

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : *Environnement marin*

Sujet :

Hydrologie et sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger (Mars 2009)

Présenté par :

- M^{elle} TAOUDIAT Samira.

Soutenu le 11 juillet 2009 devant la commission de jury suivante:

Mr. BELKESSA R.	Maître de conférences (ESSMAL)	président
M ^{elle} LOUANCHI F.	Maître de conférences (ESSMAL)	Examinatrice
Mr. REFES W.	Maître assistant (ESSMAL)	Examineur
Mr. LOURGUIOUI H	Maître assistant (ESSMAL)	Examineur
Mr. BOULAHDID M	Professeur (ESSMAL)	Promoteur

-Promotion 2009-

Dédicace

À la mémoire de mon père et à tous ceux qui ont su pour moi le remplacer.

TAOUDIAT S.

Remerciements

Mes respects et mes remerciements vont en premier lieu à la président Mme BELKESSA R, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Mes vifs remerciements à Mademoiselle LOUANCHI F. Monsieur LOURGUIOUI H, REFFES W. de nous avoir honoré de leurs présences et d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers Monsieur BOULAHDI M. mon promoteur pour son dévouement et sa compétence qui m'ont été d'un secours constant tout au long de mon stage et la préparation de ce mémoire.

Je dois une reconnaissance particulière à tous les ingénieurs et techniciens supérieurs de laboratoire de chimie à l'ENSSMAL, EDDALIA N., AZOUZ M., OUNADI F., MATOUK Y., BOUDJELLAL B. qui m'ont aimablement aidé à effectuer les analyses dans les bonnes conditions.

Mes gratitudes vont aussi à l'équipage M.S BENYAHIA sans oublier Monsieur BELKESSA R, et M^{me} BACHARI pour leurs aide et leurs soutient à bord du navire durant toute la mission en mer.

A ces remerciements, j'associer l'expression de ma reconnaissance à Monsieur INAL et à toutes les personnes qui ont participé bénévolement de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre1 : GENERALITES

1. Hydrologie des milieux marins	3
1.1. Hydrologie du Bassin Algérien.....	3
1.1.1 Caractéristiques masses d'eaux	4
1.2 .Descripteurs généraux en hydrologie marine	5
1.2.1. Descripteurs physicochimiques.....	5
1.2.1.1. Température	5
1.2.1.2 .Salinité.....	5
1.2.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)	6
1.2.1.4. L'oxygène dissous.....	6
1.2.2. Descripteurs chimiques dissous.....	7
1.2.2.1. Notion des nutriments.....	7
1.2.2.2. Origines des sels nutritifs.....	7
1.2.2.3. Rôle des sels nutritifs	7
1.2.2.4. Différentes formes des sels nutritifs.....	8
1.2.2.4.1. Azote	8
a) Nitrates (NO_3^-)	8
b) Nitrites (NO_2^-).....	8
1.2.2.4.2. Les orthophosphates.....	9
1.2.2.4.3. La silice dissoute.....	9
1.2.2.5. Distribution des sels nutritifs	10
1.2.2.5. Nuisances liées aux nutriments : eutrophisation.....	10
1.2.2.6. Déficits de nutriments : facteur limitant.....	11
1.2.2.7. Sels nutritifs et rapports de Redfield.....	11
1.2.2.8. Production primaire	11

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. La baie d'Alger	12
1.1. Situation géographique	12

1.2. Plateau continental	12
1.3. Nature des fonds - Couverture sédimentaire	13
1.4. Réseaux hydrographiques.....	14
1.5. Facteurs météorologiques	15
1.5.1. La température.....	15
1.5.2. Pluviométrie	15
1.5.3. Les vents.....	16
1.6. Facteurs hydrodynamiques.....	16
1.6.1. Les houles.....	16
1.6.2. Le courants	17
1.6.2.1. Les courants généraux	17
1.6.2.1.2. Les courants côtiers	17
1.6.2.2.3 Les courants de dérive littorale	17
1.7. Etat de la pollution.....	17

Chapitre III : MATERIELS ET METHODES

1. Choix et localisations des stations.....	20
2. Conditionnement des moyens de prélèvement.....	20
3. Travaux effectués en mer.....	21
3.1. Prélèvement d'eau de mer.....	21
3.2. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	22
3.2.1. La salinité.....	22
3.2.2. Le pH.	22
3.2.3. L'oxygène dissous.....	22
3.2.4. Température.....	22
4. Travaux au laboratoire.....	22
4.1. Dosage des sels nutritifs.....	22

4.1.1. Principe de dosage des sels nutritifs.....	23
4.1.2. Analyse automatique des sels nutritifs	24
4.1.2. 1. Dosage des nitrites	24
4.1.2. 2. Dosage des nitrates	24
4.1.2.3. Dosage des orthophosphates	24
4.1.2. 4. Dosage du silicium dissous	24
4.1.2.5. Etalonnage	24

Chapitre IV : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1.1. Variations des paramètres physicochimiques.....	26
a) La température	26
b) La salinité	27
c) Le pH	27
d) L'oxygène dissous	27
1.2. Variations des sels nutritifs.....	27
a) Nitrates (NO_3^-).....	27
b) Nitrites (NO_2^-)	28
c) Les phosphates	28
d) Les silicates	28
2. Distribution spatiale et circulation des masses d'eaux dans la baie d'Alger	29
2.1. Distribution horizontale.....	29
2.1.1. Distribution horizontale des paramètres physicochimiques	29
a) La température	29
b) La salinité	30
c) L'oxygène dissous	30
2.1.1.2. Variations des sels nutritifs.....	31
a) Les nitrates	31

b) Les nitrites.....	31
c) Phosphate	32
d) Les silicates.....	32
2.1.3. Les cartes de distributions horizontales des paramètres physicochimiques et les sels nutritifs.....	32
2.2. Distribution verticale	38
a) Description de la section 1	38
b) Description de la section 2	39
c) Description de la section 3	39
d) Description de la section 4	40
e) Description de la section 5	41
2.3.1. Les cartes de distribution verticales des paramètres physicochimiques et les sels nutritifs.....	42
3. Analyse binaire.....	52
3.1. Diagramme température-salinité (T-S).....	52
3.2. Diagramme de corrélation nitrates-phosphates.....	53
CONCLUSION.....	54

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION

La surveillance des écosystèmes se généralise par la mise en place de réseaux de suivi des paramètres d'hydrologie, base indispensable à la caractérisation globale du système aquatique. Mais, l'hydrologie des milieux marins comporte une variété de descripteurs complémentaires dont le choix sera fait en fonction de l'objectif poursuivi.

Les sels nutritifs dissous dans l'eau de mer forment un outil très important pour la caractérisation et l'identification des masses d'eaux et pour l'étude et la compréhension des différents phénomènes océaniques : circulation des eaux, productions primaire marine, cycles biogéochimiques... Les variations de ces sels sont gouvernées par les facteurs physiques, chimiques et biologiques.

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, ce site marin a fait l'objet de plusieurs études qui ont fait une sorte de suivi irrégulier de son évolution dans le temps. L'étude réalisée par Eddalia (1989) a fait un état des lieux avec une mise en évidence d'une pollution significative en phosphates et un renouvellement aisé des eaux de la baie, notamment par une résurgence côtière dans la baie. Mallem et Bennoud (1991) ont tenté de vérifier les phénomènes observés par Eddalia (1989). Guellati (2003), Bouamama et Deghou (2003) et Ruibah (2005) ont essayé de voir d'une manière partielle l'évolution de la pollution et des caractéristiques hydrologiques au niveau de la baie.

La présente étude s'intègre dans ce contexte pour voir l'évolution hydrologique des eaux de la baie d'Alger. A cet effet, une campagne pluridisciplinaire est effectuée dans la baie d'Alger en mois de mars 2009 à bord du bateau scientifique M. S BENYAHIA. 42 stations de prélèvement à différentes profondeurs ont été choisies pour couvrir la totalité des eaux de la baie.

Dans ce cadre, le présent mémoire s'intéresse à l'étude des variations spatiales horizontale et verticale des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs des eaux de la baie d'Alger en période poste hivernale.

Le travail est organisé comme suit :

- dans le premier chapitre, des rappels sur l'hydrologie du bassin Algérien, l'importance des paramètres physicochimiques, le rôle et la distribution des différentes formes des sels nutritifs.
- le deuxième chapitre expose une description générale de la zone d'étude
- dans le troisième chapitre, le matériel utilisé pour les prélèvements des échantillons d'eau de mer ainsi que les méthodologies appliqués sur terrain et au laboratoire pour la mesure des paramètres physicochimiques et l'analyse des sels nutritifs sont décrites.
- le quatrième chapitre est consacré au traitement des données acquises dans les deux sites, à leur analyse, discussion et un essai d'interprétation. Ce traitement et cette analyse sont basés sur l'utilisation du logiciel Surfer8.
- Enfin, une conclusion générale clôture ce travail.

1. 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**).

1.1. Hydrologie du Bassin Algérien

Du point de vue hydrologique, le plateau continental algérien et son talus sont baignés par des eaux correspondant aux principales formations dont la présence est relevée dans le bassin occidental méditerranéen. L'hydrologie de la Méditerranée occidentale est déterminée par l'importance du flux d'eau atlantique qui s'écoule à travers le détroit de Gibraltar vers l'Est. Ce flux entrant comble les pertes en eaux de la Méditerranée, dues à l'évaporation et à la faiblesse des apports continentaux et des précipitations (**in Hemida, 2005**).

Une fois le détroit de Gibraltar franchi, les eaux atlantiques de surface se mélangent aux eaux superficielles. Lors de leur progression vers l'Est, les eaux atlantiques vont être modifiées sous l'effet conjugué de leur mélange avec les eaux méditerranéennes et des facteurs climatologiques et météorologiques. Elles vont former l'eau atlantique modifiée (MAW). Dans la mer d'Alboran, l'eau atlantique modifiée (MAW) s'écoule selon un schéma de circulation anticyclonique permanent à l'Ouest, alors qu'à l'Est, elle suit un circuit plus variable qui est anticyclonique la majeure partie du temps.

Une veine de ce tourbillon anticyclonique rejoint la côte algérienne près de 0°E (près d'Oran) et prend le nom de courant algérien (**Millot, 1985**). Ce courant est relativement étroit (30-50 km de largeur) et profond, mais devient plus ample lors de sa progression vers l'Est (**Benzohra et Millot, 1995**). Il longe la côte et devient instable à partir de 1-2°E. Les turbulences engendrent des tourbillons côtiers (50-100 km de diamètre) cycloniques et anticycloniques.

Les tourbillons cycloniques deviennent superficiels et tendent à disparaître au fur et à mesure qu'ils se dirigent vers l'Est. Quant aux tourbillons anticycloniques nommés tourbillons algériens, leur diamètre varie de 50 à 250 km et durent plusieurs semaines voire près de trois ans (**Puillat et al, 2002**) et deviennent associés à des upwellings. Ils ne sont donc pas induits par le vent et sont suffisamment importants pour provoquer une intense productivité marine (**Arnone et LaViolette, 1986**).

Ainsi, ces structures turbulentes provoquent un important brassage des eaux de surface méditerranéennes et atlantiques ayant pour conséquence un enrichissement de la zone côtière (**Seridji, 1989**). En outre, le bassin algérien est caractérisé par la présence, entre 1° et 4° Est, d'une zone particulière résultant de l'affrontement de deux masses d'eau créant un front, l'une côtière d'origine atlantique, la seconde située plus au large, méditerranéenne. Cette zone frontale, située sur le bord Nord du courant algérien, (**Haffersas, 1996**).

1.1.1. Les caractéristiques masses d'eaux

Dans le bassin algérien, quatre masses d'eaux ont été mises en évidence par divers auteurs sur la base de diagrammes θ -S (**Benzohra et Millot, 1995**). Les caractéristiques de ces masses sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Les masses d'eaux dans le bassin Algérien

- l'eau atlantique modifiée (MAW), représentée par une couche superficielle de 150 m à 200 m d'épaisseur identifiée par une température de surface de 15-23°C et de 13.5-14°C en profondeur, accompagnant une salinité de 36.5 à 38 psu ;
- l'eau intermédiaire d'hiver (WIW), se situe sous la M.A.W (150-200 m), elle est caractérisée par un minimum relatif de température potentielle de 12.65°C à 13.20°C ;
- l'eau levantine intermédiaire (LIW) marquée par un maximum relatif de température potentielle de 13.2°C à 14°C à 300-400 m, et un maximum de salinité (38.5-38.7 psu.) à 400-500 m ;
- l'eau profonde (Western Mediterranean Deep Water ou WMDW) est identifiée à partir de 600-700 m avec une température de 12.75-12.90°C et une salinité de 38.42-38.47 psu.

1.2 Descripteurs généraux en hydrologie marine

Ce sont des paramètres qui renseignent sur les caractéristiques majeures physiques, chimiques et de qualité générale de l'eau. Les descripteurs d'hydrologie marine sont nombreux et beaucoup sont reliés entre eux par des relations de cause à effet. Plusieurs paramètres sont

directement influencés par les apports continentaux et anthropiques. En raison de cette complexité, il n'est pas possible d'établir un programme-type d'hydrologie qui satisferait à toutes les études (**Aminot et al, 2004**)

1.2.1. Descripteurs physicochimiques

1.2.1.1. Température

La température est un descripteur pour la connaissance du milieu marin. Elle influe sur l'activité biologique et sur la répartition des espèces. La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que : la saturation des gaz dissous, la mesure du pH. Elle est nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique. (**Aminot et al, 2004**).

La température est un paramètre important pour l'identification des masses d'eau et de leur circulation. Elle contribue à la définition de la densité (**Gaujous, 1995**)

1.2.1.2. Salinité

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin associé à la mesure de la température, elle contribue à la caractérisation et l'identification des masses d'eau océaniques ainsi que l'étude de leur dynamique et de mélange.

Les premières définitions de la salinité et de la chlorinité ont été données par Sorensen en 1902 :

- ❖ « **La salinité** est la masse en grammes des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromures et iodures sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis et toutes la matière organique oxydée ».
- ❖ « **La chlorinité** est la masse en gramme de chlore équivalent à la quantité totale d'halogènes, dans un kilogramme d'eau de mer ».

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

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

1.2.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau de mer résulte de sa composition ionique, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) entre l'eau et l'atmosphère, ainsi que de la dissolution du calcaire. Selon Sorensen en 1909 le pH est défini comme : « le cologarithme décimal de la concentration en ions H⁺ » (**Aminot et al ; 2004**).

$$pH = - \log_{10} C_H$$

Le pH de l'eau de mer en contact de l'atmosphère est de l'ordre de 8,2. Il est affecté par les processus naturels qui déplacent les équilibres du système carbonique, comme la poussée du phytoplancton, consommatrice de CO₂, ou la reminéralisation de la matière organique, productrice de CO₂ (**Copin-Montégut, 1996**).

1.2.1.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous intervient dans la plupart des processus biologiques permettant la vie terrestre et marine. Son absence ou simplement en dessous de certaines concentrations, de nombreuses espèces vivantes meurent et l'effet de certaines substances toxiques est amplifié lorsque la concentration en oxygène est insuffisante. La concentration en oxygène dissous dans l'eau de mer résulte des processus physiques, chimiques, biologiques :

- Echanges air- mer
- Diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau.
- Photo-oxydation
- Oxydation chimique.
- Respiration des organismes aquatiques, y compris minéralisation (perte) nitrification.
- Photosynthèse des organismes autotrophes.

En l'absence de processus chimiques et biologiques, la concentration de l'oxygène dans l'eau au contact de l'air n'est fonction que de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité : on parle de la concentration d'équilibre ou saturation. (**Aminot et al, 2004**).

1.2.2 Les descripteurs chimiques dissous

1.2.2.1. Notion des nutriments

Les nutriments : l'azote, le phosphore et le silicium sont indispensables à la nutrition des organismes. Ils sont appelés «*éléments nutritifs*». Les deux premiers ne représentent respectivement que 6 % et 1 % de la biomasse (**Aminot et al, 2004**).

Les plus importants de ces oligoéléments sont l'azote et le phosphore qui sont assimilés par le phytoplancton durant la photosynthèse dans la zone euphotique. De plus, les microorganismes possédant un test silicique (diatomées,...) consomment la silice dissoute présente dans l'eau. Ces éléments nutritifs sont le support du cycle de la vie biologique marine.

1.2.2.2. Origines des sels nutritifs

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

- **Source externe** : regroupe tous les apports continentaux qui sont transportés à la mer, soit par la voie éolienne ou par voie fluviale. Ces derniers peuvent contenir des substances toxiques pour le milieu marin (**Boulaïdid, 1987**).
- **Source interne** : est la source la plus importante, car à elle seule présente environ 97% (**Boulaïdid, 1987**). Cette source est assurée par la régénération des sels nutritifs à partir du matériel biogéniques présent dans l'eau de mer. Elle comprend donc toutes les réactions biogéochimiques et autres réactions (oxydation, dégradation de la matière organique) qui s'effectuent le long de la colonne d'eau de mer. Les sels nutritifs peuvent être aussi régénérés et rediffusés à partir du sédiment marin.

1.2.2.3. Rôle des sels nutritifs

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

sont riches en sels nutritifs. Les upwellingues sont le siège d'une production intense (**Jeandel, 1998**)

1.2.2.4. Différentes formes des sels nutritifs

1.2.2.4.1. Azote

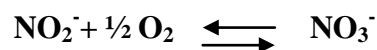
L'azote inorganique est présenté par les ions nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) (**Copin-Montégut, 1996**)

a) Nitrates (NO_3^-)

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

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

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

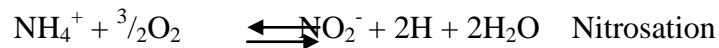


b) Nitrites (NO_2^-)

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

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

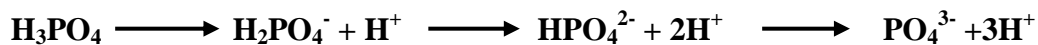
Les nitrites proviennent de l'oxydation de l'ammonium suivant la réaction ci-dessous :



1.2.2.4.2. Les orthophosphates

Le phosphore dans l'eau de mer existe sous forme dissoute et particulaire, organique (les phospholipides, ADN, ARN, ATP) et inorganique présentés essentiellement par les ions orthophosphates qui se trouvent sous deux formes PO_4^{3-} (10%), HPO_4^{2-} (90%) et H_2PO_4^- présente moins 1% (**Aminot et al, 1983**).

Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide orthophosphorique selon les équilibres suivants :



Dans la zone superficielle, le phosphore est très consommé par le phytoplancton au point que ses concentrations peuvent être non mesurables (bloom printanier) généralement, elles sont de l'ordre de 0 à 1 $\mu\text{mole/l}$. (**Copin-Montégut, 1996**),

Les teneurs augmentent avec la profondeur en dessous de la couche euphotique pour atteindre un maximum généralement au niveau du minimum de l'oxygène dissous. Les concentrations maximales des orthophosphates observées dans les eaux profondes océaniques ne dépassent guère les 3 $\mu\text{mole/l}$.

Béthoux et al, (2002) (in Hamaoui, 2006) montrent que dans les eaux profondes méditerranéennes (bassin algéro-provençal), les concentrations de phosphates ont augmenté de 0,38 $\mu\text{mole/kg}$ à 0,47 $\mu\text{mole/kg}$ en trente ans, et attribuent cette augmentation à l'augmentation d'apports terrigènes anthropiques (origine domestique et/ou agricole).

1.2.2.4.3. La silice dissoute

Le silicium est un élément nutritif, car il entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées, radiolaires...). A pH moyen de l'eau de mer (≈ 8.2), le silicium dissous se trouve à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique (Si(OH)_4) dont 5% sont ionisés sous forme de (Si(OH)_3^-) (**Aminot, 1983**).

1.2.2.5. Distribution des sels nutritifs

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

1.2.2.5. Nuisances liées aux nutriments : eutrophisation

Eutrophisation globale du milieu, faisant passer celui-ci de conditions plus ou moins oligotrophes (c'est-à-dire pauvres en éléments nutritifs et d'une façon générale peu propices à un développement massif des peuplements) à des conditions eutrophes (favorables à un tel développement par suite d'un enrichissement essentiellement dû à des apports de nutriments et de matières organiques diverses). Ainsi, les effluents anthropiques sont souvent une source potentielle des principaux éléments limitant la photosynthèse (azote et phosphore). Il peut en résulter un accroissement notable de la production primaire par-rapport aux zones plus oligotrophes, souvent accompagné par une perturbation des cycles annuels habituels (**Lacaze; 1996**).

❏ **Indicateurs et critères d'évaluation** : Le niveau de l'eutrophisation peut être évalué à partir des paramètres suivants :

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

1.2.2.6. Déficients de nutriments : facteur limitant

Lorsque des populations phytoplanctonique se développent, elles consomment les nutriments minéraux dissous et abaissent progressivement leurs concentrations à des niveaux auxquels il

devient très difficile aux cellules de les puiser, ce qui ralentit fortement leur croissance. Les nutriments deviennent alors des « facteurs limitants » de la croissance algale (**Aminot et al ; 2004**).

1.2.2.7. Sels nutritifs et rapports de Redfield

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

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

Ils ont également montré que cette composition de la matière organique influençait la composition C/N/P des eaux dans lesquelles ces organismes marins vivent, puisque la source principale des sels nutritifs dans l'océan global est le recyclage interne. Néanmoins, ce rapport varie avec les saisons et selon les régions et décroît avec la profondeur (**Minster and Boulahdid, 1987**) (**in Brahmia et Brinis, 1997**)

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

1.2.2.8. Production primaire

La production primaire est synonyme de production autotrophe qui signifie la synthèse de matière organique à partir de matière minérale par l'activité d'organismes photosynthétiques ou chimiosynthétiques, en transformant l'énergie lumineuse en énergie chimique potentielle stockée dans les composants organiques des tissus du vivant (**Frontier et Pichod-Viale, 1998**). Elle est quantifiée en $\text{g.C.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$.

1. La baie d'Alger

1.1. Situation géographique

La baie d'Alger est très vaste. Elle occupe le centre de la côte algérienne. Elle s'étend sur 10 milles, d'Est en Ouest, et de 3,8 milles du nord au sud. La baie d'Alger est délimitée au nord par la méditerranée, à l'est par le cap de Matifou ($3^{\circ}18'E$), à l'ouest par la pointe de pescade ($3^{\circ}00'E$) (Leclaire, 1972).

1.2. Plateau continental

Au débouché de la plaine de la Mitidja (voire figure1), entre le massif de La Bouzaréah et le Cap Matifou, le plateau continental est large d'environ 9 km et délimite la baie d'Alger. La superficie de cette baie est d'environ 140 km^2 . Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celui des 100 m ($0^{\circ} 35'$). De la Pointe Pescade au Cap Matifou, c'est à dire l'ouverture de la baie, la distance est d'environ 19 km. Le rivage de la baie s'étire sur 31 km dont 22 km de côte basse constituée de dunes et de trottoirs d'algues dans la partie Est de la baie. Par contre dans la partie ouest le profil du littoral a été profondément modifié par les nombreux aménagements urbains et les infrastructures routières. Aux deux points extrêmes de la baie on constate : un plateau continental très réduit (1 km de largeur maximale) au pied du massif de Bouzaréah ; l'existence d'un promontoire sous-marin prolongeant le Cap Matifou et constituant au large de ce Cap un haut fond : le banc de Cap Matifou. La pente continentale relie de façon quasi rectiligne ces deux points extrêmes de la baie c'est à dire le massif de La Bouzaréah et le Cap Matifou. (PAC, 2004)

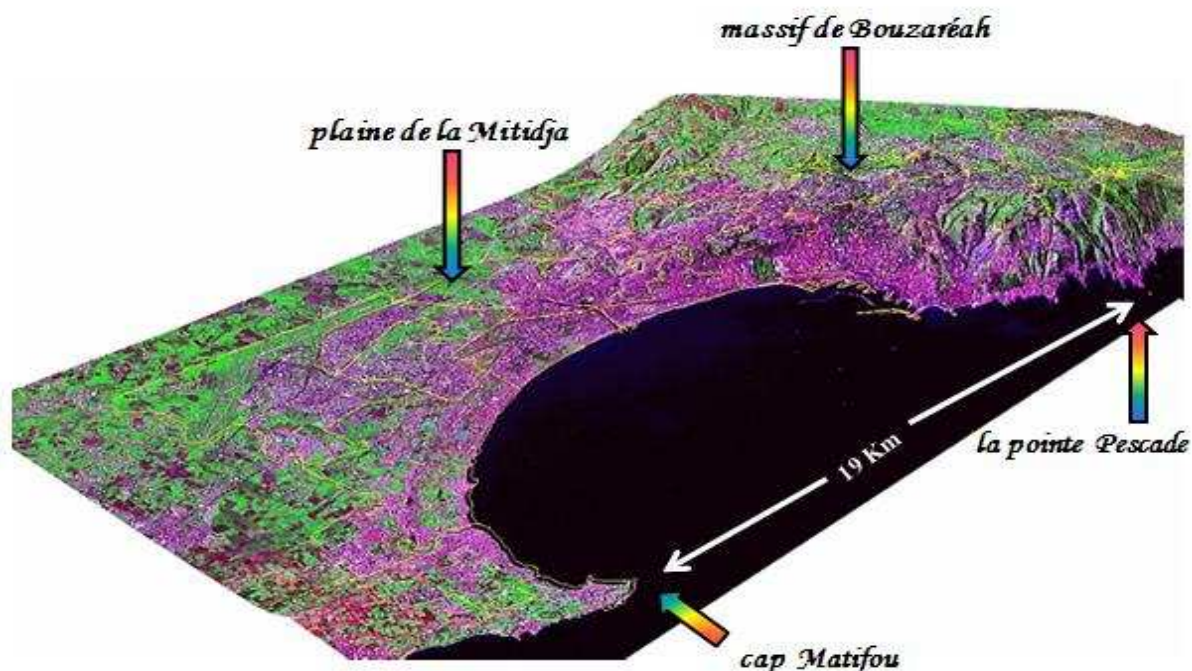


Figure 1 : la délimitation de la baie d'Alger (JICA, 2006 ; modifiée)

1.3. Nature des fonds - Couverture sédimentaire

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), Maouche (1987) sont les principaux auteurs ayant abordé l'étude de la couverture sédimentaire de la baie (figure 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**)

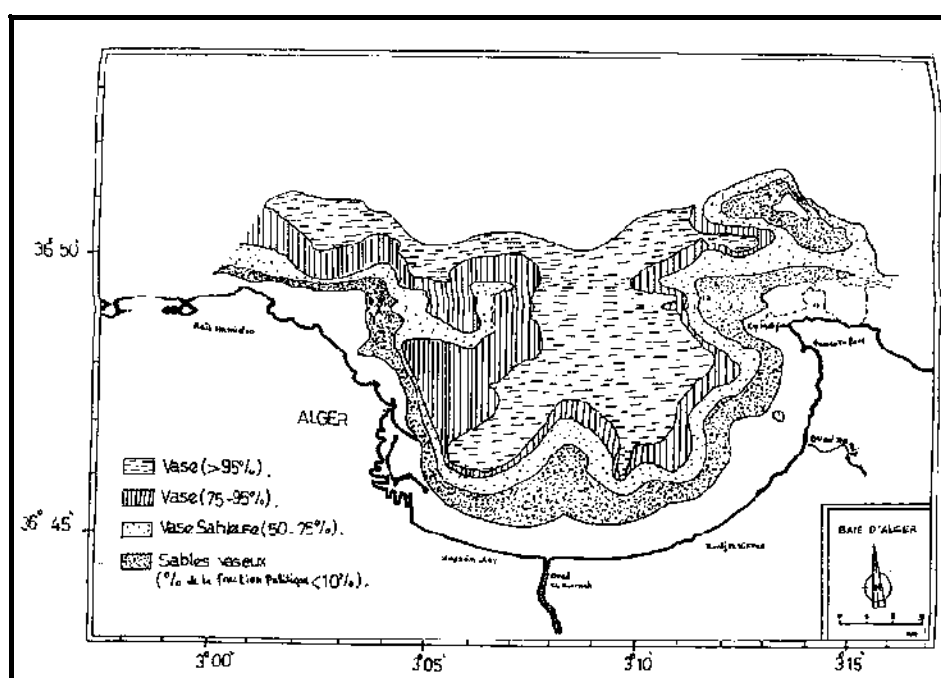


Figure 2 : Carte sédimentologique de la baie d'Alger (Maouche, 1987)

1.4. Réseaux hydrographiques

La baie d'Alger est alimentée 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 (Figure 3). 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.

a) Oued El Harrach

Situé dans la partie Est de la baie d'Alger, il a pour coordonnées géographiques 3° 08' longitude Est et 36° 45' latitude Nord. L'oued El Harrach prend sa source dans la partie Nord de l'atlas Blidéen. Il a deux affluents à la source "Akaa" et "Mekta". Ainsi formé, l'oued coule en direction Nord Est et forme un passage hors de l'atlas Blidéen par la percée du rocher de pigeons puis élargit son cours dans la plaine de la Metidja avec un bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de part sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée. (Charakdji et al, 2006).

b) Oued El Hamiz

Son embouchure se situe près du cap Matifou.

