

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème:

*Variabilité spatiale de la contamination du milieu marin
par la pollution chimique : Application baie d'Alger et la baie
de Bou-Ismaïl*

Présenté par :

M^{elle} Boughelamallah Somia

Soutenu le 25 octobre 2014 devant le jury suivant :

Mr BELKESSA Rabah	Professeur	(ENSSMAL)	Président
Mr BACHOUCHE Samir	Chercheur	(CNRDPA)	Promoteur
Mme HOUMA-BACHARI Fouzia	Professeur	(ENSSMAL)	Co-Promotrice
Mr KADA Mohamed	Doctorant	(ENSSMAL)	Examineur
Mr INAL Ahmed	Chercheur	(CNRDPA)	Examineur

Promotion: 2014

Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à tout ceux qui par leur aide, leurs conseils, leur compétence et leur intérêt ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Que soit particulièrement remerciés les membres de jury :

Mr Belkessa R, professeur (ENSSMAL), qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Mr Kada M et **Mr Inal A**, pour m'avoir consacré du temps, et d'accepter d'examiner et apprécier les résultats obtenus dans ce travail.

Madame Houma-Bachari F, Professeur (ENSSMAL), pour sa disponibilité en dépit de sa charge de travail. Son encouragement et ses conseils bien orienté.

Monsieur Bachouche S, pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils qu'il a tenu à me prodiguer au cours de la réalisation de ce travail.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque et de laboratoire de l'ENSSMAL, de la station de recherche de Sidi Fredj, pour leur précieuse aide.

Je veux remercier tout mes enseignants qui ont contribué à ma formation et à toute personne qui m'a appris une lettre ou une phrase.

Ce travail n'aurait jamais été réalisé sans encouragement, le soutien de mes parents tout au long de mes études.

Sommaire

Introduction.....	12
Généralités	14
1 Pollution marine.....	14
1.1 Définition.....	14
1.2 Les principaux types de la pollution.....	14
1.2.1 Pollution chimique	14
1.2.2 Pollution microbiologique.....	14
1.2.3 Pollution physique	14
1.3 Les origines de la pollution	14
1.3.1 Pollution domestique	14
1.3.2 Pollution d'origine industrielle	15
1.3.3 Pollution d'origine agricole	15
2 Variables physico-chimiques	15
2.1 Température (T).....	15
2.2 Salinité (S)	15
2.3 Oxygène dessous (OD).....	15
3 Les sels nutritifs	16
3.1 Les différentes formes des sels nutritifs	16
3.1.1 L'azote	16
3.1.2 Le phosphore.....	17
3.2 Le cycle biogéochimique des sels nutritifs.....	17
3.3 Rapport de REDFIELD	18
3.4 L'eutrophisation.....	18
4 La pollution par les hydrocarbures	19
4.1 Différentes classes des hydrocarbures	19
4.1.1 Les aliphatiques	20
4.1.2 Les naphthéniques.....	20
4.1.3 Les hydrocarbures aromatiques	20
4.1.4 Les asphaltènes et les résines	20
4.2 Propriété physico-chimiques des hydrocarbures	20
4.2.1 La densité	20

4.2.2	La viscosité	21
4.2.3	Le point d'écoulement	21
4.2.4	Le point éclair	21
4.2.5	Le point d'ébullition	21
4.2.6	La tension superficielle	21
4.3	Comportement des hydrocarbures en mer	21
4.3.1	L'évaporation	22
4.3.2	Dissolution ou solubilisation.....	22
4.3.3	Emulsification	22
4.3.4	Sédimentation	23
4.3.5	Photo-oxydation.....	23
4.3.6	Biodégradation des hydrocarbures.....	23
4.4	Impacts des hydrocarbures sur la faune et la flore marine, les oiseaux et l'homme	23
4.4.1	Impact sur la faune et la flore marine	23
4.4.2	Effets des hydrocarbures sur le milieu benthique	24
4.4.3	Effets des hydrocarbures sur les poissons et les crustacés.....	25
4.4.4	Impact des hydrocarbures sur les oiseaux et l'homme	25
	Zone d'étude	27
1	Baie d'Alger.....	27
1.1	Situation géographique	27
1.2	Réseau hydrographique	27
1.3	Facteurs hydrodynamique.....	28
1.3.1	Les houles	28
1.3.2	Les courants	28
1.4	Le climat	29
1.4.1	Les vents	29
1.4.2	La température et la pluviométrie	29
1.5	La sédimentologie.....	30
1.6	L'état de pollution	30
2	Baie de Bou-Ismaïl	31
2.1	Situation géographique	31

2.2	Réseau hydrographique	31
2.3	Facteurs hydrodynamique.....	32
2.4	Le climat	32
2.4.1	Les vents	32
2.4.2	La température et la pluviométrie	32
2.5	La sédimentologie.....	33
2.6	L'état de pollution	33
	Matériels et méthodes	36
1	Travaux effectués en mer.....	36
1.1	Choix et localisation des stations.....	36
1.2	Matériels de prélèvements	36
1.3	Mesures in- situ	37
1.3.1	Température	37
1.3.2	La salinité.....	37
1.3.3	L'oxygène dissous	37
1.4	La conservation des échantillons.....	37
2	Travaux effectués en laboratoire.....	37
2.1	Dosage des hydrocarbures (polyaromatiques) dans l'eau de mer	37
2.1.1	Les étapes de la procédure analytique pour l'analyse des hydrocarbures polyaromatiques	37
2.1.2	L'analyse des hydrocarbures aromatique par la spectrofluorimétrie ultraviolet (SFUV).....	39
2.2	Dosage des sels nutritifs	41
2.2.1	Fonctionnement de l'appareil de dosage:	41
2.2.2	Principe de dosage des sels nutritifs	42
2.2.3	Dosage de l'ammonium	42
2.2.4	Dosage des nitrites	43
2.2.5	Dosage des nitrates	43
2.2.6	Dosage des orthophosphates	43
2.2.7	Etalonnage.....	43
	Résultats et discussions.....	46
1	Baie d'Alger.....	46

1.1	Paramètres physico-chimiques	46
1.1.1	Salinité	46
1.1.2	Température	46
1.1.3	Oxygène dissous	47
1.2	Sels nutritifs	47
1.2.1	Ammonium	48
1.2.2	Nitrate	48
1.2.3	Nitrite	49
1.2.4	Orthophosphate	49
1.3	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	50
2	Baie de Bou-Ismaïl	51
2.1	Paramètres physico-chimiques	51
2.1.1	Salinité	51
2.1.2	Température	51
2.1.3	Oxygène dissous	52
2.2	Sels nutritifs	52
2.2.1	Ammonium	52
2.2.2	Nitrate	53
2.2.3	Nitrite	53
2.2.4	Orthophosphate	54
2.3	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	54
3	Etude comparative entre les deux baies (baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl) ..	55
3.1	Les sels nutritifs	55
3.2	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	56
	Conclusion	58
	Bibliographie	60
	Annexes	65

Liste des tableaux

Tableau 1: Estimation des quantités d'hydrocarbures évaporées (CEDRE, 2000)	22
Tableau 2: Concentration des standards	40
Tableau 3: Moyenne mensuelles des précipitations (P) en mm et de la température (T) en °C dans la baie d'Alger pour l'année 2010 (ONM, 2010)	65
Tableau 4: Moyenne mensuelles des précipitations (P) en mm et de la température (T) en °C dans la baie de Bou-Ismaïl pour l'année (2001-2010)	65
Tableau 5: Localisation des stations de prélèvement en (28 Mai-15 Juin) 2014.....	65

Liste des figures

Figure 1: Cycle des sels nutritifs: production et minéralisation de la matière organique (Jacques, et al., 1986).	18
Figure 2: Situation géographique de la baie d'Alger.....	27
Figure 3: Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998).....	29
Figure 4: Nature de fond de la baie d'Alger (Maouche, 1987)	30
Figure 5: Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2009). 31	
Figure 6: Situation géographiques et localisation de la baie de Bou-Ismaïl.....	31
Figure 7: Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).....	33
Figure 8: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (Houma-Bachari, 2009).....	34
Figure 9: Une carte localise les stations de prélèvement dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl en (28 Mai-15Join) 2014.	36
Figure 10: Un évaporateur rotatif	38
Figure 11: Les colonnes de purification	39
Figure 12: Spectrophotomètre de fluorescence HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe «Xénon»	40
Figure 13: La courbe détalonnage	41
Figure 14: Auto Analyser San Plus (Skalar, 1998).....	42
Figure 15; la courbe d'étalonnage de l'ammonium	44
Figure 16: La courbe détalonnage des nitrites	44
Figure 17: La courbe d'étalonnage des nitrates.....	44
Figure 18: La courbe d'étalonnage des orthophosphates	44
Figure 19: Les salinités relevées au niveau de la baie d'Alger.	46
Figure 20: Les températures relevées dans la baie d'Alger.....	46
Figure 21: Les teneurs d'oxygène dissous relevées au niveau de la baie d'Alger.....	47
Figure 22: les concentrations d'ammonium au niveau de la baie d'Alger.....	48
Figure 23 : les concentrations de nitrate au niveau de la baie d'Alger.....	48
Figure 24 : Les concentrations de nitrite au niveau de la baie d'Alger.....	49
Figure 25 : Les concentrations des orthophosphates au niveau de la baie d'Alger.....	49
Figure 26: les teneurs en HAP dans la baie d'Alger.	50
Figure 27: Les salinités mesurées dans la baie de Bou-Ismaïl.	51

Figure 28: les températures mesurées dans la baie de Bou-Ismaïl	51
Figure 29: Les teneurs mesurées de l'oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl	52
Figure 30: Les concentrations en ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl	52
Figure 31: Les concentrations en nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl.....	53
Figure 32: les concentrations en nitrites dans la baie de Bou-Ismaïl.....	53
Figure 33: Les concentrations des orthophosphates dans la baie de Bou-Ismaïl.....	54
Figure 34: Les concentrations en HAP dans la baie de Bou-Ismaïl	54
Figure 35: Comparaison des concentrations des sels nutritifs entre les deux baies.....	55
Figure 36: Comparaison des concentrations en HAP dans les deux baies	56

Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CEDRE : Centre de Documentations, de recherches et d'Expérimentation sur les pollutions accidentelles

COI : Commission Océanographique Intergouvernementale

GESAMP : Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution

HAP : Hydrocarbure aromatique polycycliques

LEM : Laboratoire d'Etude Maritime

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

SFUV : Spectrofluorimétrie ultra violet

Introduction

Introduction

L'altération de l'environnement naturel notamment le milieu marin est progressivement devenu une préoccupation mondiale. Les rejets urbains et industriels deviennent de plus en plus importants, polluants la nature et constituant un danger croissant pour le milieu marin (SAMSON-KECHACHA, et al., 1992).

En Algérie les zones côtières sont les plus touchées par plusieurs sources de pollution organique, les produits chimiques des terminaux et des raffineries pétroliers près des ports industriels (métaux, hydrocarbures, composés azotés, cyanures, pesticides et détergents) et le ruissèlement agricole, les eaux usées non-traitées et les déchets solides, industriels et domestiques (PNUE, 2012).

La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtière est la plus perceptible. De 75 à 80% des pollutions marines sont d'origine terrestre, notamment agricole, parmi lesquelles environ 30% sont apportées par l'atmosphère (HOUMA-BACHARI, 2009).

Dans la problématique de la pollution les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) occupent une place privilégiée en raison de leur ubiquité dans l'environnement et de leur caractère toxique sur les organismes vivants et certains sont classés comme cancérigènes (Benhachem, et al., 2014). Ainsi que la présence excessive de substances nutritives (azote et phosphore) est un problème majeur de pollution dans de nombreuses zones côtières, se produit une phase d'eutrophisation, qui provoque la mort d'un grand nombre d'organisme faunistique (LASSUS, et al., 1982).

L'objectif de notre travail est de mesurer les concentrations des polluants (sels nutritifs, hydrocarbures aromatiques polycycliques) présents dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl afin d'identifier la variabilité spatial de la contamination de milieu marin par la pollution chimique dans les deux baies.

Notre travail est structuré comme suit :

Dans le premier chapitre, généralités, nous parlerons de la pollution marine, les variables physico-chimiques, les sels nutritifs et la pollution par les hydrocarbures.

Le deuxième chapitre, zone d'étude, présentera avec détails les deux baies : situation géographique, facteurs hydrodynamiques, le climat, la sédimentologie et l'état de pollution.

Le troisième chapitre, matériel et méthodes, décrit le matériel utilisés et les méthodes appliquées pour le dosage des sels nutritifs et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer.

Le quatrième chapitre, résultats et discussion, une interprétation relative sur les paramètres physico-chimique, les sels nutritifs et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la baie d'Alger et la Baie de Bou-Ismaïl et enfin une étude comparative entre les deux baies.

En conclusion, nous synthétisons les résultats obtenus.

Généralités

Généralités

1 Pollution marine

1.1 Définition

Selon la convention de Montego Bay des nations Unis sur le droit de la mer 1982, la pollution du milieu marin est définie comme suit :

« l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que les dommages aux sources biologiques et à la faune et la flore marine, risque pour la santé de légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément » (CADDY, et al., 1996).

1.2 Les principaux types de la pollution

Les pollutions sont très diverses, une classification basée sur leur nature physico-chimique prédominante.

1.2.1 Pollution chimique

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

1.2.2 Pollution microbiologique

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ses agents causals (RAMADE, 2000) :

- Les micro-organismes pathogènes, tels que les bactéries et les virus : ils sont généralement apportés par les eaux usées directement rejetées en mer.
- Les proliférations non pathogènes de micro-algues causant des déséquilibres au milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctoniques est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riche en nitrates et phosphates.

1.2.3 Pollution physique

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

1.3 Les origines de la pollution

Suivant l'origine des substances polluantes, on distinguera :

1.3.1 Pollution domestique

Elle est en général des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration (KANKOU, 2004).

Généralités

La pollution domestique se caractérise par de fortes teneurs en matière organiques, sels minéraux, germes fécaux, détergents...etc. (GAUJOUS, 1995).

1.3.2 Pollution d'origine industrielle

Constitue la première grande source de pollution des eaux, résultantes de différentes industries, telles que la production d'énergie, l'industrie chimique, métallurgique, électronique...etc. (RAMADE, 2000).

1.3.3 Pollution d'origine agricole

Elle résulte de l'utilisation de divers produits phytosanitaires, issus du lessivage des terres agricoles, des résidus des élevages intensifs des animaux et des eaux d'abattoirs (LEROY, 1999).

Elle se caractérise par les fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore) provenant des engrais, la présence des produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...) (GAUJOUS, 1995).

2 Paramètres physico-chimiques

2.1 Température (T)

C'est une caractéristique physique importante, sa mesure est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres comme la saturation et la solubilité des gaz dissous et la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin, c'est un paramètre très important pour la connaissance des masses d'eaux (MILLOT, 1987).

2.2 Salinité (S)

Mesurée en P.S.U (Practical Salinity Unit), la salinité représente la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée (AMINOT, et al., 1983).

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

2.3 Oxygène dissous (OD)

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (RODIER, et al., 2005).

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans les phénomènes de dégradation de la matière organique. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité de l'eau : la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmentent. Une eau très aérée est généralement

sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée (AMINOT, et al., 2004).

3 Les sels nutritifs

Les éléments nutritifs qui limitent l'activité photosynthétique des organismes photosynthétiques sont l'azote, le phosphore et le silicium sous leur forme oxydée, d'où leur appellation « éléments bio-limitant » (COPIN-MONTEGUT, 1996). Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes) (LEVITUS, 1993).

