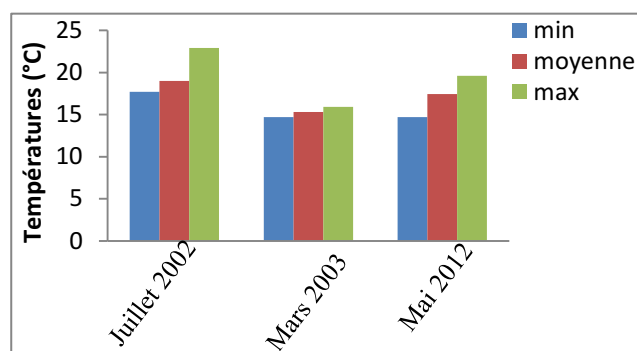
Les résultats obtenus en Mars 2003 sont proches de ceux obtenus en Mars 2006 dans le bassin Algérien, Bendaas et Mebarki (2010) avec 15,4°C en moyenne.

**Tableau 3 :** valeurs moyennes et extrêmes de température en surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.

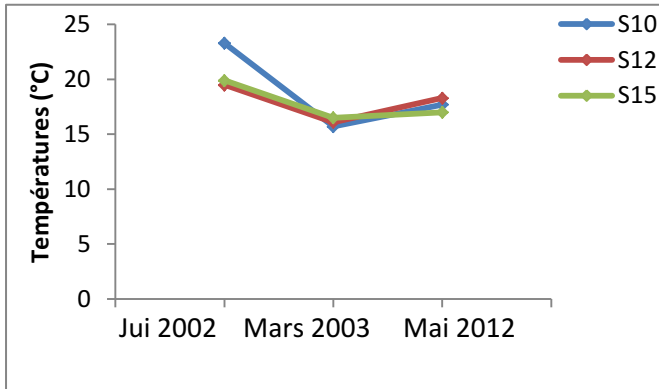
Température (°C)	Juillet 2002		Mars 2003		Mai 2012	
	surface	fond	surface	fond	surface	fond
<b>Min</b>	17,9	17,3	15,15	14,7	17,7	14,7
<b>Max</b>	23,9	21,5	17,7	15,9	19,6	18,2
<b>Moyenne</b>	20,48	18,96	16,12	15,3	18,4	17,12
<b>Ecartype</b>	2,16	1,17	0,46	0,38	0,46	0,98



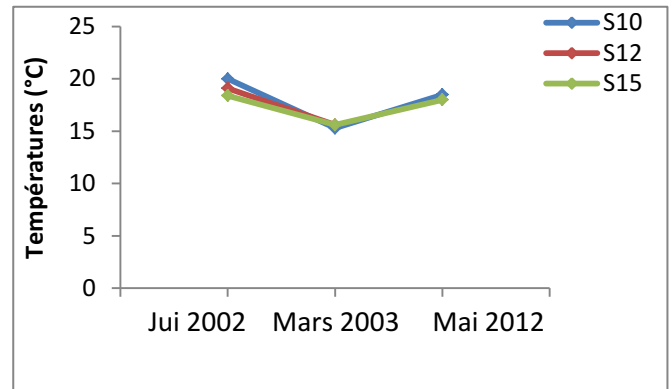
**Figure 12 :** valeurs moyennes et extrêmes de la température de surface dans la baie de Bou-Ismaïl



**Figure 13 :** valeurs moyennes et extrêmes de la température de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 14 :** évolution temporelle de la température de fond dans la baie de Bou-Ismaïl aux stations 10,12 et 15.



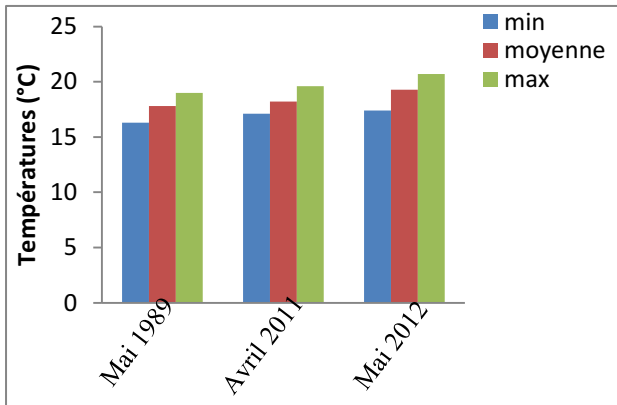
**Figure 15 :** évolution temporelle de la température de surface dans la baie de Bou-Ismaïl aux stations 10,12 et 15.

### 3.1.2.2. Baie d'Alger

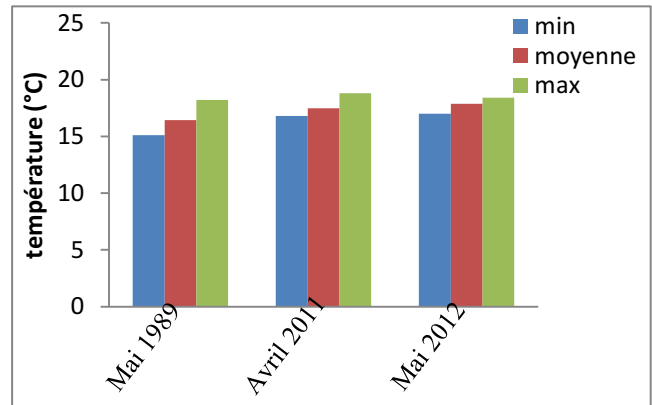
Dans cette zone, comparée à la baie de Bou-Ismaïl, les températures sont légèrement plus élevées à la même période et année (2012) étant comprises entre (17,9 et 19,3°C), le maximum est enregistré à la surface près de la station de dessalement El-Hamma en 2012 qui est de 20,7°C. La variation temporelle est marquée par de légères fluctuations en moyenne (figure 16 et 17), imprégnées par l'accentuation de la pollution et de la pression anthropique dans cette baie, les températures moyennes de surface et de fond sont indiquées dans le tableau 4 ci-dessous.

**Tableau 4 :** valeurs moyennes et extrêmes de températures (surface, fond) dans les trois campagnes étudiées dans la baie d'Alger.

Température (°C)	Mai 1989		Avril 2011		Mai 2012	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
<b>min</b>	18,10	15,10	17,1	16,8	17,4	17
<b>Max</b>	19,10	18,20	19,6	18,8	20,7	18,4
<b>moyenne</b>	18,42	16,48	18,11	17,43	19,30	17,9
<b>ecartype</b>	0,33	0,25	0,6	0,45	0,72	0,36



**Figure 16 :** valeurs moyennes et extrêmes de la température de surface dans la baie d’Alger



**Figure 17 :** valeurs moyennes et extrêmes de la température de fond dans la baie d’Alger

### 3.1.3. Salinité

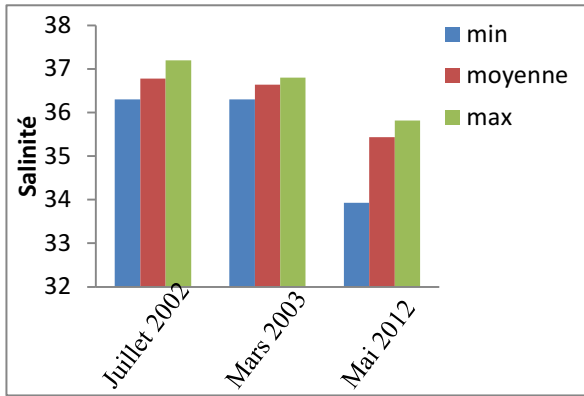
#### 3.1.3.1. Baie de Bou-Ismaïl

On remarque que l’allure du profil de salinité est très semblable sur l’ensemble des stations (figure 22 ) avec des valeurs superposables pour Juillet 2002 et Mars 2003 tandis qu’en Mai 2012 on note une dessalure sur toutes les stations y compris les station 10, 12 et 15 (figure 20 et 21) à la surface et au fond, cela peut être relié aux apports d’eaux douces dus à la forte pluviométrie et à la fonte des neiges de l’hiver 2012.

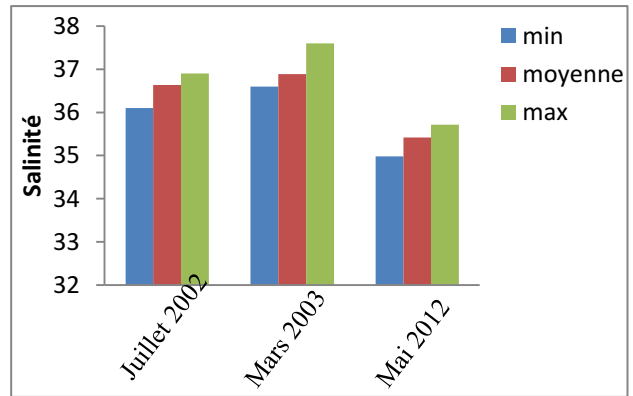
**Tableau 5 :** valeurs moyennes et extrêmes de salinité, à la surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl dans les trois campagnes.