Les principaux affluents :

- Oued Segia (Oued Bouera) ;
- Oued Barek (dérivé artificiellement dans l'oued El Hamiz) avec un bassin

Son débit est régularisé par un barrage, son embouchure est mal aménagée et les rejets affectent directement la surface de la mer. (Assou ; 1982)

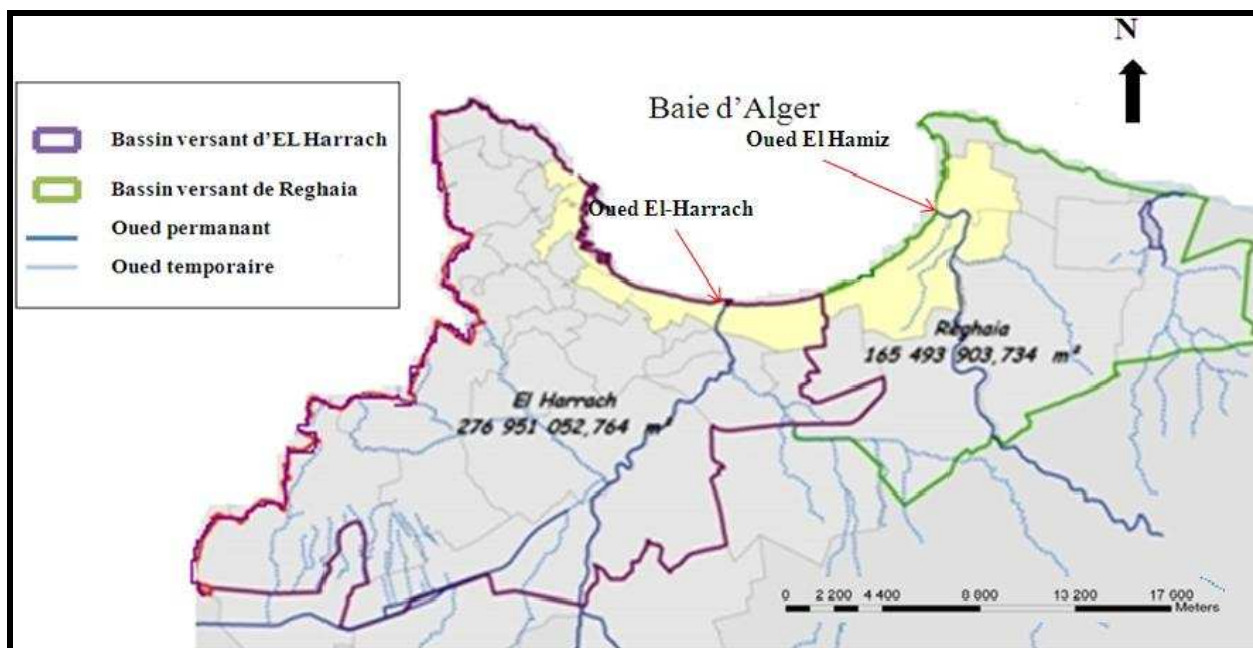


Figure 3 : Le réseau hydrographique de la baie d'Alger (kessouri, 2008 ; modifiée)

1.5. Facteurs météorologiques

1.5.1. 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).

1.5.2. 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)

1.5.3. 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 nœuds.
- Des vents de secteur W-SW, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 nœuds.
- 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 nœuds.

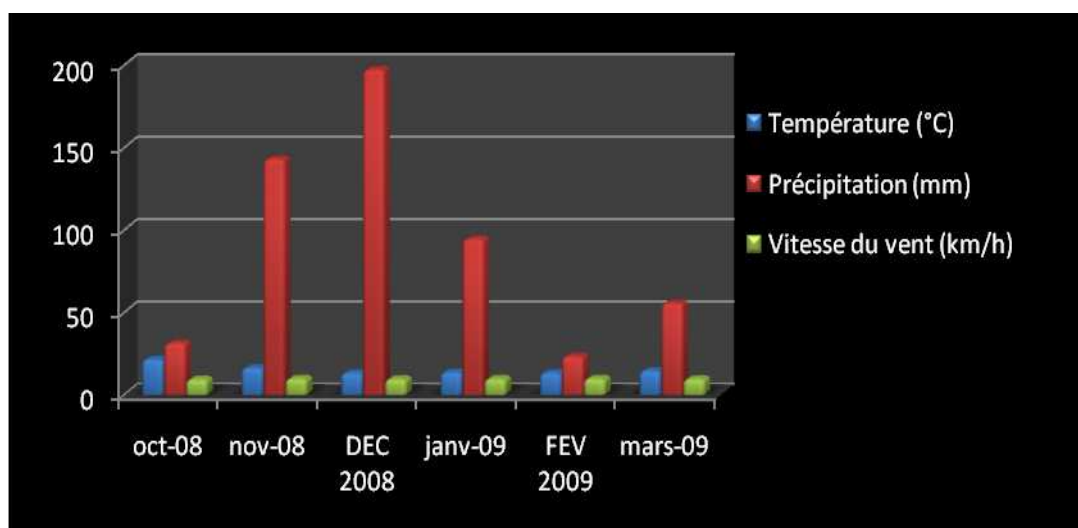


Figure 4 : Histogramme des températures, précipitations et vitesses du vent d'Octobre 2008 à Mars 2009 dans la région Algéroise.(www.tutitempo.net)

1.6. Facteurs hydrodynamiques

1.6.1. 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.

1.6.2. Le courants

1.6.2.1. 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)

1.6.2.1.2. Les courants côtiers

En prenant les informations de plus de 8000 observations enregistrées par le Koninglyk 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**)

1.6.2.2.3 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 (**Ottmann, 1965**).

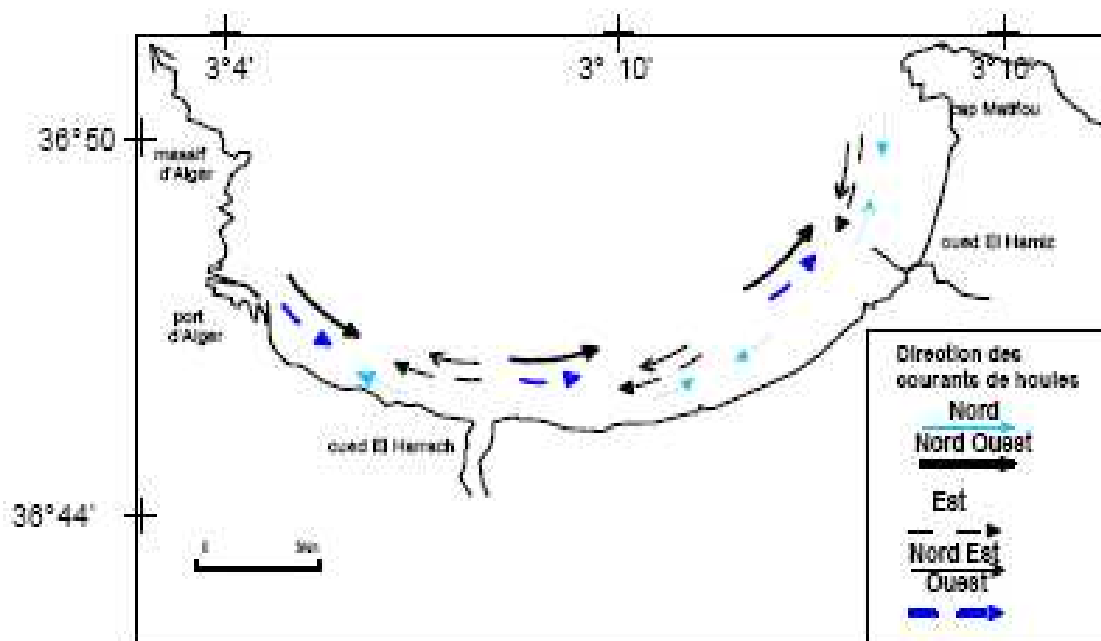


Figure 5 : Schéma synthétique de la dynamique littorale dans la baie d'Alger (Belkessa, 2005).

1.7. Etat de la pollution

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 Boulahdid 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 7) 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 : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (**Kessouri, 2008**).

Communes de la baie d'Alger	Unités industrielles polluantes	Nombre de rejets usées d'eaux	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

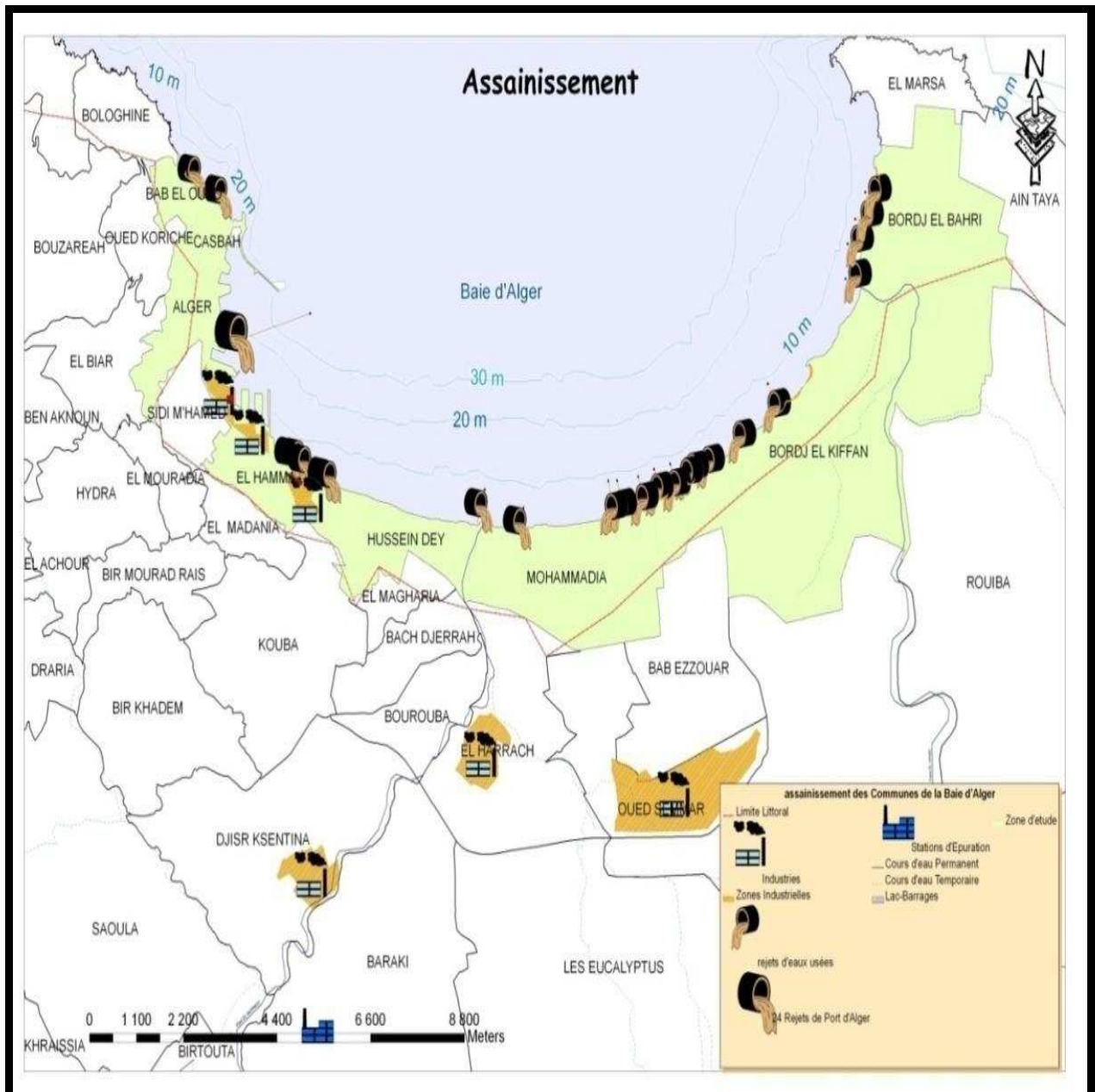


Figure 6: Assainissement et relation entre zones industrielles et rejets des eaux usées dans la baie d'Alger (**kessouri, 2008**)

1. Choix et localisations des stations

Pour représenter toutes les eaux de la baie d'Alger et cerner toutes les contraintes environnementales naturelles et/anthropique qu'elles peuvent subir éventuellement, notamment par les activités anthropiques le long du linéaire côtier ainsi que les voies et vecteurs vers la mer (cours d'eaux, émissaires,...), un plan d'échantillonnage systématique a été élaboré en 42 stations sélectionnées et réparties sur toute la baie. Chaque station a été échantillonnée à un ou plusieurs niveaux de profondeur, en fonction du lieu de positionnement et de la bathymétrie. Ainsi, un nombre de 122 échantillons a été effectué (figure 7).

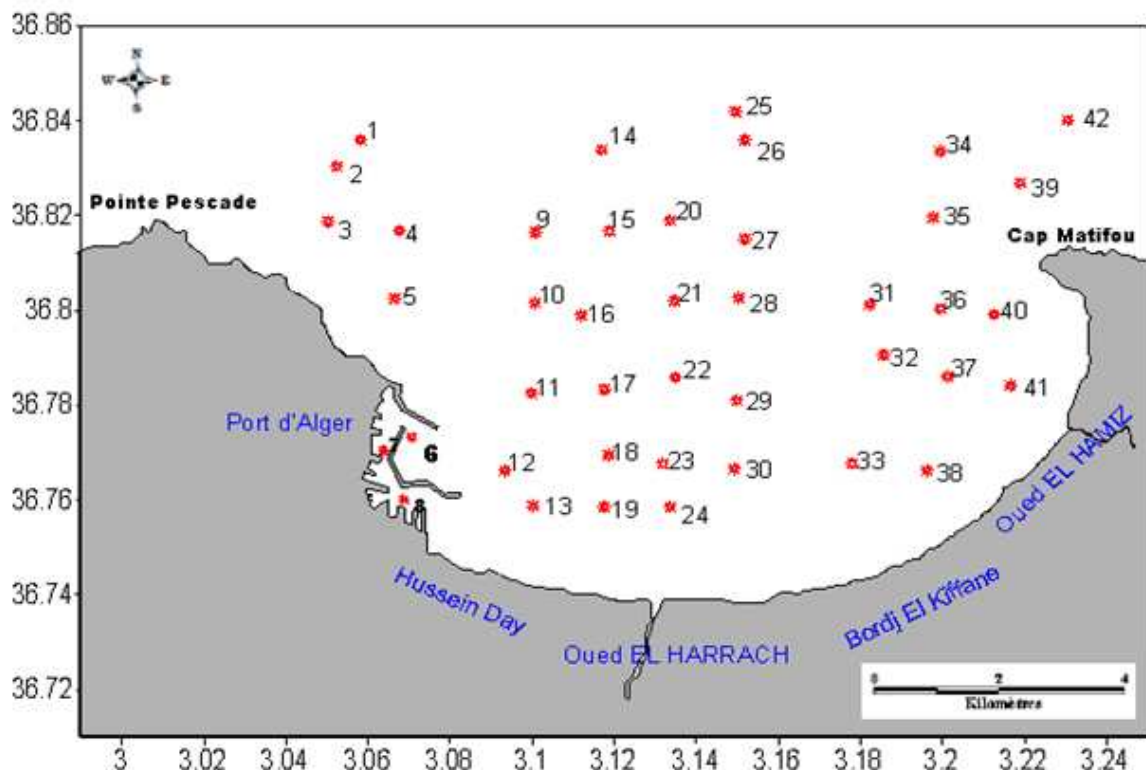


Figure 7 : Localisation de stations de prélèvements au niveau de la zone d'étude.

2. Conditionnement des moyens de prélèvement

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

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

3. Travaux effectués en mer

Les travaux en mer ont été réalisés à bord du navire océanographique de l'ENSSMAL Mouhamed Seddiki Benyahia dans le cadre d'une campagne pluridisciplinaire réalisée entre le 15 et 25 mars 2009.

3.1. 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 l (figure 8). Ainsi, 122 échantillons d'eau de mer ont été prélevés pour la mesure des paramètres physicochimiques à bord et l'analyse des sels nutritifs au laboratoire.

Au cours de toute cette campagne en mer, les paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, oxygène dissous (concentration et pourcentage de saturation)) ont été mesurés à bord. Cependant, les échantillons d'eau de mer destinés à la mesure des sels nutritifs ont été prélevés et conservés au congélateur pour l'analyse ultérieure au laboratoire.

Des précautions particulières de propreté sont prises lors de la manipulation afin d'éviter toute contamination. Les bouteilles à clapets sont ouvertes juste 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 D.G.P.S (Differential Global Positioning Systems) du bord.



Figure 8 : bouteille de prélèvement de type Niskin (8L)

3.2. Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physicochimiques ont été mesurés durant toute la campagne par des instruments de terrain calibrés avant chaque série de mesure. Ces instruments ont l'avantage d'être simple d'utilisation, surtout sur le terrain et en mer, et permettent l'acquisition rapide de résultats. Cependant, ces derniers restent en deçà de la fiabilité désirée en terme, surtout, de précision et d'étalonnage. La précision dépend du type et de la qualité de l'appareil. Par contre l'étalonnage devrait être effectué pour ce type d'instrument. En effet, sur toute la gamme des valeurs obtenues, un certain nombre d'échantillons devrait être mesurés par ces instruments et aussi par une méthode plus précise et plus fiable. Les résultats obtenus par les deux méthodes seront corrélés et s'il y a un écart, très souvent systématique, il faudra le corriger. Pour nos mesures, cet étalonnage n'a pas été effectué en raison de l'absence de moyens nécessaires. En effet, l'étalonnage de la température nécessite des thermomètres à renversement, la salinité un salinomètre de haute précision et l'oxygène dissous la méthode chimique de Winkler.

3.2.1. La salinité

La mesure de la salinité (psu) a été faite à l'aide d'un conductimètre de type WTW 315 i /Set.

3.2.2. Le pH

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque « WTW type pH 315 i/Set ». L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalon à pH de 4, 7 et 9. L'électrode en verre, rincée à chaque fois à l'eau distillée et légèrement essuyée, est immédiatement plongée dans le flacon d'échantillon.

3.2.3. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous peut-être mesuré avec précision par la méthode chimique de Winkler (Aminot ; 1983) et (Rodier et al 1996). Il peut être aussi mesuré sur le terrain par la méthode électrochimique en raison de sa rapidité. Durant cette campagne, on a utilisé un oxymètre de terrain de marque « WTW type Oxi330 i /Set ». L'appareil est calibré avant son utilisation. La valeur s'affiche en mg/l avec une précision de ± 0.1 %.

3.2.4. Température

Pour la température, tous les appareils de mesures utilisés (conductimètre, oxymètre et pH-mètre) donnent la température en °C. Nous avons noté qu'il n'y avait pas de différence entre les résultats des différents appareils.

4. Travaux au laboratoire

4.1. Dosage des sels nutritifs

L'analyse des sels nutritifs est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-analyzer SAN PLUS) (troisième génération), selon les protocoles décrits par le constructeur SKALAR (figure 9). Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en flux continu : une veine liquide propulsée

en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression. L'analyse des échantillons est réalisée par séquence, ce qui permet une grande cadence de travail. Cette chaîne de mesure automatisée est totalement pilotée par un microordinateur doté d'un logiciel spécifique. A la fin de l'analyse, ce dernier fournit un fichier numérique contenant les résultats accompagnés de toutes les informations relatives à l'analyse.



Figure 9: L'Auto Analyser San Plus (SKALAR® 1996) (www.skalar.fr/pr_san.htm)

4.1.1. Principe de dosage des sels nutritifs

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, orthophosphates et silicates) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde (λ). L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même, cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O.), obéit à la loi de BEER-LAMBERT qui est exprimée par la relation suivante :

$$A = D.O. = \log(I_0/I) = \epsilon.L.C$$

I_0 et I : sont respectivement les intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant.

ϵ : le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde.

L : la longueur du milieu traversé exprimé en cm.

C : concentration de la solution absorbante exprimée en mole/l.

A : absorbance de la solution.

D.O : densité optique de la solution.

4.1.2. Analyse automatique des sels nutritifs

4.1.2. 1. Dosage des nitrites

Les nitrites (NO_2^-) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide $\text{pH} < 2$. Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethyléthyldiamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (**Benschneider et Robinson, 1952**).

4.1.2. 2. Dosage des nitrates

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (**Wood et al, 1967**). Les nitrites (en réalité $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Il suffira alors d'en déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier et al. 1996**).

4.1.2.3. Dosage des orthophosphates

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40° C (bain-marie), les ions orthophosphates (PO_4^{3-}) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

4.1.2. 4. Dosage du silicium dissous

Dans l'eau de mer, le silicium dissous se trouve à 95 % sous forme d'acide orthosilicique ($\text{Si}(\text{OH})_4$) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Cette forme réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm (**Mullin et Riley, 1955**). On y ajoute l'acide oxalique pour éviter les interférences des phosphates.

4.1.2.5. Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser (voir annexe 1).

Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes

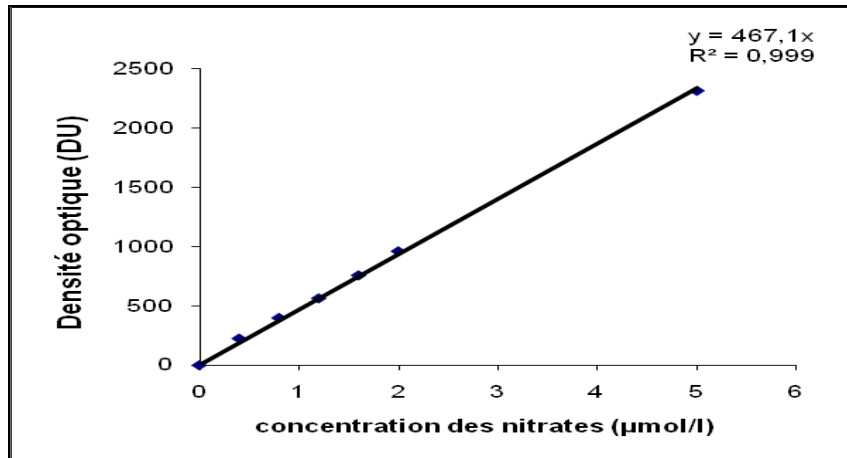


Fig11 : courbe d'étalonnage des nitrates

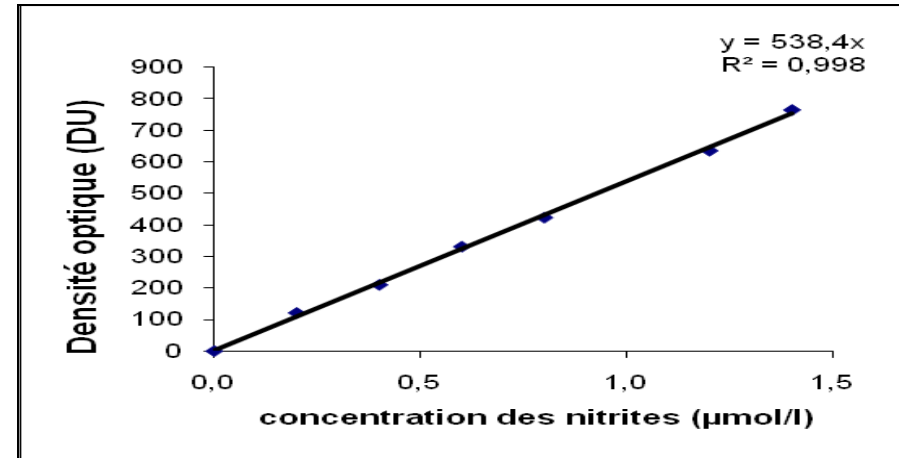


Fig12 : courbe d'étalonnage des nitrites

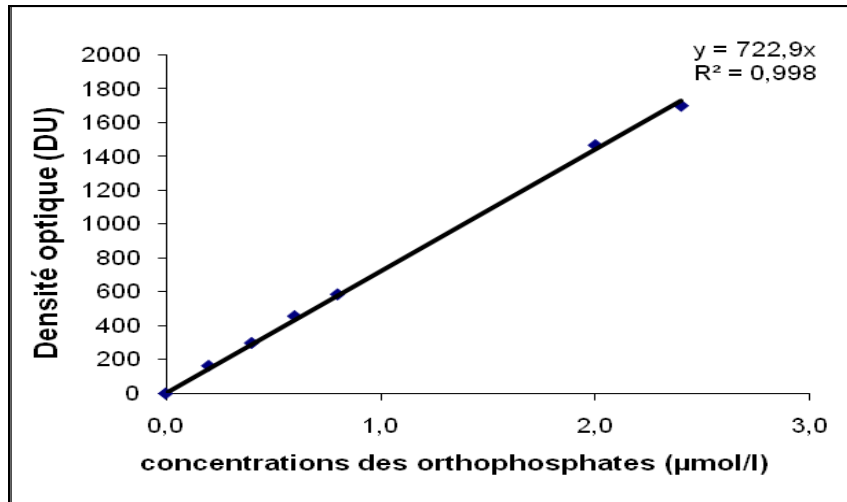


Fig13 : courbe d'étalonnage des orthophosphates

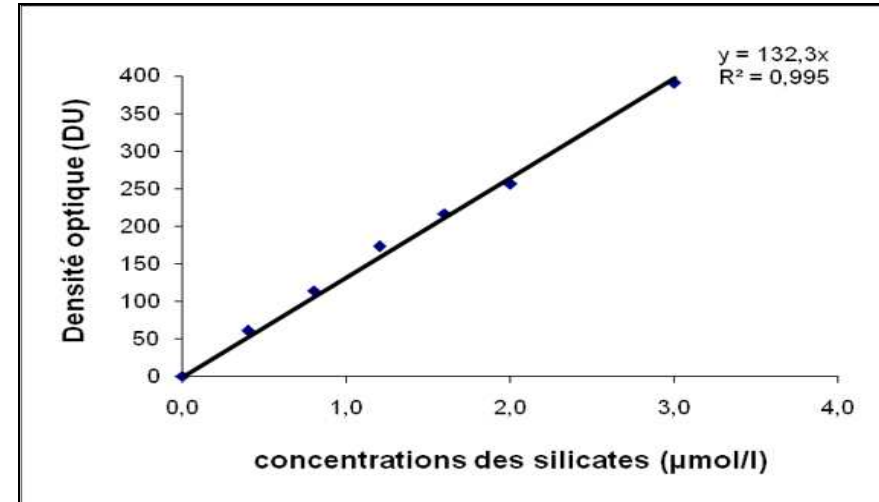


Fig14 : courbe d'étalonnage des silicates

Dans ce chapitre, le traitement des données et les illustrations des distributions spatiales horizontale et verticale des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger ont été réalisées à l'aide du logiciel Surfer 8 (version 8.2.27.0).