- Source externe : elle regroupe tous les apports continentaux déversant en mer, qu'ils soient par voie éolienne ou par voie fluviale.
- Source interne : elle représente l'origine la plus importante, elle est assurée par des flux verticaux. La régénération est assurée à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique.

La production primaire des eaux de surface est basée sur les sels nutritifs et la lumière, ainsi ils reflètent la richesse et la fertilité des eaux marines. Ce sont donc des traceurs chimiques non conservatifs et leur variation est gouvernée par les facteurs physiques, chimiques et biologiques (JACQUES, et al., 1986).

3.1 Les différentes formes des sels nutritifs

3.1.1 L'azote

L'azote présent dans l'eau de mer peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se retrouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral qui existe sous différents degrés d'oxydation : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et l'azote ammoniacal ($\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$), il constitue dans les eaux naturelles la majeure partie de l'azote total (RODIER, 2009).

3.1.1.1 Nitrate (NO_3^-)

Notés NO_3^- (on parle aussi de l'azote nitrique). C'est une forme chimique stable, il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton ; leur concentration varie entre $0\ \mu\text{mol/l}$ à la surface et à plus de $45\ \mu\text{mol/l}$ dans les eaux profondes. Les nitrates résultent de l'oxydation des nitrites. Cette oxydation est opérée par les bactéries (Nitrobacter), et on parle de nitratisation (AMINOT, et al., 1983).

3.1.1.2 Nitrite (NO_2^-)

Notés NO_2^- (on parle aussi de l'azote nitreux). Ils sont souvent en quantité très faible de zéro à quelques micromoles par litre, car c'est une forme chimique très instable (forme intermédiaire entre l'ammonium et les ions nitrates) (AMINOT, et al., 1983).

Les nitrites résultent de (AMINOT, et al., 1983) :

- L'oxydation de l'ammonium. Cette oxydation est opérée par des bactéries (Nitrosomonas) et s'appelle la nitrosation.

Généralités

- La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvre en oxygène dissous. Cette réduction est opérée par les bactéries anaérobiques.
- Les organismes, dans leurs excréments, rejettent aussi des nitrites.

3.1.1.3 Azote ammoniacal (NH_4^+)

L'ammonium dans l'eau de mer provient de la décomposition par les bactéries de l'azote organique (ammonification) ou des rejets directs d'animaux (urines, excréments). Il résulte aussi de la réduction des nitrites en ammonium qui se fait par un mécanisme bactérien en milieu anaérobique (AMINOT, et al., 1983).

La variation de la concentration de l'ammonium est en fonction du lieu et de la saison, elle est de l'ordre de $1\mu\text{mol/l}$ en eau côtière non polluées et en milieu océanique, et nulle dans les zones profondes. Mais cette concentration augmente dans les estuaires sous l'influence des rejets urbains et /ou agricoles (AMINOT, et al., 1983).

3.1.2 Le phosphore

Le phosphore est un élément nutritif existe dans l'eau de mer sous forme dissoute et particulaire, organique et inorganique dont la forme majoritaire sont les orthophosphates. Dans l'eau de mer les orthophosphates sont essentiellement sous les deux formes PO_4^{3-} (10%) et HPO_4^{2-} (90%) ; H_2PO_4^- représente moins de 1% (AMINOT, et al., 1983).

Les concentrations des orthophosphates sont de l'ordre de 0 à $1\mu\text{mol/l}$ dans les eaux de surface océanique et des eaux non polluées. Qui augmentent avec la profondeur, au-dessous de la zone euphotique, ou lorsque l'on rapproche des estuaires (indice des apports domestiques et agricoles)

3.2 Le cycle biogéochimique des sels nutritifs

Dans un écosystème naturel, les nutriments sont consommés sous forme minérale dissoute par les producteurs primaires (phytoplancton) lors de la photosynthèse qui constitue le principal mécanisme de production primaire de la biomasse dans le milieu marin.

Les nutriments organiques sont ensuite progressivement régénérés sous leur forme minérale originelle.

- Soit par le biais de leur ingestion puis de leur excrétion par les différents échelons animaux de la chaîne alimentaire.
- Soit, à la mort de la biomasse, par la suite de la dégradation directe par les bactéries hétérotrophes. C'est le cycle des éléments nutritifs (AMINOT, et al., 2004).

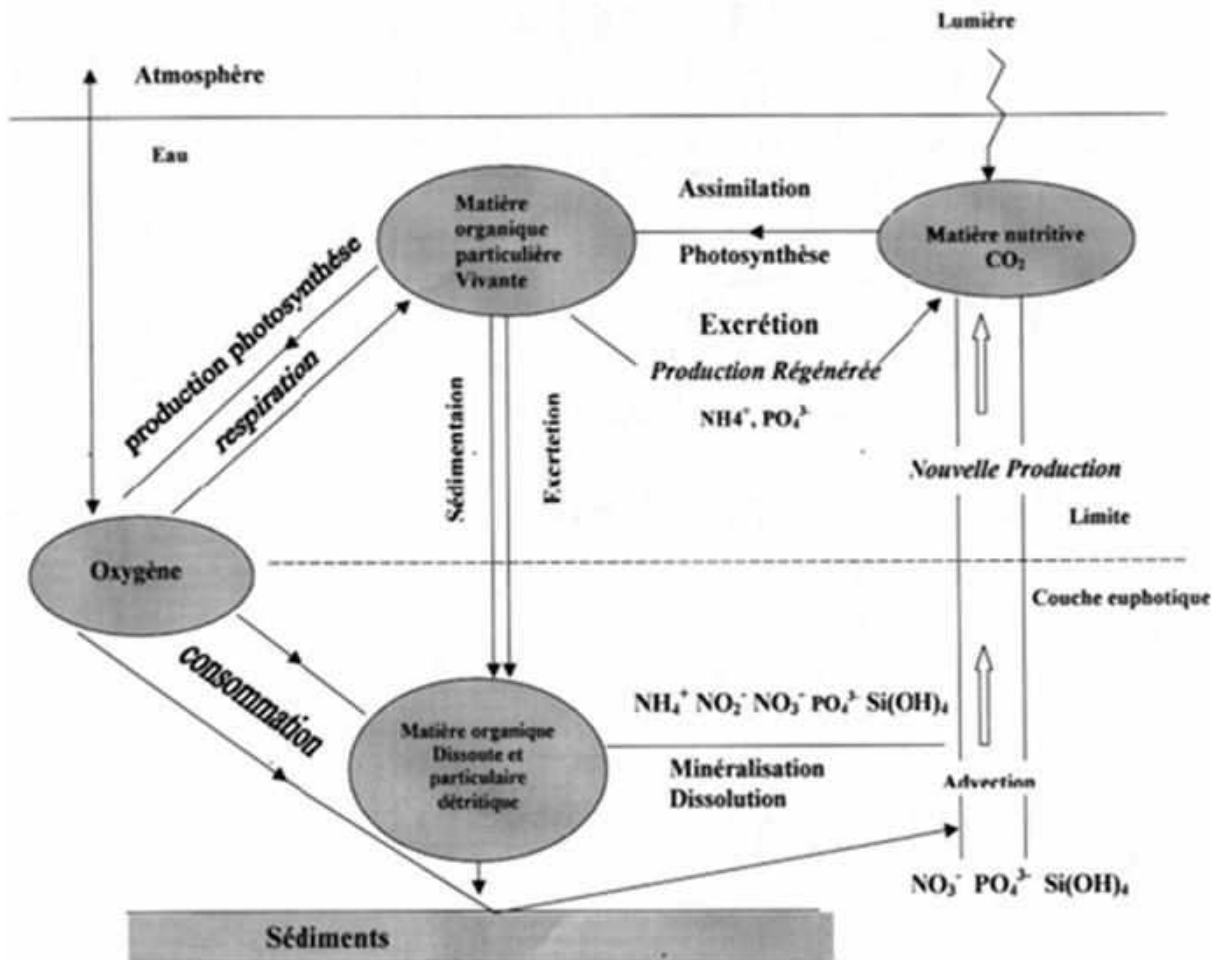
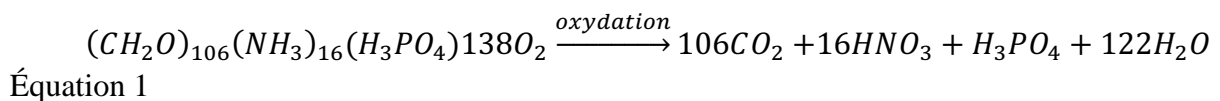


Figure 1: Cycle des sels nutritifs: production et minéralisation de la matière organique (JACQUES, et al., 1986).

3.3 Rapport de REDFIELD

Le plancton marin possède un rapport C/N/P voisin de 106/16/1 et que la photosynthèse ou la décomposition du plancton mettent en jeu cent trente-huit moles d'O₂ par mole de P, conformément à la réaction :



Cela signifie que, dans les masses d'eau, l'activité biologique modifierait la concentration en ΣCO_2 , N, P et O₂, selon les proportions $\Delta P / \Delta N / \Delta C / \Delta O_2 = 1/16/106/-138$ (COPIN-MONTEGUT, 1996).

3.4 L'eutrophisation

L'eutrophisation est définie, au sens habituel comme l'enrichissement des eaux en nutriments presque essentiellement le phosphore et l'azote qui vont favoriser la croissance des végétaux pour finalement induire des proliférations algales (eaux colorées), des algues flottantes à la surface des eaux et des macrophytes ou des algues sur les rivages ou sur les

fonds. Les proliférations végétales si elles ne sont pas dispersées par les courants ou consommées par les herbivores, s'accumuleront puis se décomposent sous l'action bactérienne avec consommation de l'oxygène néfaste pour la faune ; la poursuite de la dégradation bactérienne en anaérobiose productrice de molécules indésirables (CO_2 , CH_4 , SH_2 , NH_3), voire, toxique sera dramatique pour l'environnement aquatique (LACASE, 1996).

4 La pollution par les hydrocarbures

Lorsqu'on aborde les statistiques relatives aux apports d'hydrocarbures à l'océan, le sujet est parfois complexe. En matière de pollution en mer les sources ne manquent généralement pas, fournie par des structures américaines ou par des comités disparité tient en partie au fait que les petites pollutions ne sont pas toujours quantifiées. De plus, une partie des déballastages en mer ne rentre pas dans les statistiques (FATTAL, 2008).

L'origine des pollutions par les hydrocarbures se décompose en Cinq sources : les rejets atmosphériques, les apports naturels, les déversements continentaux et la plus part due au transport maritime et l'offshore (FATTAL, 2008).

Les HAP ont trois sources : la plus importante est la source pyrolytique qui correspond à la combustion incomplète de la matière organique à haute température (à partir de 500°C) (ABDERRAHMANI, 2011).

La seconde source est pétrogénique, elle correspond à tous les déversements de pétrole dans l'environnement par de phénomènes naturels (feux de forêts, éruptions volcaniques ou fuites de réserves naturelles de pétrole) (ABDERRAHMANI, 2011).

Enfin, la dernière, la moins importante, est la diagenèse précoce, processus qui transforme dépôts sédimentaires et les roches en pétrole (Abderrahmani, 2011) (ABDERRAHMANI, 2011).

4.1 Différentes classes des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont composés des chaînes moléculaires constituées d'atome de carbone et d'hydrogène (C et H). La teneur pondérale en carbone des produits transportés varie entre 83 et 87 %. Un atome de carbone à une valence de 4. Il dispose donc de quatre liaisons « obligatoire » correspond à quatre électrons. Un atome de carbone peut être relié à quatre atomes d'hydrogène ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples ou doubles. Dans ce dernier cas, les chaînes carbonées (enchaînement d'atome de carbone) peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. Dans le domaine de la chimie des hydrocarbures, il existe de très nombreuses possibilités qui déterminent différents composés hydrocarbonés (FATTAL, 2008).

En plus de carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires qui sont des composants (résines et asphaltènes) qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (FATTAL, 2008).

On regroupe les hydrocarbures en différentes classes parmi lesquelles on distingue les alcanes, les cycloalcanes, les aromatiques, les résines et asphaltènes (FATTAL, 2008) :

4.1.1 Les aliphatiques

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés (c'est-à-dire que toutes les liaisons des différents atomes sont utilisées par des atomes d'hydrogène), à chaîne droite (n-alcane) ou ramifiée (iso-alcane). On les appelle aussi paraffines. Ces alcanes représentent environ 30% du poids des pétroles bruts.

Dans le cas de pollutions marines, ces pétroles qui sont peu nocifs (sauf pour les plus légers d'entre eux, à moins de 12 atomes de carbone) ont une biodégradabilité rapide, surtout lorsque les chaînes sont droites.

4.1.2 Les naphéniques

Mes cycloalcanes sont des composés cycliques saturés et en plus peuvent être ramifiés. Les hydrocarbures naphéniques représentent en moyenne 40 à 50% des composés des pétroles bruts. Peu toxique, ils subsistent plus longtemps que les alcanes dans le milieu.

4.1.3 Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques comprennent des composés qui sont insaturés dont la molécule contient de 1 à 6 cycles benzénique.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) forment généralement 40% (entre 15 et 40%) des pétroles bruts et ont un impact sur la faune et sur la flore, car ils sont toxiques et persistants la toxicité est due à leur insolubilité.

4.1.4 Les asphaltènes et les résines

Les asphaltènes sont des composés stables de très haut poids moléculaire, qui en plus des atomes de carbone et d'hydrogène contiennent des hétéroatomes d'azote, de soufre ou d'oxygène, ainsi que d'autres composants à l'état de traces les plus abondants sont le vanadium et le nickel, mais le fer, du sodium, et le cuivre ont également détectés.

Les résines sont riches en carbones, composées d'enchevêtrements de plus de six molécules de type benzénique. Ce groupe de composés très stables est généralement la plus persistant sur les littoraux car ils forment des goudrons.

4.2 Propriété physico-chimiques des hydrocarbures

L'étude des propriétés physiques des hydrocarbures permet de distinguer les différents composés hydrocarbonés des pétroles bruts ou raffinés (FATTAL, 2008) :

4.2.1 La densité

La densité détermine la flottabilité des hydrocarbures. Les paraffiniques, au poids moléculaire faible ont tendance à rester en surface, alors que les naphènes, plus lourds, peuvent couler.

Outre le poids moléculaire, plusieurs autres facteurs contribuent à modifier et augmenter la densité. Il s'agit de la température, de l'évaporation ou encore de l'association avec d'autres particules. En effet dès lors qu'un pétrole se déverse, il se transforme et sa densité s'accroît, notamment en raison de la volatilisation de la fraction légère ou de l'oxydation

photochimique qui intègre au pétrole des atomes d'oxygène. L'association du pétrole avec des particules en suspension participe aussi à l'augmentation de la densité.

4.2.2 La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Cette propriété régit la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis le degré de pénétration dans les sédiments lorsqu'elle arrive à la côte. La viscosité diminue lorsque la température augmente et elle s'accroît par évaporation des composés volatils, par l'oxydation photochimique et surtout par formation d'émulsions inverses qui modifient le comportement initial du produit.

4.2.3 Le point d'écoulement

Le point d'écoulement est la plus basse température à laquelle le pétrole continue de couler. La majorité des hydrocarbures a un point d'écoulement inférieur à 0°C . En dessous de ce seuil de température, l'hydrocarbure se fige.

Le point d'écoulement est lié corrélativement à la teneur en alcanes (paraffine) et plus le pourcentage en paraffine augment, plus la température du point d'écoulement augment ($< 5\%$ pour des températures $< 5^{\circ}\text{C}$; $< 15\%$ pour des températures $\leq 20^{\circ}\text{C}$).