	Juillet 2002	Mars 2003	Mai 2012
<b>Min</b>	36,1	36,3	33,92
<b>Max</b>	37,2	37,6	35,81
<b>Moyenne</b>	36,77	36,76	35,45
<b>ecartype</b>	0,26	0,25	0,35

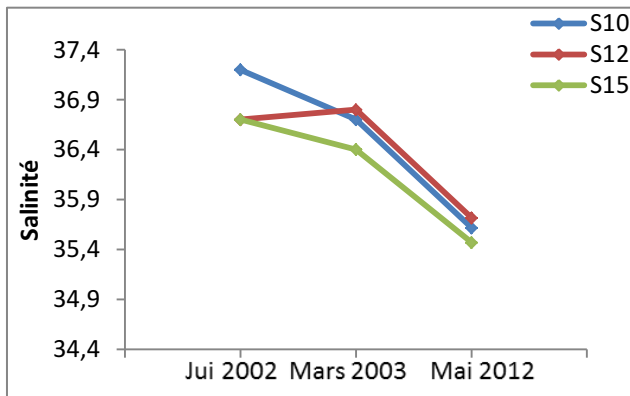
## Résultats et discussions



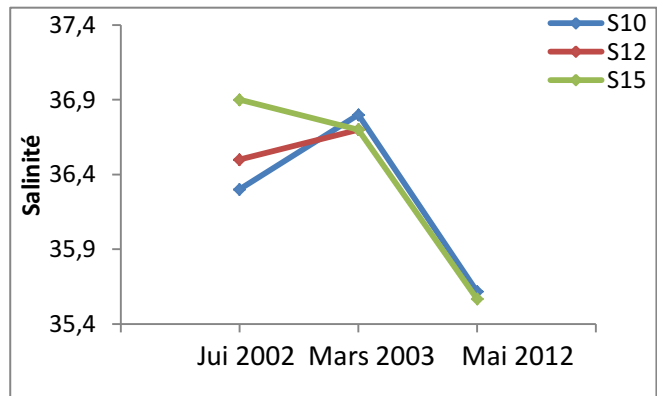
**Figure 18 :** Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de surface dans la baie de Bou-Ismaïl.



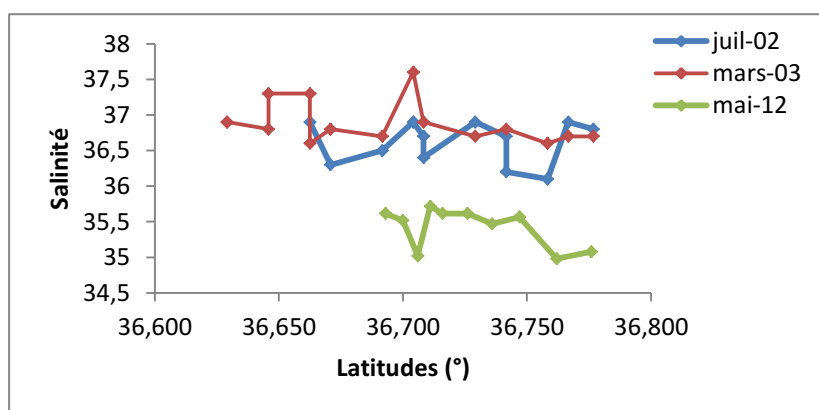
**Figure 19 :** Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 20 :** Variation spatio-temporelle de la salinité de surface dans la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 21 :** Variation spatio-temporelle de la salinité de fond dans la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 22 :** variation spatio-temporelle de la salinité dans la baie de Bou-Ismaïl en fonction de la latitude.

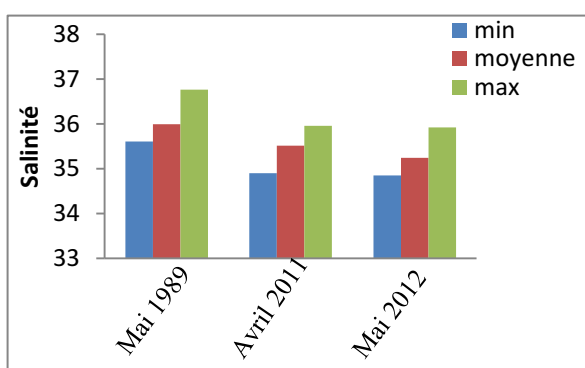
### 3.1.3.2. Baie d'Alger

Les profils de salinité ainsi que les valeurs indiquées sur le tableau 6 montrent une évolution temporelle décroissance de la salinité dans cette baie (figure 25). Le maximum enregistré et au fond en 1989 (37,4) et le minimum est obtenue au fond en 2012 (35,2). Cette dessalure est marquée à la station sh qui est en face Oued El Harrach, cala est relié aux apports d'eaux douces par les Oueds notamment en hiver 2012 où les précipitations ont été particulièrement fortes (pluies et neiges).

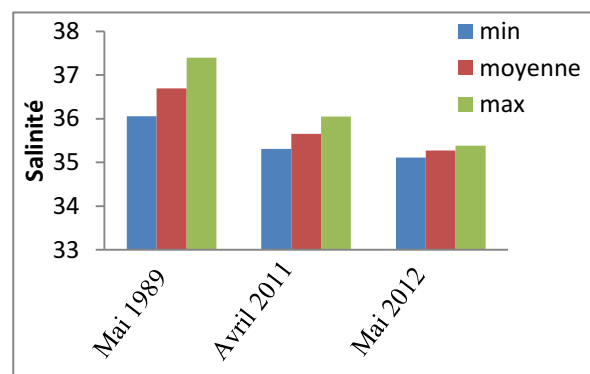
Comparée à la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger connaît une dessalure notable au fil du temps.

**Tableau 6 :** valeurs moyennes et extrêmes de salinité, à la surface et au fond dans la baie d'Alger dans les trois campagnes.

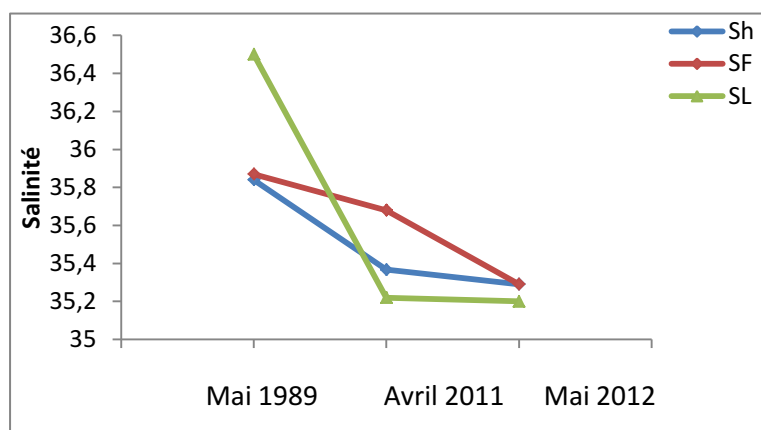
	Mai 1989		Avril 2011		Mai 2012	
Salinité	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
<b>min</b>	35,61	36,06	34,89	35,31	34,85	35,2
<b>max</b>	36,50	37,40	35,95	36,047	35,92	35,38
<b>moyenne</b>	35,90	36,57	35,52	35,66	35,24	35,29
<b>ecartype</b>	0,25	0,43	0,27	0,18	0,18	0,06



**Figure 23 :** Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de surface dans la baie d'Alger



**Figure 24 :** Valeurs moyennes et extrêmes de la salinité de fond dans la baie d'Alger.



**Figure 25 :** évolution spatio-temporelle de la salinité dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF et SL.

### 3.2. Evolution rétrospective des sels nutritifs

#### 3.2.1. Baie de Bou-Ismail

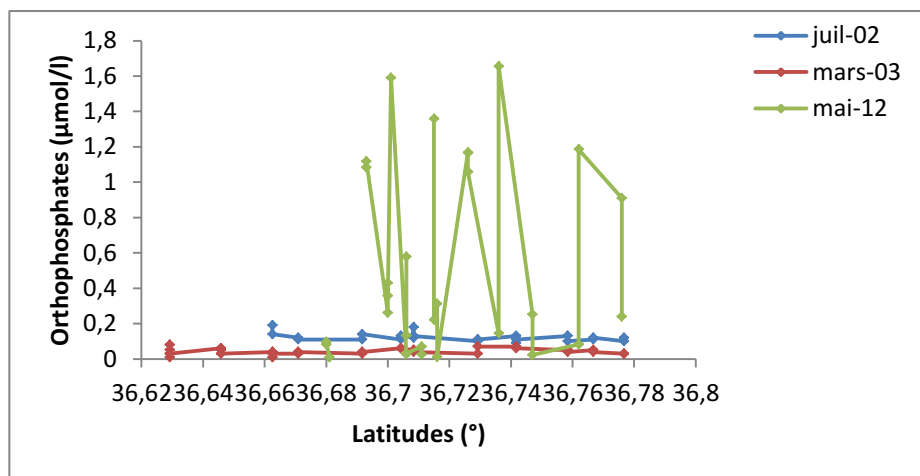
**Tableau 7** : valeurs moyennes et extrêmes des sels nutritifs dans les trois campagnes étudiées

Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Juillet 2002			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	0,01	0,45	0,2	0,08
Nitrites	0,16	2,45	0,55	0,48
Nitrates	0,01	0,09	0,03	0,01
Orthophosphates	0,09	0,21	0,13	0,02
Silicates	1,04	6,53	2,5	1,02
Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Mars 2003			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	8,2	27,4	17,31	5,8
Nitrites	0,01	0,6	0,04	0,1
Nitrates	0,03	1,6	0,41	0,4
Orthophosphates	0,01	0,08	0,043	0,01
Silicates	2,9	8,3	6,76	1,38
Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Mai 2012			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	1,01	5,41	2,86	1,39
Nitrites	0	0,26	0,03	0,04
Nitrates	0,08	0,84	0,21	0,16
Orthophosphates	0,01	1,66	0,52	0,54
Silicates	0,03	4,63	0,66	0,93

### 3.2.1.1. Orthophosphates

On observe sur la figure 26 deux gammes de concentration une en Juillet 2002 et Mars 2003 ne dépassant pas  $0,2 \mu\text{mol/l}$  et une autre en Mai 2012 atteignant  $1,66 \mu\text{mol/l}$  à la station 12 près de l'embouchure de Oued Mazafran et dépassant  $1,5 \mu\text{mol/l}$  a la station 15 à la sortie du port de Sidi-Fredj. Les teneurs en  $\text{Po}_4^{3-}$  sont généralement faibles en Méditerranée (inférieur à  $0,3 \mu\text{mol/l}$ ), (Bethoux et al,1998) cela correspond parfaitement au résultats obtenus en juillet 2002 et en Mars 2003 tandis qu'en Mai 2012 ces teneurs ont augmenté cela peut être dû à la période d'échantillonnage ou les sels nutritifs ne sont pas encore épuisés et le bloom printanier n'est pas encore entamé, comme le brassage des eaux favorise aussi l'enrichissement de la couche 0-100 m en cette période de l'année ; Cela dit au bout de 10 ans l'influence des apports continentaux et l'impact de l'urbanisation côtière ne peut être négligeable ; avec l'augmentation des rejets riches en détergents qui sont majoritairement phosphatés.