Les résultats obtenus font partie intégrante d'un rapport périodique réalisé dans le cadre des activités de recherche du projet intitulé '*Etude de la Fertilité et de la pollution dans les côtes et le bassin algérien*'.

1. Analyse paramétrique

Les données acquises dans la baie d'Alger sont résumées ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 3 : les valeurs moyennes et extrêmes des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger (Mars 2009):

Paramètre	Température	Salinité	pH	O ₂ dissous	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	Si(OH) ₄
unité	(°C)	(psu)		mg/l	µmol/l			
Max	17,7	38,3	8,29	10,63	6,19	1,74	0,95	5,02
Min	13,3	35	7,39	6,22	0	0	0,01	0,01
MOY	14,71	37,07	8,17	8,61	1,37	0,17	0,37	0,93
Ecart type	0,79	0,55	0,11	0,94	1,29	0,25	0,22	1,04

1.1. Variations des paramètres physicochimiques

a) La température

Les valeurs thermiques au niveau de la baie d'Alger reflètent une situation typique de la période post hivernale. L'écart thermique est compris entre 17,7 °C à de la station 6 en surface et 13,3°C au niveau des deux stations 1 et 25 à une profondeur de 170 m et 200 m respectivement. La moyenne est 14,71 °C avec un écart type de 0,79.

La couche superficielle, directement soumise à l'influence des conditions météorologiques, possède les plus fortes valeurs avec une moyenne de 15,48°C et un écart type de 0,50. Le maximum est de 17,7°C observé à la station 6 en face du port dans la partie Ouest de la baie d'Alger. Alors que les températures de la couche d'eau profonde sont plus faibles avec une moyenne de 14,3°C et un écart type de 0,48.

Entre ces deux couches apparaissent des eaux issues probablement de leurs mélanges, avec des températures intermédiaires d'une moyenne de 14,36°C et d'un écart type de 0,36.

b) La salinité

La salinité au niveau de la baie d'Alger varie dans une large gamme entre 35 psu à de la station 29 à 23 m de profondeur située au centre de la baie qui peut renseigner sur l'empreinte de l'eau continentale douce et 38,3 psu à de la station 25 à 200 m de profondeur. Les deux stations sont situées sur la même radiale et présentent une moyenne de 37.07 psu et un écart type de 0.55.

c) Le pH

Le pH au niveau de la baie d'Alger varie autour d'une moyenne de 8,17 avec un écart type de 0,11. Le maximum est de 8,29 à de la station 1 en surface située à l'Ouest de la baie et le minimum est de 7,39 à de la station 7 en surface dans le port d'Alger. En effet, on n'a pas observé de grande différence entre les valeurs de surface qui sont en moyenne de 8,15 et celles du fond avec une moyenne de 8,18.

d) L'oxygène dissous

Concernant l'oxygène dissous au niveau de la baie d'Alger, les résultats révèlent des fluctuations assez importantes. Ses valeurs varient de 6,22 à 10,63 mg/l, avec une moyenne de 8,61 mg/l et un écart type de 0,94. Ces variations sont dues à la variabilité des facteurs intervenants dans son cycle (photosynthèse, échange air-mer, mélange des masses d'eaux ...). Ainsi, la période d'échantillonnage a été caractérisée par un brassage important des masses d'eaux.

En surface le maximum est de 10,63 mg/l à de la station 19, Prés de la côte et le minimum est de 6,43 mg/l au niveau de la station 8 au niveau du port d'Alger.

Les eaux du fond non directement soumises aux échanges avec l'atmosphère, semblent être légèrement moins oxygénées que celles de la surface avec une moyenne de 8,24 mg/l et un maximum de 9,98 mg/l à de la station 24 à 13 m de profondeur près de la côte en face Oued El Harrach et un minimum de 6,22 mg/l à la station 25 à 200 m de profondeur située au large de la baie .

1.2. Variations des sels nutritifs

a) Nitrates (NO_3^-)

L'analyse des concentrations en nitrates dans la baie d'Alger laisse apparaître de fortes potentialités nutritives. Les valeurs oscillent considérablement entre 0 $\mu\text{mol/l}$ et 6,19 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de 1,37 $\mu\text{mol/l}$ et un écart type de 1,29.

Ces concentrations semblent être plus élevées que celles trouvées en mai 1989 par Eddalia qui variait entre 0,23 et 2,66 $\mu\text{mol/l}$.

En surface, les valeurs de nitrates sont faibles par rapport au fond avec une moyenne de 0,82 $\mu\text{mol/l}$ à l'exception de certaines valeurs comme celles des stations 9 et 15 au centre de la baie et de la station 2 à l'Ouest. La zone du port montre des concentrations élevées avec un maximum de 3,09 $\mu\text{mol/l}$. Par ailleurs, les concentrations augmentent avec la profondeur avec un maximum de 6,19 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 36 à 25 m de profondeur en face de l'Oued El Hamiz.

b) Nitrites (NO_2^-)

L'azote nitreux dans la baie varie entre 0 et 1,74 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de 0,17 $\mu\text{mol/l}$ et un écart type de 0,25, alors que les valeurs enregistrées en 1989 variaient entre 0,03 et 0,16 $\mu\text{mol/l}$ (Eddalia, 1989).

En surface le maximum est de 1,74 $\mu\text{mol/l}$ à la station 8 dans la zone du port, coïncidant avec le minimum de l'oxygène. Cet enrichissement résulte probablement de l'oxydation de l'ammonium originaire certainement de la matière organique issue de la charge polluante de ces eaux. Le minimum en surface est de l'ordre de 0 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 20 située à la limite de la baie.

Les valeurs minimales en surface sont localisées vers le large où l'influence côtière se fait beaucoup moins sentir en raison probablement de la dilution par la mélange avec les eaux hauturières

Le maximum des nitrites dans les eaux profondes est observé à de la station 13 à 14 m de profondeur et qu'est situé près de la côte, entre l'embouchure de l'oued El Harrach et la passe sud du port d'Alger. Il peut être expliqué par des apports externes en eaux usées ou celle du port.

c) Les phosphates

Les résultats obtenus pour les phosphates dans cette étude montrent une large gamme de concentration de 0.01 à 0.95 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de 0.37 $\mu\text{mol/l}$ et un écart type de 0.22. Ces concentrations semblent être plus élevées que celles obtenues en mai 1989 par Eddalia.

Dans les eaux superficielles, elles varient entre 0,01 $\mu\text{mol/l}$ et 0,89 $\mu\text{mol/L}$ avec une moyenne de 0,35 $\mu\text{mol/L}$. les concentrations les plus élevées sont observées au centre de la baie au niveau des station 15 et 16 ainsi qu'en face Oued El Hamiz qui peut s'expliquer par les rejets urbains chargés en détergents polyphosphatés transportés par ce dernier. Ceci qui reflète typiquement la situation en méditerranée où 4/5^{ème} des concentrations en orthophosphates sont issues des rejets telluriques (**Bethoux, 1980**).

Le maximum en phosphates est observé dans les eaux profondes à 75 m à de la station 42 à l'extrême Est au large de la baie avec une concentration de 0,95 $\mu\text{mol/l}$. Les fortes valeurs du fond sont souvent interprétées comme le résultat de la décomposition de la matière organique produite en surface (**Bethoux, 1980**) ainsi que par la diffusion à partir du sédiment marin (**Tréguer et al. 1985**).

Les silicates

Les valeurs des silicates enregistrées dans la baie d'Alger varient dans l'intervalle de 0,01 à 5,02 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de 0,93 $\mu\text{mol/l}$ et un écart type de l'ordre de 1,01.

Dans les eaux de surface, les teneurs varient entre 0,04 et 3,66 $\mu\text{mol/l}$ où le maximum est observé à l'Ouest à de la station 5.

En profondeur, les silicates comme les autres sels nutritifs augmentent rapidement pour atteindre un maximum relatif à 245 m de profondeur à de la station 1 située dans la partie Ouest de la baie.

2. Distribution spatiale et circulation des masses d'eaux dans la baie d'Alger

2.1. Distribution horizontale

L'établissement des cartes d'isoconcentration pour les différents paramètres physicochimiques et les sels nutritifs permettra de voir la distribution et la variation spatiales des concentrations, de distinguer plus ou moins les masses d'eaux et de commenter leurs sources potentielles et leurs évolutions dans l'espace.

D'une manière générale, les paramètres étudiés ne présentent pas une variation homogène et uniforme à l'échelle de la baie. Ces paramètres manifestent des maxima, des minima et des valeurs intermédiaires réparties en zones ou en fronts plus ou moins bien distingués. Pour certains paramètres étudiés, on remarque bien une corrélation significative de leur distribution horizontale.

2.1.1. Distribution horizontale des paramètres physicochimiques

a) La température

Pour la température, les valeurs observées sont assez hétérogènes caractéristiques de la période d'échantillonnage. Dans les cartes établies, la température est représentée par une couleur rouge dégradée allant du rouge foncé pour les valeurs élevées au blanc pour les valeurs faibles.

En surface (figure 15), La distribution est assez hétérogène avec quelques noyaux qui renseignent sur de l'eau au centre légèrement chaude ou relativement fraîche. Dans la partie Est de la baie, deux noyaux d'eau reliés avec des températures légèrement élevées : l'un en face de Bord El Kiffane et l'autre au niveau du cap Tamanfoust. Les deux noyaux forment un front plus ou moins continu qui se dirige vers le nord Est et qui doit avoir pour origine les eaux côtières légèrement réchauffée. La zone portuaire forme aussi un noyau d'eau légèrement chaude ayant une température de 17.7 °C qui peut être dû rejets de la station de dessalement de ce noyau se détache un autre petit noyau situé au centre de la baie. La séparation de ce front originaire de la zone portuaire est du à de l'eau relativement fraîche en face de l'oued El Harrach et un petit noyau d'eau encore plus fraîche formé essentiellement par la station 15 ayant le minimum thermique en surface de 14.5 °C. Ce petit noyau au niveau de la station 15 peut évoquer une petite remontée d'eau profonde fraîche. A l'extrême nord ouest un dernier noyau d'eau légèrement chaude formé essentiellement par les stations 2 et 3.

La distribution subhorizontale de la température dans les eaux intermédiaires et profondes (figure 16, 17), montre d'une manière générale un gradient thermique décroissant de la côte vers le large. En effet, les températures les plus élevées (> 15°C) se localisent près de la côte, notamment en face de l'Oued El Harrach. Ceci peut s'expliquer par la profondeur relativement faible de ces zones côtières de la baie qui permet un réchauffement rapide par l'ensoleillement et le mélange qui affecte toute la colonne d'eau.

La salinité

Concernant la salinité, d'une manière générale et à toute les profondeurs, la configuration des isohalins permet de constater une décroissance systématique du gradient halin des valeurs les plus faibles (< 36 psu) près de la côte et du port vers les valeurs les plus élevées (> 38 psu) au

large. Cette distribution est engendrée certainement par la contribution continentale en eau douce par trois sources principales : le port d'Alger, l'oued el Harrach et l'oued El Hamiz.

En effet, on peut noter aisément la contribution nette du port d'Alger, de l'oued El Hamiz et dans une moindre mesure l'oued El Harrach en eau douce qui se manifeste par des isohalins inférieurs à 36.8 psu (figure18). La même situation est observée d'une manière plus nette pour l'oued El Harrach et le port au niveau des eaux intermédiaires (figure19) et pour l'oued el Harrach et l'oued El Hamiz au niveau des eaux profondes (figure20).

Nous pouvons noter qu'au niveau des stations 15 et 9 il y a un noyau d'eau légèrement salée formé par l'isohalin de 37.1 psu. C'est exactement le même endroit où nous avons constaté aussi un noyau d'eau fraîche avec un minimum de température.

b) L'oxygène dissous

La distribution horizontale de l'oxygène dissous en surface de la baie d'Alger (figure 21) montre que les fortes valeurs (couleur vert foncé) se localisent en face des embouchures des deux Oueds Harrach et Hamiz ainsi aux alentours du Cap Matifou ; ces fortes valeurs peuvent être expliquées par l'activité photosynthétique importante qui produit de l'oxygène, et le mélange avec les eaux continentales qui sont généralement plus oxygénées. Les faibles valeurs des sels nutritifs dans les mêmes endroits peuvent confirmer cette hypothèse.

Concernant les faibles valeurs représentées par la couleur jaune, qui apparaissent dans le port avec un minimum de 6,43 mg/l à la station 8, qui peuvent s'expliquer par le confinement de ce milieu dans lequel la dégradation et l'oxydation de la matière organique seraient importantes. Deux autres noyaux avec des valeurs modérées entre 7 et 8,2 mg/l apparaissent l'un au centre de la baie et l'autre plus à l'Est. Le premier peut évoquer l'empreinte de l'eau profonde pauvre en oxygène qui arrive en surface par une faible résurgence côtière déjà observé par la température et la salinité au même endroit, surtout la station à 15.

Le reste de la baie est occupé par des valeurs intermédiaires qui évoquent bien le mélange entre les faibles et les fortes valeurs.

Pour les eaux intermédiaires (figure 22), les lignes d'isoconcentration manifestent un gradient non uniforme de côte vers le centre de la baie et vers le large. En effet, les concentrations maximales sont observées d'une manière discontinue à la périphérie de la baie. Ce qui dénote l'influence côtière (apports externe et agitation) et peut être aussi l'activité photosynthétique, notamment, au alentour du port, de l'embouchure de l'oued el Harrach, l'embouchure de l'oued el Hamiz et du cap Matifou.

Le fond du centre de la baie et le large (figure 23) sont dominées par les teneurs de plus en plus faibles en oxygène dissous qui caractérisent les eaux profondes qui ont consommé, en partie, leur oxygène pour l'oxydation de la matière organique et la régénération des sels nutritifs et autres.

2.1.1.2. Variations des sels nutritifs

a) Les nitrates :

En surface (figure 24), les concentrations sont faibles au niveau de presque sur toute la baie. Ceci peut être expliqué par l'importance de l'activité photosynthétique. Les fortes valeurs de l'oxygène dissous aux mêmes endroits peuvent supporter cette hypothèse (figure 21).

Au niveau du centre de la baie apparaît un grand noyau autour des stations 15 et 9 avec des concentrations supérieures à $2,4 \mu\text{mol/l}$. ce noyau se situe au même endroit où nous avons déjà relevé le même constat pour d'autres paramètres (température, salinité et oxygène dissous).

La zone portuaire montre aussi des concentrations significatives en nitrate qui peuvent provenir de l'intérieur du port suite à la dégradation et l'oxydation de la matière organique ainsi que les rejets urbains.

Le reste de la baie est considéré comme formé par des eaux ayant des valeurs faibles et stationnaires. Ceci peut être le résultat du mélange des eaux et surtout l'assimilation par l'activité biologique.

La distribution des nitrates dans les eaux intermédiaires (figure 25) présente une certaine similarité avec les eaux de surface. Les faibles valeurs se localisent le long de la zone côtière. Par contre les concentrations les plus élevées occupent le centre et le large de la baie avec un maximum de $4,74 \mu\text{mol/l}$ dans la station 20.

Les eaux profondes (figure 26) montrent des concentrations plus élevées par rapport aux eaux intermédiaires et superficielles. Elles s'étendent du centre de la baie vers le large avec des bras qui s'allongent, en fonction de la morphologie et des courants vers la côte du côté sud de la baie. Ces eaux profondes ont pour origine les profondeurs du large qui forment la couche riche en sels nutritifs.

b) Les nitrites

Les concentrations des nitrites sont faibles sur toute la surface de la baie (fig27) à l'exception de l'extension du port qui montre des teneurs plus ou moins significatives, certainement originaires du port où se dégrade d'une manière importante la matière organique et se déversent des rejets d'eau usée urbaine.

La distribution des nitrites au niveau du fond marin (fig28) laisse penser à des apports continentaux, notamment au large Hussein Dey où il y a des rejets urbains importants et peut être aussi une diffusion à partir des sédiments marins. Les stations 25 et 26 au large manifestent des teneurs relativement élevées. Si ce n'est pas dû à un problème analytiques, ces teneurs peuvent être en relation avec la diffusion des nitrites à partir du sédiment marin et l'advection verticale des eaux .

c) Phosphate

À quelques différences près, nous observons presque la même distribution que les nitrates. En effet, les eaux de surface (figure 29) montrent des fortes teneurs en phosphates (couleur verte)

dans la partie centrale de la baie notamment les stations 15 et 16, comme les nitrates. Ce qui peut confirmer l'hypothèse d'une résurgence côtière. Ce qui diffère de la distribution des nitrates, ce sont les fortes valeurs de phosphates observées en face l'embouchure de Oued El Hamiz, et qui ne peuvent être expliquées que par l'apport continental riche en phosphates (détergents polyphosphatés). Par contre l'embouchure de Oued El Harrach montre des faibles valeurs (couleur jaune) en phosphates même si cet oued est réputé pour l'importance de ses rejets urbains et industriels. Ceci peut nous conduire à deux suggestions. L'une est que les rejets de l'oued el Harrach sont exemptes des phosphates, ce qui est difficile à admettre. L'autre est de supposer que les phosphates rejetés par cet oued ont été probablement épuisés par le phytoplancton et l'activité photosynthétique. Dans ce cas, cette dernière serait responsable des fortes teneurs d'oxygène dissous observées à ce niveau. Cette hypothèse nous amène à se poser la question sur la non assimilation des phosphates rejetés par l'Oued El Hamiz.

La distribution des phosphates dans les eaux intermédiaires (figure 30) et profondes (figure 31) suit la même allure que celle des eaux de surface.

d) Les silicates

L'examen de la distribution des silicates montre la même allure pour les eaux de surface (figure 32), et profondes (figure 33). A l'échelle de la baie, on remarque trois noyaux avec des concentrations sensiblement élevées en silicates : à l'ouest de la baie, en face la ville de Bordj el Kiffane et dans la proximité Ouest du Cap Matifou. Cette richesse en silice dissoute peut être en relation avec les apports côtiers (ou l'interaction des eaux avec la côte) et/ou encore avec la dissolution des tests siliciques et la diffusion à partir des sédiments marins. Dans le reste de la baie les concentrations de la silice sont très homogène (couleur bleu clair) et paraît pauvres en silice en raison, probablement, de l'assimilation biologique par les espèces qui l'utilisent (diatomées, radiolaires).

2.1.3. Les cartes de distributions horizontales des paramètres physicochimiques et les sels nutritifs

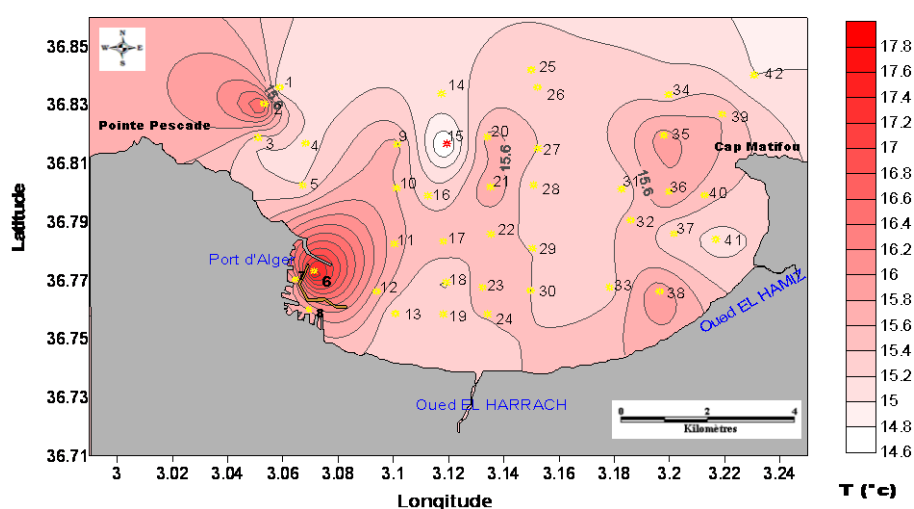


Figure 15 : Carte de la distribution horizontale de la température dans les eaux de surface de la baie d'Alger

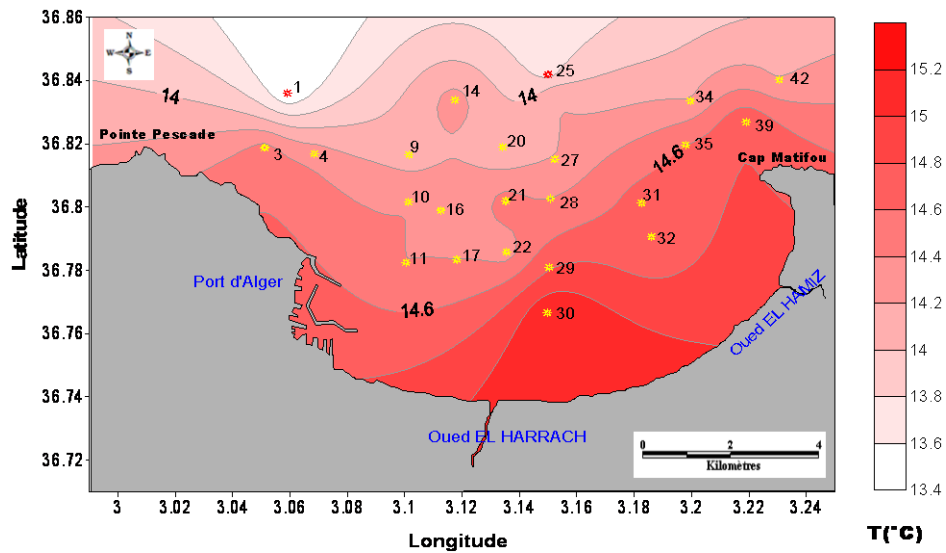


Fig 16 : Carte de la distribution horizontale de la température dans les eaux intermédiaires de la baie d'Alger

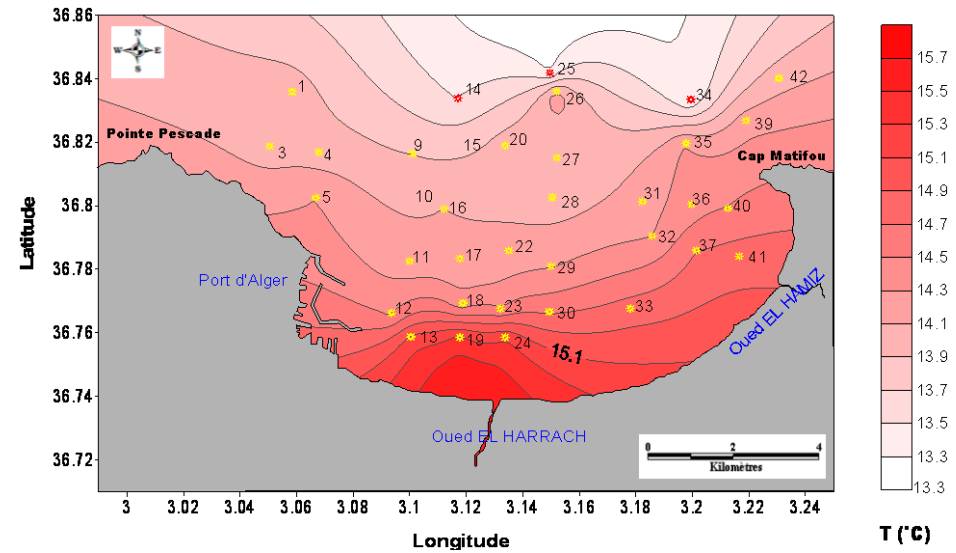


Fig 17 : Carte de la distribution horizontale de la température dans les eaux de fond de la baie d'Alger.