Dans le cas de pollution marine, ce point d'écoulement est un facteur important, tant à la côte qu'en mer, car selon l'exposition, la température ou les saisons, il peut varier.

4.2.4 Le point éclair

Le point éclair est la plus basse température à laquelle les fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumises à une étincelle. Certaines essences ont des points d'éclair à -40°C alors que le mazout, que l'on trouve communément dans une chaudière, a un point d'éclair aux alentours de 55°C .

4.2.5 Le point d'ébullition

Chaque fraction des hydrocarbures a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures, relativement basse, inférieures à 20°C . A contrario, il faut des températures de plus de 100°C pour évaporer les hydrocarbures lourds. Ainsi, un pétrole déversé, au cours d'une journée chaude et ensoleillée, voit une partie de sa fraction passer de la phase liquide à la phase gazeuse. Ainsi l'hydrocarbure restant devient plus visqueux et plus dense.

4.2.6 La tension superficielle

La tension superficielle dépend de la température et permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbures. Plus la température augmente, plus la tension superficielle diminue et plus la vitesse d'étalement est importante. En occurrence, de vastes surfaces sont touchées par l'étalement.

4.3 Comportement des hydrocarbures en mer

Dés que les hydrocarbures se déversent dans le milieu marin, ils vieillissent et sont soumis à des processus d'altération et de modification de leurs propriétés physico-chimiques

initiales. Les facteurs de la dégradation dépendent de la nature du pétrole et du milieu ambiant (les températures et l'énergie mécaniques des vagues). Les processus qui entraînent les changements physiques sont l'évaporation, la dissolution, l'émulsion et la sédimentation ceux qui entraînent les modifications chimiques sont la photo-oxydation et la biodégradation (FATTAL, 2008).

4.3.1 L'évaporation

Le passage d'un hydrocarbure fluide à sa forme gazeuse est plus ou moins long. Il dépend des conditions climatiques (vent et température), du type de pétrole et de l'épaisseur de la nappe (FATTAL, 2008). Plus le pétrole est léger, plus il a un taux d'évaporation important.

Tableau 1: Estimation des quantités d'hydrocarbures évaporées (CEDRE, 2000)

Pétrole et produits raffinés	Taux d'évaporation
Produit légers	75 % et plus
Pétroles bruts	20 à 50 %
Produit lourds	Moins de 10 %

4.3.2 Dissolution ou solubilisation

La dissolution est un processus de dissociation des molécules du pétrole dans l'eau de mer et il est généralement réduit. En effet, les hydrocarbures sont faiblement soluble (1 %) et seules les fractions aromatiques légères peuvent rapidement se dissoudre eu contact de l'eau (benzène, toluène et autres). Cette dissolution qui disperse le polluant est en fonction de la viscosité, du taux de solubilité de l'hydrocarbure ainsi que des conditions environnementales (FATTAL, 2008).

4.3.3 Emulsification

Ce terme regroupe deux processus inverses (MICHEL, 1983) :

- Emulsion huile dans l'eau ou dispersion du pétrole dans la colonne d'eau. Ce phénomène est intense dans les milieux de grandes énergies (vagues,...). Il permet de réduire la pollution à la surface. Ces émulsions, fines gouttelettes de pétroles dispersées dans l'eau, théoriquement instable, peuvent être retrouvées à de grandes profondeurs (-80m).
- Emulsion eau dans l'huile : on les appelle également "émulsions inverses" ou "mouse au chocolat" à cause de leur aspect. Ce phénomène qui tend à stabiliser la nappe, perturbe l'ensemble des actions de lutte (confinement, dispersion, et récupération). Les émulsions inverses peuvent se former en quelques heures et contenir jusqu'à 90 % d'eau.

4.3.4 Sédimentation

La sédimentation est liée au vieillissement du pétrole, résultat des processus d'évaporation d'emulsification qui, en augmentant la densité des hydrocarbures, favorisent leurs migration vers le fond (MICHEL, 1983).

4.3.5 Photo-oxydation

La photo-oxydation est observée au niveau de la surface de l'eau où l'air (oxygène) et la lumière (radiations solaires) sont présents pour la transformation des hydrocarbures (PAYNE, et al., 1985). L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés (BERTRAND, et al., 1989). Ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les n-alcanes (RONTANI, et al., 1987).

La photo-oxydation peut également avoir des conséquences contraires sur l'évolution de la pollution : les hydrocarbures légers oxydés sont généralement plus solubles, donc plus dispersables et par conséquent biodégradables. Sur les hydrocarbures lourds, la photo-oxydation favorise la polymérisation, processus défavorable au traitement et à la dégradation des hydrocarbures (MICHEL, 1983).

4.3.6 Biodégradation des hydrocarbures

La biodégradation des hydrocarbures est l'un des premiers mécanismes conduisant à la transformation de ces polluants en produits moins toxiques. Les travaux de recherche sur l'oxydation des hydrocarbures par les microorganismes ont montré que ce processus dépend de la structure chimique des hydrocarbures et des conditions environnementales. Les facteurs physico-chimiques influant sur la vitesse de biodégradation microbienne sont : la température, l'oxygène disponible, le pH, la salinité, les éléments nutritifs et la pression hydrostatique (FATTAL, 2008).

4.4 Impacts des hydrocarbures sur la faune et la flore marine, les oiseaux et l'homme

4.4.1 Impact sur la faune et la flore marine

Plusieurs facteurs déterminent l'importance d'une pollution sur les biocénoses. Il peut s'agir de la nature des hydrocarbures, de la zone climatique, des conditions hydrométéorologiques ou encore des espèces elles-mêmes. Lorsque un accident pétrolier survient, les organismes sont d'abord affectés par la diminution de l'éclairement, l'engluement, les modifications de l'habitat (pH, oxygène, ressources alimentaires) ou encore par une toxicité directe. Tous ne réagissent pas de la même manière et certaines espèces sont plus sensibles que d'autres, par exemple, les espèces mobiles sont moins perturbées que celles qui sont fixées (FATTAL, 2008).

➤ Effets des hydrocarbures sur les bactéries

Certaines espèces peuvent proliférer à la faveur d'autres, inhibées par la présence des hydrocarbures, celles qui se développent sont les bactéries qui puisent généralement dans les hydrocarbures, carbone et énergie (FATTAL, 2008).

Généralités

➤ Effets des hydrocarbures sur le phytoplancton

La nappe de pétrole à la surface de l'eau limite la pénétration de la lumière et les échanges gazeux avec l'atmosphère empêchant ainsi les processus photosynthétiques, à l'origine de la production primaire, laquelle tient une place de premier ordre dans l'écosystème (BODENNEC, et al., 1983). Par contre en faible quantité et selon certains types d'hydrocarbures, l'effet peut être stimulant due à la présence d'auxines dans les pétroles (FATTAL, 2008).

➤ Effets des hydrocarbures sur le zooplancton

Sont variable selon les animaux planctoniques (BODENNEC, et al., 1983) :

L'holoplancton ou plancton permanent à temps de génération relativement court (1 à 3 mois) : l'impact du déversement sera peu important du fait de la reconstitution rapide de stock par les espèces les plus résistantes, en relation avec le temps de génération, dès la disparition de la perturbation. Toute fois, une modification dans la succession des cycles annuels est effective.

Méropplancton, dont la destruction nécessite la coïncidence entre son apparition dans le plancton (limitée à quelques jours) et la présence des hydrocarbures. Le temps de génération plus long (6 à 12 mois) sera à l'origine d'un déficit d'au moins une classe d'âge, avec des conséquences écologiques pour les espèces exploitées (poisson, crustacés...).

4.4.2 Effets des hydrocarbures sur le milieu benthique

➤ Impact sur phytobenthos

Les algues benthiques ont une faible sensibilité aux hydrocarbures. Les effets à court terme, spectaculaires, se traduisent par l'engluage ou la brûlure des tissus dans le cas d'un contact direct avec le pétrole. Les conséquences économiques sont alors importantes pour les espèces exploitées. Les effets à long terme sont peu importants ; en général, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (BODENNEC, et al., 1983).

➤ Impact sur le zoobenthos (BODENNEC, et al., 1983)

C'est l'écosystème le plus fragile. Le pétrole peut détruire rapidement les organismes benthiques par immobilisation, asphyxie, et narcose. Les espèces sessiles sont plus sensibles que les espèces douées d'une relative mobilité.

En raison du piégeage des hydrocarbures dans les sédiments, les mortalités sont plus fortes pour la macrofaune des substrats meubles que pour celles des milieux rocheux.

A plus long terme, les mortalités sont probables mais difficiles à évaluer. Toute fois une perturbation des peuplements macrobenthiques, due à l'inégale vulnérabilité spécifique, se traduit généralement par l'apparition d'espèces opportunistes et indicatrices de pollution.

Enfin, les effets des hydrocarbures sur ce maillon trophique sont encore très peu connus.

4.4.3 Effets des hydrocarbures sur les poissons et les crustacés

Les pêcheries de poissons et de crustacés subissent aussi l'atteinte des pollutions pétrolières de façon plus ou moins grave en fonction : de la nature du pétrole, de la zone géographique concernée, notamment, de sa géomorphologie, de son hydrodynamisme et de la biologie des espèces concernées (BODENNEC, et al., 1983).

Les pêcheries subissent un effet beaucoup plus grave à long terme du fait de la réduction momentanée du recrutement et de la détérioration de la chaîne trophique. En effet la mortalité directe de poissons adultes reste toujours très limitée. Les crustacés, moins mobiles sont plus sensibles et la mortalité directe est présente. A long terme, le déversement du pétrole est responsable de l'altération des gonades donc de la fonction reproductive (BODENNEC, et al., 1983).

4.4.4 Impact des hydrocarbures sur les oiseaux et l'homme

➤ Effets des hydrocarbures sur les oiseaux

Les effets du pétrole sur les oiseaux, à la suite d'un déversement massif, sont les premiers à être médiatisés et sont bien connus. Le pétrole provoque l'obstruction des voies respiratoires, d'où asphyxie. Il est également responsable des troubles reproductifs chez de nombreuses espèces. Enfin, l'imprégnation du plumage par le pétrole affecte son pouvoir isolant et l'oiseau meurt de froid (GESAMP, 1993).

➤ Effets des hydrocarbures sur l'homme

En absence de contact prolongé avec le polluant ou d'une ingestion du produit, les impacts d'une pollution par les hydrocarbures sur la santé humaine sont considérés comme limités et négligeables. En revanche, le contact permanent avec des hydrocarbures lourds, provoque à long terme des troubles neurologique et neurophysiologiques (BAARS, 2002).

Il est cependant admis que certains composés du pétrole, les HAP principalement, sont bioaccumulables, toxiques et sont doués de propriétés mutagènes et cancérogènes (PERES, et al., 1976).

Zone d'étude

Zone d'étude

1 Baie d'Alger

1.1 Situation géographique

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km², délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le Cap Matifou à l'Est (Bordj El-Bahri). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03^o.14'.50'' à 30^o.00'.40'' et une latitude Nord 36^o.49'.35'' à 36^o.49'.50''. Deux Oueds se déversent dans la baie d'Alger, ce sont Oued El Hamiz et Oued El Harrach (HOUMA-BACHARI, 2009).

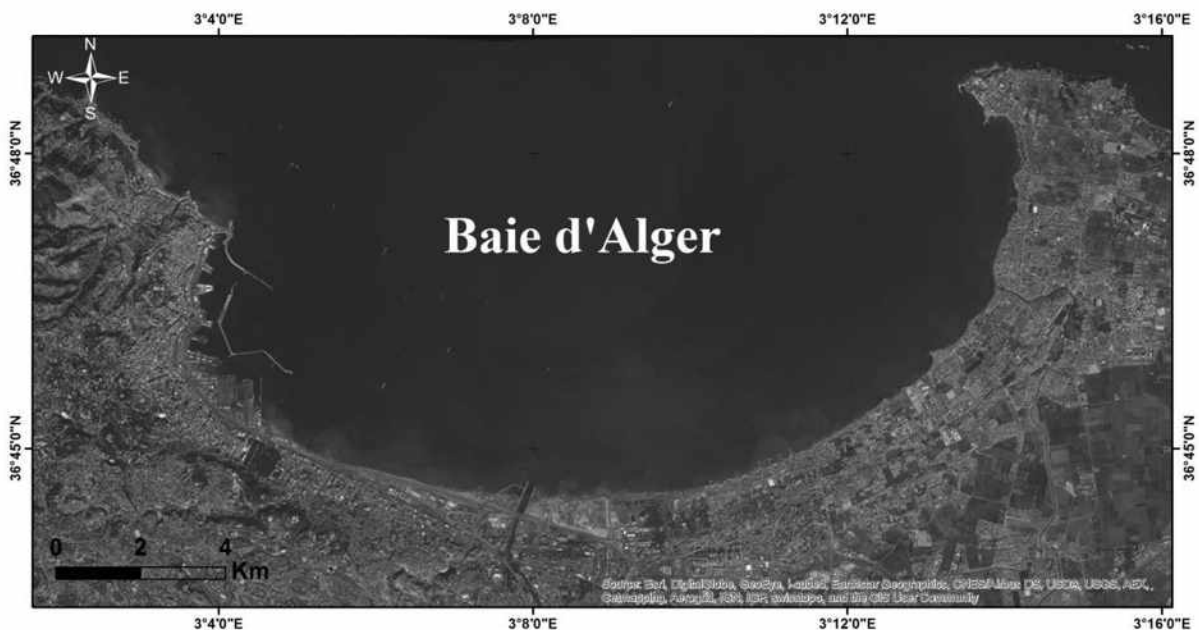


Figure 2: Situation géographique de la baie d'Alger

1.2 Réseau hydrographique

La baie d'Alger est alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz :

➤ Oued El Harrach

Situé dans la partie Est de la baie d'Alger, son bassin versant couvre une superficie de 970 km². Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³ /s. Il englobe en plus d'Oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Samar à l'Est et Terro à l'Ouest (LEM, 1998).

➤ Oued El Hamiz

La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du Cap de Matifou. Ses principaux affluents sont : Oued Segia et Oued Barek (LEM, 1998).

1.3 Facteurs hydrodynamique

1.3.1 Les houles

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

En hiver : Les houles prédominantes sont W-NW (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-NE 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.

1.3.2 Les courants

- Les courants généraux :

Il existe un courant général rentrant par le Déroit 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).

- Les courants de dérive littorale :

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littoral. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte (MILLOT, 1987).

- Le courant de retour :

Correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dépression d'une partie des sédiments côtiers vers le large (MILLOT, 1987).

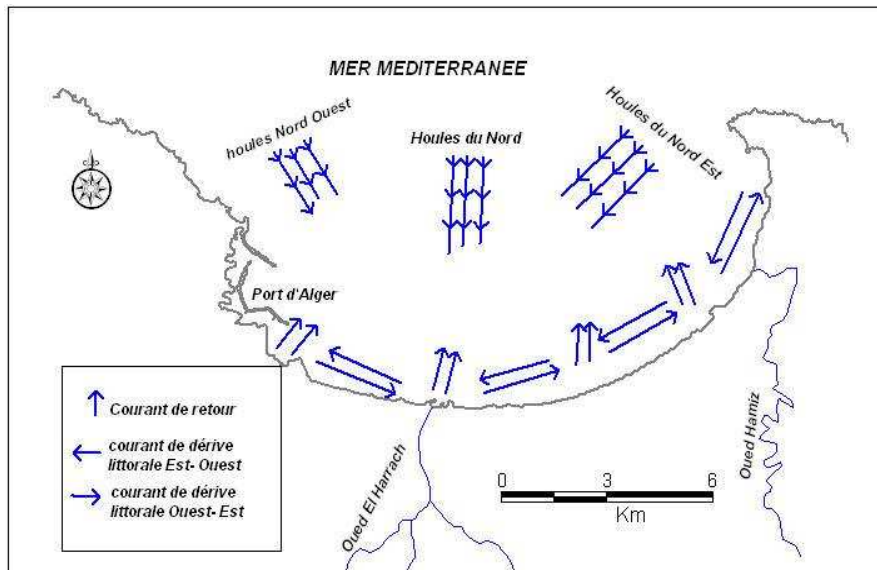


Figure 3: Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)

1.4 Le climat

1.4.1 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 : Qui sont 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.