D'autre part, le printemps est généralement pluvieux comparé à l'été, par conséquent les débits des oueds sont plus importants à cette saison.

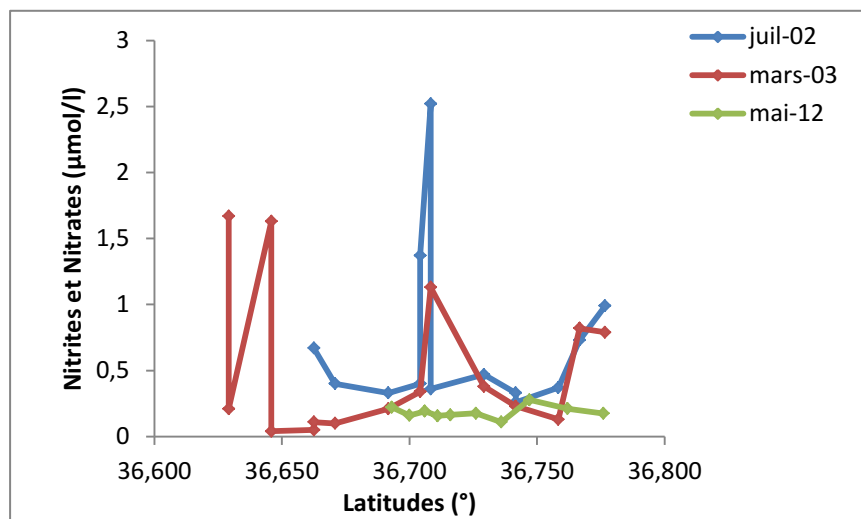


**Figure 26** : évolution spatio-temporelle des phosphates dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.2. 1. 2. L'Azote

Les concentrations en azote sur l'ensemble de la baie sont relativement homogènes avec des teneurs de l'ordre de quelques  $\mu\text{mol/l}$  en Mars 2003 et Mai 2012 avec des valeurs variant respectivement entre ( $0,04$  et  $1,67 \mu\text{mol/l}$ ) et entre ( $0,1$  et  $0,27 \mu\text{mol/l}$ ), tandis qu'en juillet 2002 les valeurs enregistrées sont élevées oscillant entre ( $0,23$  et  $2,52 \mu\text{mol/l}$ ) en dépit de la

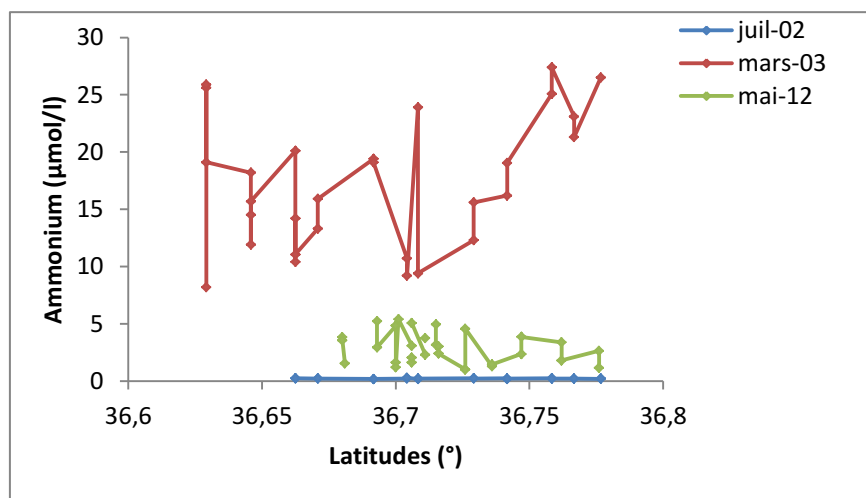
période d'échantillonnage (été) ou normalement l'azote est consommé par le bloom printanier.



**Figure 27 :** évolution spatio-temporelle des Nitrites+Nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.2.1.3. Ammonium

Les profils de l'ammonium présentent une grande variabilité spatio-temporelle avec des valeurs nettement plus élevées en Mars 2003 allant de 8,2 à 27,4 avec une moyenne de 17,31 µmol/l et aussi en Juillet 2002 avec des valeurs allant de 0,01 à 0,45 et une moyenne de 0,2 µmol/l comparées aux valeurs obtenues en juillet 2002 ou les teneurs ne dépassent pas 0,45 µmol/l et une moyenne de 0,2 µmol/l.

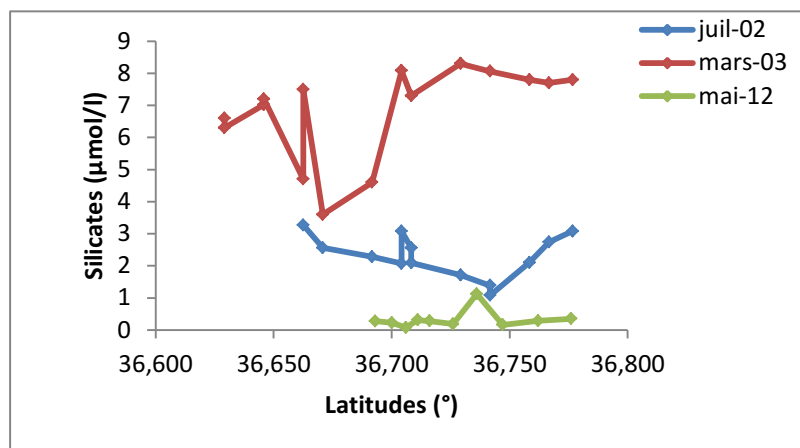


**Figure 28 :** évolution spatio-temporelle de l'ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.2.1.4. Silicates

Les teneurs en silicates varient entre les différentes campagnes cela est peut-être dû d'une part aux différentes périodes d'échantillonnage et d'autre part à la fluctuation des débits des oueds sur une période de 10 ans, et cela en supposant que la silice est d'origine terrigène.

Cependant, les concentrations ont considérablement diminués entre Juillet 2002 et Mai 2012 comme c'est illustré sur la figure ci-dessous.



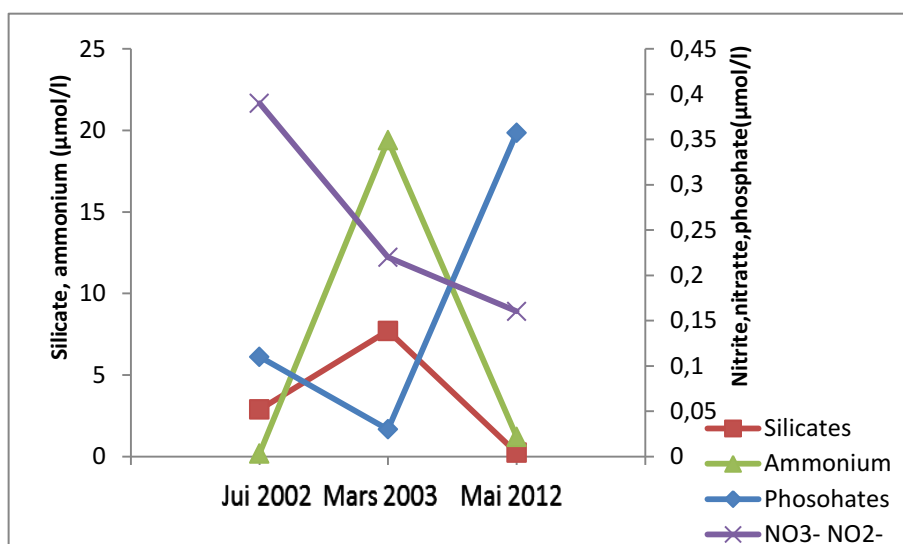
**Figure 29** : évolution spatio-temporelle des silicates dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.2.1.5. Evolution des sels nutritifs à la station 12 (en face Oued Mazafran)

Les teneurs en silicates et ammonium sont les plus élevées avec un pic de concentration en mars 2003 en relation avec la période de régénération et les forts apports par oued Mazafran (figure 9 et 10) alors que ces teneurs sont moindres en juillet 2002 et Mai 2012 en relation avec la consommation phytoplanctonique et les faibles apports continentaux.

Les teneurs en phosphates montrent un pic en mai 2012 du à l'augmentation des rejets en eaux usées non ou mal traitées vue que la forme des phosphates dominante en mer est les orthophosphates qui sont essentiellement issues de détergents.

Les valeurs de l'ammonium sont très élevées en Mars 2003 comparés aux autres périodes cela est relié aux rejets d'eaux usées domestiques qui devient évident à la période de forts apports véhiculés par l'oued Mazafran.