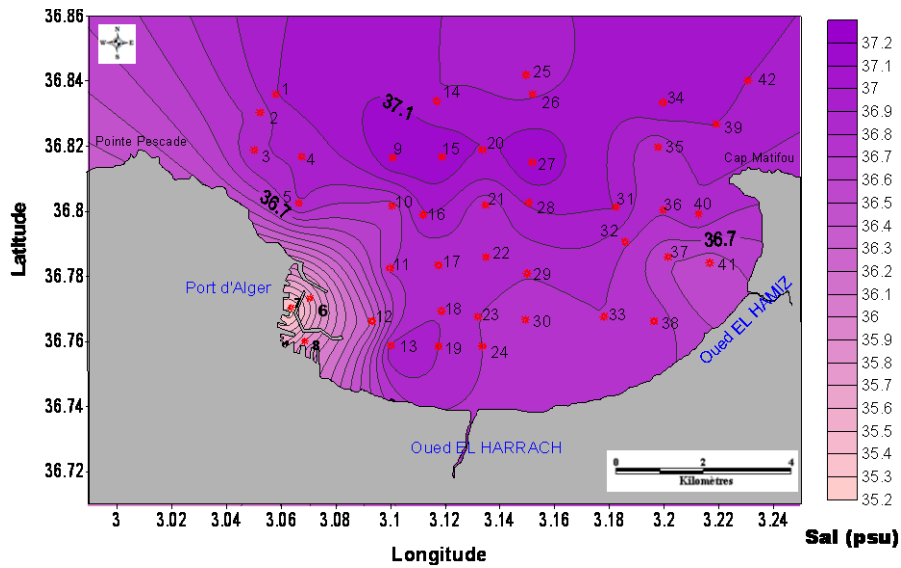


Fig 18 : Carte de la distribution horizontale de la salinité dans les eaux de surface de la baie d'Alger.

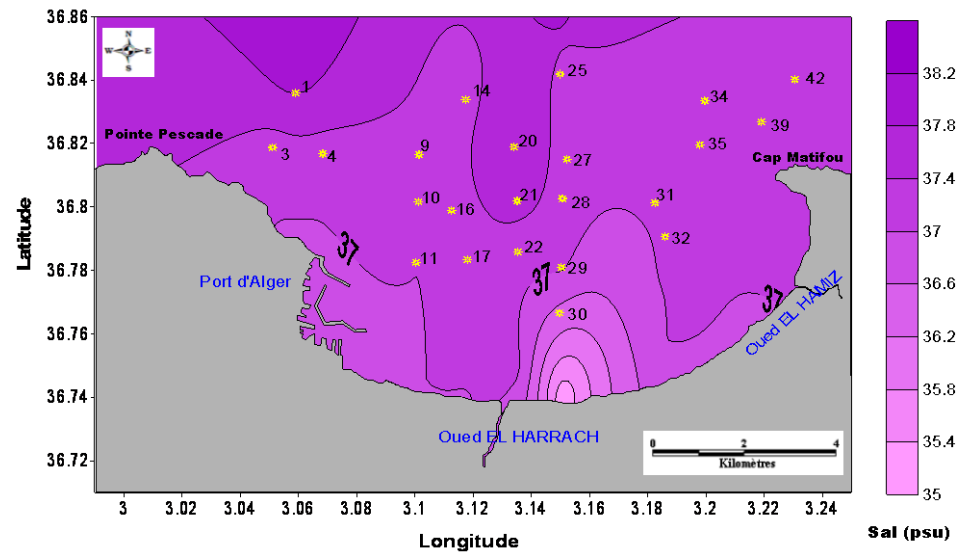


Fig 19 : Carte de la distribution horizontale de la salinité dans les eaux intermédiaires de la baie d'Alger.

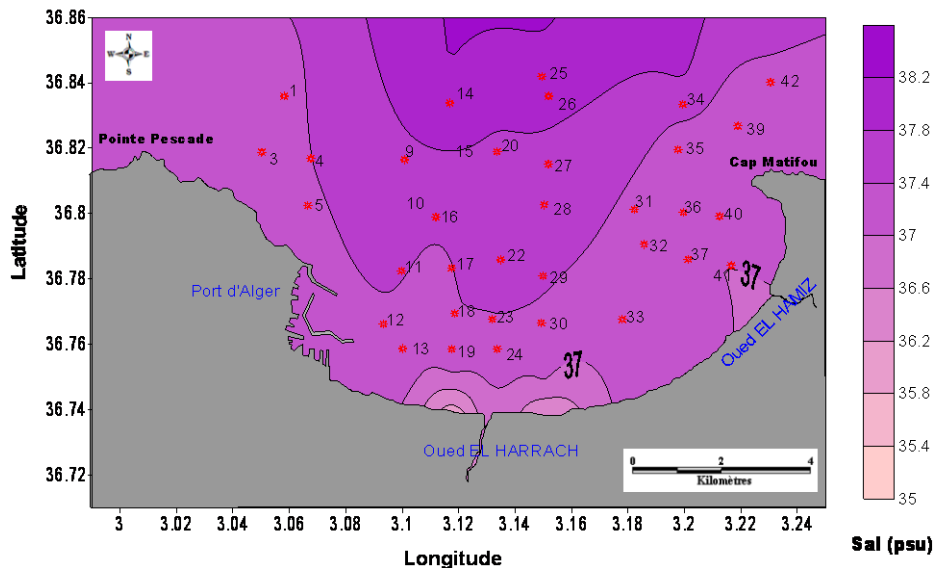


Fig 20 : Carte de la distribution horizontale de la salinité dans les eaux de fond de la baie d'Alger

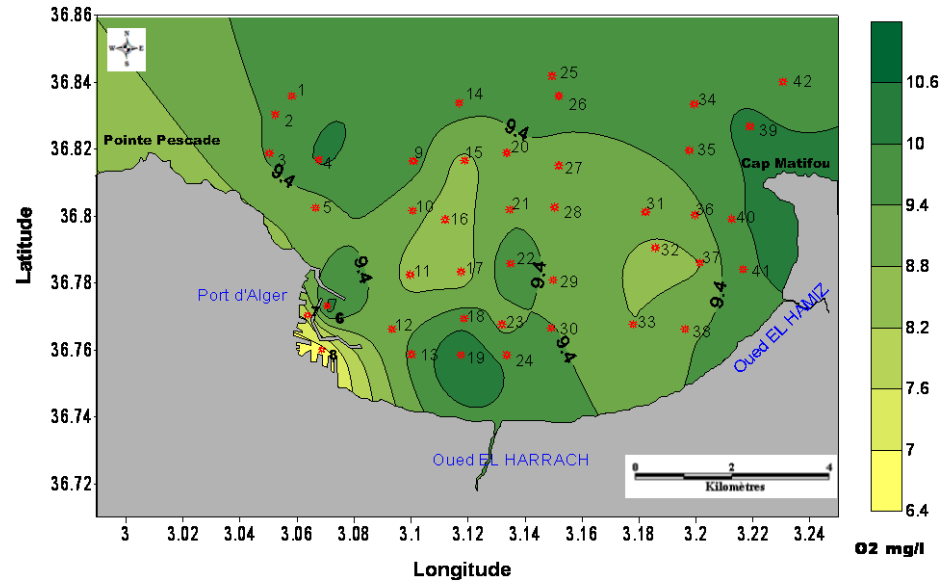


Fig 21 : Carte de la distribution horizontale de l'oxygène dissous dans les eaux de surface de la baie d'Alger.

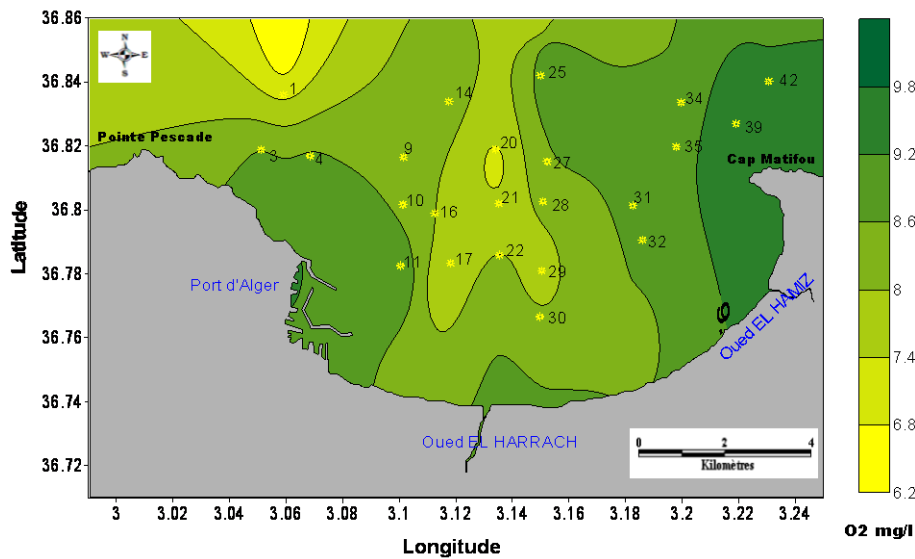


Fig22 : Carte de la distribution horizontale de l'oxygène dissous dans les eaux intermédiaires de la baie d'Alger.

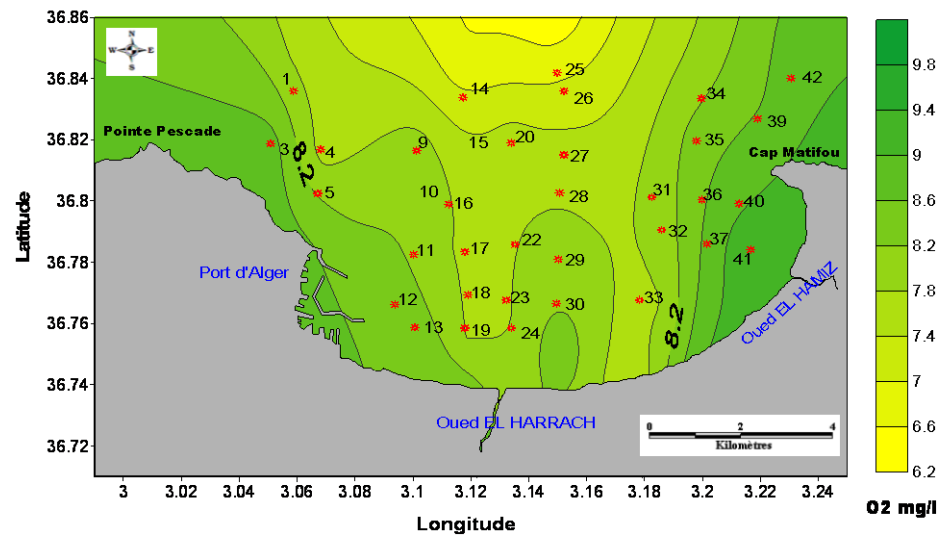


Fig 23 : Carte de la distribution horizontale de l'oxygène dissous dans les eaux du fond de la baie d'Alger

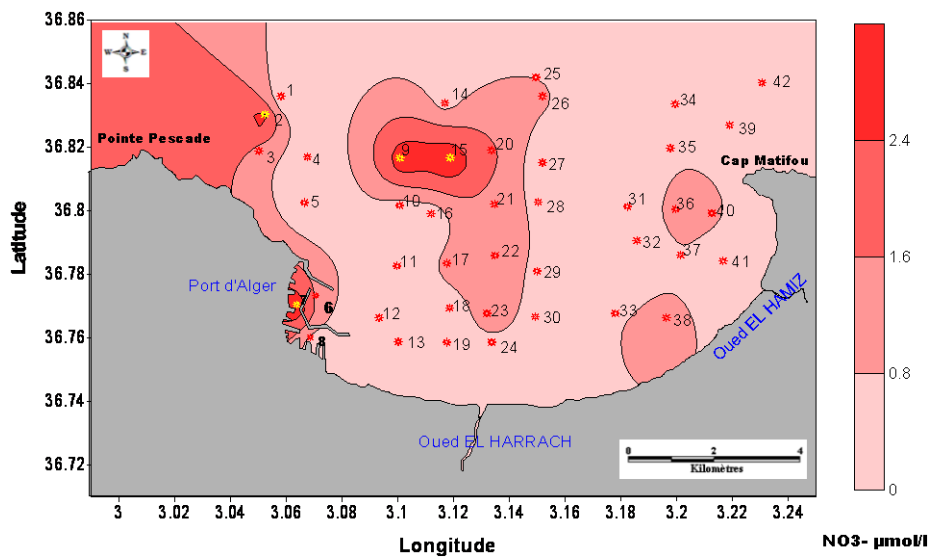


Fig 24 : Carte de la distribution horizontale des nitrates dans les eaux de surface de la baie d'Alger.

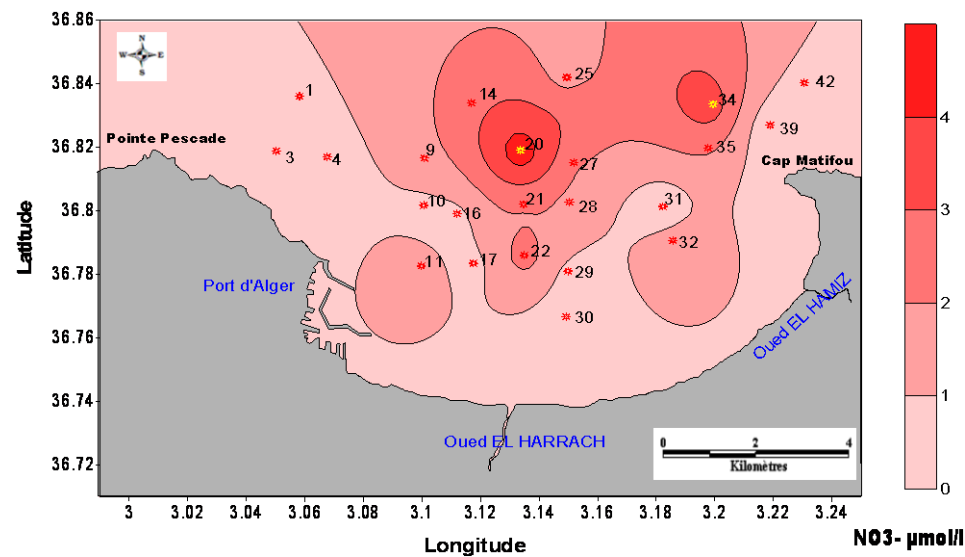


Fig 25 : Carte de la distribution horizontale des nitrates dans les eaux intermédiaires de la baie d'Alger

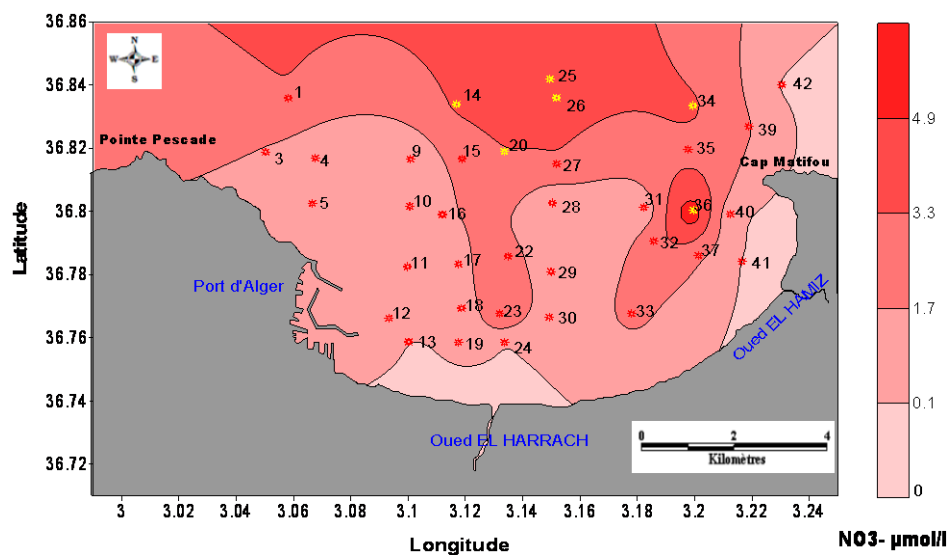


Fig 26 : Carte de la distribution horizontale des nitrates dans les eaux du fond de la baie d'Alger

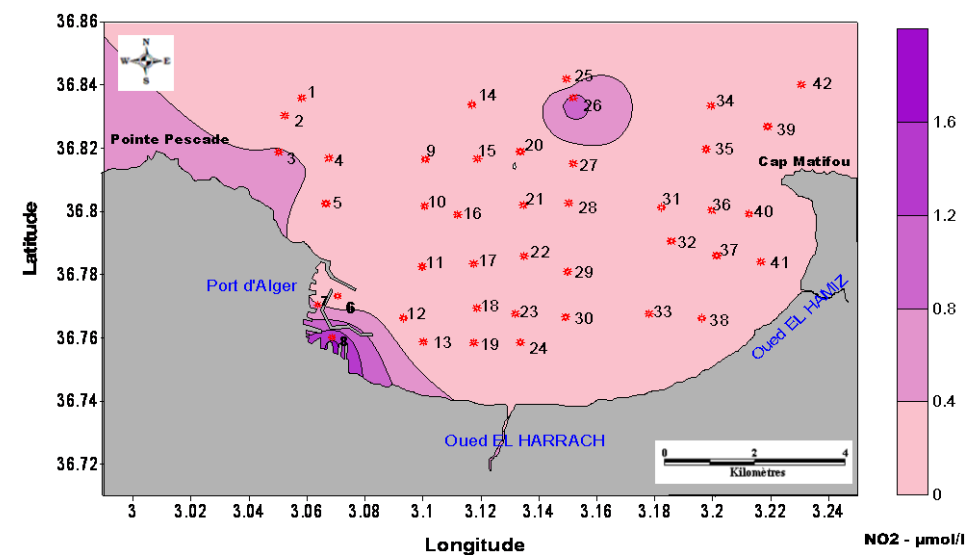


Fig 27: Carte de la distribution horizontale des nitrites dans les eaux de surface de la baie d'Alger

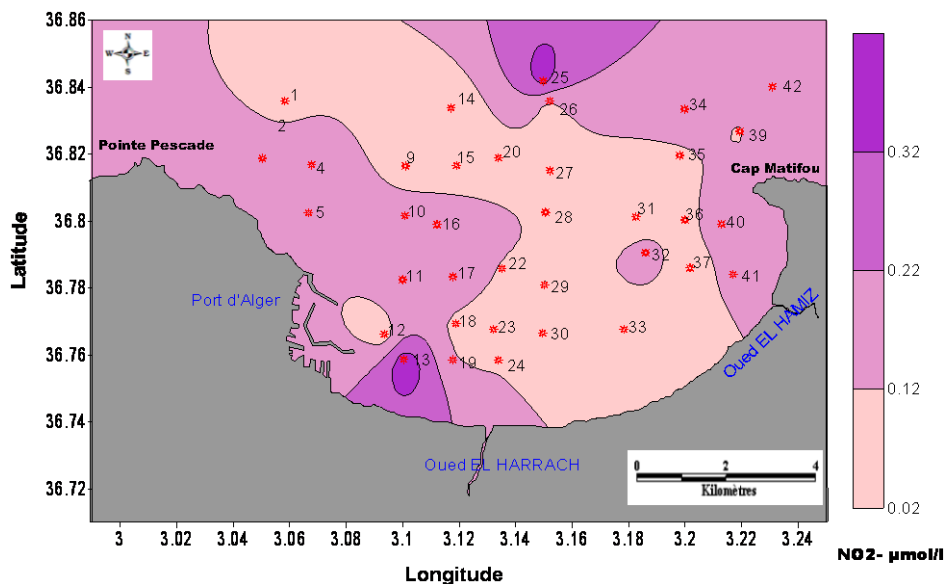


Fig 28 : Carte de la distribution horizontale des nitrites dans les eaux du fond de la baie d'Alger.

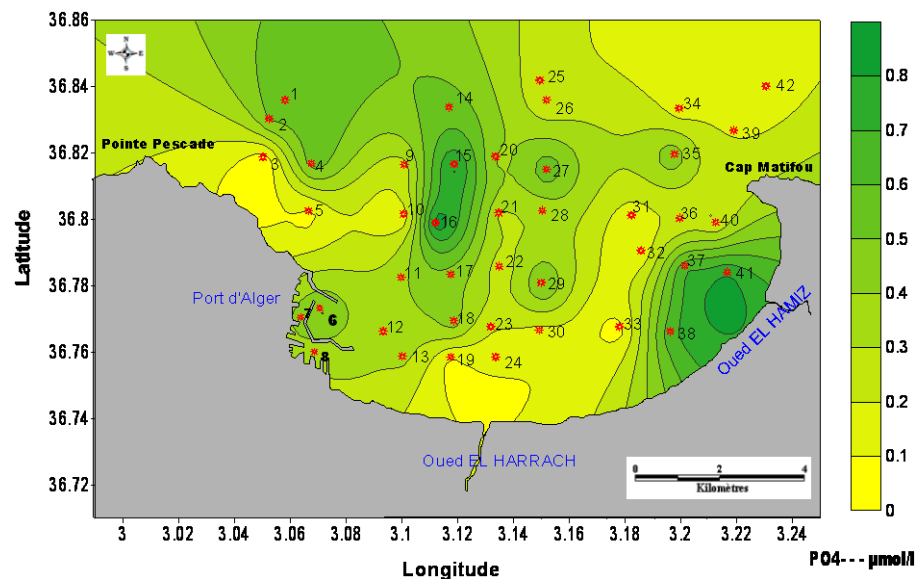


Fig 29 : Carte de la distribution horizontale des phosphates dans les eaux de surface de la baie d'Alger

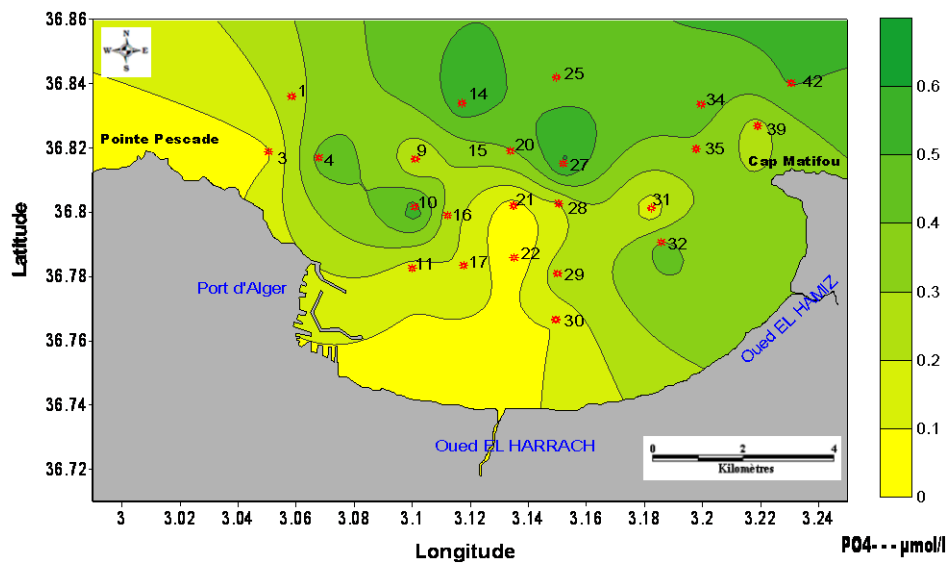


Fig 30: Carte de la distribution horizontale des phosphates dans les eaux intermédiaires de la baie d'Alger

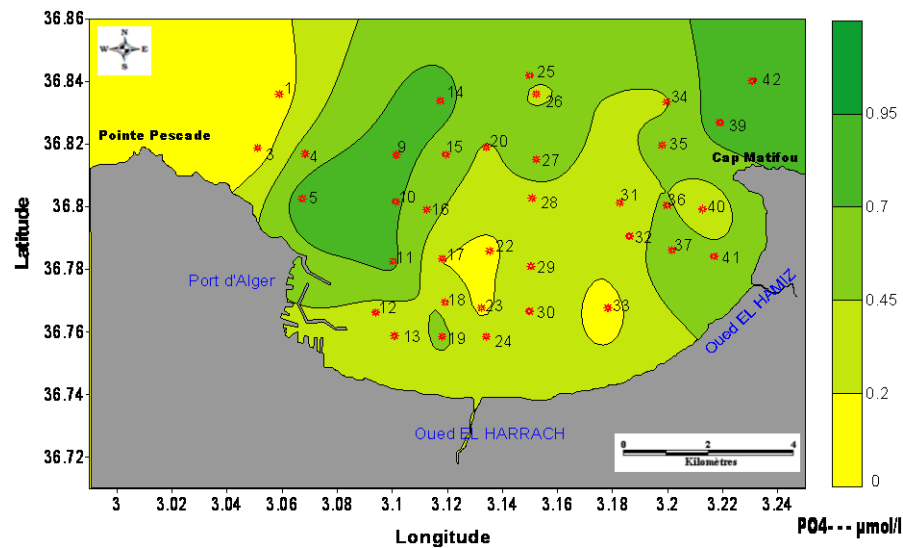


Fig 31: Carte de la distribution horizontale des phosphates dans les eaux du fond de la baie d'Alger

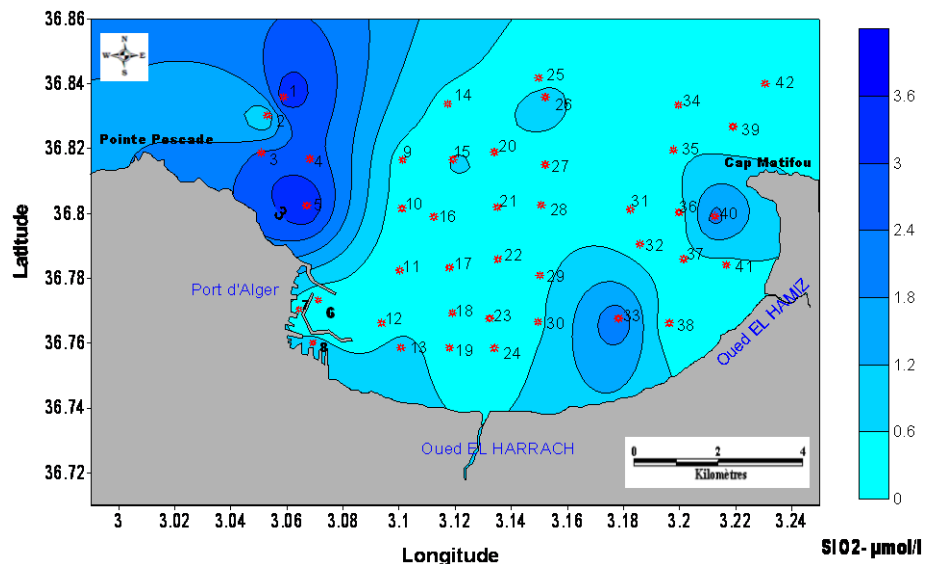


Fig 32 : Carte de la distribution horizontale des silicates dans les eaux de surface de la baie d'Alger

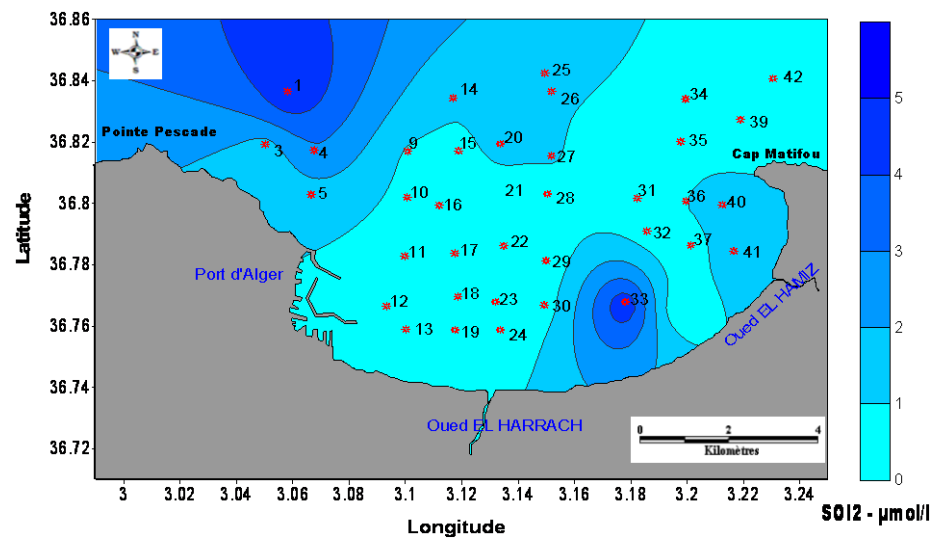


Fig 33 : Carte de la distribution horizontale des silicates dans les eaux du fond de la baie d'Alger

2.2. Distribution verticale

Pour une meilleure compréhension de la distribution horizontale en surface et au fond ainsi que les différents phénomènes qui régissent la circulation des eaux dans la baie d'Alger, cinq sections verticales ont été faites (fig34). Le but est de voir la stratification des eaux et le comportement des différents paramètres le long de la colonne d'eau de mer. La finalité est de vérifier les phénomènes déjà observés à travers la distribution horizontale en surface et au fond et de découvrir d'autres s'ils existent.