1.4.2 La température et la pluviométrie

Les observations climatiques de la baie d'Alger ont été réalisées par l'Office National de la Météorologie (ONM, 2010). L'étude de ces données qui sont représentées dans le tableau 3 (**Annexe 01**) conduit à conclure ce qui suit :

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. La plus haute température est enregistrée en mois de juillet : $25,36^{\circ}$ et la plus basse en mois de janvier : $14,6^{\circ}$.

La pluviométrie est considérable du mois d'octobre au mois de mars. On remarque deux périodes :

- Une période hivernale: les températures sont basses et les précipitations sont importantes.
- Une période estivale: les températures augmentent jusqu'à 29° C et les précipitations se font très rares.

1.5 La sédimentologie

La nature de fond de la baie d'Alger est caractérisée par trois faciès sédimentaires (MAOUCHE, 1987) :

- Les sables fins : Sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
- Les sables moyens : Sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.

Les sables grossiers : Sont prédominants dans le secteur Est où ils sont mélangés aux faciès péliques (du Cap de Matifou vers l'embouchure de l'oued El Hamiz).

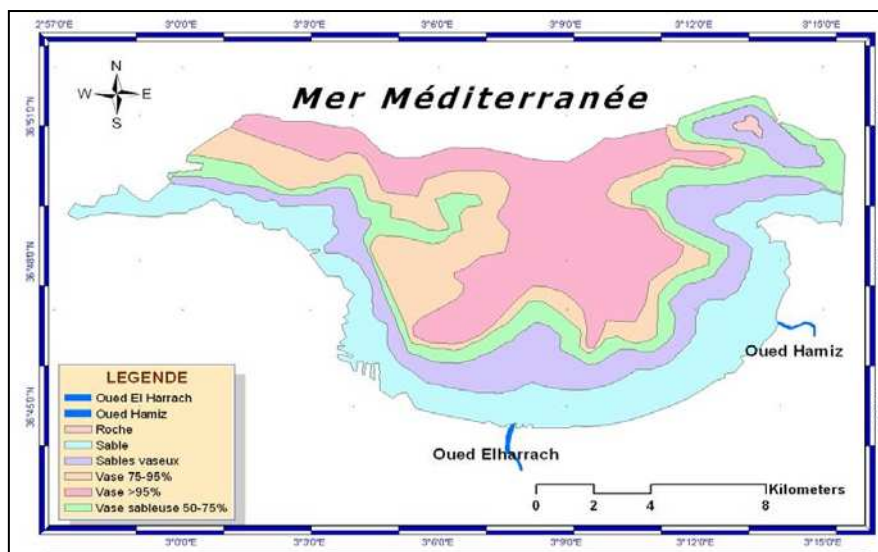


Figure 4: Nature de fond de la baie d'Alger (MAOUCHE, 1987)

1.6 L'état de pollution

La ville d'Alger est très urbanisée et elle est principalement contaminée par les différentes sources de pollution et soumise à plusieurs types de rejets urbains, industriels et agricoles. La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution. Ces eaux usées sont chargées de matière organique, matière en suspension, détergent et des huiles lubrifiantes, génèrent des pollutions organique et chimique, cette situation est aggravée par la quasi absence de traitement des eaux (HOUMA-BACHARI, et al., 2004). A tous ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port d'Alger et le port de Tamenfoust.

Zone d'étude

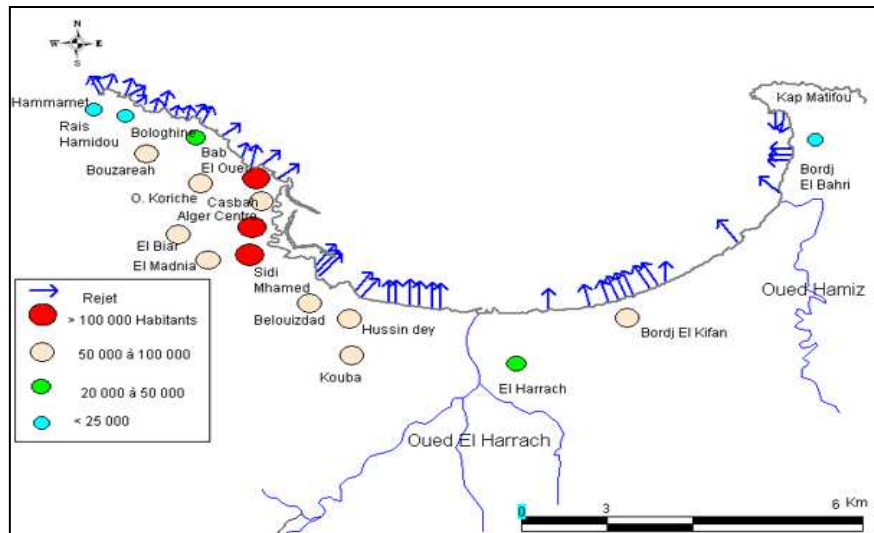


Figure 5: Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (HOUMA-BACHARI, 2009).

2 Baie de Bou-Ismaïl

2.1 Situation géographique

La baie de Bou-Ismaïl s'étend du méridien du Mont de Chenoua à l'Ouest ($2^{\circ} 25' E$ et $36^{\circ} 38' N$) à celui du Ras Acrata à l'Est ($2^{\circ} 55' E$ et $36^{\circ} 48' N$), la plaine de Mitidja au sud et la mer Méditerranée au Nord.



Figure 6: Situation géographique et localisation de la baie de Bou-Ismaïl

2.2 Réseau hydrographique

Deux cours d'eau déversent dans la baie de Bou-Ismaïl, l'oued Mazafran et oued Nador (BENZOHRA, 1993) :

➤ L'oued Mazafran

Se situe à 30 km à l'Ouest d'Alger, il prend naissance à la jonction de l'Oued Chiffa et l'Oued Djer. Le bassin versant couvre une superficie de 1850km^2 . L'Oued débouche dans la mer entre Douaouda et Zeralda avec un débit de $7.566\text{ m}^3/\text{s}$ pendant la période de Décembre à

Zone d'étude

Avril avec une moyenne annuelle de 43.8 millions de m³, cet Oued est marqué par un long étiage qui dure de Juin à Décembre représentent 17.38% du déversement liquide annuel.

➤ L'oued Nador

Se situe entre Tipaza et Mont de Chenoua. Il regroupe trois Oueds, Bou Yersen, Bou Ardon et Merrad, son étendue est de 230 km² avec un débit de 0.89 m³/s. Ces Oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées.

➤ Oued Beni-Messous

Il est situé entre El Djamila et club des Pins, traversant la commune de Beni-Messous et Chéraga au Nord et débouche au niveau d'une plage appelée «les dunes » qui font partie de la baie d'El Djamila. Son débit est faible par rapport aux débits des oueds précédemment cité et estimé à 0,245 m³/s (A.N.R.H, 2003) in (BACHOUCHE, 2010).

2.3 Facteurs hydrodynamique

Deux périodes distinctes (MILLOT, 1987).

- En hivers : Les houles les plus importantes et les plus fréquentes observées viennent de l'Ouest avec les plus grandes amplitudes entre 2 et 2.5 m. Les houles maximales peuvent atteindre les 4 à 6 m.
- En été : les directions les plus observées sont d'origine Est, ainsi que des houles de Nord-Est avec une fréquence moins importante et les amplitudes généralement plus faibles, de 0.5 à 1 m.

2.4 Le climat

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide et une périodicité des vents.

2.4.1 Les vents

En baie de Bou-Ismaïl. Le vent d'Est souffle du mois de septembre. Il peut être violent. Sa force peut atteindre entre 15 et 20 m/s durant 3 à 4 jours consécutifs. Les vents les plus violents soufflent de décembre à mars et proviennent de l'Ouest (LACOMB, 1965, ASSO, 1982) in (BACHOUCHE, 2010).

2.4.2 La température et la pluviométrie

Les observations climatiques de la baie de Bou-Ismaïl ont été réalisées par l'Office National de la Météorologie (ONM, 2010) pour l'année 2001-2010. L'étude de ces données qui sont représentées dans le tableau 4 (**Annexe 01**) conduit à conclure ce qui suit :

La période hivernale se caractérise par une baisse de la température à environ 11.11⁰C et une précipitation moyenne de 88.41 mm, alors que la période estivale se caractérise d'une température moyenne de 26.31⁰C avec des précipitations très faible.

2.5 La sédimentologie

La baie de Bou-Ismaïl se caractérise par une texture sédimentologique dont neuf faciès peuvent être identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviés envasés, les sables grossiers et fin graviers, les vases pures, et les faciès rocheux (LECLAIRE, 1972).

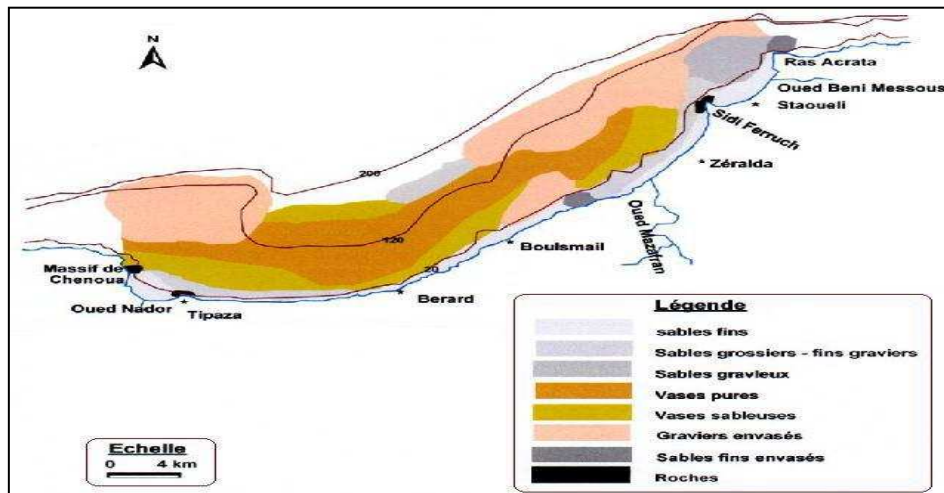


Figure 7: Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998)

2.6 L'état de pollution

La baie de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas s'accroissant en période estivale. Ajoutant à cela les jetés d'eaux usées véhiculées par les Oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels. A tous ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Pêche de Bou Haroun, Port de Pêche de Khemisti, Port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, Abris de pêche d'El-Djemila, Port de plaisance de SidiFredj, Port de plaisance de Palm Beach (LEM, 1998).

Zone d'étude

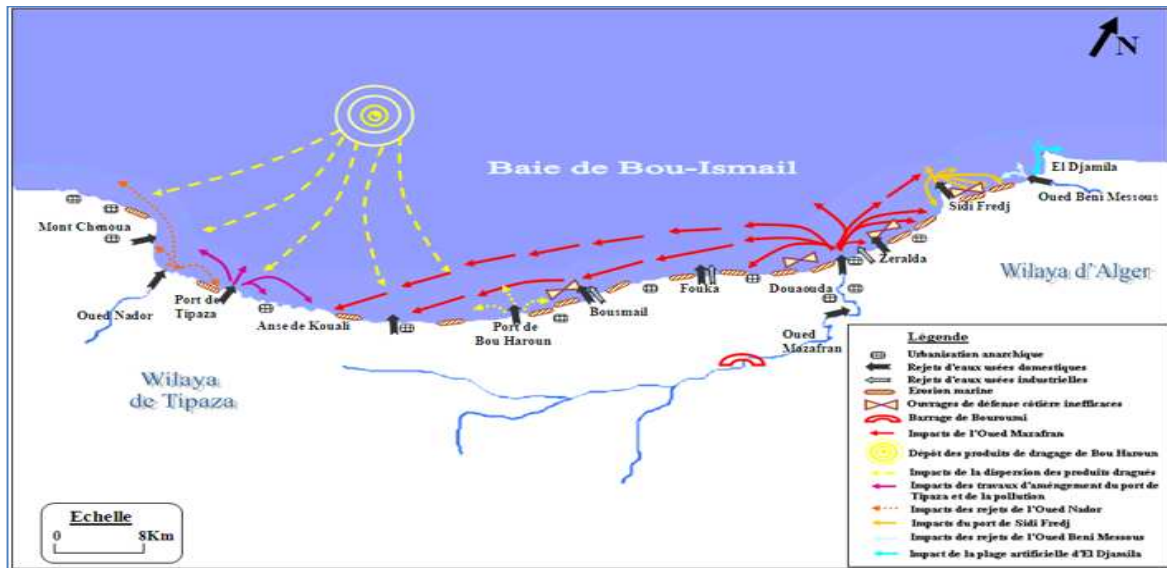


Figure 8: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (BELKASSA et *al*, 2008, ALSID CHIKH et *al*, 2009) in (HOUMA-BACHARI, 2009).

Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

1 Travaux effectués en mer

1.1 Choix et localisation des stations

Dans le cadre d'une surveillance spatiale de la contamination du milieu marin par la pollution chimique (les hydrocarbures polyaromatiques, les sels nutritifs) dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl. Nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans différentes stations. Les analyses ont aussi concerné les différents paramètres physico-chimiques.

Le choix des stations de prélèvement durant les sorties n'était pas inopiné, une carte a été réalisée au préalable en prenant compte de la localisation des principaux points des rejets et des oueds le long de la côte algéroise. Une carte localise les stations de prélèvement dans les deux baies : baie de Bou Ismaïl et baie d'Alger(Figure).

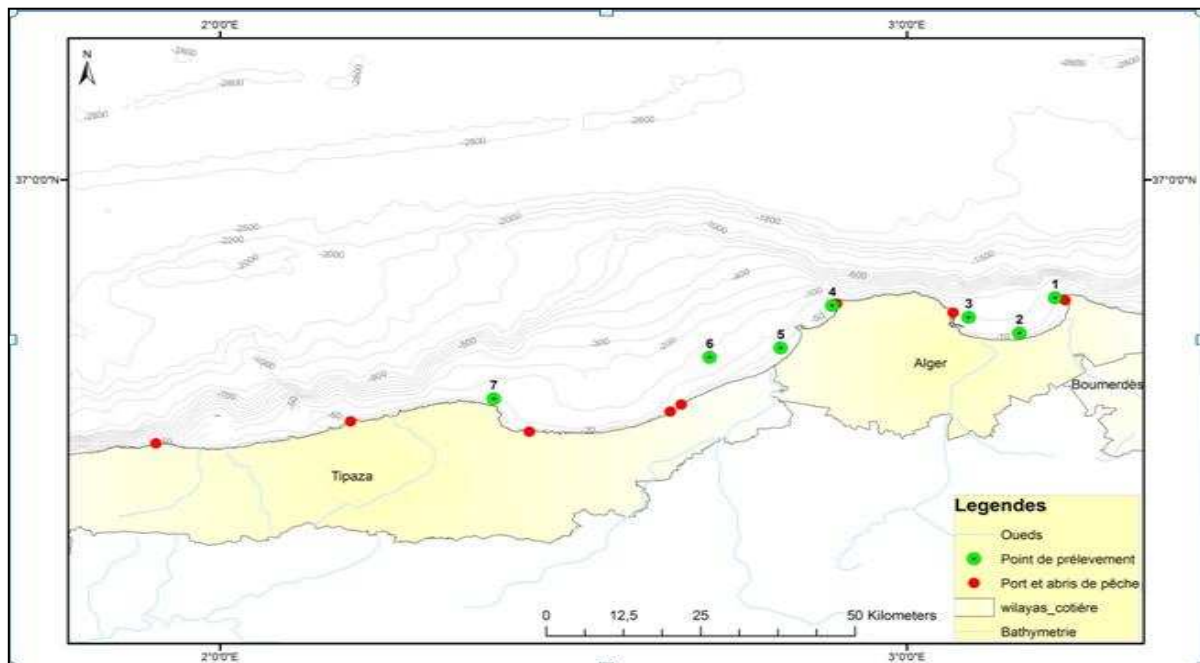


Figure 9: localisation des stations de prélèvement dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl en (28 Mai-15 Juin) 2014.