**Figure 30** : évolution temporelle des sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl à la station 12

### 3.2.2. La baie d'Alger

**Tableau 8** : valeurs extrêmes et moyennes des sels nutritifs dans la baie d'Alger

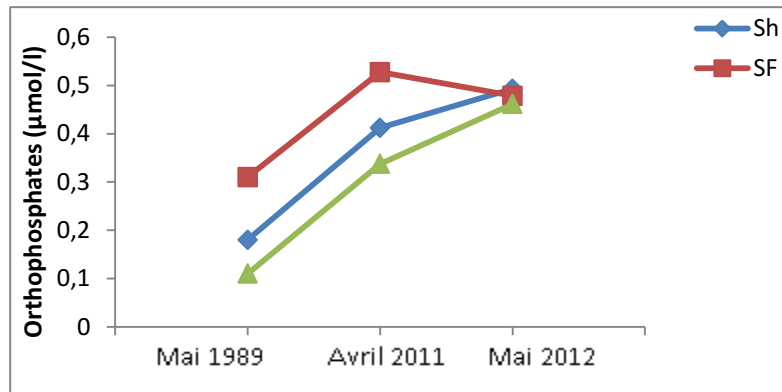
Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Mai 1989			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	-	-	-	-
Nitrites	0,035	0,41	0,15	0,08
Nitrates	0,19	1,34	0,63	0,35
Orthophosphates	0,08	0,91	0,39	0,25
Silicates	0,77	4,9	2,42	1,08
Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Avril 2011			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	0,72	13,36	6,94	2,41
Nitrites	0,005	0,11	0,04	0,02
Nitrates	0,002	0,35	0,12	0,07
Orthophosphates	0,26	0,62	0,39	0,05
Silicates	-	-	-	-
Sels nutritifs ( $\mu\text{mol/l}$ )	Mai 2012			
	min	max	moyenne	ecartype
Ammonium	0,55	18,12	9,92	3,81
Nitrites	0,01	0,24	0,07	0,07
Nitrates	0,41	0,97	0,75	0,11
Orthophosphates	0,4	0,53	0,48	0,02
Silicates	0	8,95	1,20	2,34

#### 3.2.2.1. Orthophosphates

Les concentrations en orthophosphates varient entre les campagnes, allant de (0,08 à 0,91  $\mu\text{mol/l}$ ) en 1989 et de (0,26 à 0,62  $\mu\text{mol/l}$ ) en 2011 et enfin de (0,4 à 0,53  $\mu\text{mol/l}$ ) en 2012 (tableau 8).

Les plus fortes teneurs sont obtenues en face des Oueds, notamment aux stations Sh et SF en face Oued El Harrach (figure 31), imprégnées par les rejets urbains chargés en détergents, ces effluents se diluent ensuite vers le large et la concentration diminue (station SL).

Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl.



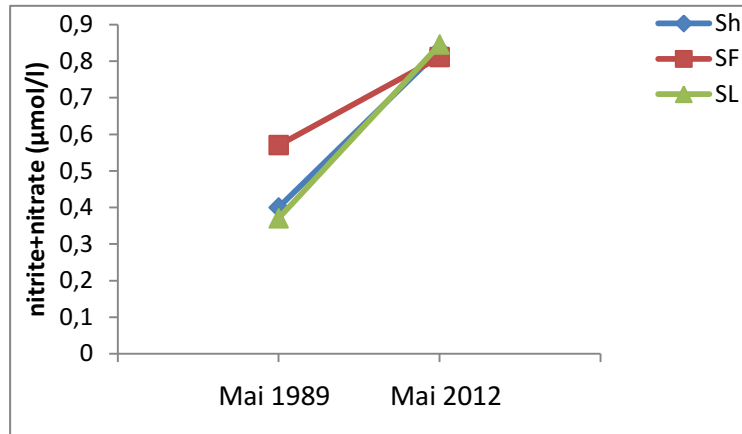
**Figure 31** : évolution temporelle des orthophosphates dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF, SL

### 3.2.2.2. L'Azote

D'une manière globale, les teneurs enregistrées en nitrites dans la baie d'Alger sont faibles étant une forme intermédiaire instable entre les nitrates et l'ammonium.

Comparées à la baie de Bou-Ismaïl, ces concentrations restent dans la même gamme pour la même saison d'échantillonnage notamment en 2012 où les concentrations enregistrées dans les deux baies sont très similaires.

Il est à noter que les concentrations en nitrites+nitrates ont augmentées entre Mai 1989 et Mai 2012 (figure 32) en relation avec l'accentuation de la pollution dans cette baie en 20 ans, cette augmentation de concentration est très apparentes sur les trois stations (Sh, SF et SL) allant de l'embouchure de oued El-Harrach jusqu'au large.



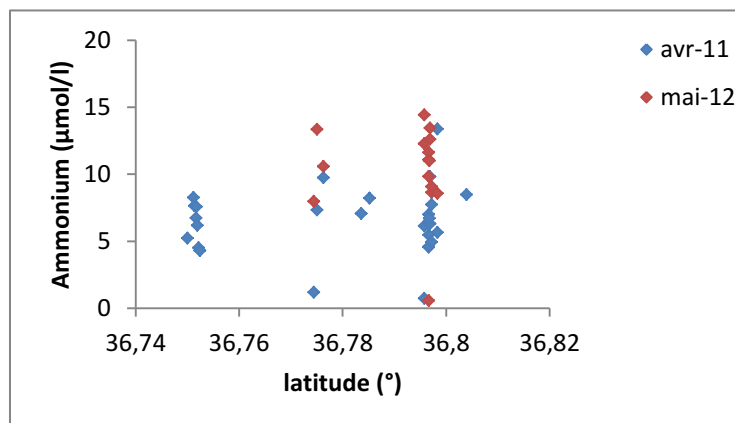
**Figure 32 :** évolution spatio-temporelle des nitrites +nitrates dans la baie d’Alger

### 3.2.2.3. Ammonium

Les concentrations en ammonium sont des plus élevés, comprises entre (0,72-13,36 µmol/l) en 2011 et entre (0,55 - 18,12 µmol/l) en 2012 (tableau 8). Toute fois ces teneurs présentent des fluctuations ; les plus importantes sont enregistrées en face des oueds et au large de la baie comme le montre l’évolution de l’Ammonium en fonction de la latitude (figure 33).

Ces fortes valeurs semblent être liées aux effluents d’origines urbaines qui caractérisent la baie d’Alger ou à la photo-oxydation de la matière organique apportée par les Oueds et les eaux usées. Au large ces fortes valeurs peuvent être liées à la présence de résurgence côtière Bozetine et zerrouki, (2011).

Il est à noter que les mesures d’Ammonium n’ont pas été faites en Mai 1989.

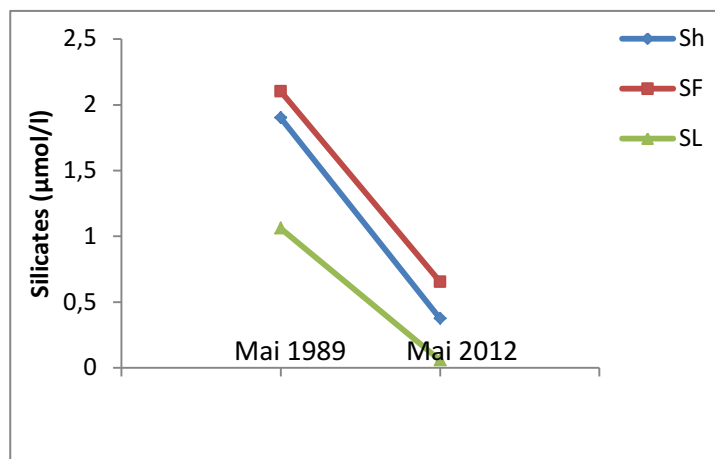


**Figure 33 :** évolution spatio-temporelle de l’ammonium dans la baie d’Alger

### 3.2.2.4. Silicates

Les concentrations en silicates sont variables entre les différentes études oscillant entre (0,77 et 4,9  $\mu\text{mol/l}$ ) en 1989 et entre (0 et 8,95  $\mu\text{mol/l}$ ) en 2012 (tableau 8) en dépit de l'échantillonnage effectué à la même période de l'année (printemps), la fluctuation de ces valeurs peut être expliquée par la variation des débits des oueds en fonctions des années qui était illustré dans la (figure 11) et comme on voit sur la figure 34 ou les concentrations sont plus élevées à la station Sh et SF près de Oued El-Harrach comparée à la station SL qui est au large.

Comparées à la baie de Bou-Ismaïl, où les concentrations sont tout aussi variable dans le temps et dans l'espace, les teneurs sont plus faibles notamment en 2012 variant entre (0,03 et 4,64  $\mu\text{mol/l}$ ) cela peut être dû à la nature sédimentologique différentes des deux baies et à la différence de débits des Oueds s'y déversent.



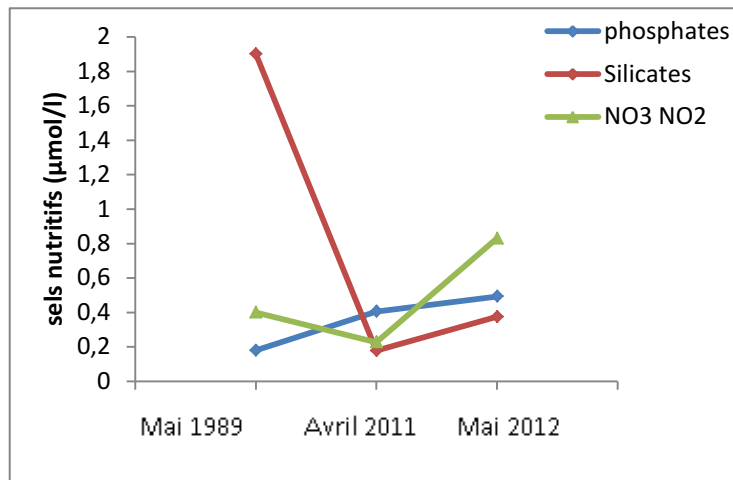
**Figure 34** : évolution temporelle des silicates dans la baie d'Alger aux stations Sh, SF, SL.

### 3.2.2.5. Evolution des sels nutritifs à la station Sh (en face Oued El-Harrach) dans la baie d'Alger

A cette période de consommation et de faibles apports continentaux (printemps), les teneurs en sels nutritifs dans cette station sont plus ou moins faibles dans l'ensemble (tableau 8).