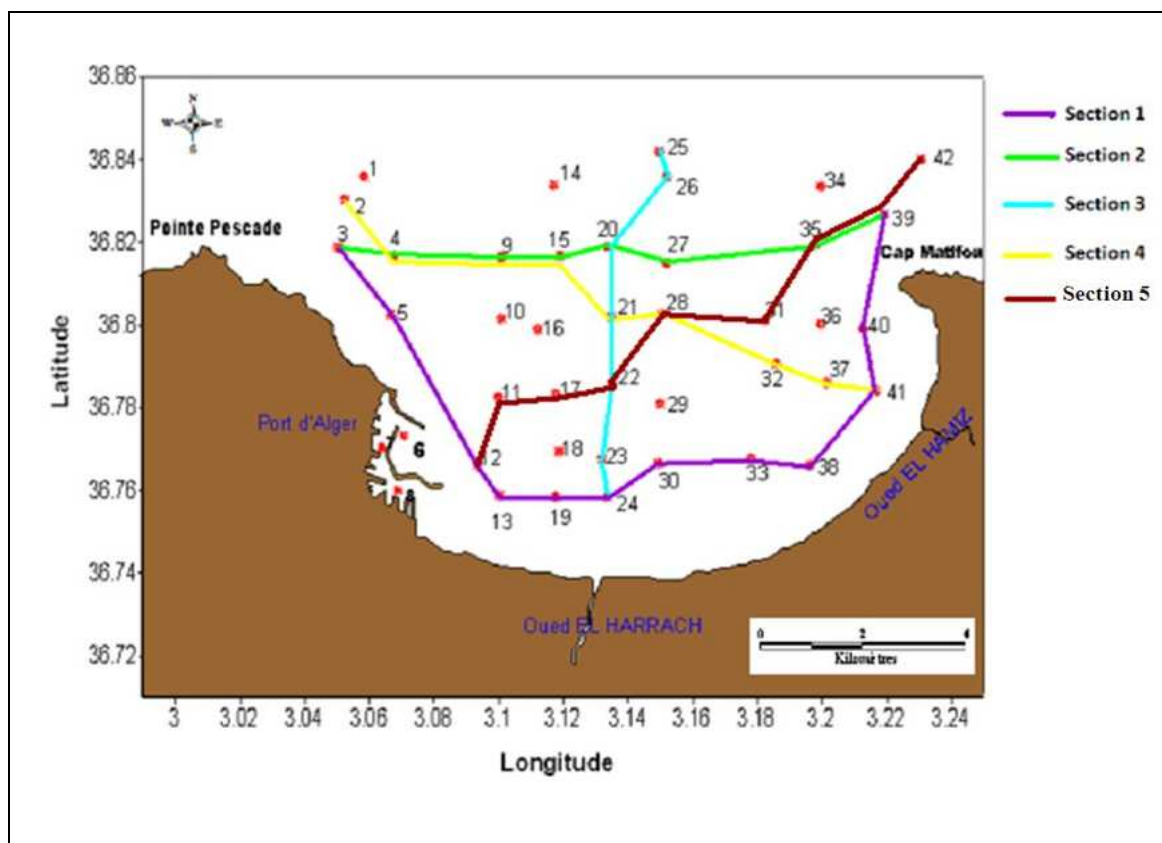


Figure 34 : positionnement des différentes sections dans la baie d'Alger

a) Description de la section 1

L'examen de cette section qui passe par tous les points qui sont proches de la côte fait bien sortir l'influence de la côte et de sa bathymétrie sur la distribution verticale des différents paramètres. Malgré que l'explication diffère d'un paramètre à l'autre, à titre d'exemple pour la salinité (figure 36) qui est essentiellement due à l'influence des eaux continentales douces, l'influence de la profondeur faible, paraît être significative par le processus de mélange rapide qui affecte toute la colonne d'eau. Ce processus paraît comme un facteur important dans le contrôle de cette stratification. On remarque une stratification plus au moins nette pour la température (figure 35), la salinité, l'oxygène dissous (figure 37)

La section de la salinité montre aisément l'empreinte de l'eau douce continentale au niveau de l'oued el Harrach et un peu plus à l'Est. Celle de l'oxygène montre aussi aisément un petit déséquilibre en oxygène dissous à l'échelle de la baie : la zone portuaire et la côte Ouest manifestent une influence significative sur la stratification avec des concentrations assez faibles par rapport au côté Est.

La distribution des sels nutritifs montre une allure un peu perturbée. On peut remarquer un petit front au centre de la section qui se dirige vers l'Est sensiblement riche en nitrates (fig38) et en phosphates (fig40) et pauvre en nitrites (fig39) avec une salinité basse. Ceci ne peut être l'empreinte de l'influence des apports continentaux au niveau de l'oued El Harrach et la côte plus à l'Est. La silice (fig41) montre un comportement particulier. La partie ouest paraît être riche en silice sur presque toute la colonne d'eau alors que le centre et l'Est sont pauvres. Dans l'eau profonde, comme les nitrates, la silice présente des concentrations élevées.

b) Description de la section 2

Cette section est établie à la limite de la baie avec le large entre Cap Matifou à l'Est et la pointe Pescade à l'Ouest. L'examen de la distribution verticale montre une certaine similarité presque pour l'ensemble des paramètres. La température (figure 42) et la salinité (figure 43) montrent une stratification bien nette et stable avec une petite déclinaison vers l'Est supportant le même profile que celui observé dans la section 5.

Pour la salinité, on remarque que le centre de la section montre une salinité relativement élevée de l'ordre de 37,1 psu qui caractérise la même eau qui se trouve à 38 m de profondeur. Les mêmes observations sont valables pour les nitrates (figure 45) et les phosphates (figure 47). Ce qui nous laisse supposer que l'origine de cette eau superficielle serait profonde, hypothèse déjà émise et supporté par plusieurs paramètres. Cependant, cette remontée n'est pas visible.

c) Description de la section 3

Cette section qui se localise au centre de la baie d'Alger en face Oued El Harrach et qui présente une profondeur croissante de la côte vers le large (de 18 à 405 m) montre une distribution verticale plus ou moins stratifiée presque pour l'ensemble des paramètres. Cette stratification est plus claire pour la température (figure 49), la salinité (figure 50), les silicates (figure 55) et nitrites (figure 53) et oxygène dissous (figure 51). On peut remarquer que Oued El Harrach n'a pas d'influence conséquente sur la section à l'exception de la salinité où l'effet de l'adoucissement de l'eau de mer en surface, notamment au niveau des stations côtières (21, 22, 23,24).

La succession des maxima et des minima dans la distribution verticale des sels nutritifs dans cette section peut être expliquée par le mélange qui paraît être important en dépit de la période d'échantillonnage (post hivernale).

d) Description de la section 4

La distribution verticale de l'ensemble des paramètres montre une stratification légèrement perturbée. Celle de la salinité (figure 57) n'est perturbée que par l'influence nette de Oued El Hamiz aisément observable, surtout au niveau des stations 41, 37, 32.

La température (figure 56) montre une stratification légèrement inclinée vers le Nord Ouest de la baie sous l'effet d'un front thermique déjà mentionné à cet endroit et observable au niveau des stations 2 et 4.

La distribution de l'oxygène dissous (figure 58) montre une décroissance des teneurs de la surface vers le fond avec quelques perturbations apparentes. On observe une poche d'eau en dessous des stations 2, 4 et 9 avec une teneur de 8,2 mg/l qui correspond à la même concentration enregistrée en surface au niveau des stations citées. La même distribution se manifeste pour les nitrites (figure 60) qui montre des détachements des eaux de surface et leurs apparitions à l'isobathe de 20 m pour les faibles et les fortes valeurs.

La distribution des nitrates (figure 59) manifeste des concentrations élevées en ce sel vers le Sud-Est de la section (le fond des stations 32, 28 et légèrement pour les stations 21, 15 et 9). Juste au dessus (en surface) vers le Nord-Ouest (station 15 et 9), nous observons les mêmes concentrations de nitrates. Des concentrations comprises entre 0.6 et 1.2 $\mu\text{mole/l}$ font la jonction entre ces deux petites masses d'eau riches en nitrates. On pourrait supposer aisément que l'eau de surface riche en nitrates a pour origine l'eau à 40 m de profondeur riche en nitrates et de laquelle s'est partiellement détachée. L'extension de l'influence de l'oued El Hamiz par la langue formée de l'isohalin 37,05 comme séparateur des deux masses d'eau riches en nitrates, pourrait être un appui.

On peut aller plus loin pour émettre l'hypothèse que cette eau à environ 40 m de profondeur a pour origine une eau plus profonde qui longe le fond marin et qui fait ascension à ce niveau, probablement favorisé par la morphologie sous-marine. Dans ce cas, ceci permet aisément d'expliquer les caractéristiques par plusieurs paramètres de l'eau observée au niveau de la surface de la station 15 et son voisinage immédiat et confirmer son origine profonde. Cette hypothèse est difficile à admettre en raison d'un paradoxe qui demeure non élucidé.

En effet, les concentrations élevées en nitrates de l'eau à 40 m de profondeur (qui sont accompagnées de celles faibles en oxygène et légèrement en nitrites) sont accompagnées des plus faibles concentrations de phosphates (figure 61) et de silicate (figure 62) avec d'aucun indice significatif de la température ni de la salinité.

L'autre possibilité pour expliquer ces concentrations de nitrates élevés à environ 40 m de profondeur est de s'orienter vers le processus de régénération spécifique de l'azote, en rapport probablement aussi avec l'influence continentale.

Les phosphates semblent être en forte concentration en surface vers la côte et vers le large que dans les eaux profondes. Ceci peut être en relation avec l'influence importante des polluants polyphosphatés drainés par Oued El Hamiz.

Les silicates manifestent une distribution qui reste particulière, en raison peut être de l'influence continentale et de la diffusion à partir des sédiments marins (au niveau du talus continental) comme on peut le remarquer au niveau des fonds des stations 4 et 2.

e) Description de la section 5

Cette section s'étend entre la station 12 située a proximité du port d'Alger et la zone industrielle de Hussein Day et la station 42 à l'extrême Nord Est de la baie d'Alger.

La température (fig63) et la salinité (fig64) montrent une distribution verticale semblable. Pour le cas de la température, elle montre un maximum dans les stations en face le port ainsi que dans les stations 35 et 39 à l'extrême Nord Est. On peut remarquer dans cette distribution l'isotherme 14,4 °C qui descend de 25 m au niveau de la station 28 jusqu'à 45 m au niveau de la station 42. Cet isotherme coïncide avec l'isohalin 37,1 psu dans la même profondeur. Cela peut renseigner aisément sur une remontée d'eau d'importance faible dans cette partie Sud Ouest de la baie.

Cette hypothèse est confirmée par la distribution des autres paramètres au niveau de la même section : l'oxygène dissous (figure 55) les nitrates (figure 66), phosphates (figure 68) et silicates (figure 69).

Ce qu'on peut remarquer au niveau de cette section, la station 35 et ses alentours situés à l'extrême Est de la baie qui présentent des caractéristiques semblables à celles observées dans le Sud Ouest et le centre de la baie. Cela peut s'expliquer par le détachement de cette eau de son origine sous l'influence du vent et de la dynamique des eaux.