1.2 Matériels de prélèvements

Pour l'analyse des sels nutritifs. Des flacons polyéthylène ont été préalablement préparés pour recevoir les échantillons d'eau de mer. Les flacons ont été rincés à l'eau de robinet ensuite à l'eau acidulée (HCL 10%) puis l'eau bidistillée, par la suite les flacons sont séchés à l'étuve (70°C).

Pour le dosage des hydrocarbures les prélèvements d'eaux sont réalisés par des bouteilles en verre teintée et sont refermées avec des bouchons en téflon et pour plus de sécurité avec de papier aluminium. Ces bouteilles doivent être nettoyées parfaitement et rincées comme indiquée ci –après (C.O.I, 1982) :

Laver avec un détergent, Rincer sous l'eau du robinet, Rinçage à l'eau bidistillée, Rincer à l'acétone, Rincer à l'hexane, Mettre à l'étuve à 300°C pendant 24H, et enfin Couvrir

avec du papier aluminium préalablement rincé avec l'hexane ou met à l'étuve à 300°C pendant 24H.

1.3 Mesures in- situ

1.3.1 Température

La température de l'eau a été mesurée in-situ à l'aide d'un conductimètre de terrain préalablement calibré de la marque *Wissenschaftlich technische Werkstätten* « WTW ». La température est donnée en °C.

1.3.2 La salinité

La salinité est mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain de marque WTW type «Cond 315i /Set» avec une précision de $\pm 0,5\%$ mesure. La salinité est donnée en PSU (Practical Salinity Unit).

1.3.3 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est déterminée à partir d'un oxymètre de terrain de marque WTW « Oxi197i /Set» avec une précision de $\pm 0,5$. La concentration en oxygène est donnée en mg/l.

1.4 La conservation des échantillons

Les échantillons prélevés sont conservés dans une glacière avant l'acheminement au laboratoire où ils seront déposés au congélateur (-18°C) concernant les échantillons destinés à l'analyse des sels nutritifs et les hydrocarbures tout en respectant la durée de conservation. La congélation permet de conserver les propriétés chimiques des échantillons, éviter une contamination avec le milieu ambiant et les pertes d'éléments volatils.

2 Travaux effectués en laboratoire

2.1 Dosage des hydrocarbures (polyaromatiques) dans l'eau de mer

2.1.1 Les étapes de la procédure analytique pour l'analyse des hydrocarbures polyaromatiques

- Extraction des hydrocarbures dissous/dispersés :

L'extraction proprement dite se fait au laboratoire. En ajoutant 50 ml de hexane à l'échantillon (2 l), on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter, d'une durée de 15 mn. A la fin de chaque agitation on laisse décanter 15 mn.

La phase organique, plus léger que l'eau, est récupérée dans un erlenmeyer à col rodé. L'opération est répétée une seconde fois par addition de 50 ml d'hexane à l'eau de mer ; la phase organique est rajoutée au premier extrait.

Déshydrater cet extrait en lui ajoutant une pince du sulfate de sodium (Na₂SO₄).

- La concentration des extraits

C'est une étape particulièrement délicate du protocole expérimental. C'est au cours de celle-ci que les pertes des hydrocarbures par évaporation sont les plus grandes. (SEBIH, 1990) montre qu'au-delà de 200µl les pertes deviennent significatives. Le protocole de la

Matériels et méthodes

Commission Océanique Intergouvernementale (C.O.I, 1982) souligne bien ce risque et recommande de ne pas dépasser cette limite qui est de 200 μ l.

- La concentration des extraits se fait en deux étapes :

La concentration avec l'évaporateur rotatif dans le but d'éliminer le solvant. Pour éviter l'évaporation des hydrocarbures aromatiques, on concentre nos échantillons jusqu'à 10 ml. Afin de minimiser cette perte La température de bain-marie ne doit pas dépasser 69°C.

La Concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 2ml.



Figure 10: Un évaporateur rotatif

- La purification des extraits :

La purification qui a pour but d'élimination des composés polaires tels que les lipides, extraient en même temps que les hydrocarbures pétroliers, est réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte en utilisant l'alumine et le gel de silice comme adsorbants.

Préparation de la colonne : une burette de 50 ml de contenance, de 10 mm de diamètre interne et munie d'un robinet en téflon ou en verre non-lubrifié est remplie, selon méthode humide, successivement par : du coton de verre, 20 ml d'hexane, 5 g de gel de silice, 5 g d'alumine et 0.5 g de Na_2SO_4 en tête de la colonne.

a) Purification de la fraction aliphatique

- Verser l'échantillon après leur agitation avec un agitateur mécanique.
- Ajouter 20ml d'hexane puis récupérer la fraction **1** qui présente la fraction aliphatique dans un tube à essai conditionné au paravent.
- Fermer le avec le téflon puis conserver au frais.

b) Purification de la fraction aromatique

- Ajouter 20 ml de mélange binaire du solvant hexane-dichlorométhane dans des proportions égales (50/50).

Matériels et méthodes

- Récupérer la fraction **2** qui représente les aromatiques qui est, désormais, analysée par SFUV.
- Conserver au frais.

L'activation de gel de silice et de l'alumine a été faite pendant 8H à 120°C puis désactivé partiellement par l'addition de 3% de poids d'eau bidistillée.



Figure 11: Les colonnes de purification

2.1.2 L'analyse des hydrocarbures aromatique par la spectrofluorimétrie ultraviolet (SFUV)

Le SFUV, sensible essentiellement aux hydrocarbures aromatiques, ne permet pas un dosage au sens strict des hydrocarbures totaux dans un échantillon marin ; les teneurs mesurées ne représentent pas réellement les concentrations absolues d'hydrocarbures. Par contre, la réponse de fluorescence fournit un excellent indice de pollution pétrolière, du fait des très faibles teneurs en hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin. La limite de détection est de l'ordre de 0.1 µg/l pour l'eau de mer (ROUSSEL, 1983).

➤ Principe

La SFUV mesure l'émission de fluorescence de molécules soumises à un rayonnement d'excitation ultraviolet. La réponse en fonction de la structure moléculaire et s'applique aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées donc aux hydrocarbures polyaromatiques (MARCHAND, 1983).

➤ Appareillage

Les hydrocarbures polyaromatiques sont analysés avec un spectrofluorimètre HITACHI modèle « 650-105 » (high sensitivity), équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1.5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm. L'appareil contient des cellules en quartz de 1 centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces. Un volume minimal de 0,5ml d'échantillon est suffisant à l'analyse.



Figure 12: Spectrophotomètre de fluorescence HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe «Xénon»

➤ Etalonnage et mode de calcul

La C.O.I (1982) préconise le chrysène comme principale substance de référence pour le dosage spectroscopie par fluorescence.

a) Préparation des standards

On prépare une solution mère de chrysène ou 1,2 benzophenanthrène ($C_{18}H_{12}$) à une concentration de 0.01mg/ml (dissoudre 1 mg de chrysène dans 100 ml d'hexane). Des volumes de : 0.2, 0.4, 0.6 et 0.8 ml sont prélevés de la solution initiale et dilué dans 100 ml d'hexane afin d'obtenir des solutions filles S_1 , S_2 , S_3 et S_4 .

Tableau 2: Concentration des standards

Standard	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
[C] $\mu\text{g/ml}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1

b) Mesure des intensités de fluorescence

Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage. Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes : L'analyse de l'échantillon nécessite une longueur d'onde d'excitation 310 nm, Longueur d'onde d'émission : 360, 380, 410 nm, Les fentes d'excitation et d'émission sont respectivement fixées à 2 nm et 5 nm.

L'intensité de fluorescence (IF) est proportionnelle à la concentration de l'échantillon dans la gamme étalon de réponse linéaire du spectrofluorimétrie déterminée par la courbe d'étalonnage.

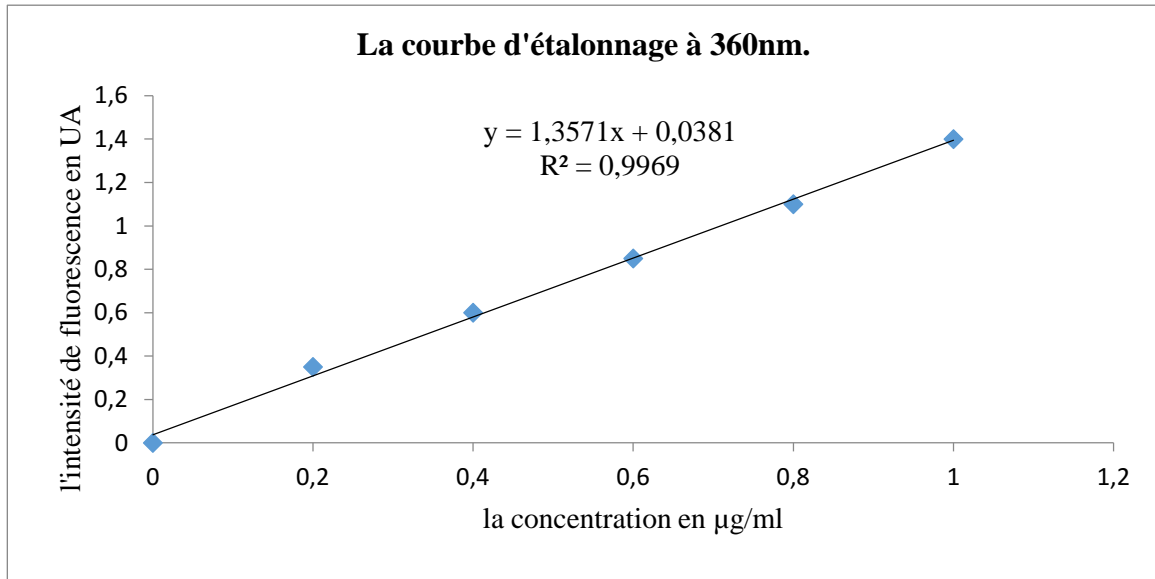


Figure 13: La courbe d'étalonnage

c) Détermination des concentrations en hydrocarbures polycycliques

- Les concentrations en hydrocarbures polycycliques dans les extraits (µg/ml) sont déterminées à partir de la droite d'étalonnage :

$$IF = ac + b \quad \text{Équation 2}$$

IF : intensité de la fluorescence en unités arbitraires U.A.

C : concentration des hydrocarbures polycycliques en µg/ml.

a : la pente de la droite.

b : ordonné à l'origine.

- Les concentrations finales des hydrocarbures polycycliques dans l'échantillon d'eau de mer en µg/l :

$$[C]_{\text{finale}} = C_e \cdot V_p / V \quad \text{Équation 3}$$

$[C]_{\text{finale}}$: Concentration massique finale des HPA dans l'échantillon d'eau de mer en µg/L.

V_p = Volume purifié de la fraction F2 en ml.

V = Volume de l'échantillon en L.

C_e = Concentration massique de l'extrait en µg/ml.

2.2 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.

2.2.1 Fonctionnement de l'appareil de dosage:

- Il repose sur un principe dynamique: une veine liquide propulsée par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé.

Matériels et méthodes

- Les réactions chimiques s'effectuent dans la veine liquide.

-La chainer automatisée SKALAR piloté par un microordinateur pour, fournir un fichier numérique contenant les résultats relatives à l'analyse.



Figure 14: Auto Analyser San Plus (SKALAR, 1998)

2.2.2 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 de la lumière à certaine longueur d'onde (λ). L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même, ce dernier est d'autant plus important 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 :

$$A = D.O = \text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon.L.C \quad \text{Équation 4}$$

I_0 et I : sont respectivement intensité lumineuse 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.

2.2.3 Dosage de l'ammonium

Le dosage de l'ammonium (NH_4^+) est réalisé suivant la méthode de KOROLEFF (1969) *in* (AMINOT, et al., 1983).

Matériels et méthodes

En milieu alcalin ($8 < \text{pH} < 11,5$), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine.

Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium. Le maximum d'absorption se fait à une longueur d'onde de 630 nm.

2.2.4 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-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (BENSCHNEIDER, et al., 1952).

2.2.5 Dosage des nitrates

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) par passage de l'échantillon sur une colonne 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).

2.2.6 Dosage des orthophosphates

En présence d'antimoine tartrate 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 (MULLIN, et al., 1955). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

2.2.7 Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation pour chacun des éléments à analyser une solution mère et une solution fille. Pour chacune de ces solutions filles, on réalise une série d'étalons couvrant la gamme de la concentration des échantillons rencontrée habituellement dans l'eau de mer.