Une augmentation en phosphates est apparente de Mai 1989 à Mai 2012 ainsi qu'une augmentation d'azote (nitrites et nitrites) cela est en relation avec l'augmentation des rejets d'eaux usées domestiques et des apports (lessivages des sols agricoles) charriés par Oued El-Harrach qui se traduit dans cette station (figure 35).

Tandis que les concentrations en silicates en une tendance négative en diminuant entre Mai 1989 et Mai 2012 comme pour la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 35** : évolution temporelle des sels nutritifs à la station Sh dans la baie d'Alger à la station Sh.

### 3.3. Paramètres relatifs à la distribution des sels nutritifs

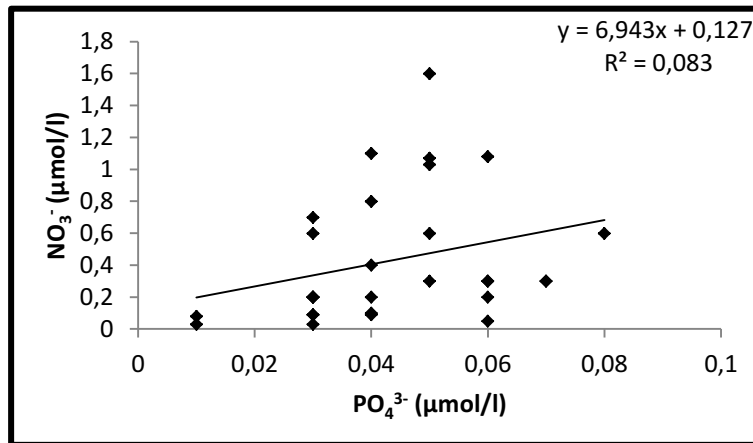
#### 3.3.1. Baie de Bou-Ismaïl

##### 3.3.1.1 Rapport de Redfield

La variation annuelle du rapport de Redfield entre l'azote et le phosphore, qui est un indicateur d'équilibre des sels nutritifs égal à 16/1 (N/P) pour une croissance optimale du phytoplancton, et cela renseigne aussi sur la dominance de la source interne des sels nutritifs.

Ce rapport est inférieur à 16 sur l'ensemble des campagnes donc il y'a une dominance des orthophosphates qui peut renseigner sur une éventuelle pollution par les eaux usées dans ce milieu côtier.

Les diagrammes de corrélation azote inorganique-phosphate montre une distribution dispersée pour les campagnes 2002 et 2012 (annexe 2, figures 43 et 44), dont le rapport est inférieur à 1 cela peut être expliqué par les rejets domestiques ( $N/P < 6$ , Lacaze, 1996) souvent riche en polyphosphates, ou bien ce faible rapport est simplement du à l'épuisement de l'azote inorganique par le phytoplancton. Ce rapport est estimé à 6,94 pour la campagne de Mars 2003 (figure 36).



**Figure 36:** diagramme de corrélation N/P dans la baie de Bou-Ismaïl en mars 2003.

### 3.3.2. Baie d'Alger

#### 3.3.2.1. Rapport de Redfield

Ce rapport était de 1,6 en 1989 (Eddalia, 1989) et en 2011 et 2012 il présente une distribution diffuse et il n'y a aucune corrélation entre l'azote et le phosphore (annexe 2, figures 45,46 et 47).

Cela démontre que les sources de N et P sont indépendantes de la reminéralisation de la matière organique planctonique.

### 3.4. Paramètres relatifs à la qualité de l'eau

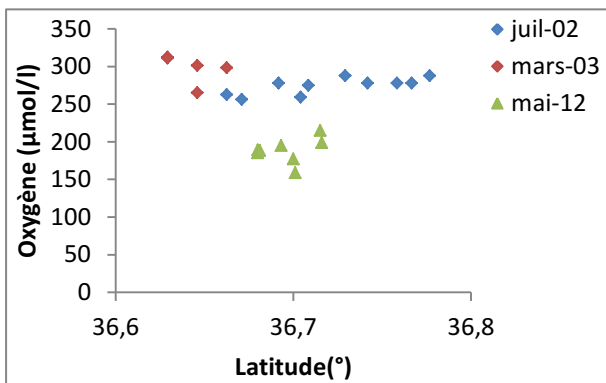
#### 3.4.1. Baie de Bou-Ismaïl

##### 3.4.1.1. Variation spatio-temporelle de la concentration en oxygène dissous

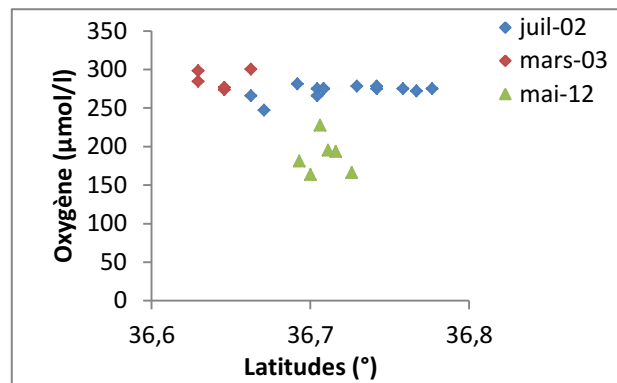
Les concentrations sont globalement plus importantes à la surface qu'au fond en dépit des faibles profondeurs d'échantillonnage (figure 37, 38), les profils des campagnes 2002 et 2003 présentent la même allure à la surface et au fond avec des valeurs proches en moyenne comme l'indique le tableau 9 tandis qu'en 2012 les concentrations sont plus faibles, on le remarque sur la figure 39 où on a superposé les concentrations d'oxygènes des trois campagnes, cette baisse d'oxygène est observée sur une partie qui correspond aux stations très proche de la côte en face de l'embouchure de Oued Mazafran.

**Tableau 9** : concentrations moyenne et extrêmes en oxygène dissous à la surface et au fond dans la baie de Bou-Ismaïl

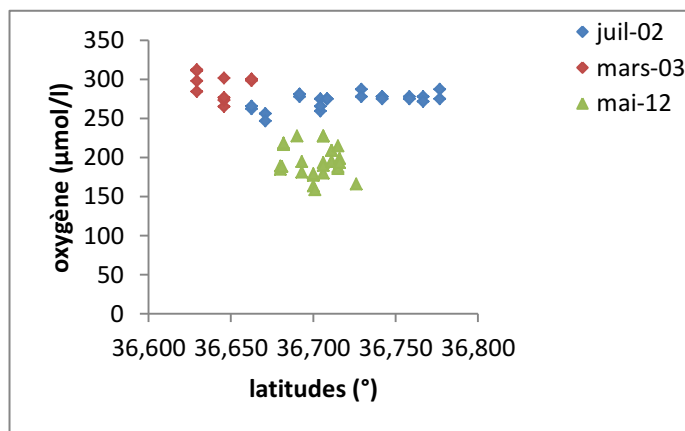
Concentrations moyennes et extrêmes en oxygène dissous						
Campagnes	Juillet 2002		Mars 2003		Mai 2012	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
<b>Minimum</b>	256,2	246,87	259,3	256,2	158,7	163,79
<b>Maximum</b>	287,5	275	300	296,8	227,43	227,7
<b>Moyenne (<math>\mu\text{mol/l}</math>)</b>	271,5	265,83	279,25	277,08	196,93	192,37
<b>Moyenne (mg/l)</b>	8,68	8,50	8,93	8,86	6,3	6,15



**Figure 37** : concentration en Oxygène dissous à la surface dans la baie de Bou-Ismaïl



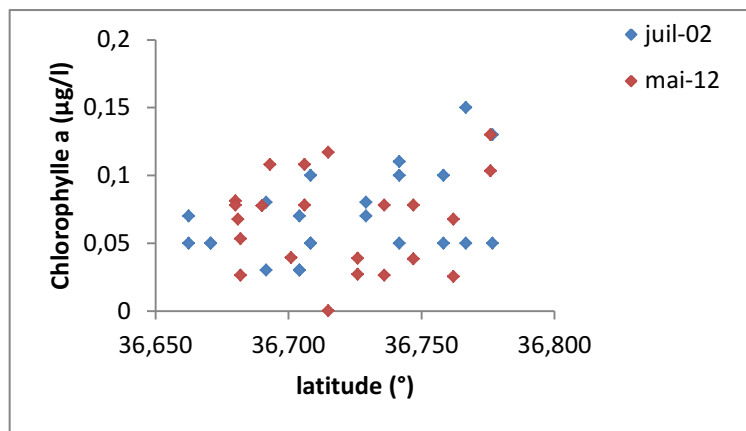
**Figure 38** : concentration en Oxygène dissous au fond dans la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 39** : évolution spatiotemporelle de la concentration en oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.4.1.2. Variation spatio-temporelle de la concentration en chlorophylle a

La concentration en chlorophylle a permet d'estimer la quantité du phytoplancton présente ; nos données montrent une variabilité des teneurs en fonction de la latitude et cela sur les deux campagnes (figure 40), cependant ces concentrations restent faibles, dans le temps et dans l'espace, en 2002 les concentrations sont comprises entre 0,02 et 0,15 mg/l avec une moyenne de 0,06 mg/l et entre 0 et 0,13 mg/l en 2012 avec une moyenne de 0,06 mg/l ; indiquant ainsi une faible activité photosynthétique du moins sur les périodes et les zones étudiées.