2.3.1. Les cartes de distribution verticales des paramètres physicochimiques et les sels nutritifs

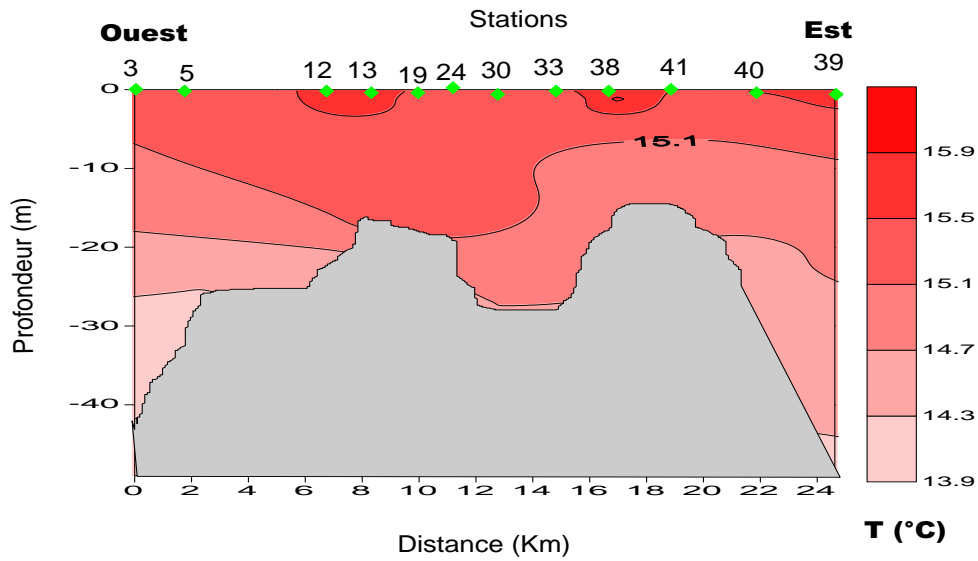


Fig35 : Distribution verticale de la température le long de la section 1

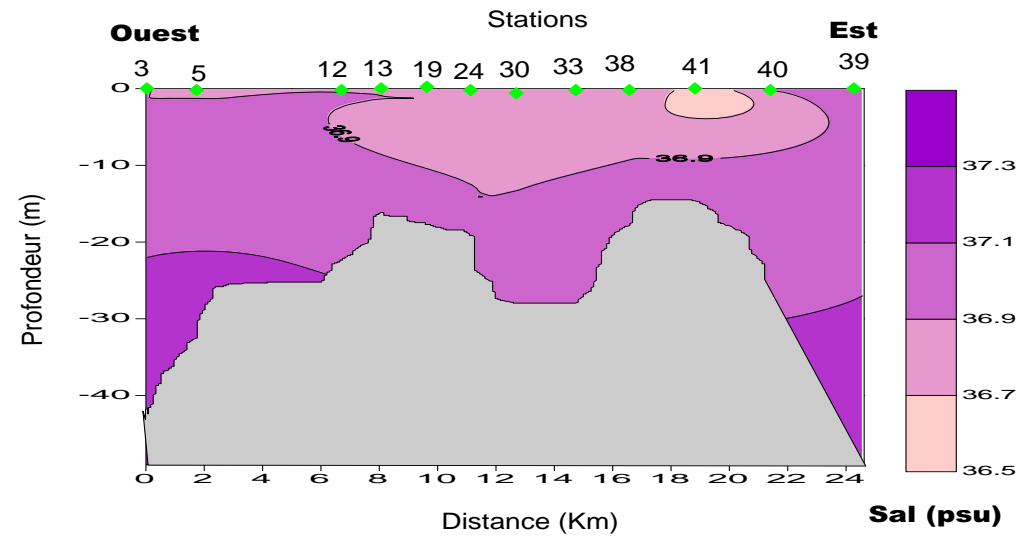


Fig36 : Distribution verticale de la salinité le long de la section 1

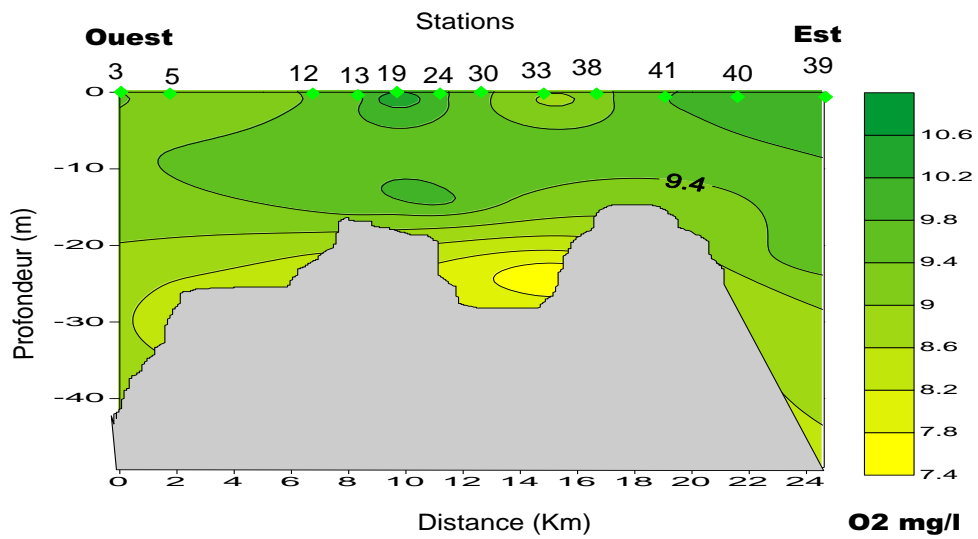


Fig 37 : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section 1

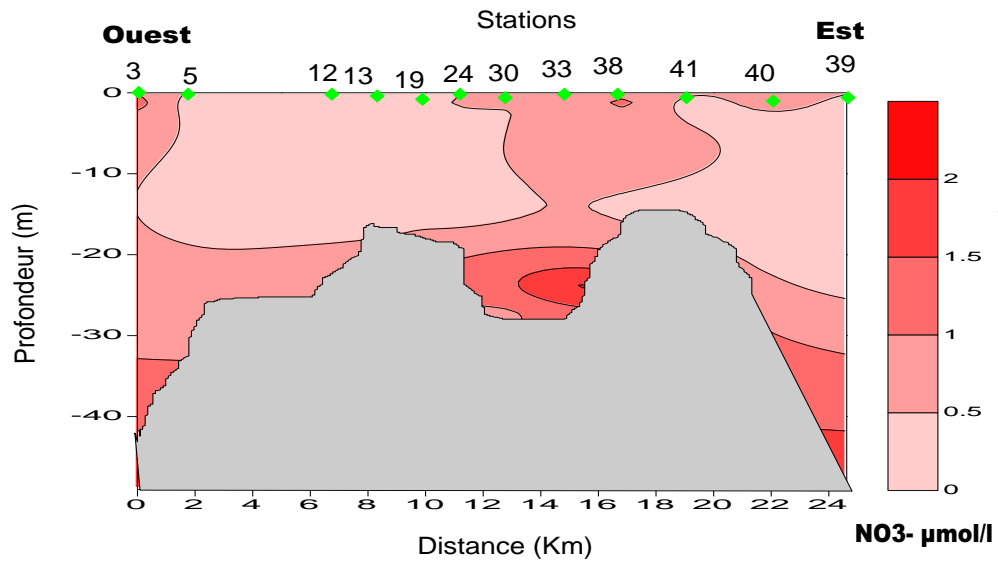


Fig 38 : Distribution verticale des nitrates le long de la section 1

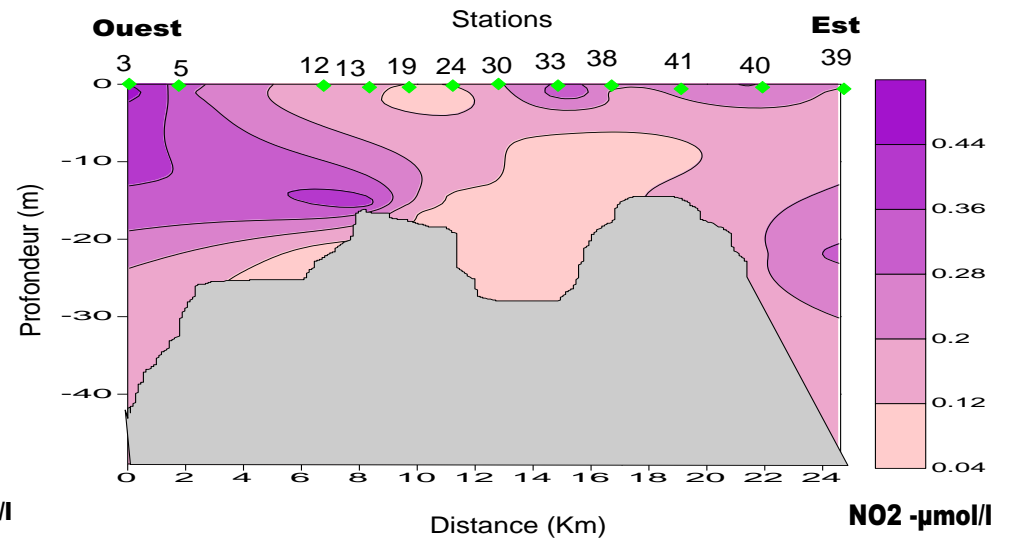


Fig 39 : Distribution verticale des nitrites le long de la section 1

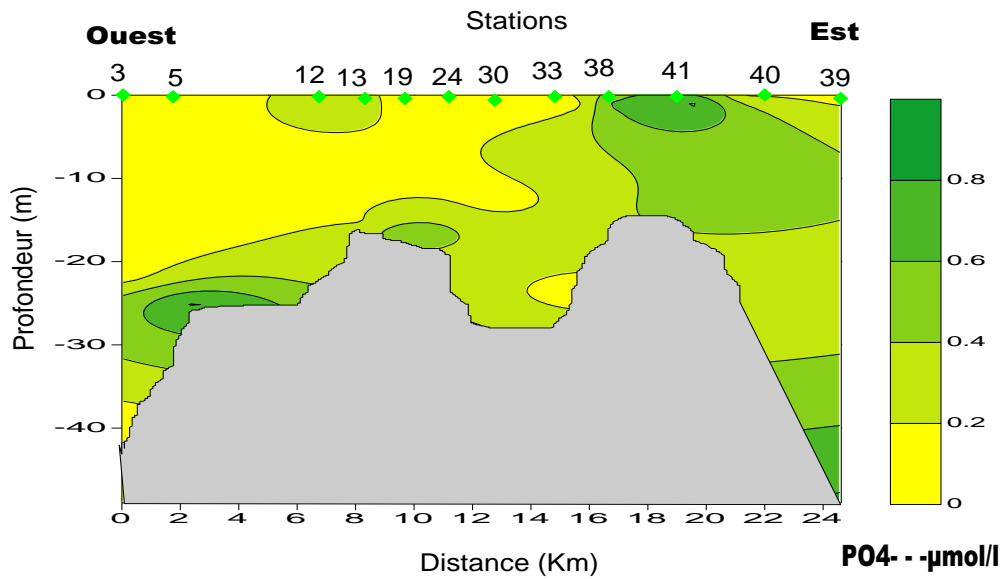


Fig 40 : Distribution verticale des phosphates le long de la section 1

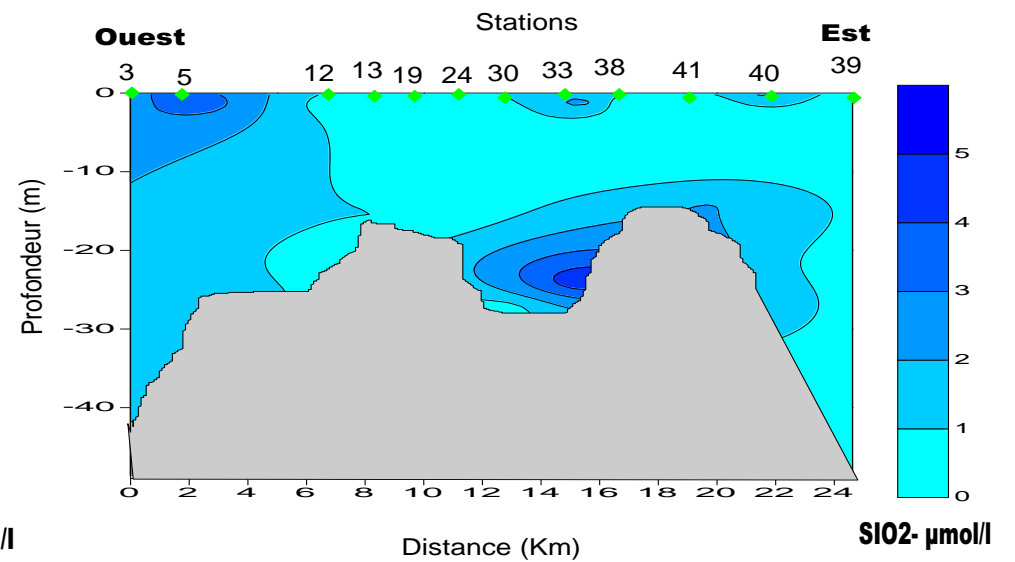


Fig 41 : Distribution verticale des silicates le long de la section 1

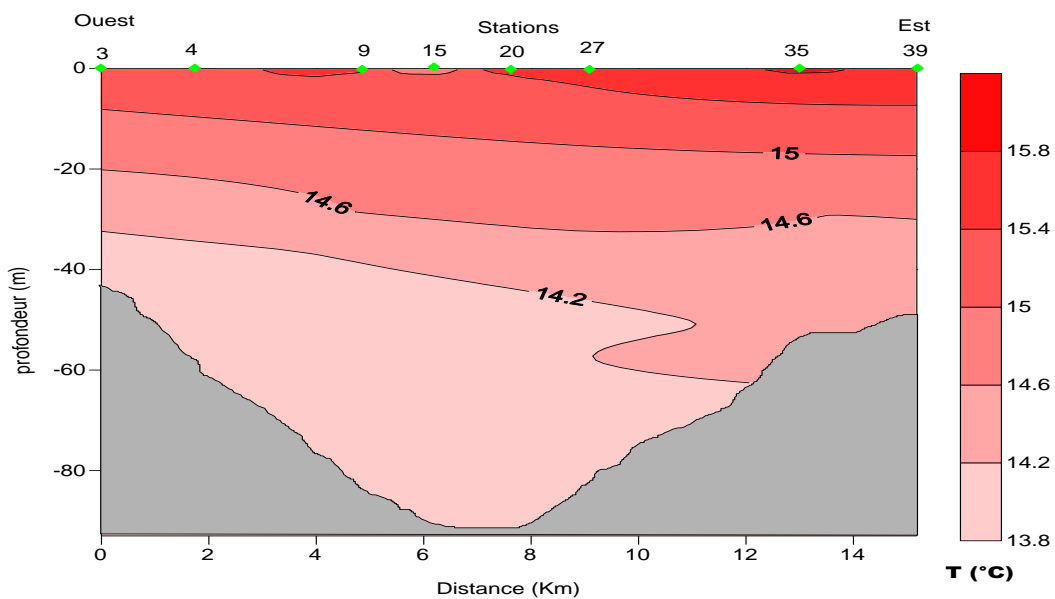


Fig 42 : Distribution verticale de la température le long de la section 2

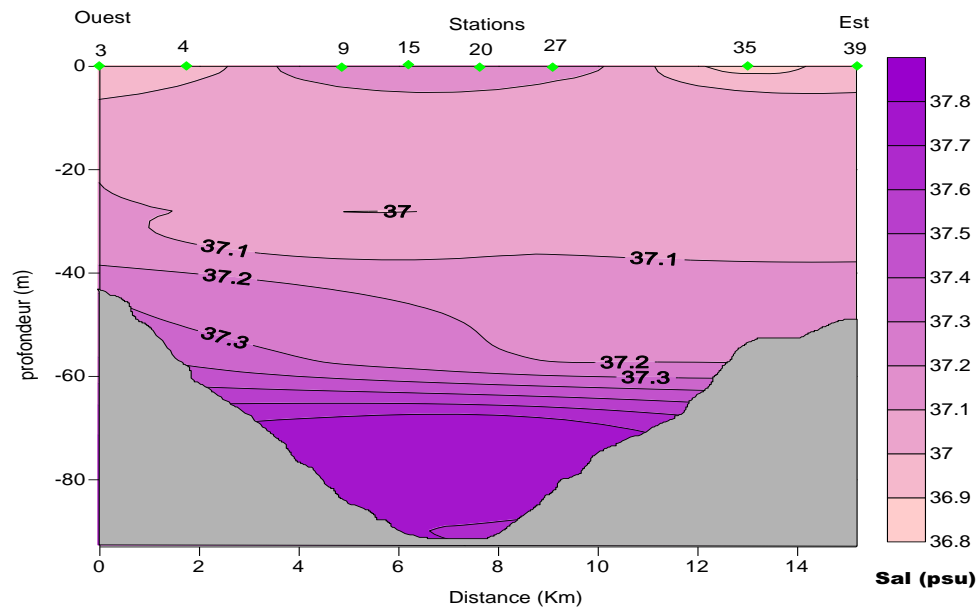


Fig43 : Distribution verticale de la salinité le long de la section 2

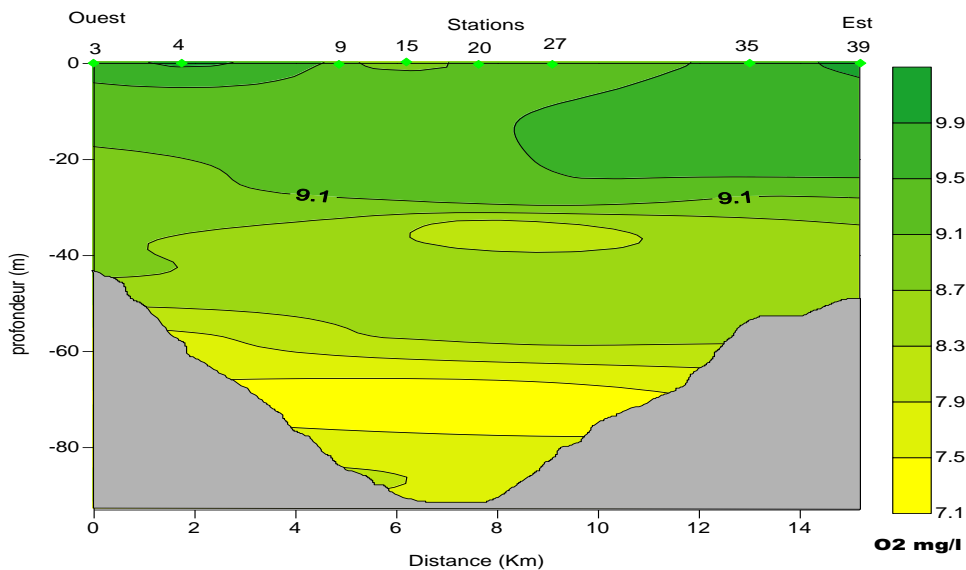


Fig44 : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section 2

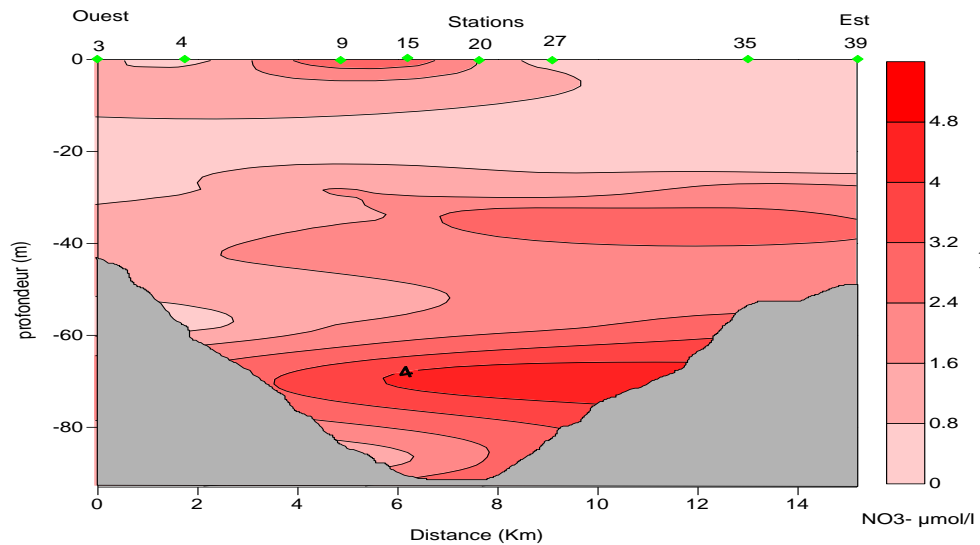


Fig 45 : Distribution verticale des nitrates le long de la section 2

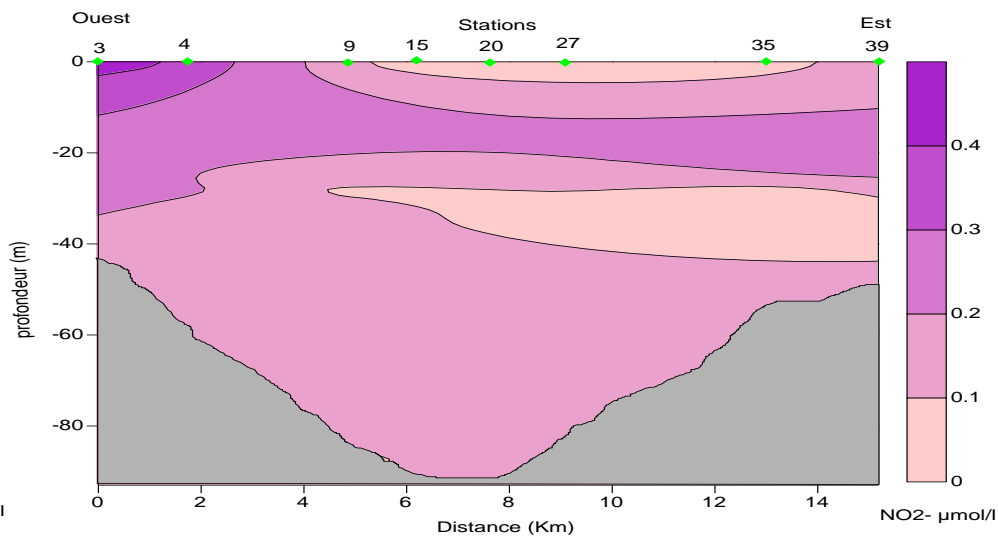


Fig46 : Distribution verticale des nitrites le long de la section 2

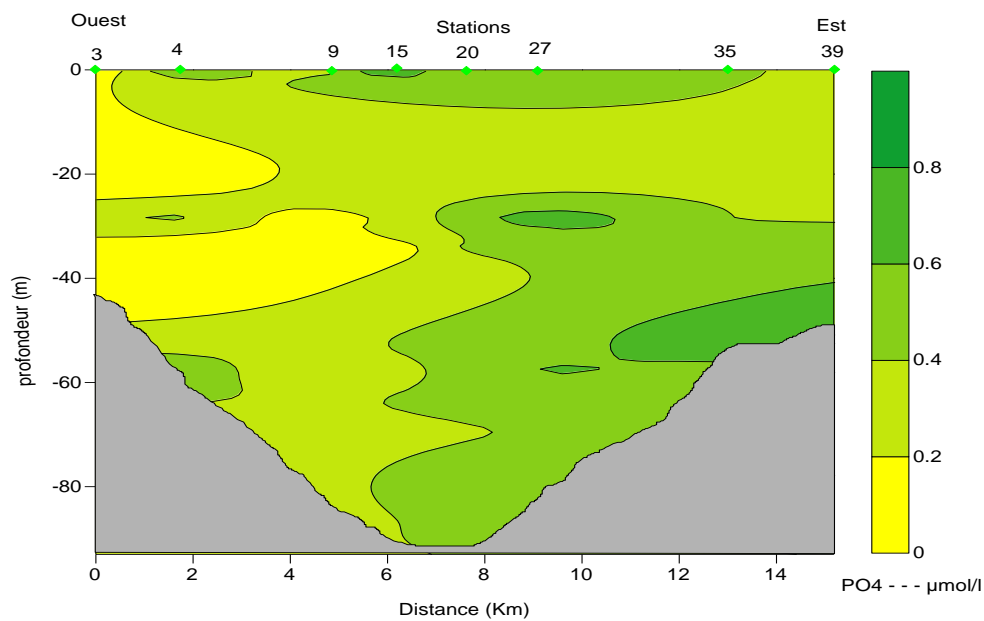


Fig 47 : Distribution verticale des phosphates le long de la section 2

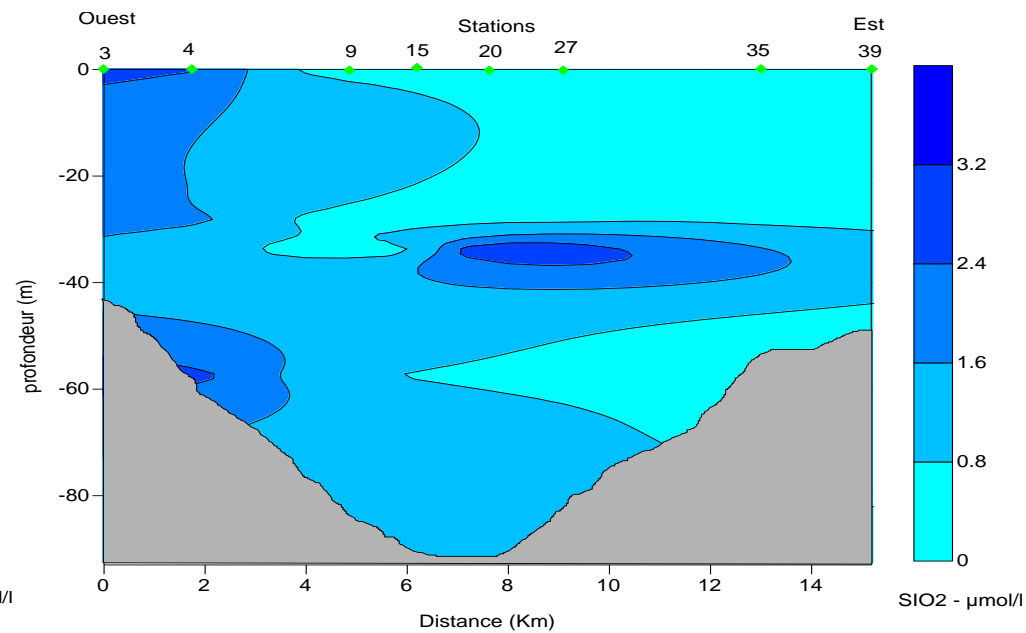


Fig 48 : Distribution verticale des silicates le long de la section 2

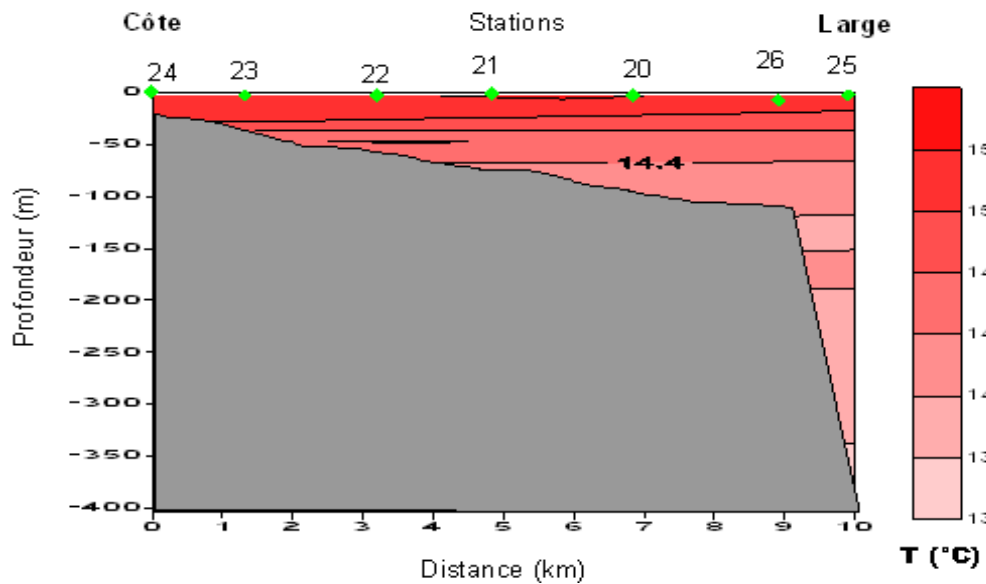


Fig 49 : Distribution verticale de la température le long de la section 3

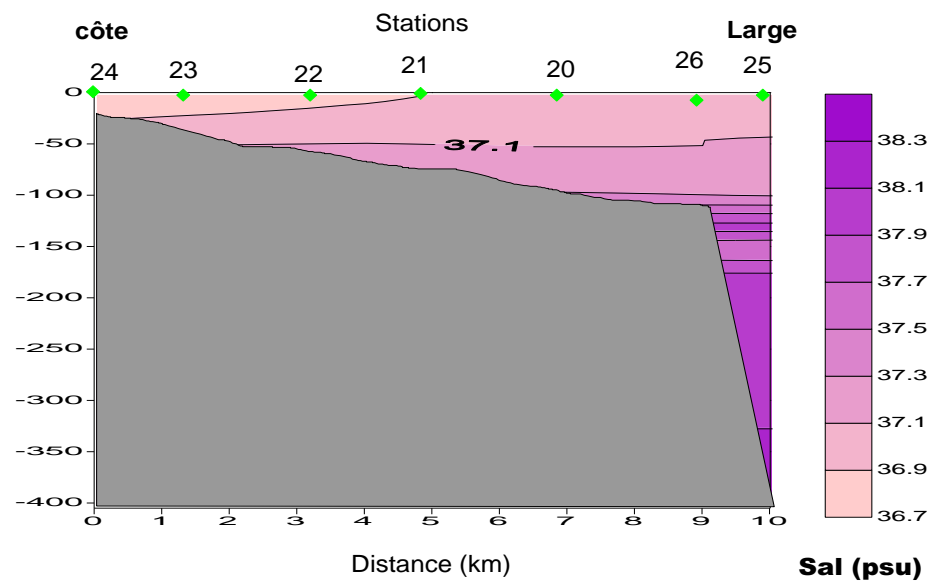


Fig 50 : Distribution verticale de la salinité le long de la section 3

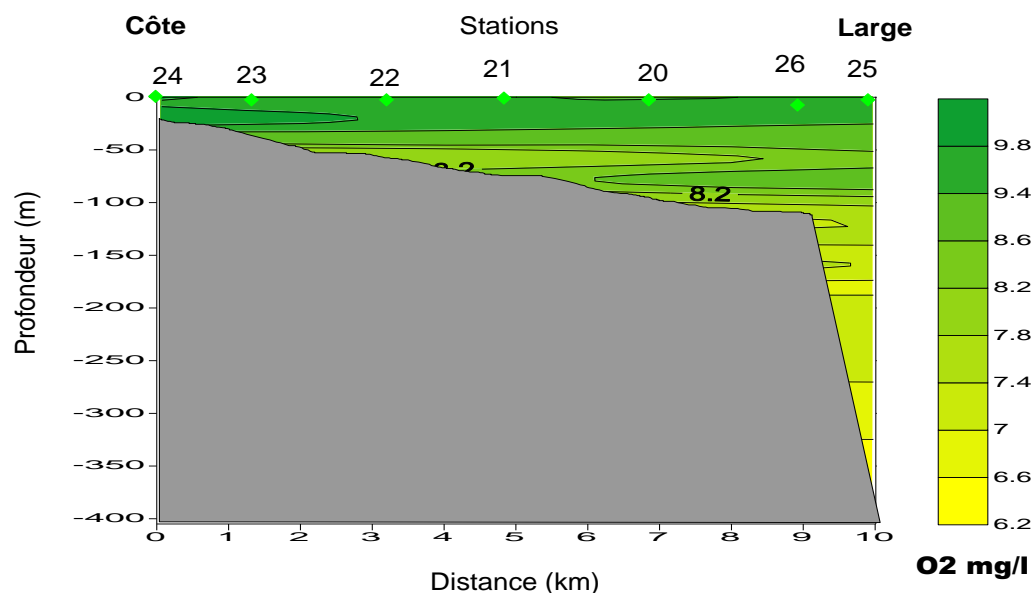


Fig 51 : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section 3

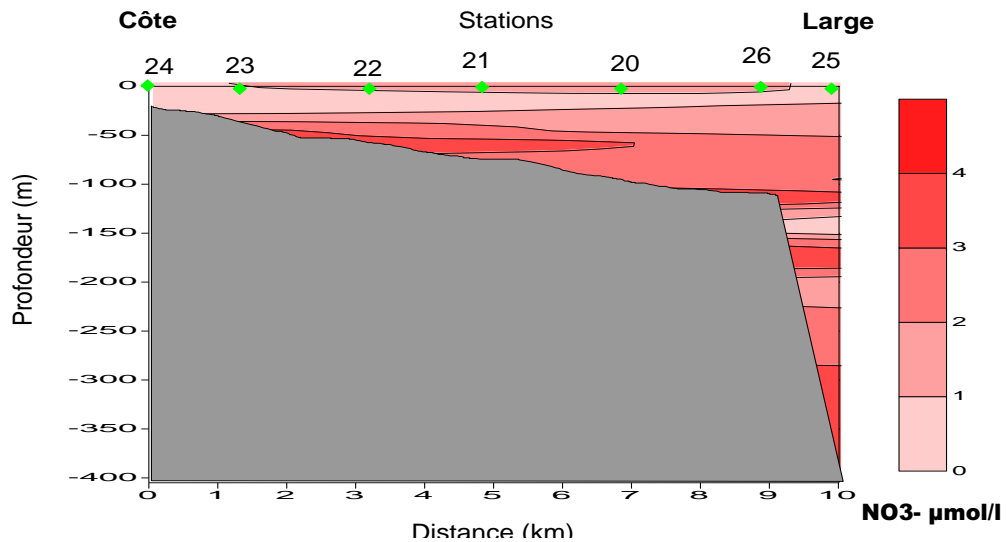


Fig 52 : Distribution verticale des nitrates le long de la section 3