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

Le détail du protocole expérimental pour la préparation des réactifs et solutions est en **Annexe 03**

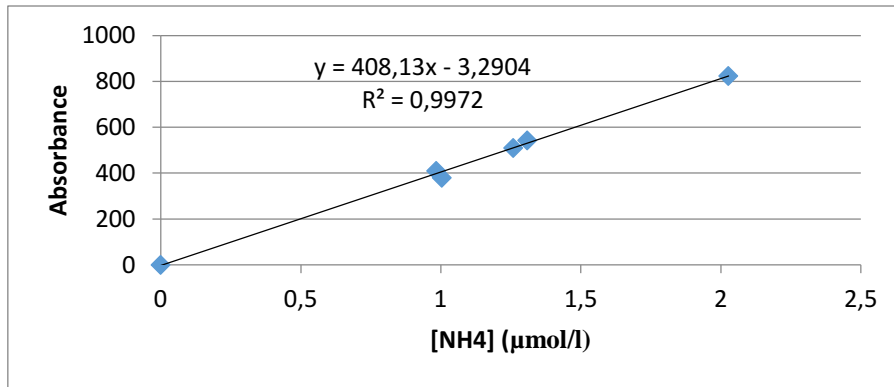


Figure 15; la courbe d'étalonnage de l'ammonium

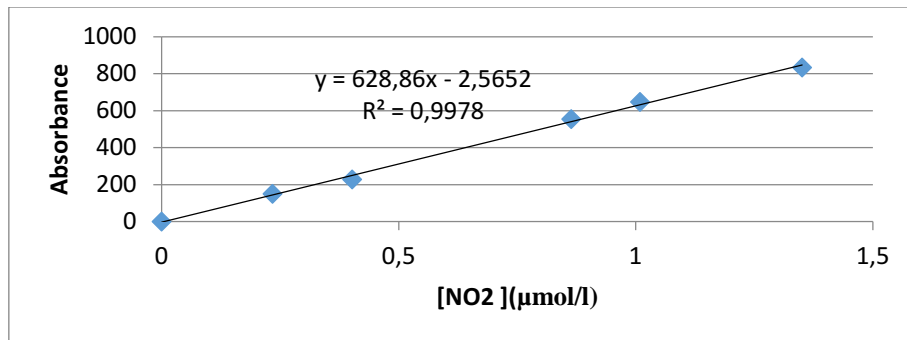


Figure 16: La courbe d'étalonnage des nitrites

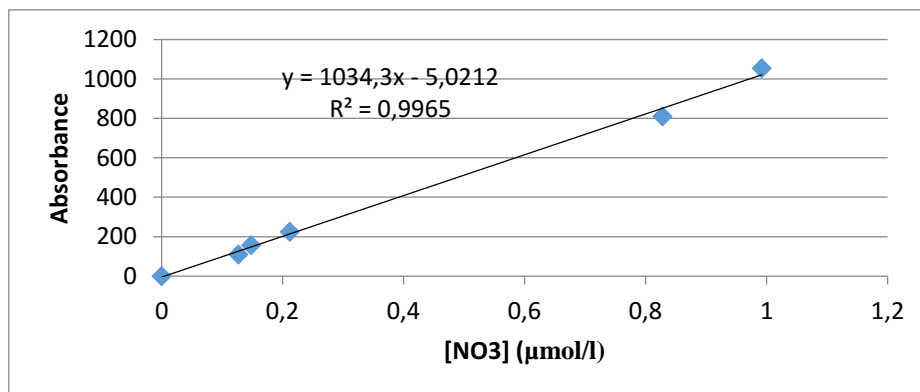


Figure 17: La courbe d'étalonnage des nitrates

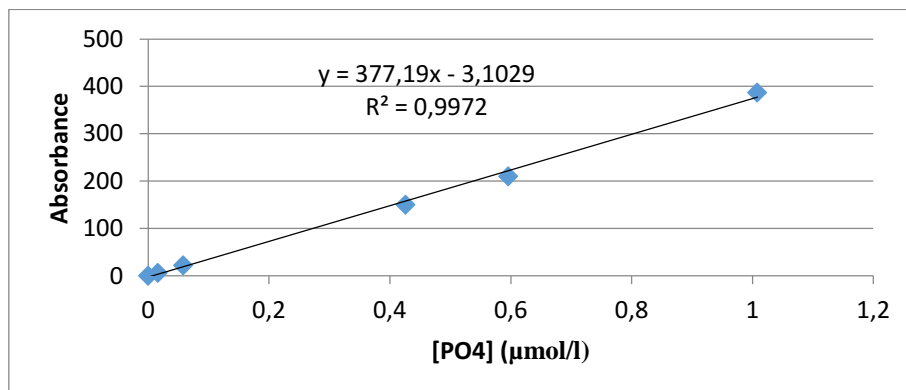


Figure 18: La courbe d'étalonnage des orthophosphates

Résultats et discussions

Résultats et discussions

1 Baie d'Alger

1.1 Paramètres physico-chimiques

1.1.1 Salinité

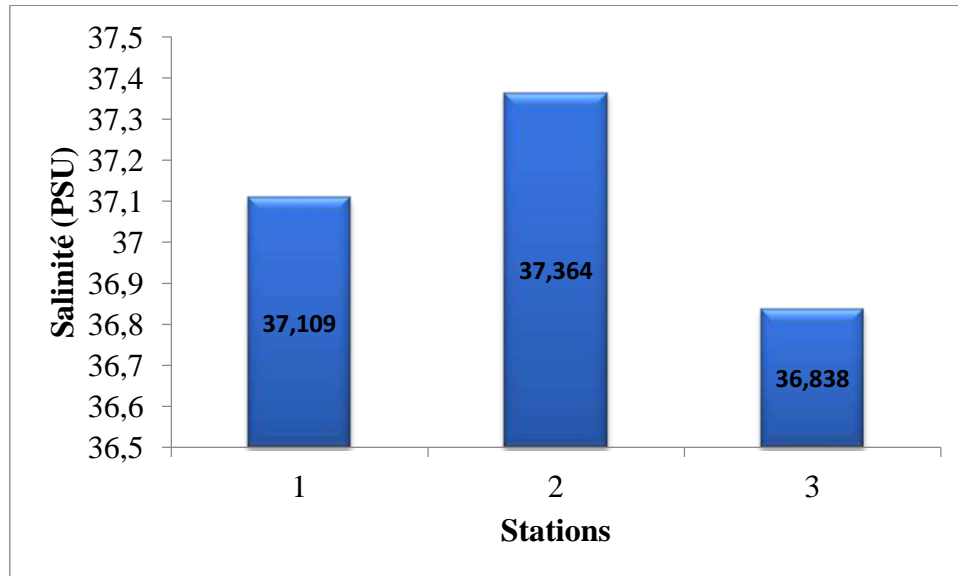


Figure 19: Les salinités relevées au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les salinités relevées dans la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de la salinité (36,838 PSU) est enregistrée au niveau de la station 3, et la valeur la plus haute de la salinité (37,364 PSU) est enregistrée au niveau de la station 2.

La variation de la salinité dans la baie d'Alger est faible. Cette variation pourrait être due est aux apports fluviaux et la précipitation.

1.1.2 Température

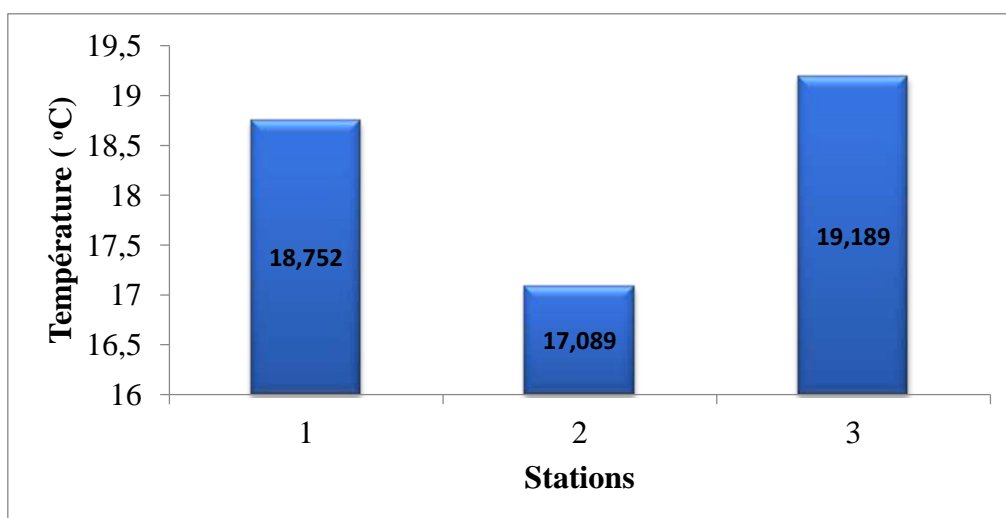


Figure 20: Les températures relevées dans la baie d'Alger.

Résultats et discussions

D'après la figure qui présente les températures relevées dans la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de la température ($17,098^{\circ}\text{C}$) est enregistrée au niveau de la station 2, et la valeur la plus haute de la température ($19,189^{\circ}\text{C}$) est enregistrée au niveau de la station 3.

Donc la variation de la température dans la baie d'Alger n'est pas importante. Ces fluctuations de la température seraient dues probablement à l'influence des facteurs météorologiques et hydrodynamiques.

1.1.3 Oxygène dissous

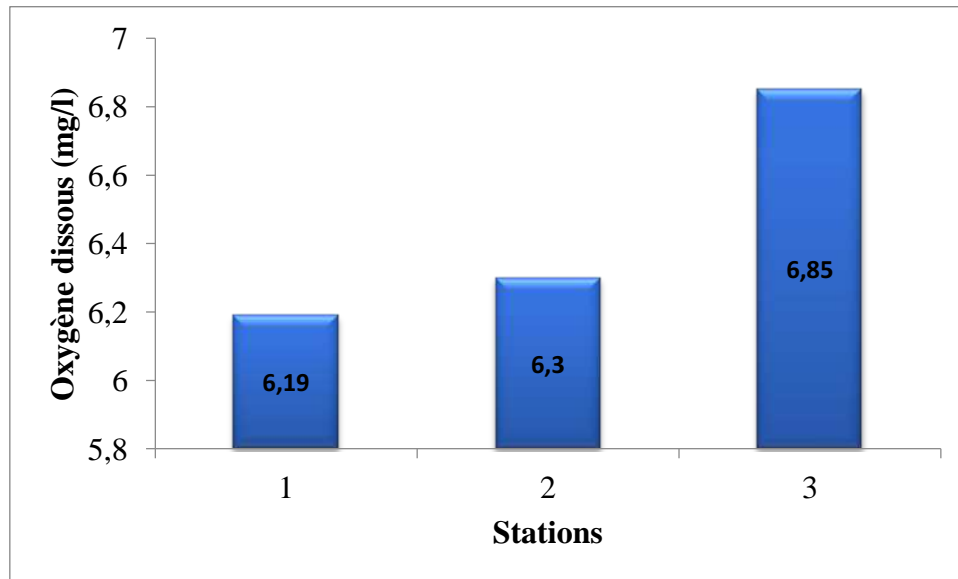


Figure 21: Les teneurs d'oxygène dissous relevées au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les teneurs d'oxygène dissous relevées dans la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de l'oxygène dissous ($6,19\text{ mg/l}$) est enregistrée au niveau de la station 2, et la valeur la plus haute de la température ($6,85\text{ mg/l}$) est enregistrée au niveau de la station 3.

Donc la distribution de l'oxygène dans la baie d'Alger est légèrement hétérogène. Cette hétérogénéité pourrait être expliquée par l'échange air-mer et l'activité photosynthétique.

1.2 Sels nutritifs

Le comportement des sels nutritifs ne peut être expliqué que par l'influence des paramètres suivants : les apports continentaux surtout près de la côte et l'activité biologique (recouvrant à la fois la consommation par le phytoplancton et la régénération par les micro-organismes qui est responsables de la dégradation de la matière organique (HOUMA-BACHARI, 2009)

1.2.1 Ammonium

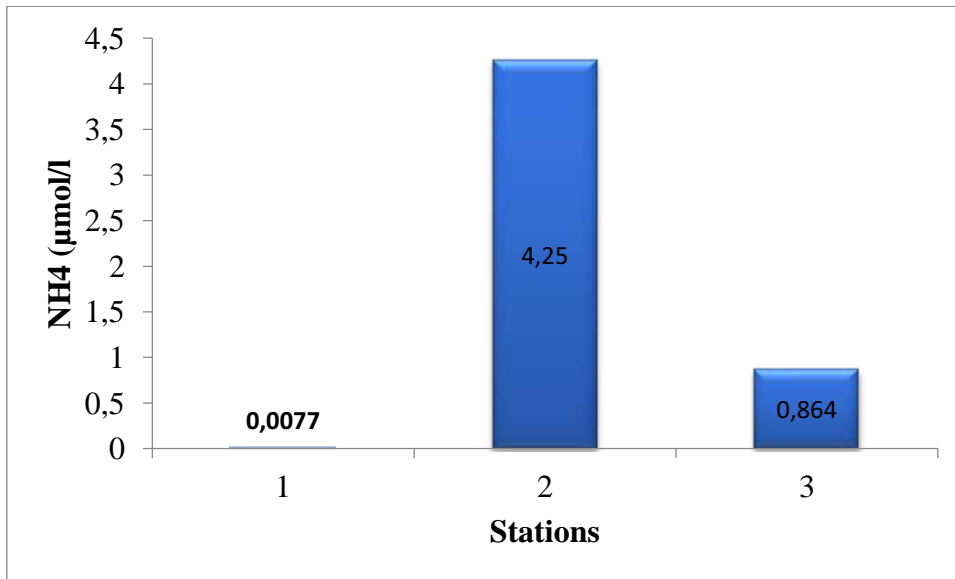


Figure 22: les concentrations d'ammonium au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les concentrations d'ammonium au niveau de la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de l'ammonium ($0,0077 \mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 1, et la valeur la plus haute de la température ($4,25 \mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 2.

Les eaux côtières sont polluées, les concentrations sont généralement $< 1 \mu\text{mol/l}$ (AMINOT, et al., 1983). Donc il existe une pollution au niveau de la station 2.

1.2.2 Nitrate

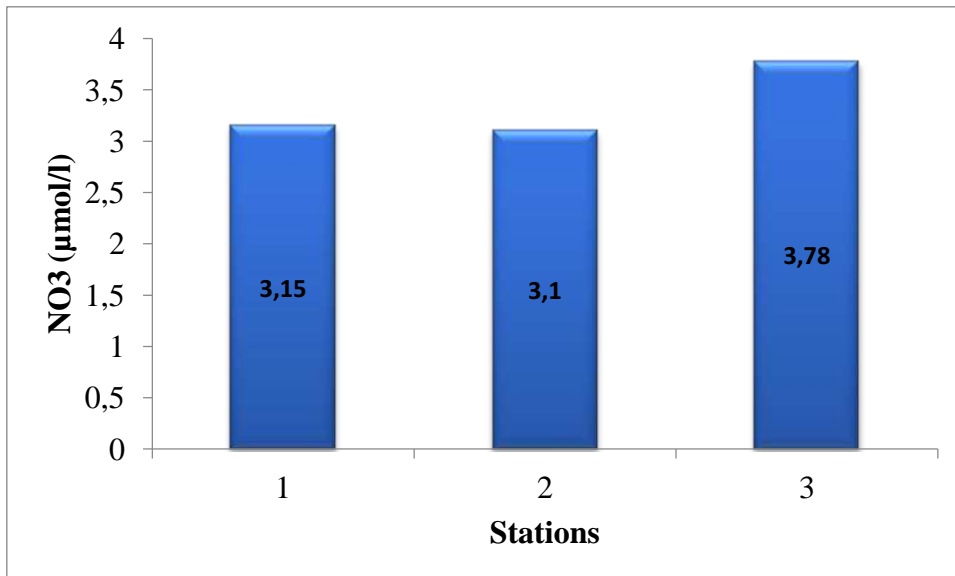


Figure 23 : les concentrations de nitrate au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les concentrations de nitrate au niveau de la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de nitrate ($3,1 \mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la

station 2, et la valeur la plus haute de nitrate ($3,78\mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 3.

1.2.3 Nitrite

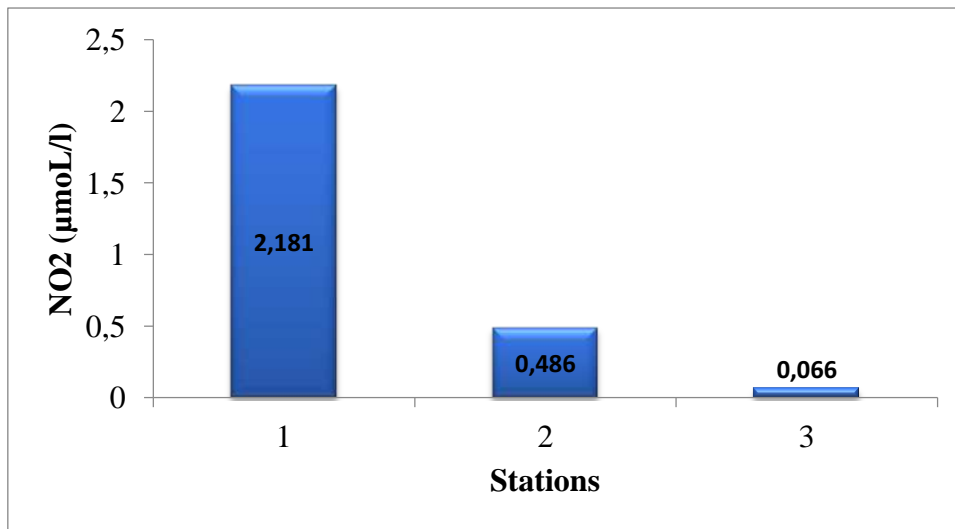


Figure 24 : Les concentrations de nitrite au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les concentrations de nitrite au niveau de la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse de nitrite ($0,066\mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 3, et la valeur la plus haute de nitrite ($2,181\mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 1.