**Figure 40** : concentration en chlorophylle a en fonction de la latitude dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3.4.2. Baie d'Alger

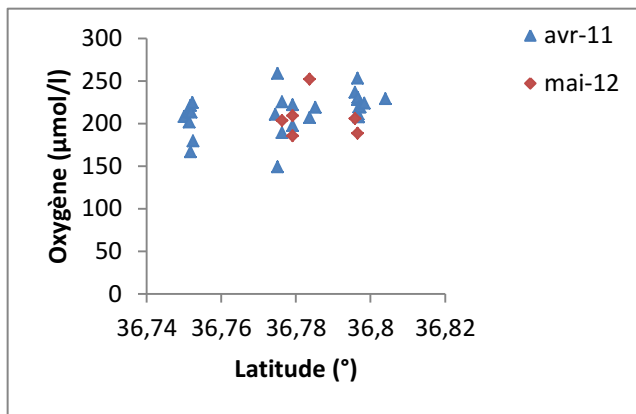
#### 3.4.2.1. Variation spatio-temporelle de la concentration en oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous obtenues en 2011 sont comprises entre 149,05 et 258,68  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 208,27  $\mu\text{mol/l}$ , ces concentrations sont très proches et légèrement inférieures à celles obtenues en 2012 qui sont comprises entre 178,21 et 268,7  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 212,94  $\mu\text{mol/l}$  comme s'est illustré dans le tableau 10 en  $\mu\text{mol/l}$  et en mg/l et aussi dans les figures 41 et 42.

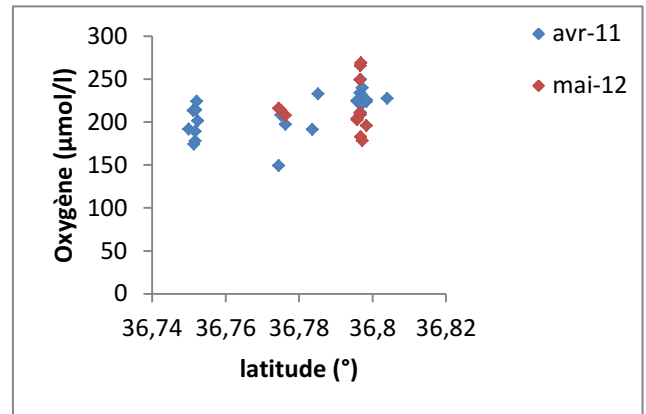
Les données d'oxygène de la campagne de 1989 n'ont pas été utilisées pour cause de non compatibilité des méthodes d'analyses.

**Tableau 10** : valeurs moyenne et extrêmes en oxygène dissous dans la baie d’Alger

Concentrations en oxygène dissous		
	Campagne 2011	Campagne 2012
<b>min</b>	149,05	178,21
<b>max</b>	258,68	268,7
<b>Moyenne (µmol/l)</b>	208,27	212,94
<b>Moyenne (mg/l)</b>	6,66	6,81



**Figure 41** : variation spatiotemporelle de l’oxygène dissous à la surface dans la baie



**Figure 42** : variation spatiotemporelle de l’oxygène dissous au fond dans la baie d’Alger

### 3.5. Discussion et évaluation de l’état d’eutrophisation

#### 3.5.1. Teneur en oxygène

Différentes études ont cherché à définir les concentrations en oxygène à partir desquelles apparaissent des hypoxies pouvant avoir des effets sur la faune, et quelques pays se sont fixé des valeurs seuils à partir desquelles ils concluent à une eutrophisation du milieu (Rapport de l’IFREMER, 2010)

Guillaud et Souchu (in Ménesguen *et al.*, 2001) ont réalisé une synthèse de ces différentes valeurs seuils. Cette synthèse met en évidence deux niveaux d’oxygène dissous principaux qui pourraient permettre d’évaluer le degré d’eutrophisation des eaux côtières 5 mg/l et 2 mg/l. La première valeur seuil de 5 mg/l pourrait marquer la limite du domaine de l’eutrophisation. En

effet, au-delà de ce seuil, "peu ou pas d'effets négatifs sont constatés", alors qu'en-deçà commencent à apparaître des réactions négatives sur la faune. Le deuxième niveau se situe aux alentours de 2 mg/l. Il correspond à la limite au-delà de laquelle des mortalités massives sont rapportées par plusieurs études.

Les valeurs moyennes et extrêmes en oxygènes dissous prises en considération dans cette étude illustrées dans le tableau 9 sont comparées à celles des seuils fixés (tableau 11).

### 3.5.2. Chlorophylle a

Le tableau 11 représente les valeurs seuils de chlorophylle retenues par différents pays pour évaluer les niveaux d'eutrophisation des écosystèmes marins ou littoraux. IFREMER, 2010.

**Tableau 11** : tableau comparatif de nos données de chlorophylle a dans la baie de Bou-Ismaïl face aux seuils fixés par différents pays

Pays	Concentration Maximale (µg/l)	Etat du milieu
<b>USA</b>	<5	-eutrophisation faible
	5-20	-eutrophisation moyenne
	20-60	-eutrophisation élevée
	> 60	-hyper eutrophisation
<b>Allemagne</b>	25	-eutrophisation
<b>Belgique</b>	> 15µg/l	-eutrophisation
<b>Baie de Bou-Ismaïl</b>	0,15 en 2002 0,13 en 2012	-Non eutrophisée

Considérant ce paramètre seul, se référant à nos données, pour évaluer l'état de l'eutrophisation de la baie de Bou-Ismaïl, on dira qu'elle n'est pas eutrophisée car nos valeurs sont de loin inférieures aux valeurs seuils fixées par ces pays.

Pour la baie d'Alger, on ne dispose pas de données de chlorophylle.

### 3.6. Synthèse de l'ensemble des indicateurs d'eutrophisation

Les pays Européens n'ont pas établi à ce jour de définition précise du terme "eutrophisation" dans les eaux marines, les différents seuils présentés par plusieurs pays du

nord de l'Europe et par les Etats Unis (Ménesguen *et al.*, 2001) ont servi à proposer une grille d'évaluation.

Se référant à cette grille, et aux données disponibles, on placera nos deux baies dans la troisième colonne (tableau 12). Mais l'évaluation de l'état d'eutrophisation d'une zone côtière reste complexe et nécessite un panel d'informations et un suivi sur des points fixes tout au long de l'année pour percevoir tout éventuel déséquilibre d'un écosystème littoral.

Nos données sont insuffisantes pour avoir une conclusion ferme à ce sujet.

**Tableau 12 :** grille d'évaluation de l'eutrophisation (Ménesguen *et al.*, 2001)

		Aucun symptôme d'eutrophisation	Risque d'eutrophisation	Etat d'eutrophisation marquée
Chlorophylle	Valeur max	<10 µg/l	Entre 10 et 20 µg/l	> 20 µg/l
	Nombre de bloom	3-4 bloom printaniers d'intensité décroissante suivi d'une période productive estivale limitée	Période productive très étendue dans le temps	Nombreux bloom de période brève et d'intensité importante
Phytoplancton	Toxique	Absence d'espèces toxiques	Présence d'espèces toxiques sans toxicité des coquillages	Présence d'espèces toxiques avec toxicité des coquillages
	Eaux colorées	Concentration < 100000 cell/l d'espèce susceptibles de générer des eaux colorées	Présence d'eaux colorées sans impact environnemental ou économique	Présence d'eaux colorées provoquant des impacts environnementaux ou économiques
Macroalgues		Absence	Présence sans nuisance	Nuisance nécessitant un ramassage intensif
O <sub>2</sub> dissous		< 5 mg/l	Entre 2 et 5 mg/l	2 mg/l
Richesse en sels nutritifs		Limitation de plus de 4 semaines par plusieurs sels	Limitation ponctuelle de la production par au moins un sel	Recharge continue du système d'un ou plusieurs sels à des concentrations

## Résultats et discussions

---

			proches des teneurs hivernales
--	--	--	-----------------------------------

**CONCLUSION**

## **Conclusion**

Pour conclure ce travail, nous souhaitons donner ici un récapitulatif des points abordés

De cette étude il ressort que :

- les apports par les Oueds en sels nutritifs sont étroitement liés aux précipitations et aux débits de ces derniers, ainsi ils suivent un cycle saisonnier avec des valeurs supérieures en hiver et moindre au printemps et en été.
- Les apports en nutriments dans les deux baies sont fluctuants entre les campagnes, par rapport à la saisonnalité et aux processus biologiques accompagnant chaque période (bloom phytoplanctonique, consommation, dégradation de la matière organique).
- Les rapports de Redfield n'ont cessé de décroître dans les deux baies, donc une pollution par les orthophosphates se met en place.
- La baie Bou-Ismaïl passe à une phase d'anthropisation due à l'augmentation des habitations, de l'urbanisation et des industries les conséquences sont observables puisque les rapports N/P ont changé en 10 ans.
- Les quantités en oxygènes dissous ont une tendance à diminuer dans les deux baies et se trouvent très proches des seuils minimum de l'eutrophisation car les valeurs dans les deux baies sont comprises entre 6 et 8 mg/l.
- Les valeurs de chlorophylle enregistrées sont très faibles.

Cela dit l'état des deux baies subit une lente dégradation qui pourra un jour aboutir à un sérieux problème de pollution et à un déséquilibre des écosystèmes notamment pour la baie de Bou-Ismaïl.

Sous réserve, on dira que les deux baies ne sont pas eutrophisées mais un suivi est nécessaire pour le confirmer.

## **Recommandations et perspectives :**

- Une surveillance continue sur des points fixes et représentatifs à différentes saisons est indispensable.
- Evaluer les quantités d'azote, de phosphates et de silice apportées par les rivières et autres sources.