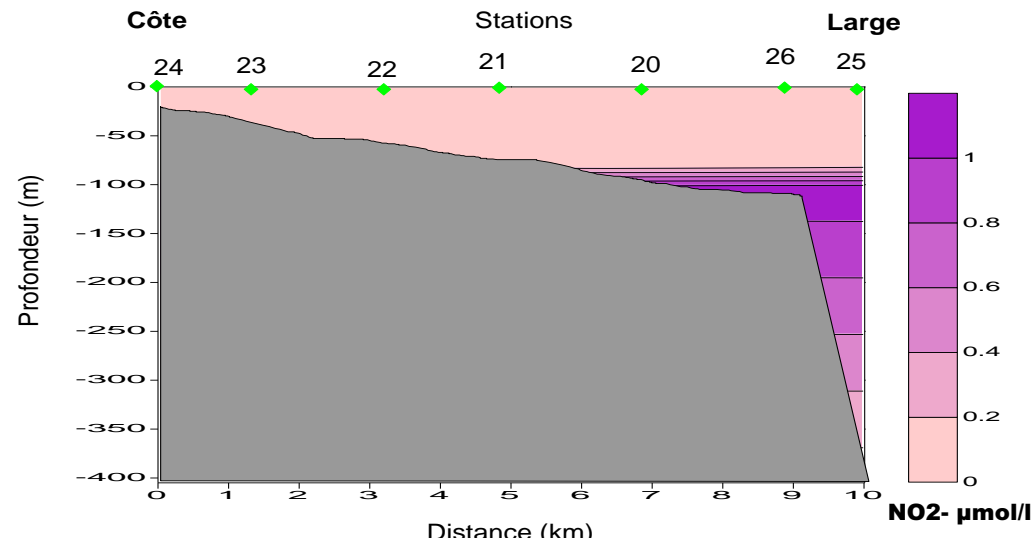


Fig 53 : Distribution verticale de nitrites le long de la section 3

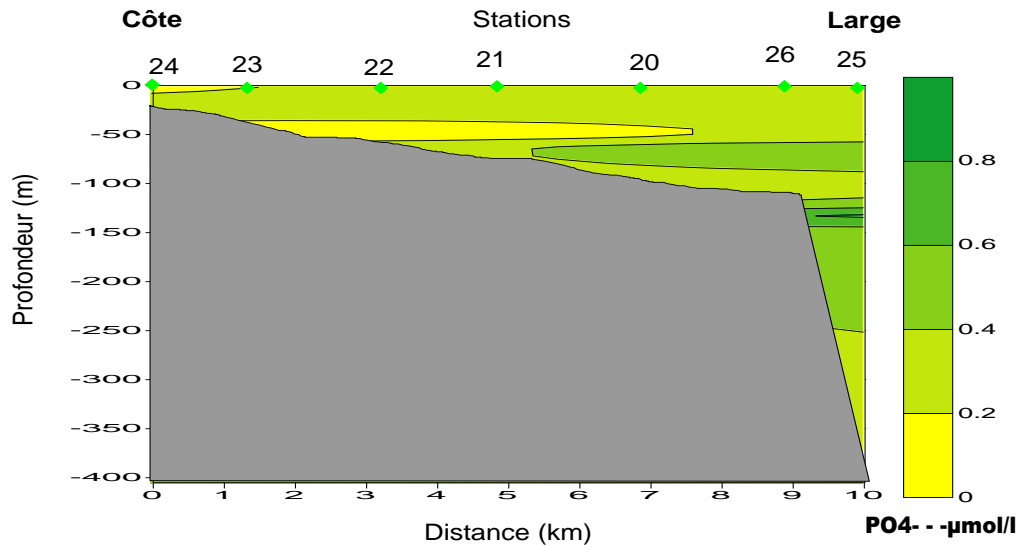


Fig 54 : Distribution verticale des phosphates le long de la section 3

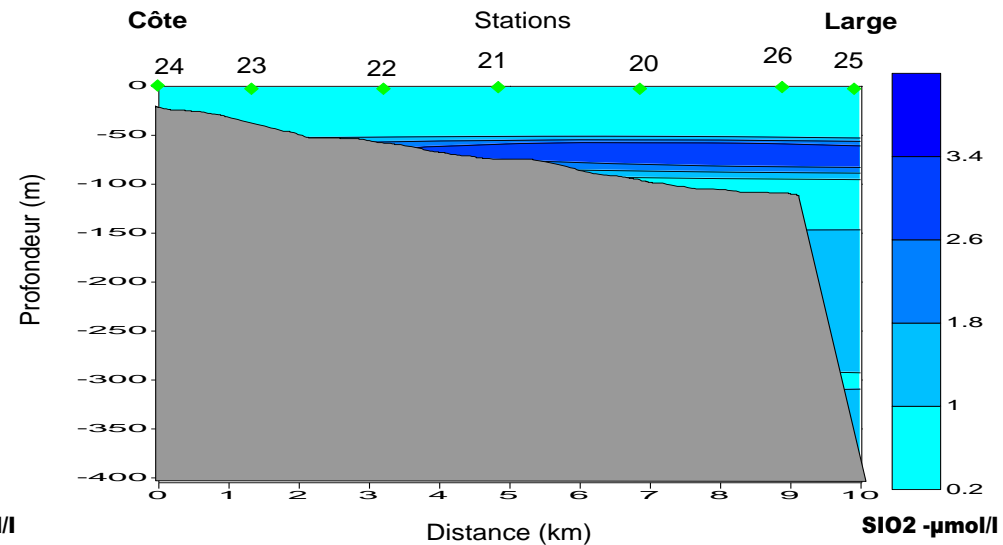


Fig 55 : Distribution verticale des silicates le long de la section 3

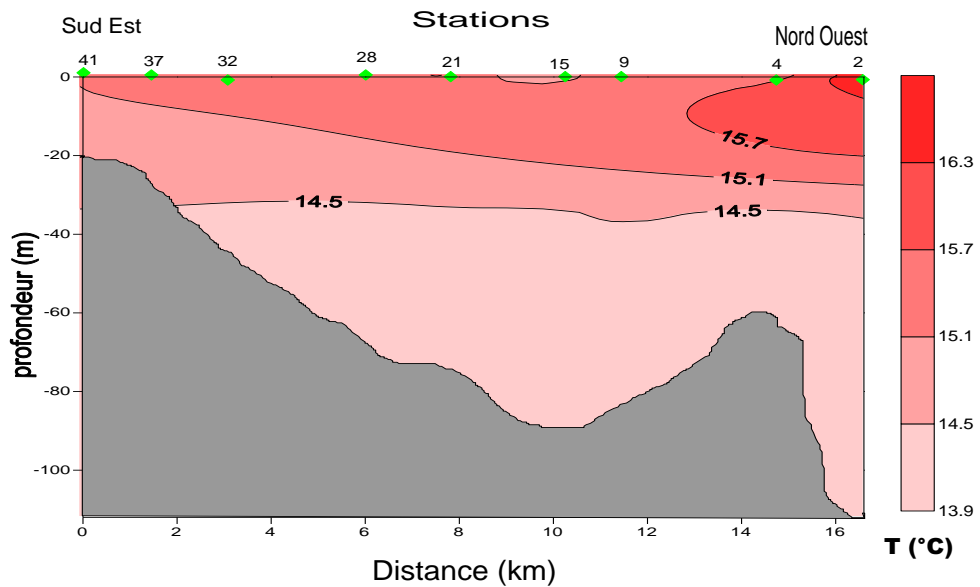


Fig 56 : Distribution verticale de la température le long de la section 4

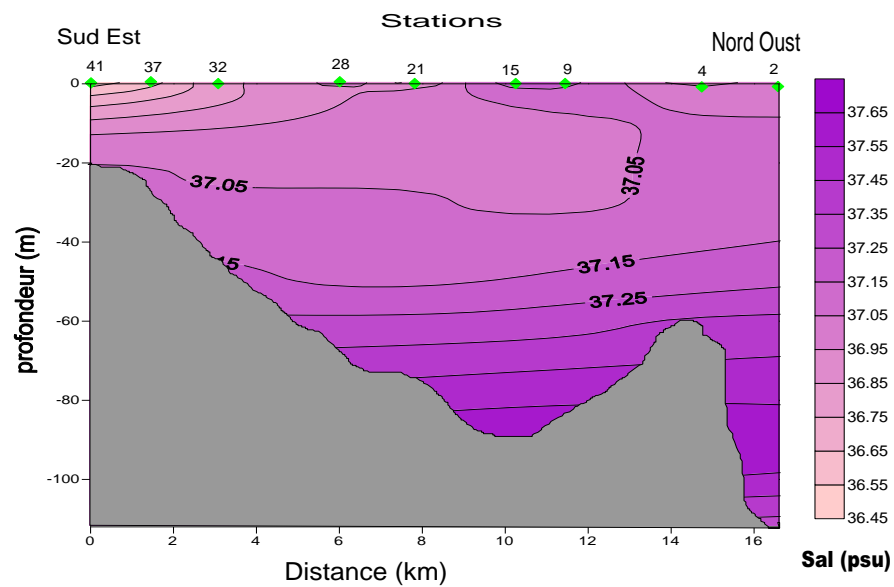


Fig 57: Distribution verticale de la salinité le long de la section 4

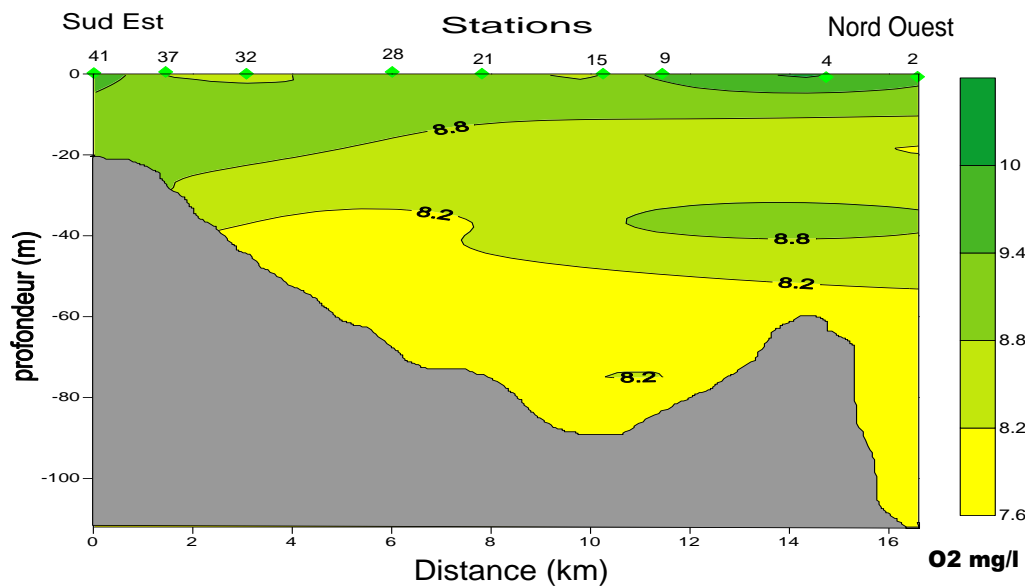


Fig 58: Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section 4

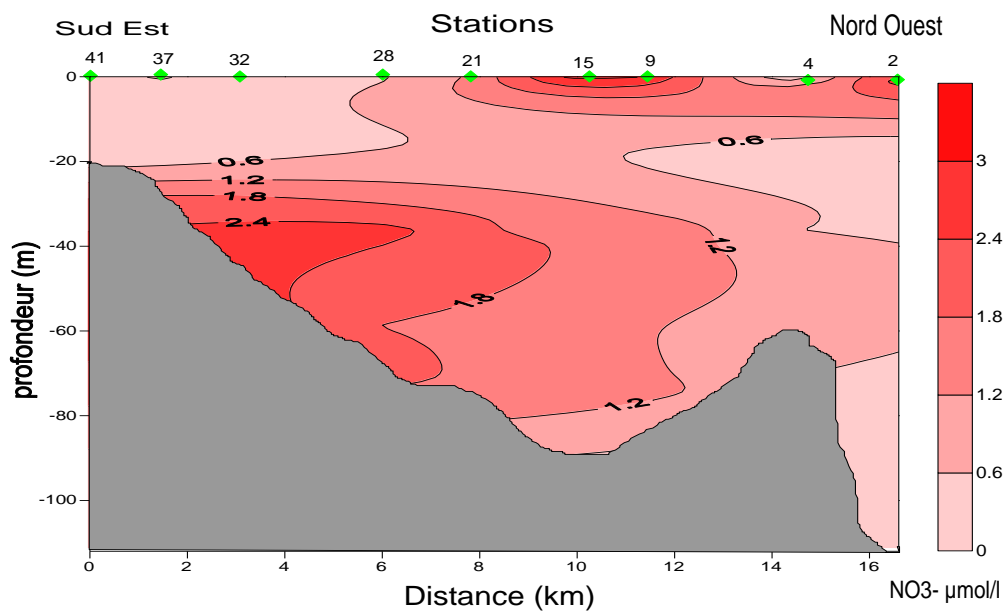


Fig 59 : Distribution verticale des nitrates le long de la section 4

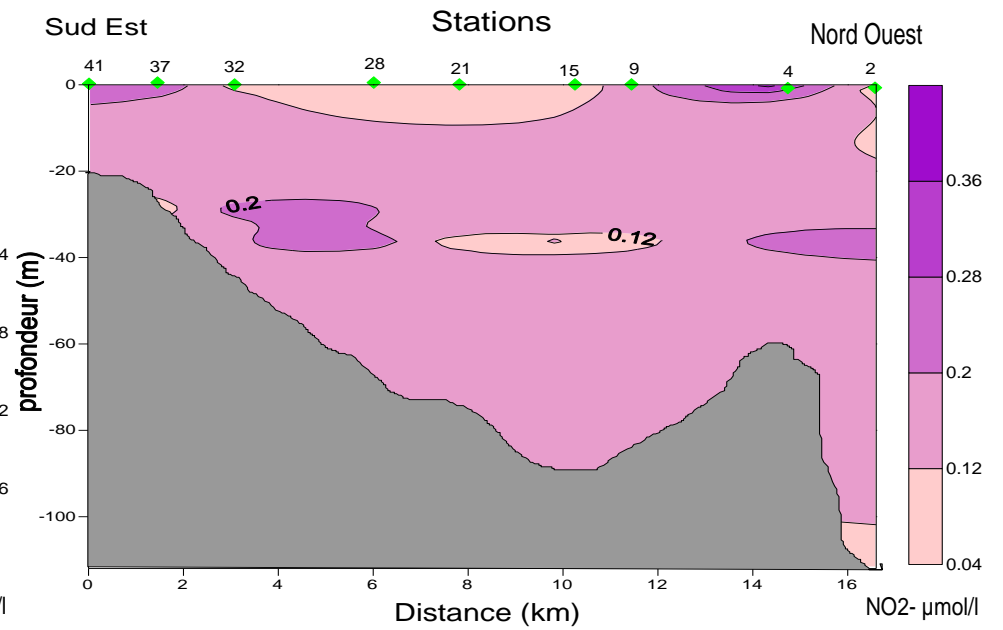


Fig 60 : Distribution verticale des nitrites le long de la section 4

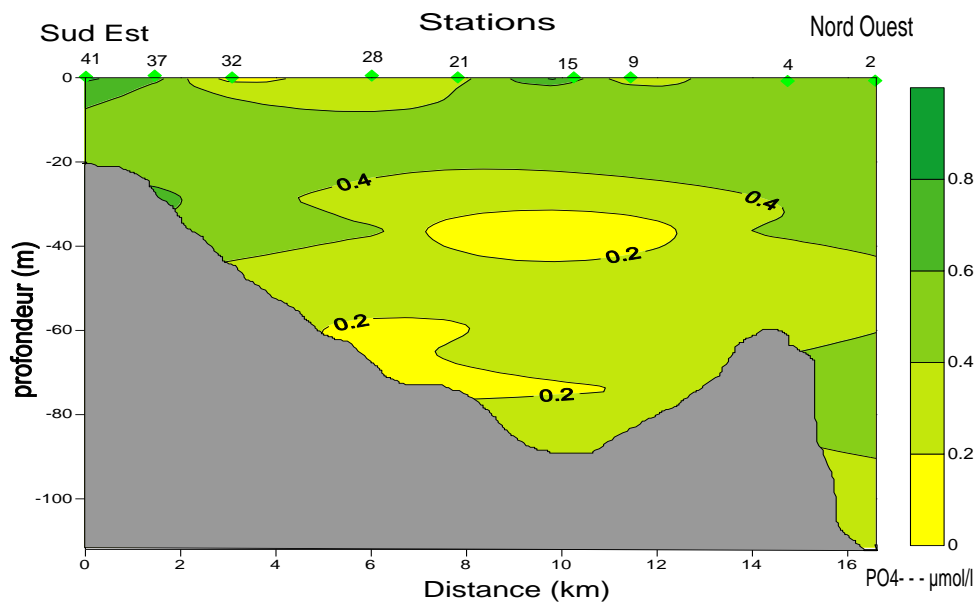


Fig 61 : Distribution verticale des phosphates le long de la section 4

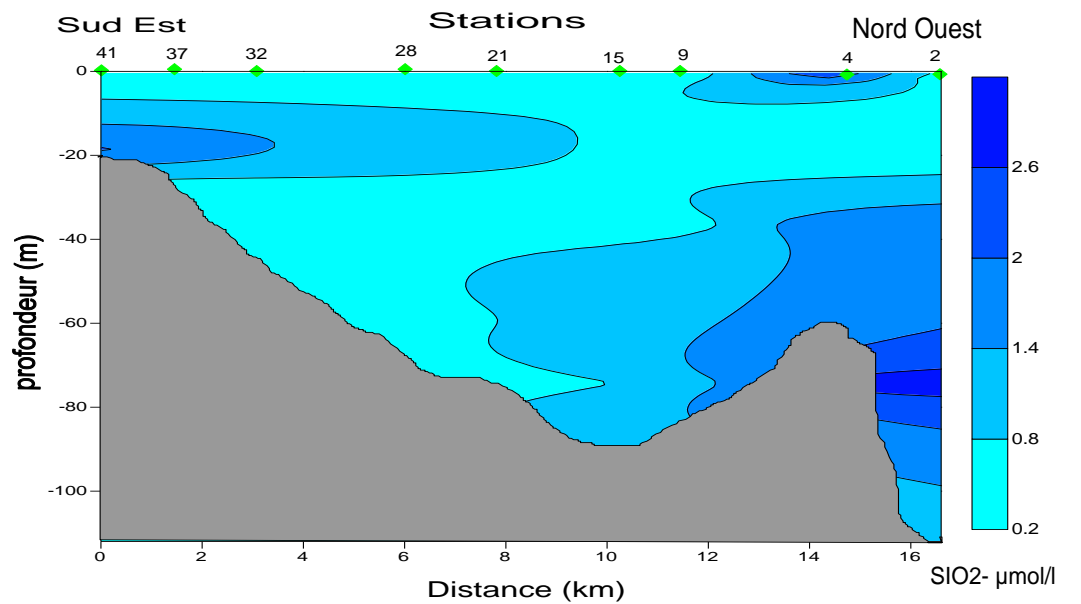


Fig 62 : Distribution verticale des silicates le long de la section 4

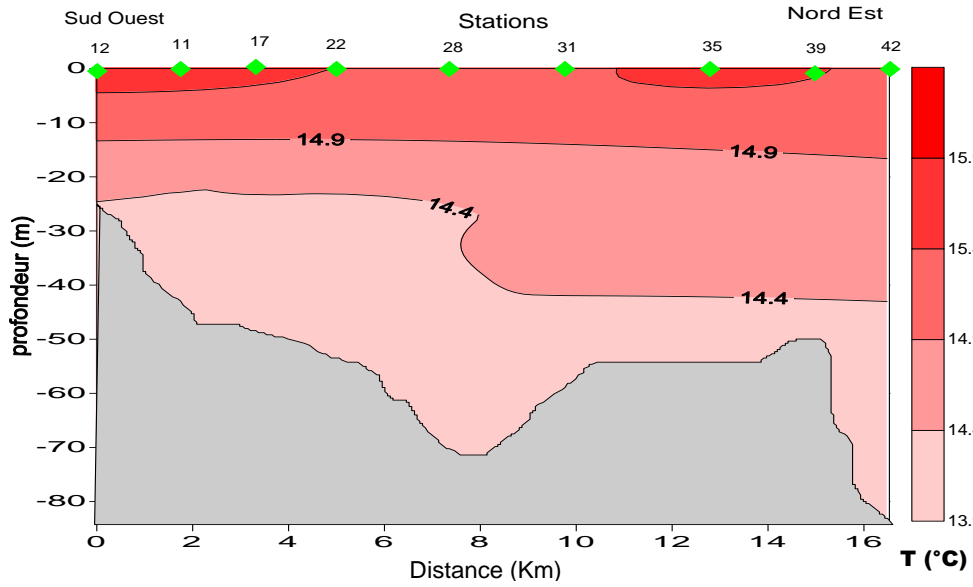


Fig 63: Distribution verticale de la température le long de la section 5

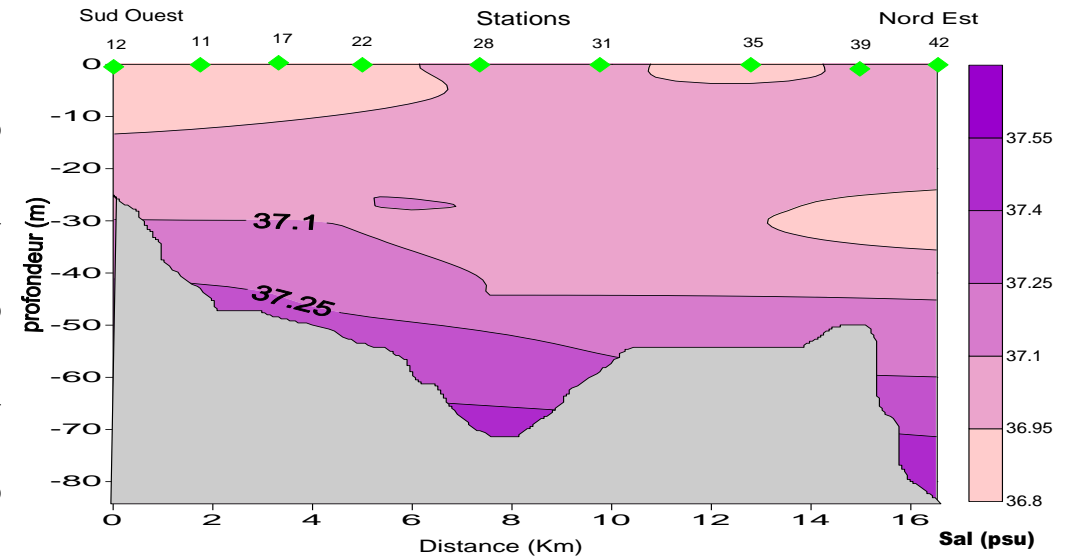


Fig 64: Distribution verticale de la salinité le long de la section 5

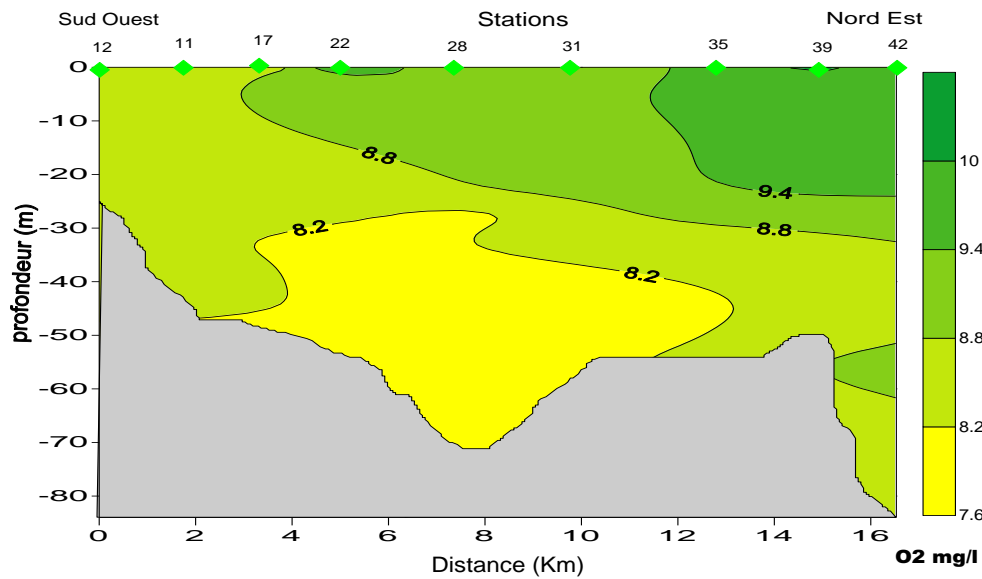


Fig 65: Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section 5

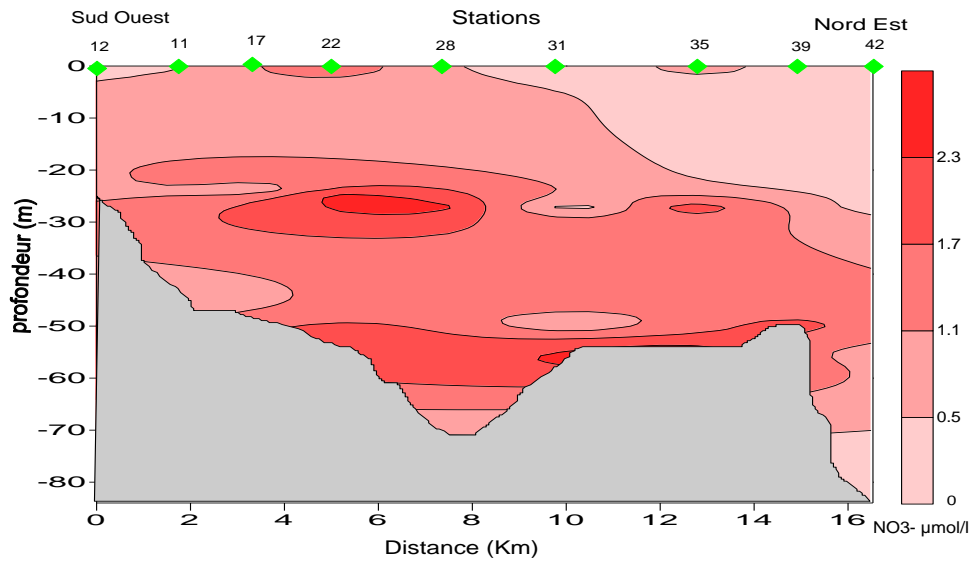


Fig 66: Distribution verticale des nitrates le long de la section 5

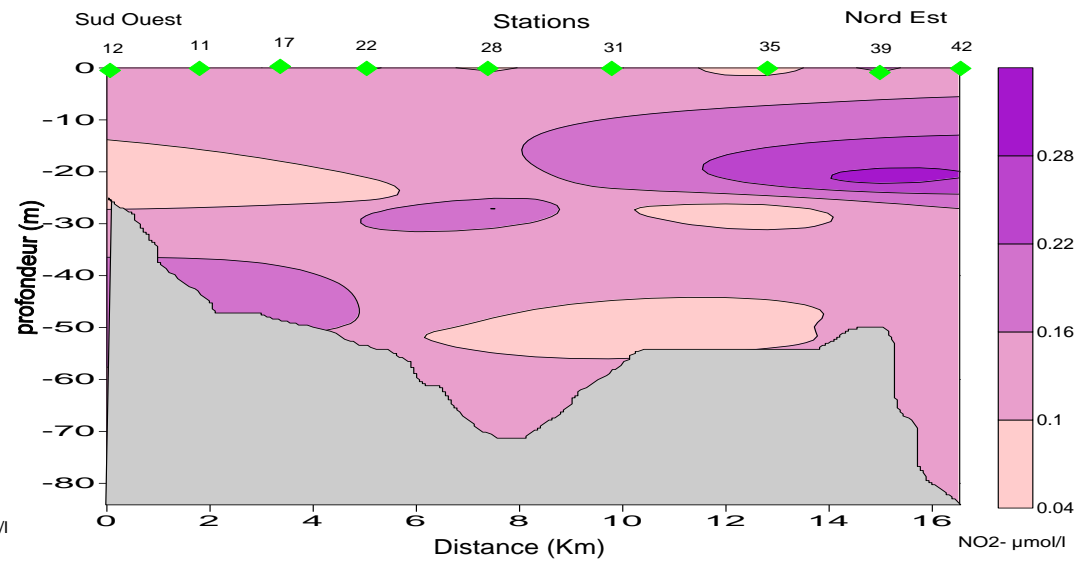


Fig 67: Distribution verticale des nitrites le long de la section 5

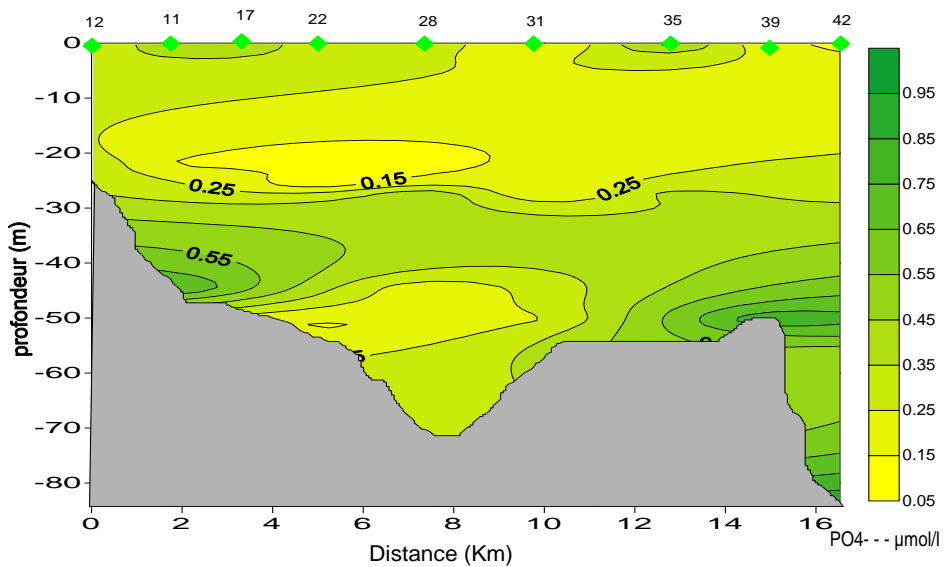


Fig68 : Distribution verticale des phosphates le long de la section 5

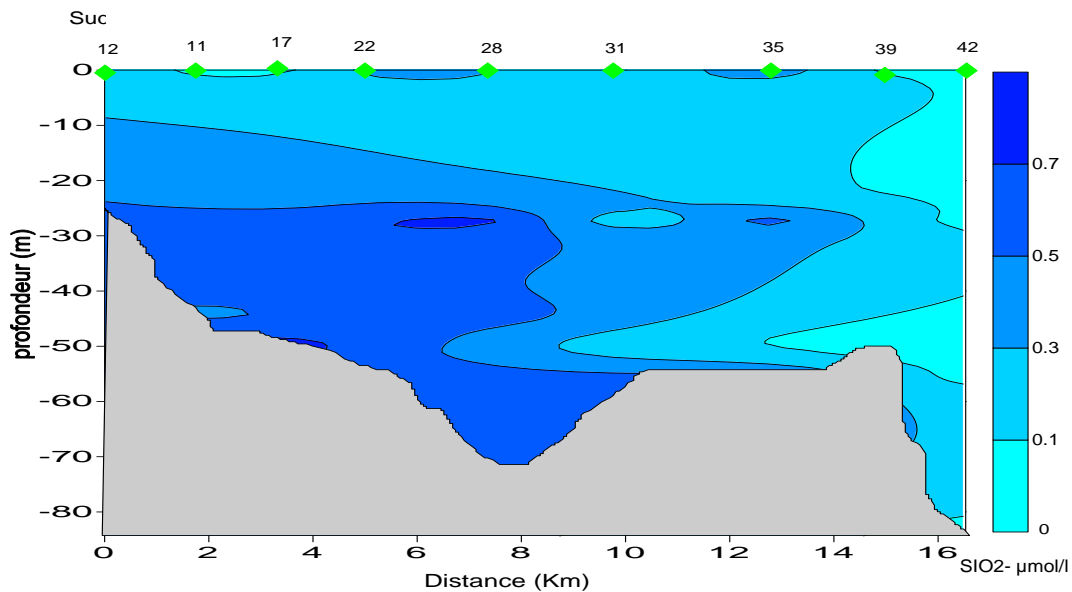


Fig 69: Distribution verticale des silicates le long de la section 5

3. Analyse binaire

L'analyse binaire est une méthode pour le traitement et l'étude des comportements d'un paramètre par rapport à l'autre dont l'objectif est la mise en évidence des relations et des dépendances qui peuvent exister entre ces paramètres.