1.2.4 Orthophosphate

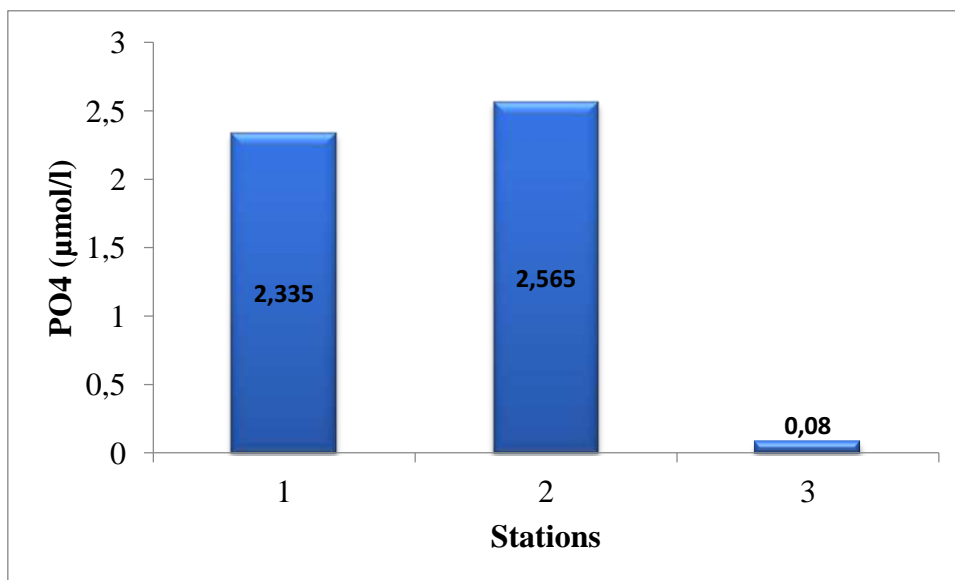


Figure 25 : Les concentrations des orthophosphates au niveau de la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les concentrations des orthophosphates au niveau de la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse des orthophosphates ($0,08\mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 3, et la valeur la plus haute des orthophosphates ($2,565\mu\text{mol/l}$) est enregistrée au niveau de la station 2.

1.3 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

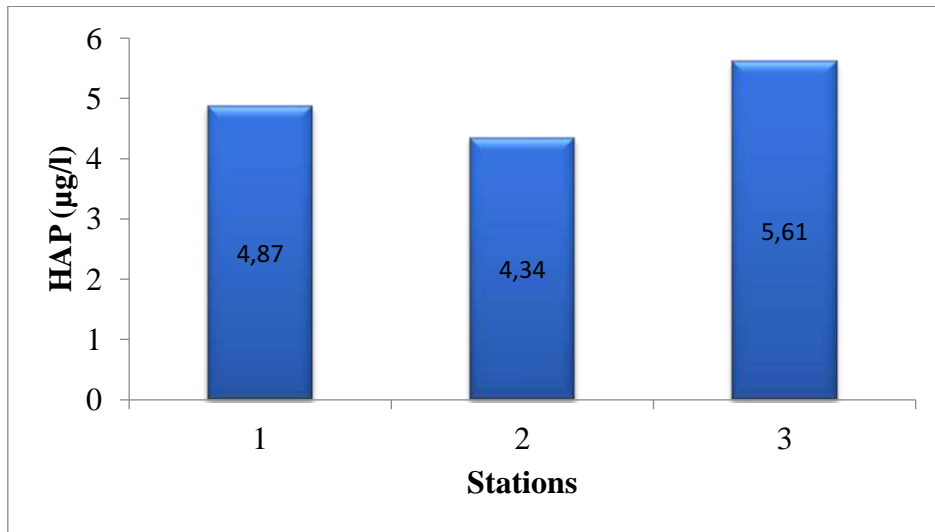


Figure 26: les teneurs en HAP dans la baie d'Alger.

D'après la figure qui présente les teneurs en HAP dans la baie d'Alger on constate que : la valeur la plus basse des HAP (4,34µg/l) est enregistrée au niveau de la station 2, et la valeur la plus haute des HAP (5,61 µg/l) est enregistrée au niveau de la station 3.

L'hétérogénéité dans la distribution spatiale retrouvée des HAP dans l'eau de mer peut s'expliquer d'une part par des apports potentiels ; d'autre part une élimination simultanée des HAP à la surface marine en diminuant ses teneurs. Cette hétérogénéité peut être occasionnée par une dégradation biologique (LACASE, 1980). Ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques (RONTANI, et al., 1987).

2 Baie de Bou-Ismail

2.1 Paramètres physico-chimiques

2.1.1 Salinité

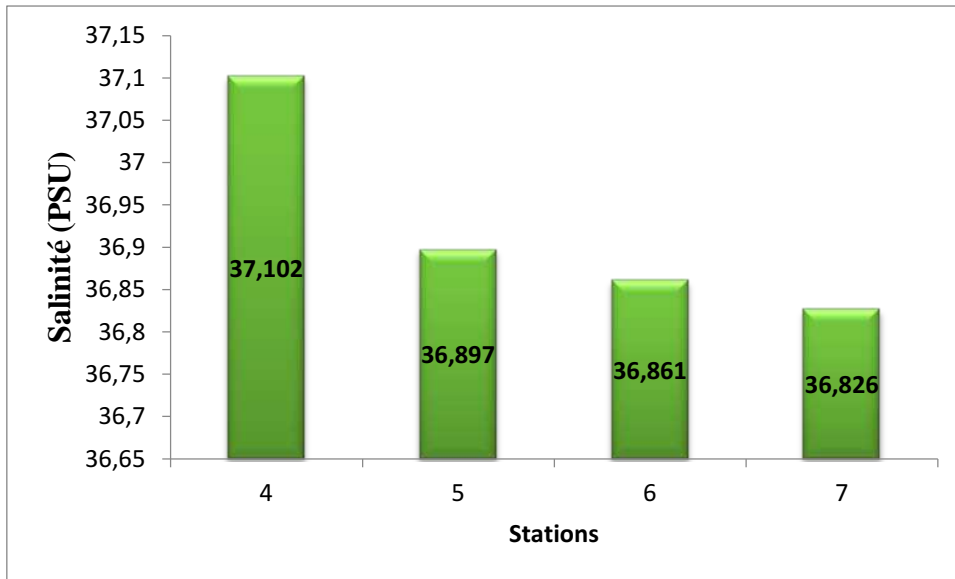


Figure 27: Les salinités mesurées dans la baie de Bou-Ismail.

D'après la figure qui présente les salinités mesurées dans la baie de Bou-Ismail on remarque que : dans la baie de Bou-Ismail, les salinités de l'eau de mer est entre un minimum de 36,826 PSU au niveau de la station 7 et un maximum de 37,102 PSU au niveau de la station 4. donc La variation de la salinité dans la baie de Bou-Ismail est faible.

2.1.2 Température

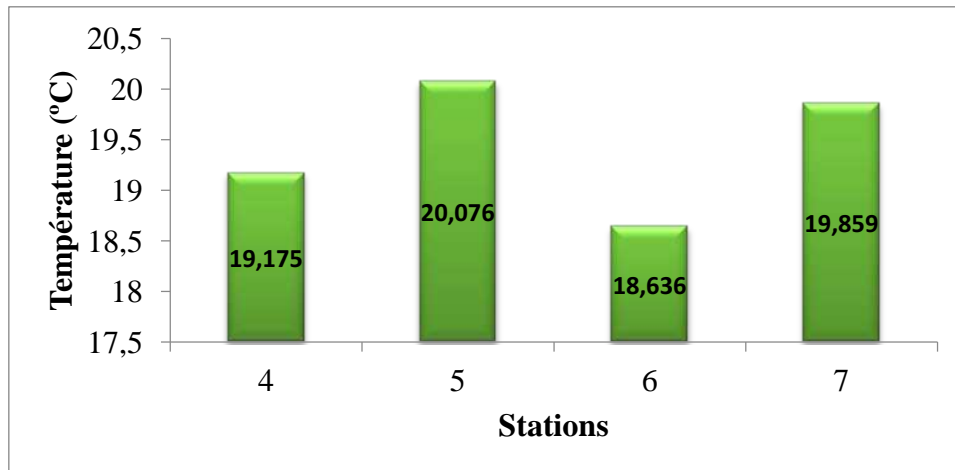


Figure 28: les températures mesurées dans la baie de Bou-Ismail

D'après la figure qui présente les températures mesurées dans la baie de Bou-Ismail on remarque que : dans la baie de Bou-Ismail, les températures de l'eau de mer est entre un minimum de 18,636 °C au niveau de la station 6 et un maximum de 20,076 °C au niveau de la station 5. Donc la variation de la température dans la baie de Bou-Ismail n'est pas importante.

Les fluctuations de la température seraient dues probablement à l'influence des facteurs météorologiques et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles (HOUMA-BACHARI, 2009).

2.1.3 Oxygène dissous

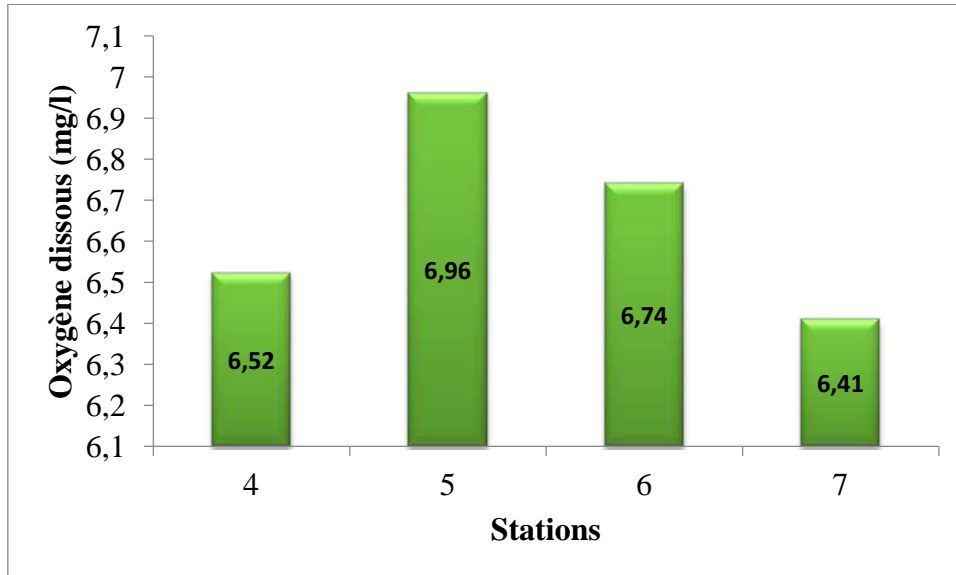


Figure 29: Les teneurs mesurées de l'oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les teneurs de l'oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, l'oxygène dissous dans l'eau de mer est entre un minimum de 6,41mg/l au niveau de la station 4 et un maximum de 6,96 mg/l au niveau de la station 5. Donc la distribution de l'oxygène dans la baie de Bou-Ismaïl est légèrement hétérogène.

2.2 Sels nutritifs

2.2.1 Ammonium

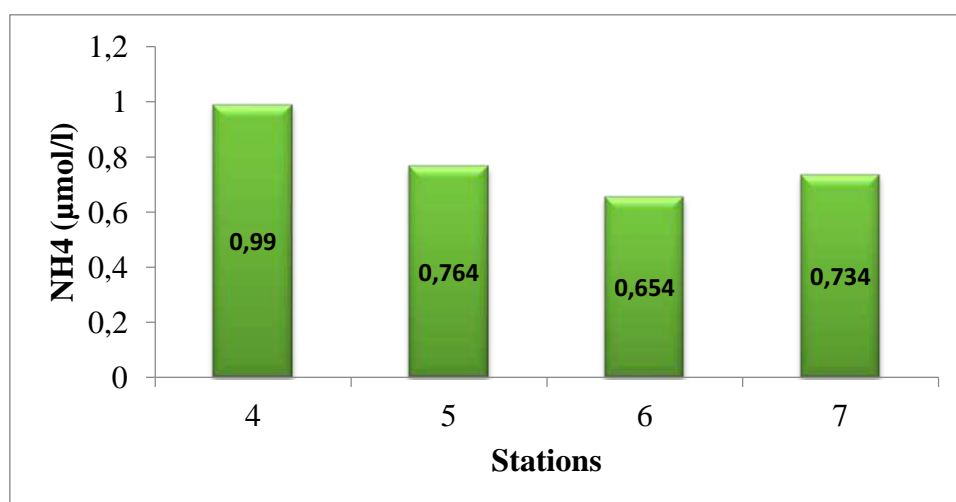


Figure 30: Les concentrations en ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les concentrations en ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration de l'ammonium dans

l'eau de mer est entre un minimum de 0,654 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 6 et un maximum de 0,99 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 4.

2.2.2 Nitrate

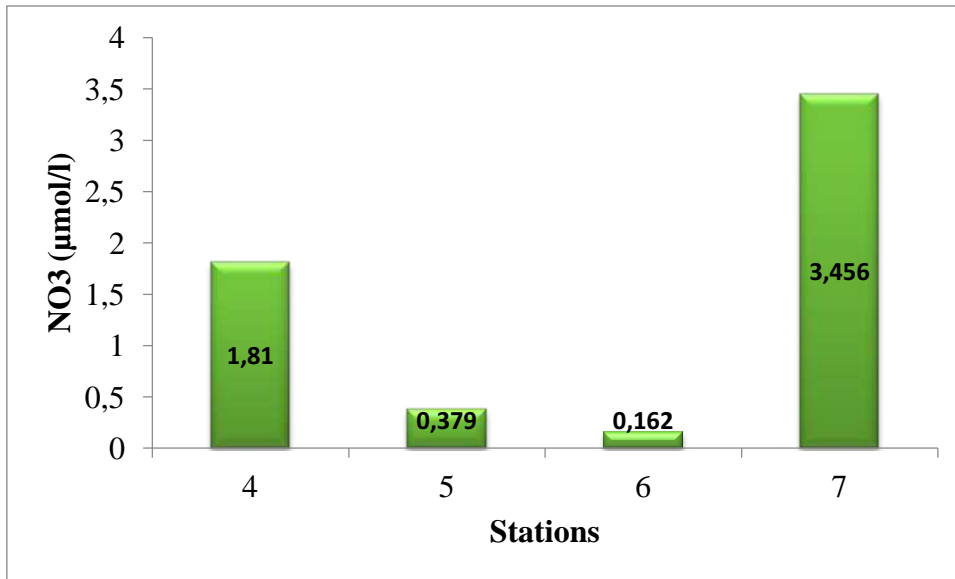


Figure 31: Les concentrations en nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les concentrations en nitrate dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration de nitrate dans l'eau de mer est entre un minimum de 0,162 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 6 et un maximum de 3,456 $\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 7.