- L'homogénéisation et l'adoption des protocoles de mesures standardisées et recommandés par la communauté scientifique pour que les résultats soient comparables et fiables.
- Créer un réseau de surveillance intégrant les différents paramètres physiques et biologiques
- Elaborer des orientations sur la fréquence et la couverture de la surveillance continue, et établir les critères nécessaires pour évaluer l'eutrophisation dans nos côtes (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, transparence, chlorophylle, biomasse de phytoplancton, oxygène dissous, UAO...) mais aussi établir des modèles pour quantifier les flux en nutriments et leurs variabilités spatio-temporelles.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Références bibliographiques :

**Aminot, A., Chausse-Pied M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition : CNEXO, Brest, France, 395 p.

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

**Arour, F., 2002.** La côte Algérienne est-elle eutrophisée ?. Mémoire d'ingénieur, option aménagement du littoral et protection de l'environnement. ISMAL.

**Bendaas, Y., Mebarki, N. C., 2010.** Etude des paramètres du système des carbonates dans le bassin Algérien:mesures et interprétations. Mémoire d'ingénieur en science de la mer, option environnement marin, ENSSMAL,68 p.

**Bethoux, J. P., Morin, P., Chaumery, C., Connan, O., Gentili, B., 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, 155-169 pp.

**Billen, G., and Garnier, J., 1997.** The Phison River plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. Aquatic Microbial Ecology. 13, 3-17 pp.

**Billen, G.L.C., Meybeck, M. 1991.** N, P and Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. Edition: John Wiley and Sons Ltd, 19-44 pp.

**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, option environnement marin. ENSSMAL, 60 p.

**Buscail, R., Bouras, F., 1998.** Matière organique et pollution par les hydrocarbures dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (mer Méditerranée, Algérie). Oceanol. Acta. 22 p.

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

**Cugier, P., 1999.** Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en Baie de Seine. Thèse de doctorat, Université de Caen, 249 p.

**Djaoudi, K., M'zyene, S., 2012.** Etude des paramètres physico-chimiques et du système des carbonates dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, état des lieux. Mémoire d'ingénieur, option environnement marin. ENSSMAL, 53 p.

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

**EEA., 1999.** Nutrients in European ecosystems. Environmental Assessment Report No. 4, 155 p.

**Frehi, H., A Couté, A., G Mascarell, G., Perrette-Gallet, C., Ayada, M., Kara, M., 2007.** Dinoflagellés toxiques et/ou responsables de blooms dans la baie d'Annaba (Algérie). C. R. Biologie, Volume 330, 8, 615-628 pp.

**Gray, S, J., 1992.** Eutrophication in the sea, in G. Colombo and R. Viviani (Eds), Marine Eutrophication and Pollution Dynamics, Olsen & Olsen, Fredensborg, 394 p.

**Haddouche, I., 2002.** Etude de l'état de pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds. Mémoire d'ingénieur, option aménagement du littoral et protection de l'environnement. ISMAL, 63 p.

**Jacques, G., Tréguer , P., 1986.** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie, Edition : Masson, Paris, France, 243 p.

**Lacaze, J, C.,1994.** Eutrophication des eaux continentales et marines.

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

**Levitus, S et Al., 1993.** Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. Vol. 31, 245-273 pp.

**Mansouri, T., Djeridi, H., 2012.** Contribution à l'étude du système des carbonates et au suivi de l'état d'eutrophication de la Baie d'Alger en Mai 2012. Mémoire d'ingénieur, option environnement marin. ENSSMAL, 79 p.

**Ménesguen, A., 2001.** L'eutrophication des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport Ifremer DEL/EC/01.01 – janvier 2001.

**OSPAR, 1997.** JAMP Eutrophication Monitoring Guidelines. OSPAR Technical Report. N°: 1997- 1, 6 pp.

**OSPAR., 2003.** OSPAR Convention for the protection of the marine environment of the North East Atlantic : Ministerial Meeting of the OSPAR Commission Bremen : 25 June 2003.

**Rapport AEE/PNUE ., 1999.** Milieu marin et littoral de la Méditerranée : état et pressions, n° 5 de la Série des évaluations environnementales de l'AEE.

**Rapport de l'IFREMER., 2010.** Rapport pour la Commission Européenne sur « L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France ».

**Redfield, A.C., Ketchum, B.H., Richards F.A.,1963.** The influence of organisms on composition of seawater. In: Hill MN. The sea, Vol II, Wiley New York, 26-77 pp.

**Rodhe, W., 1969 and al.** Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. In: Eutrophication: Causes, consequences and correctives. National Academy of Sciences, Washington, DC. 50-64 pp

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

**Thieu, V., 2009.** Modélisation spatialisée des flux de nutriments (N, P, Si) des bassins de la Seine, de la Somme et de l'Escaut : Impact sur l'eutrophisation de la Manche et de la Mer du Nord. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie VI, France.166 p.

**Videau, C., 1995.** Facteurs nutritifs limitant la production primaire en Baie de Seine. Synthèse des résultats des campagnes Bioseine et Nutriseine (1993-1994). Contrat universitaire CR9-94-2-43-24-05-DEL/CMCN, Université de Bretagne Occidentale, 58 p.

**Fiches et sites Web consultés :**

- [www.educnet.education.fr](http://www.educnet.education.fr)
- [www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)
- [www.ospar.fr](http://www.ospar.fr)
- [www.ospar.orh/fr/html/welcome.html](http://www.ospar.orh/fr/html/welcome.html)
- <http://www.ifremer.fr/envilit/pdf/documentspdf/eutropheurope.pdf>
- Relevé météorologique de l'ONM (Office National de Météorologique).

# **Annexes**

**Annexe 1** : Coordonnées géographiques des campagnes étudiées

**Tableau 13** : coordonnées géographiques de la campagne de Haddouche (Juillet 2002) et de Khaoui (Mars 2003) dans la baie de Bou-Ismaïl.

N° Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Profondeur (m)
3	36,629N	2,433E	1
3	36,629 N	2,433 E	20
4	36,629 N	2,5 E	1
4	36,629 N	2,5 E	25
4	36,629 N	2,5 E	50
1	36,646 N	2,417 E	1
6	36,646 N	2,583 E	1
6	36,646 N	2,583 E	25
6	36,646 N	2,583 E	50
7	36,663N	2,583 E	1
7	36,663 N	2,583 E	25
7	36,663 N	2,583 E	50
9	36,663 N	2,667 E	1
9	36,663 N	2,667 E	14
10	36,671 N	2,667 E	1
10	36,671 N	2,667 E	30
12	36,692 N	2,75 E	1
12	36,692 N	2,75 E	20
11	36,704 N	2,667 E	1
11	36,704 N	2,667 E	25
11	36,704 N	2,667 E	50
13	36,708 N	2,75 E	1
13	36,708 N	2,75 E	20
13	36,708 N	2,75 E	40
15	36,729 N	2,803 E	1
15	36,729 N	2,803 E	20
16	36,742 N	2,797 E	1
16	36,742 N	2,797 E	20
16	36,742 N	2,797 E	40
17	36,758 N	2,833 E	1
17	36,758 N	2,833 E	20
18	36,767 N	2,86 E	1
18	36,767 N	2,86 E	20
20	36,777 N	2,883 E	1
20	36,777 N	2,883 E	20

**Tableau 14** : coordonnées géographiques de la campagne de Djaoudi et M'zyene, (Mai 2012) dans la baie de Bou-Ismaïl.

N° station	Latitude	Longitude	Profondeur maximale du (m)	Profondeur de prélèvement(m)
1	36°45',968N	02°48',287E	60	50
				03
2	36°45',762N	02°47',749E	65	60
				03
3	36°44',870N	02°47',961E	50	45
				03
4	36°44',248N	02°48',080E	38	30
				03
5	36°43',582N	02°48',066E	27	20
				03
6	36°42',909N	02°48',126E	16,5	10
				03
7	36°42',383N	02°48',250E	7	05
				01,5
8	36°42',063N	02°48',220E	3	01
9	36°41',411N	02°47',039E	5	01
10	36°40',930N	02°45',622E	6	05
				01
11	35°40',836N	02°45',622E	4	01
12	36°40',893N	02°45',655E	5	01
13	36°40',809N	02°45',373E	6	03
14	36°41',593N	02°45',260E	21	20
				01
15	36°42',024N	02°45',080E	31	28
				01
16	36°42',399N	02°45',791E	32	20
				01
17	36°42',697N	02°46',420E	30	20
				01
18	36°43',018N	02°47',092E	29	25

**Tableau 15** : coordonnées géographiques de la campagne de Bozetine et Zerrouki, (Avril 2011) dans la baie d'Alger.

N°station	latitude	longitude	profondeur max de fond (m)	Profondeur,(m)
1	36° 47',487N	03°05'034E	51	3
				25
				50
2	36° 47',448N	03°06'079E	57	3
				25
				57
3	36° 47',478N	03°07'092E	61	3
				25
				61
4	36° 47',480N	03°08'076E	61	3
				25
				57
5	36° 47',540N	03°09'081E	60	3
				25
				60
6	36° 47',500N	03°10'662E	49	3
				25
				49
7	36° 47',484N	03°11'684E	33	3
				34
8	36° 47',475N	03°13'047E	18	3
				18
9	36° 46',447N	03°12'502E	15	3
				15
10	36° 46',346N	03°10'437E	32	3
				15
				30
11	36° 46',301N	03°08'530E	35	3
				15
				35
12	36° 46',280N	03°06'605E	33	3
				33
13	36° 45',684N	03°05'460E	20	3
				20
14	36° 45',042N	03°06'591E	10	3
				20
15	36° 45',610N	03°07'486E	20	3
				20
16	36° 45',049N	03°08'086E	10	3

				20
17	36° 45',618N	03°08'975E	22	3
				20
18	36° 45',088N	03°09'936E	10	3
				20
19	36° 45',00N	03°10'926E	23	3
				20
20	36° 45',790N	03°12'009E	10	3
				20
21	36° 47',01N	03°13'040E	15	3
				20
22	36° 47',661N	03°13'699E	10	3
				20
23	36° 48',142N	03°13'281E	18	3
				20