3.1. Diagramme température-salinité (T-S)

Le diagramme température –salinité montre une relation étroite entre ces deux paramètres, ce qui reflète le brassage des eaux qui paraît important dans cette période (poste hivernale)

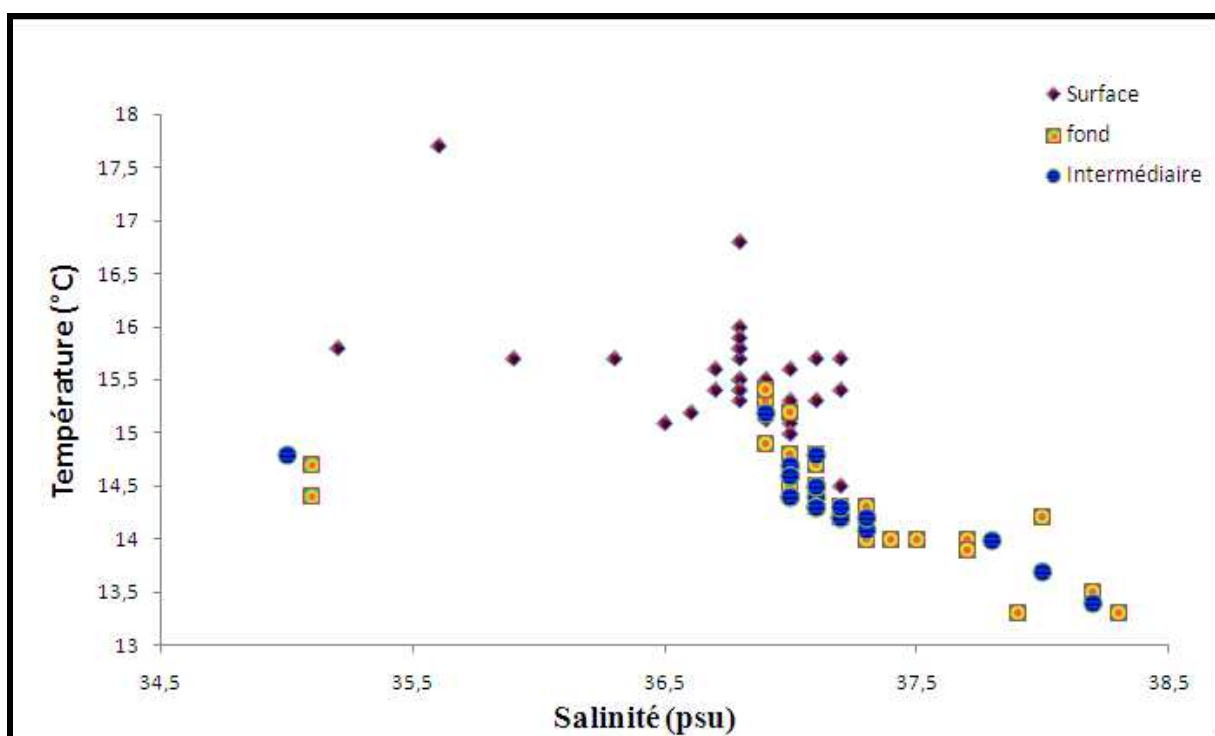


Fig 70 : Diagramme de température-salinité dans les eaux de la baie d'Alger

On peut distinguer les principaux groupes de points suivants :

- Quelques 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 oued El Harrach et el Hamiz et au niveau du port d'Alger.
- Un nuage de points qui sont étroitement liés entre eux renseigne sur le mélange important des eaux dans la période poste hivernale. Ce nuage 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.
- Le troisième nuage de points est formé uniquement de 4 points qui correspondent à la station 25 à 100 et 200 m, la station 1 à 170 m, la station 14 à 170 m.

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 (surtout au fond de la station 25). Cette masse d'eau ne se manifeste jamais en surface dans notre étude. Elle peut représenter la base de l'Eau Atlantique Modifiée (MAW) à la limite supérieure de la Levantine Intermediate Water (LIW).

3.2. Diagramme de corrélation nitrates-phosphates

La corrélation entre les nitrates et les phosphates donne une distribution totalement diffuse où, on ne peut pas nuancer une linéarité ($r = 0,08$) (figure 71). Cette distribution semble montrer qu'il n'y a aucune dépendance entre les deux paramètres. En effet, ces deux paramètres sont connus pour leurs distributions et leurs comportements totalement dépendants dans les conditions naturelles. Plusieurs travaux montrent ceci et le plus célèbre et de référence est celui de Redfield et al. (1963).

Cette distribution et ce comportement de ces deux paramètres dans la baie d'Alger peuvent résulter de l'influence continentale avec la multiplicité des sources de pollutions d'origines et d'importances différentes. Ceci peut être accentué par le mélange qui affecte les eaux de la baie et qui peut être faible à modéré.

En effet, à travers l'étude de la distribution spatiale, nous avons pu montrer l'influence des sources de pollution, notamment le port d'Alger, l'oued El Harrach, l'oued El Hamiz ... A cela s'ajoute l'eau de résurgence côtière de faible importance et qui est moins claire.

Cette distribution montrée par la figure 71 ne permet pas d'estimer une valeur pour le rapport N/P. Au paravent, Eddalia 1989 et Boulahdid et al. (2003) ont montré que ce rapport dans la baie d'Alger est de $N/P = 1,6$, qui est dix fois plus faible que celui de Redfield et al. (1963). Ces auteurs attribuent la faiblesse de ce rapport aux apports anthropiques continentaux en phosphates. La situation actuelle peut être la même avec une accentuation et la multiplication des apports anthropiques. On peut aisément supposer que le rapport actuel est encore plus faible.

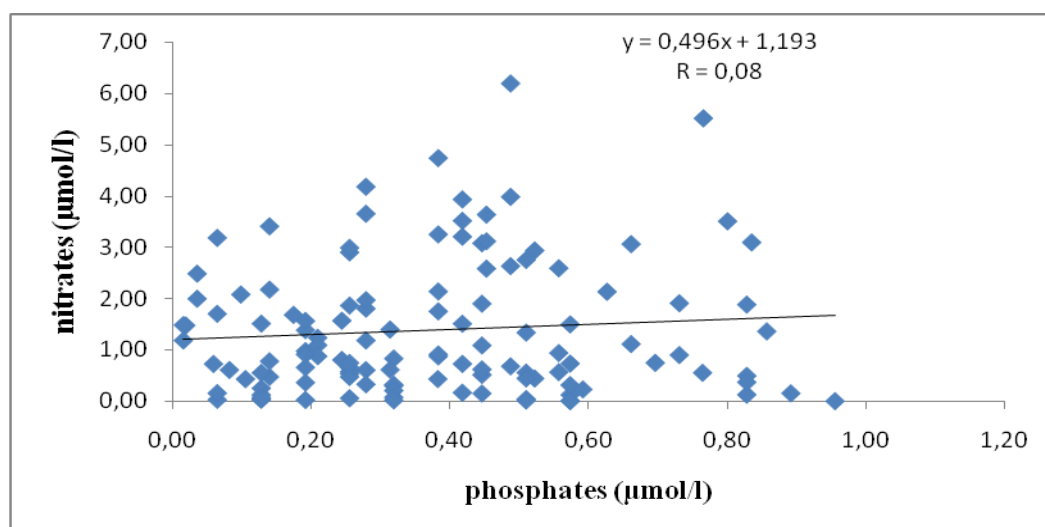


Fig71 : Diagramme de corrélation nitrates-phosphates

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le suivi de l'évolution de l'hydrologie de la baie d'Alger par l'acquisition de nouvelles données des paramètres physicochimiques et des sel nutritifs dans le cadre du projet de recherche intitulé '*Etude de la Fertilité et de la pollution dans les côtes et le bassin algérien*'. Ainsi, nous avons tenté de réaliser une étude analytique portant sur la distribution des paramètres mesurés par l'établissement des cartes de distributions spatiales horizontales et verticales et des diagrammes de corrélation.

La baie d'Alger est le siège de mélange entre trois masses d'eaux d'origines différentes représentées principalement par les eaux Atlantiques modifiées qui occupent presque toute la baie, ainsi les eaux profondes qui se manifestent au fond de quelques stations situées vers le large. Enfin, une eau d'origine continentale qui se localise au niveau des embouchures des deux Oued El Harrach, El Hamiz et le port d'Alger ...

Cependant, on a pu nuancer les traces des petites remontées d'eaux profondes d'importance faible au niveau du centre et cotée du large de la baie et la partie Sud Ouest de la baie. Ceci peut être du au brassage important des eaux enregistrée dans cette période (poste hivernale) supporté par le diagramme T-S, contrairement à la situation en 1989 où Eddalia avait défini une remontée d'eau bien identifiée au centre de la baie.

Les concentrations en sels nutritifs et leurs distributions évoquent des apports continentaux certains par les Oueds El Harrach et El Hamiz et profond par des petites remontées d'eau observées. En outre, nous constatons que les teneurs en phosphates sont relativement élevées et dépassent mêmes celles trouvées par Eddalia en 1989. Elles sont du à l'influence importante des polluants polyphosphatés drainés par les oueds, notamment celui d'El Hamiz. Ce processus doit avoir une influence importante sur la très mauvaise corrélation observée entre les nitrates et les phosphates et est certainement à l'origine de la valeur du rapport N/P qui doit être très faible.

La zone du port montre des concentrations élevées en sels nutritifs avec un maximum de température et un minimum de salinité et d'oxygène dissous. Ceci peut évoquer une forte pollution dans ce milieu quasiment fermé.

D'une manière générale, on peut dire que la baie d'Alger est soumise à l'influence directe de deux milieux différents. D'une part, elle subit l'influence de la ville du grand Alger constituant ainsi un déversoir des eaux usées avec une importante charge polluante notamment par les phosphates. D'autre part, elle est soumise à l'influence des eaux du large gouvernée par le courant Algérien, d'où les eaux relèvent des caractéristiques de celle d'origine Atlantique et la nuance de résurgences côtières.

Enfin, cette étude limitée dans le temps et dans l'espace ne permet certainement pas de définir l'importance de la pollution dans la baie. Par contre on peut conclure aisément que l'impact anthropique sur la baie d'Alger s'est accentué depuis 1989.

Une étude comparative plus détaillée entre celle ci et celle réalisée en 1989 par Eddalia permettra certainement de révéler d'autres détails. Un essai d'application de modèles sur ces études permettra certainement une meilleure compréhension du fonctionnement des eaux de la baie et d'établir peut un être un modèle de circulation et une stratégie d'observation et de suivi de l'évolution de la baie dans le temps et dans l'espace.

En parallèle à cela, un approfondissement de connaissances sur le comportement des eaux du large et les résurgences côtières et aussi sur les apports continentaux et leur qualification avec la charge polluante, contribueront à la compréhension des phénomènes qui se déroulent au sein de la baie d'Alger.

Références bibliographiques

Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Centre Nationale de Recherche Appliquée en Génie Parasismique ; 2006, Etude de Microzonage sismique de la Wilaya d'Alger, *Rapport intermédiaire*.19p

Aichiou L., 2006. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de baignade des deux plages de la commune de Bab El Oued : R'mila et Kittani, *Mémoire d'ingénieur en environnement marin, ISMAL*, 73p

Aminot A. et Chaussepied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edt. CNEXO, Brest. 395P

Aminot A. et Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses. Edt. Ifremer, 336p.

Arnone A.R. & La violette P.E., 1986. Satellite definition of bioptical and thermal variation of coastal eddies associated with the African current. J. Geophys. Res., 91 (C2) : 2351-2364.

Assou A., 1982. Contribution à l'étude des polluants métalliques chez les moules Perna-Perna (L) dans la région d'Alger. *Mémoire de magistère en océanographie biologique, université d'Aix-Marseille II*, 138 p.

Belkessa. R ; 2005 : Les ports algériens : ensablement et pollution par les métaux lourds et dragage, *thèse Doctorat, Université de Constantine Faculté des Sciences de la Terre*, 425 p.

Benschneider K. et Robinson R. J., 1952. A new spectrophotometric method. *FAO Fisheries Technical Paper*: 137-238.

Benzohra M. et Millot C., 1995. Characteristics and circulation of surface and intermediate water masses off Algeria. *Deep-sea research I. Vol. 42, 10, 1803-1830*.

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*.

Bouamama N. et Deghou M., 2003. Caractéristiques physico-chimiques et niveaux de fertilité des eaux de la baie d'Alger en période hivernale. *Mém. d'Ing. D'état en chimie marine et pollution, ISMAL*, 96 p.

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

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

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

Charakdji F., Djenedi. R. et Ifaidi. F., 2006 : Etat du littoral de l'Est Algérois Bordj El Kiffen Et Bordj El Bahri (causes et conséquences de l'érosion). *Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL. 59 p*

Copin-Montégut G., 1996. Chimie de l'eau de mer. *Collection «synthèse». Edit. Institut Océanographique de Paris 290-292P.*

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

Frontier S. et Pichod-Viale D., 1998. Structure – Fonctionnement – Evolution. *DUNOD, Paris, 447 p.*

Gaujous D, 1995. La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire. *Technique et documentation. 40-41 p*

Guellati A., 2003 . Les paramètres physicochimiques et les sels nutritifs dans les eaux de littoral Algérois. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, 84p*

Haffersas A., 1996. Composition et distribution des peuplements de Copépodes pélagiques du bassin algérien en relation avec les structures hydrodynamiques (Campagne Médiproduct VI Juin 1990). Thèse de magister, ISN / USTHB, Alger : 245p.

Hamaoui L. ; 2006. Étude de variations spatiotemporelles des sels nutritifs, oxygène dissous, chlorophylle dans le bassin Algérien. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL 53p*

Idjer S., Larid M. & Baazizi A., 1997. Etude d'un aspect de la pollution à l'embouchure de l'oued El-Harrach : paramètres physico-chimiques et microflore. *S.h.n.a.n. Tome 72. 91-102.*

Jacques G. et Tréguer, P., 1986. Ecosystème pélagique marin. *Collection d'écologie.19. Edt. Masson. Paris. 243P.*

- Jeandel C., 1998.** Les humeurs de l'océan. Les particules. *Edt Française des scientifiques Américains* : 58- 60
- Kessouri F., 2008.** Mise en œuvre d'une base de données SIG pour le calcul des indicateurs de durabilité sur des communes de la zone du P.A.C (Littoral algérois). *Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL.*
- Laboratoire d'Etudes Maritimes, 2006.** Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger.
- Lacaze J-C., 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte. *Edt Ellipses, 191 p*
- Leclaire. L; 1972** : la sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléaires. (Precontinent algérien). *Mémoire du muséum nationale d'histoire naturelle.* Série C. Tome 241, *Ed Masson.Paris.*391 p.
- Mallem M.T. et Benoud Dj., 1991.** Contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. *Mémoire de Technicien Supérieur, ISMAL, 60p.*
- Maouche S., 1987.** Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'Alger, approche sédimentologique, géochimie et traitement statistique. Thèse de Doctorat spécialité océanologie, université de Perpignan, 213p
- Millot C., 1985.** Some features of the Algerian Current. *Journal of Geophysical Research,* 90: 7169-7176.
- Minster J.F. et Boulahdid M., 1987.** Redfield ratios a long isopycnal surfaces- a complementary study. *Deep Sea Res,* Vol. 34, 12, 1981-2003.
- Mullin J. B. et Riley J. P., 1955.** The spectrophotometric determination of silicate-silicon natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta,* 12 : 162-170.
- Murphy J. et Riley J. P., 1962.** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chim. Acta,* 27: 31-36.
- Murphy J. et Riley J. P., 1962.** A modified single method for determination of natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta,* 12 : 162-170.
- Ottmann F., 1965.** Introduction à la géologie marine et littorale. *Edition Masson, Paris.* 259p

Programme d'Aménagement Côtier Algérois (PAC). , 2004. Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoa. Bilan et diagnostic, partie I caractéristiques physiques, *Projet PAC/ MATE-PAM/CAR ASP*, 64p

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

Raimbault, P.,M Rodierandl. Taupier-letage.1988.Size fraction phytoplankton in the ligurian sea and Algérian bassin (Mediterranean sea) : size distribution versus total concentration. *Mar. Microbial food webs*, 3,1-7

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 et al. 1996. L'analyse de l'eau : eau naturelle, eaux résiduelles, eau de mer. *Edt Dunod, Paris*. 1383p.

Seridji R., 2000. Cours d'études avancées : Gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée. Commission européenne, Nice-France, 17p.

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

Tréguer P. Le Corre P. 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. (*Utilisation de l'auto analyseur II technicon (2^{ème} édition), laboratoire d'Océanographie. Chimique, 110 p*

Tréguer P., Delmas R. et le Jehan S., 1985. Conservativité de la distribution des matières nutritives et organiques, dissoutes et particulaires, en écosystème marin et estuarien. *Macrotidal., Océanis, Vol. 11, Fasc.3:169-180.*

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.

Sites web consultés

www.tutiempo.net

www.skalar.fr/pr_san.htm

Dosage des nitrites + nitrates

I- Réactifs

1-1- Solution tampon

Produits chimiques exigés :

Chlorure d'ammonium NH_4Cl	50 g.
Solution d'ammonium NH_4OH (25 %).....	± 1 ml.
Hydroxyde de sodium NaOH	5 g.
Eau distillée H_2O	1000 ml.
Bridj 35 (30 %).....	3 ml.

Préparation

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 8,2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

1-2- Réactif colorant

Produits chimiques exigés :

Acide o-phosphorique H_3PO_4 (85 %).....	50 ml.
Sulfanilamide $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$	10 g.
α - Naphthyléthylène diamine dihydrochloride $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$	0,5g.
Eau distillée H_2O	850 ml.

Préparation

Diluer l'acide o-phosphorique dans ± 750 ml d'eau distillée. Ajouter le sulfanilamide et le α - Naphthyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 2 semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

1-3- Liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H_2O (régénérée chaque semaine).

II- Préparation des solutions étalons

2-1- Solution mère de 100 ppm N (*)

Produits chimiques exigés :

Nitrate de sodium NaNO_3	0,6068 g.
Eau distillée H_2O	1000 ml.

Préparation

Dissoudre le nitrate de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

2-2- Solution fille de 10 ppm N

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

Note : Préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standards chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{moles/l}$ de N-NO_3^- ou de N-NO_2^- puis en $\mu\text{moles/l}$ de NO_3^- ou de NO_2^- .

III- Préparation de la colonne réductrice

3-1- Solution d'acide chlorhydrique (4N)

Produits chimiques exigés :

Acide chlorhydrique HCl (32 %).....400 ml.

Eau distillée H_2O600 ml.

Préparation : Diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

3-2- Cadmium

Produits chimiques exigés :

Granules de cadmium taille 0,3-1,0 mm (tamisé).....2,5 g.

Procédure de remplissage :

1- Les granules de cadmium sont mélangées avec ± 30 ml de la solution d'acide chlorhydrique (4N).

2- Agiter pendant 1 minute.

4- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes.

5- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée.

6- Sécher les granules de cadmium.

7- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne des deux côtés.

8- Remplir jusqu'à ± 5 mm du sommet.

9- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne.

10- Remplir la colonne, à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif 1-1 préparé précédemment).

11- Placer la colonne dans le système.

Note : Eviter que l'air rentre dans la colonne.

Les granules de cadmium activés peuvent être stockés sec, dans une bouteille bien fermée.

Dosage des orthophosphates

I- Réactifs

1-1- Solution de molybdate d'ammonium

Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et d'antimoine

$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$230 mg.

Acide sulfurique H_2SO_4 (97 %).....69,4 ml.

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

Eau distillée H_2O1000 ml.

FFD6.....2 ml.

Préparation

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note :

Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml. Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10 % pour 10 ppb P. Le pH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

1-2- Solution d'acide ascorbique**Produits chimiques exigés :**

Acide ascorbique $C_6H_8O_6$6g.
Acétone C_3H_6O60 ml.
Eau distillée H_2O1000 ml.
FFD6.....2 ml.

Préparation

Dissoudre l'acide ascorbique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

1-3- Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H_2O (régénérée chaque semaine).

II- Préparation des solutions étalons**2-1- Solution mère de 100 ppm P (*)****Produits chimiques exigés :**

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH_2PO_40,4394 g.
Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

2-2- Solution fille de 10 ppm P

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.

Note : Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{moles/l}$ de PO_4 .

Dosage des silicates**I- Réactifs****1-1- Solution d'acide sulfurique****Produits chimiques exigés :**

Acide sulfurique H_2SO_4 (97 %).....10 ml.
Eau distillée H_2O1000 ml.
FFD6.....2 ml.

Préparation

Diluer l'acide sulfurique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-2- Solution de molybdate d'ammonium**Produits chimiques exigés :**

Molybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$20g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

FFD6.....2 ml.

Préparation

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note :

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 jour. Ne pas utiliser de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

1-3- Solution d'acide oxalique**Produits chimiques exigés :**

Acide oxalique $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$44g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation

Dissoudre l'acide oxalique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

Note :

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois.

Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

1-4- Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H_2O .

Note :

Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

II- Préparation des solutions étalons**2-1- Solution mère de 100 ppm Si (*)****Produits chimiques exigés :**

Métasilicate de sodium $\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$1,0119 g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation

Dissoudre le métasilicate de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

2-2- Solution fille de 10 ppm Si

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm Si dans 100 ml d'eau distillée.

Note : Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour.

Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{moles/l}$ de SiO_4 .

Tableau : Liste des stations de prélèvement et leurs coordonnées correspondantes

station	fond	longitude	latitude	Profondeur de prélèvement
1	300	3,06	36,84	1
1	300	3,06	36,84	25
1	300	3,06	36,84	50
1	300	3,06	36,84	120
1	300	3,06	36,84	170
1	300	3,06	36,84	245
2	112	3,05	36,83	1,5
2	112	3,05	36,83	25
3	43	3,05	36,82	1
3	43	3,05	36,82	20
3	43	3,05	36,82	38
4	58	3,07	36,82	1
4	58	3,07	36,82	25
4	58	3,07	36,82	50
5	25	3,07	36,80	1
5	25	3,07	36,80	23
6	12	3,07	36,77	1,5
7	10	3,06	36,77	1,5
8	14	3,07	36,76	1,5
9	82	3,10	36,82	1
9	82	3,10	36,82	25
9	82	3,10	36,82	50
9	82	3,10	36,82	75
10	67	3,10	36,80	1
10	67	3,10	36,80	25
11	45	3,10	36,78	1
11	45	3,10	36,78	20
11	45	3,10	36,78	40
12	25	3,09	36,77	1
12	25	3,09	36,77	20
13	16	3,10	36,76	1
13	16	3,10	36,76	14
14	378	3,12	36,83	1
14	378	3,12	36,83	25
14	378	3,12	36,83	50
14	378	3,12	36,83	100
14	378	3,12	36,83	125
15	90	3,12	36,82	1
15	90	3,12	36,82	25
16	70	3,11	36,80	1
16	70	3,11	36,80	25
16	70	3,11	36,80	40

16	70	3,11	36,80	65
17	50	3,12	36,78	1
17	50	3,12	36,78	22
17	50	3,12	36,78	45
18	31	3,12	36,77	1
18	31	3,12	36,77	25
19	18	3,12	36,76	1
19	18	3,12	36,76	15
20	93	3,13	36,82	1
20	93	3,13	36,82	30
20	93	3,13	36,82	60
20	93	3,13	36,82	80
21	73	3,14	36,80	1
21	73	3,14	36,80	25
22	54	3,14	36,79	1
22	54	3,14	36,79	23
22	54	3,14	36,79	46
23	30	3,13	36,77	1
23	30	3,13	36,77	25
24	18	3,13	36,76	1
24	18	3,13	36,76	13
25	405	3,15	36,84	1
25	405	3,15	36,84	25
25	405	3,15	36,84	50
25	405	3,15	36,84	75
25	405	3,15	36,84	100
25	405	3,15	36,84	150
25	405	3,15	36,84	175
25	405	3,15	36,84	200
26	116	3,15	36,84	1
26	116	3,15	36,84	20
26	116	3,15	36,84	40
26	116	3,15	36,84	65
26	116	3,15	36,84	90
27	82	3,15	36,81	1
27	82	3,15	36,81	25
27	82	3,15	36,81	50
27	82	3,15	36,81	75
28	70	3,15	36,80	1
28	70	3,15	36,80	25
28	70	3,15	36,80	40
28	70	3,15	36,80	65
29	45	3,15	36,78	1
29	45	3,15	36,78	23
29	45	3,15	36,78	41
30	28	3,15	36,77	2

30	28	3,15	36,77	12
30	28	3,15	36,77	25
31	52	3,18	36,80	1
31	52	3,18	36,80	25
31	52	3,18	36,80	45
32	41	3,19	36,79	1
32	41	3,19	36,79	20
32	41	3,19	36,79	40
33	26	3,18	36,77	1
33	26	3,18	36,77	22
34	94	3,20	36,83	1
34	94	3,20	36,83	30
34	94	3,20	36,83	60
34	94	3,20	36,83	90
35	54	3,20	36,82	1
35	54	3,20	36,82	25
35	54	3,20	36,82	50
36	35	3,20	36,80	1
36	35	3,20	36,80	25
37	23	3,20	36,79	1
37	23	3,20	36,79	20
38	14	3,20	36,77	1
38	14	3,20	36,77	8
39	49	3,22	36,83	1
39	49	3,22	36,83	20
39	49	3,22	36,83	45
40	24	3,21	36,80	1
40	24	3,21	36,80	20
41	16	3,22	36,78	1
41	16	3,22	36,78	13
42	84	3,23	36,84	1
42	84	3,23	36,84	25
42	84	3,23	36,84	50
42	84	3,23	36,84	75