**Tableau 16 :** coordonnées géographiques de la campagne de (Mansouri et Djeridi, 2012) dans la baie d'Alger.

N° station	Latitude (°)	Longitude (°)	Profondeur de prélèvement (m)
1	3,082	37,754	3
1	3,082	37,754	15
2	3,083	37,755	15
2	3,083	37,755	3
3	3,087	37,751	6
4	3,096	37,749	8
5	3,115	37,751	2
5	3,115	37,751	12
6	3,133	37,745	5
7	3,134	37,747	7
8	3,146	37,746	6
9	3,157	37,748	5
10	3,078	37,784	57
10	3,078	37,784	3
11	3,103	37,767	33
12	3,099	37,766	3
13	3,172	37,751	16
13	3,172	37,751	3
14	3,200	37,784	23
14	3,200	37,784	3

15	3,163	37,784	58
15	3,163	37,784	3
16	3,133	37,784	53
16	3,133	37,784	5
17	3,109	37,776	50
17	3,109	37,776	5
18	3,118	37,774	47
18	3,118	37,774	3
19	3,134	37,775	48
19	3,134	37,775	3
20	3,150	37,775	43
20	3,150	37,775	3
21	3,167	37,774	43
21	3,167	37,774	3
22	3,168	37,766	28
22	3,168	37,766	3
23	3,150	37,766	33
23	3,150	37,766	3
24	3,133	37,769	33
24	3,133	37,769	3
25	3,117	37,770	35
25	3,117	37,770	3
26	3,104	37,762	28
26	3,104	37,762	3

**Tableau 17 :**

Coordonnées géographiques des stations choisies comme représentatives dans la baie de Bou-Ismail

<b>stations</b>	<b>Campagnes</b>	<b>Latitudes (°)</b>	<b>Longitudes (°)</b>
<b>S10</b>	<b>Juillet 2002</b>	<b>36,670 N</b>	<b>2,666 E</b>
	<b>Mars 2003</b>	<b>36,670 N</b>	<b>2,666 E</b>
	<b>Mai 2012</b>	<b>36,693 N</b>	<b>2,751 E</b>
<b>S12</b>	<b>Juillet 2002</b>	<b>36,691 N</b>	<b>2,75 E</b>
	<b>Mars 2003</b>	<b>36,691 N</b>	<b>2,75 E</b>
	<b>Mai 2012</b>	<b>36,690 N</b>	<b>2,75 E</b>
<b>S15</b>	<b>Juillet 2002</b>	<b>36,736 N</b>	<b>2, 795 E</b>
	<b>Mars 2003</b>	<b>36,736 N</b>	<b>2, 795 E</b>
	<b>Mai 2012</b>	<b>36,729 N</b>	<b>2,803 E</b>

Tableau 18 :

Coordonnées géographiques des stations choisies comme représentatives dans la baie d'Alger

Stations	Stations correspondantes	campagnes	Latitudes (°)	Longitudes (°)
Sh	B2	Mai 1989	-	-
	S16	Avril 2011	36° 45',049N	03°08'086E
	S6	Mai 2012	37,745N	3,133E
SF	B3	Mai 1989	-	-
	S11	Avril 2011	36° 46',301N	03°08'530E
	24	Mai 2012	37,769N	3,133E
SL	B4	Mai 1989	-	-
	S4	Avril 2011	36° 47',480N	03°08'076E
	18	Mai 2012	37,774N	3,118E

## Annexe 2 :

## Paramètres relatifs à la distribution des sels nutritifs

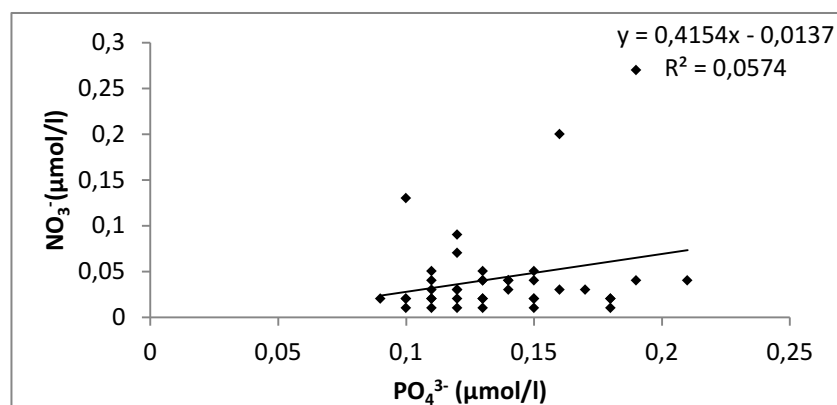


Figure 43 : rapport N/P de la campagne de Juillet 2002 (baie de Bou-Ismaïl)

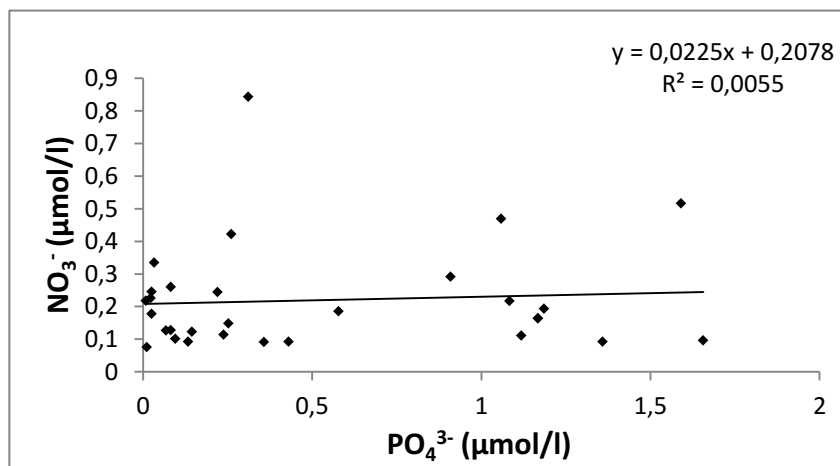


Figure 44 : rapport N/P de la campagne 2003 (baie de Bou-Ismaïl)

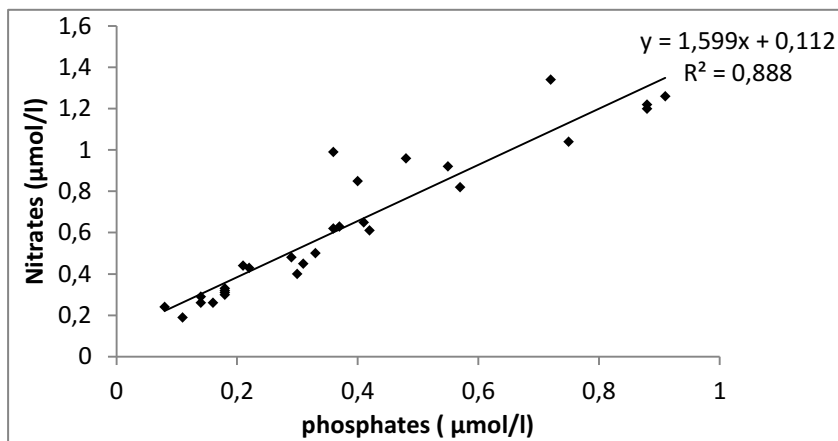


Figure 45 : rapport N/P de la campagne 1989 (baie d'Alger)

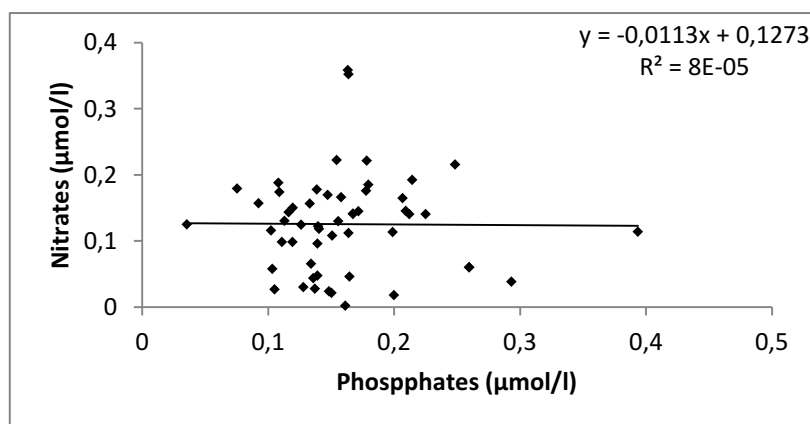


Figure 46 : rapport N/P de la campagne 2011 (baie d'Alger)

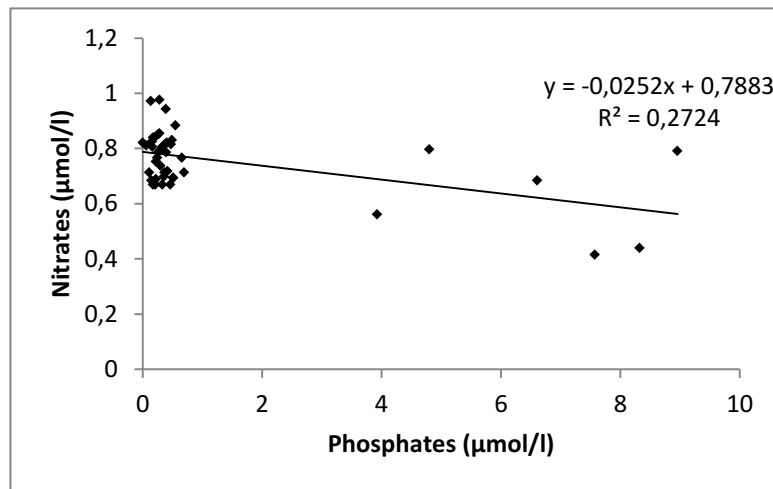


Figure 47: rapport N/P de la campagne 2012 (baie d'Alger)