2.2.3 Nitrite

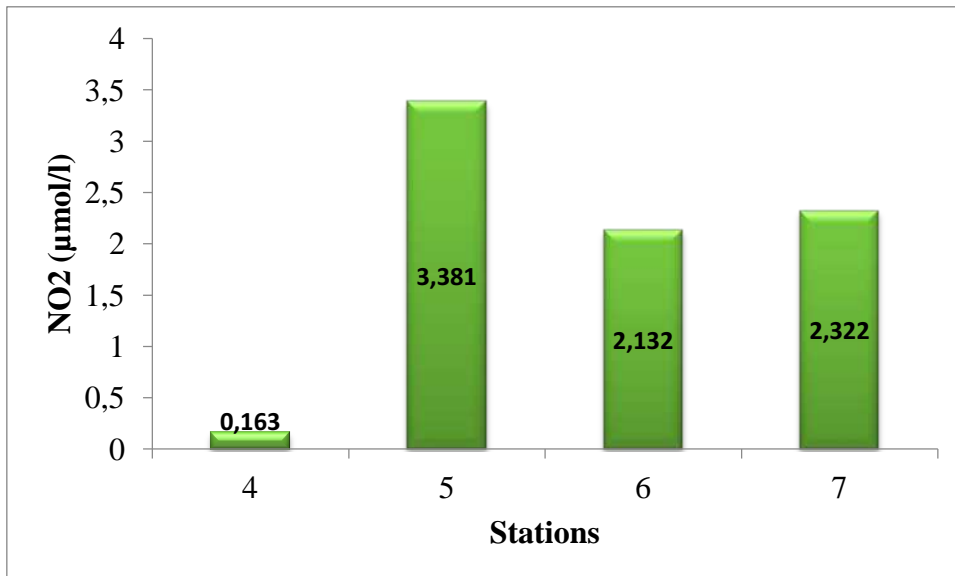


Figure 32: les concentrations en nitrites dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les concentrations en nitrite dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration de nitrite dans l'eau de mer est

entre un minimum de $0,163\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 4 et un maximum de $3,381\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 5.

2.2.4 Orthophosphate

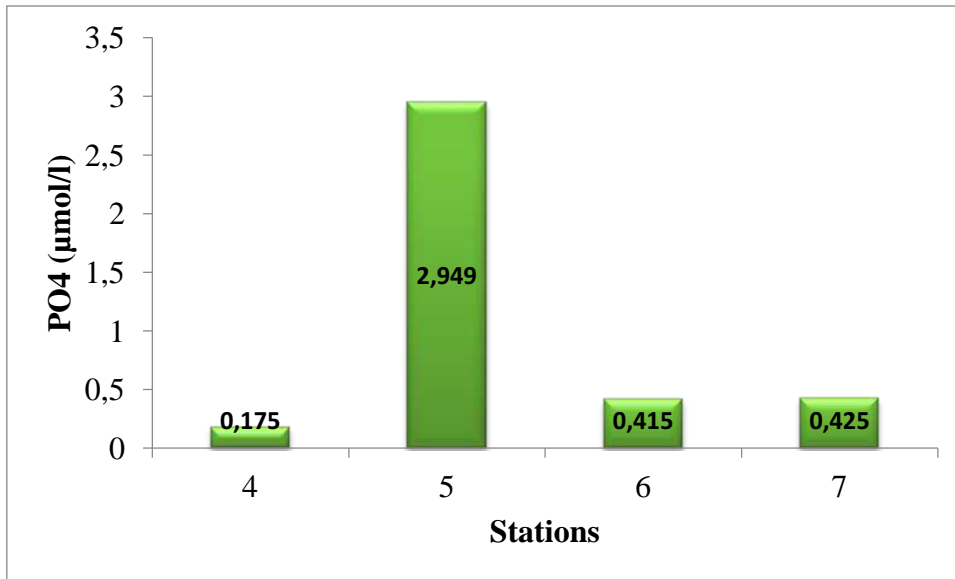


Figure 33: Les concentrations des orthophosphates dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les concentrations des orthophosphates dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration des orthophosphates dans l'eau de mer est entre un minimum de $0,415\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 6 et un maximum de $2,949\mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 5.

2.3 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

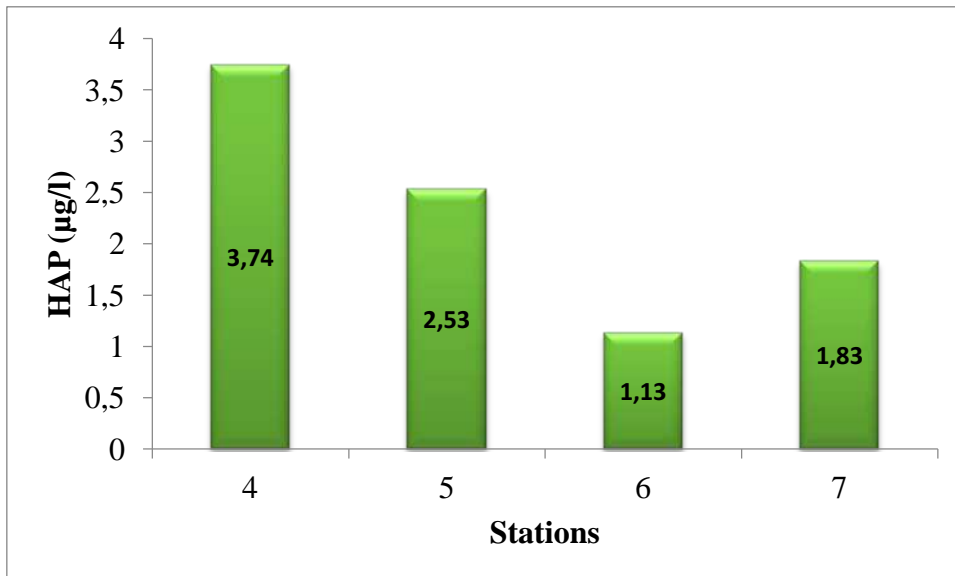


Figure 34: Les concentrations en HAP dans la baie de Bou-Ismaïl

D'après la figure qui présente les concentrations en HAP dans la baie de Bou-Ismaïl on remarque que : dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration en HAP dans l'eau de mer est

entre un minimum de $1,13\mu\text{g/l}$ au niveau de la station 6 et un maximum de $3,74\ \mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 4.

3 Etude comparative entre les deux baies (baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl)

3.1 Les sels nutritifs

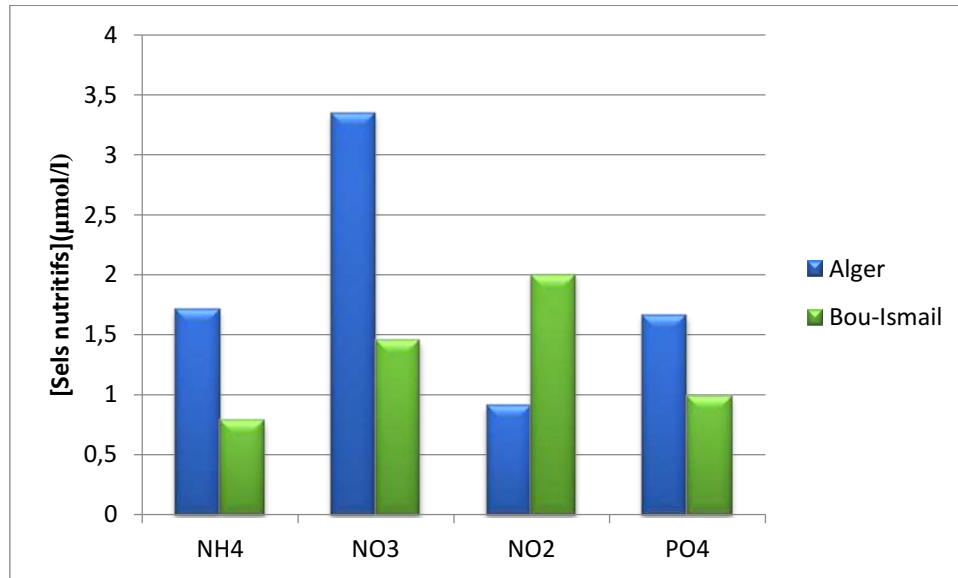


Figure 35: Comparaison des concentrations des sels nutritifs entre les deux baies

D'après la figure qui présente la comparaison des concentrations en sels nutritifs entre les deux baies on constate que : les deux baies sont riches en éléments nutritifs et les eaux de la baie d'Alger sont caractérisées par une forte concentration en nitrates par rapport à la baie de Bou-Ismaïl.

Un enrichissement localisé en éléments nutritifs peut souvent aboutir à l'accroissement de la productivité primaire et éventuellement aussi à une prolifération des algues. Quand les algues marines apparaissent en nombres et produisent des biotoxines, on parle de floraisons d'algues nuisibles (Harmful Algal Bloom, HAB). Elles causent des dommages via la production des toxines ou fait de l'accumulation de leur biomasse qui peut affecter les organismes présents et altère la dynamique de la chaîne trophique (PNUE, 2012).

4 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

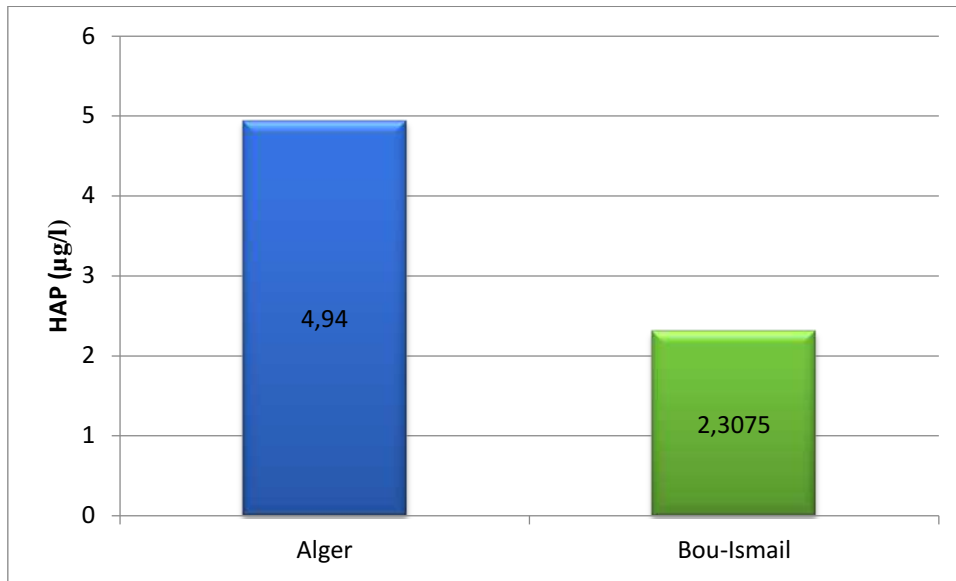


Figure 36: Comparaison des concentrations en HAP dans les deux baies

D'après la figure qui présente une comparaison des concentrations en HAP dans les deux baies on remarque que : la valeur moyenne des HAP, se trouvent plus élevées dans la baie d'Alger par rapport à la baie de Bou-Ismaïl.

Ces hydrocarbures entraînent un déséquilibre des milieux physiques et des effets aigus à long terme sur les espèces animales et végétales : perturbation de métabolisme (photosynthèse, nutrition, respiration) et provoque parfois des troubles physiologiques tels qu'un ralentissement de la croissance ainsi que des perturbations de la reproduction (baisse de la fécondation) ou de comportement (stress et difficulté de se maintenir dans le biotope pollué) (CHRISTIAN, 2006). Ainsi que certains composés du pétrole, les HAP principalement, sont bioaccumulables, toxiques et sont doués de propriétés mutagènes et cancérigènes (PERES, et al., 1976).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Les analyses chimiques par les sels nutritifs et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les différentes stations nous ont permis de recenser et d'identifier la variabilité spatiale de la contamination du milieu marin par la pollution chimique : Application baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

A travers nos résultats, et après l'analyse de nos données, nous avons remarqué que :

- La variation des paramètres physico-chimiques dans les deux baies est faible.
- L'hétérogénéité de la distribution spatiale des HAP dans les deux baies est pourrait être expliquée par les apports continentaux et le transport maritime.
- La variation de la distribution spatiale des sels nutritifs dans les deux baies est probablement due à l'activité photosynthétique et les apports continentaux.
- La baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl relèvent de taux assez importants en azote et en phosphore ($> 1\mu\text{mol/l}$), donc indique la présence d'une pollution par les substances nutritives dans les deux baies.
- La baie d'Alger est plus contaminée en hydrocarbures aromatiques polycycliques par rapport à la baie de Bou-Ismaïl.

Notre étude contribue à construire une base de données sur le degré de contamination de la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl par les substances nutritives et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui génèrent des effets néfastes sur les organismes et engendrent des perturbations de l'écosystème.

Il serait tout de fois souhaitable :

Plusieurs stations de prélèvement à des différentes profondeurs pour avoir une distribution verticale et radiales pour les sels nutritifs et les HAP.

Faire des analyses sur la chlorophylle pour avoir la relation entre la distribution des sels nutritifs et la production primaire.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

ABDERRAHMANI, K. (2011). *Les hydrocarbures polyaromatiques dans la baie de Bou-Ismaïl: surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur.* thèse de magister. *Gestion et Surveillance de l'environnement Marin et littoral.* Algérie : ENSSMAL, 74.

AMINOT, A ET CHAUSSEPIED, M. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Brest(France) : Centre National pour l'Exploitation des Océans, 395.

AMINOT, A ET KEROUEL, R. (2004). *Hydrologie des écosystèmes marins: Paramètres et analyses.* Paris(france) : Ifremer, 336.

BAARS, B J. 2002. the wreckage of the oil tanker Erika-Human Health risk assessment of beach cleaning, sunbathing and swimming. *Toxicologie letters.*, Vol. 55-68, 128.

BACHOUCHE, S. (2010). *Les ports d'Alger et de Bouharoun: Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération du dragage.* Alger : ENSSMAL, 126.

BENHACHEM, F Z, HARRACHE, DJ ET NAFFRECHOUX, E. (2014). *Caractérisation et étude du transfert des HAP en milieu Karstique de moyenne montagne: cas de la forêt d'Hafir-Tlemcen (Ouest algérien).* France : J.Mater.Environ.Sci, 8.

BENSCHNEIDER, K ET ROBINSON, R J. (1952). *A new spectrophotometric method.* s.l. : FAO Fisheries Technical Paper, 137-238.

BENZOHRA, M. (1993). *Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes.* France : Centre d'Océanographie de Marseille, 33.

BERTRAND, J C ET MILLE, G. (1989). *devenir de la matière organique exogène.* Paris(France) : Masson, 343-385.

BODENNEC, G M, et al. (1983). *Impact des hydrocarbures sur la faune et la flore marine.* Paris(france) : Inst.Scient.Techn.pêches Marit, 105-182.

C.O.I. (1982). *La détermination des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments.* *Manuel et Guide.* Paris(France) : Commission Océanographique Intergouvernementale de l'Unesco, 31.

CADDY, J F ET GRIFFITHS, R C. (1996). *Les ressources marines vivantes et leurs développement :quelques perspectives environnementales et institutionnelles.* FAO : Rome(Italie), 174.

CEDRE. (2000). *Impact écologique des marées noires, contribution à lamise en place d'un suivi..* 80.

CHRISTIAN, B. (2006). *Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures: enjeux environnementaux et traitement des pollutions.* Paris (France) : TECHNIP, 291.

COPIN-MONTEGUT, G. (1996). *Chimie de l'eau de mer.* Paris(France) : Institut Océanographique de Paris, 319.

Bibliographie

FATTAL, P. (2008). *Pollution des côtes par les hydrocarbures, collection :espace et territoires.* France : Presse Universitaire de Rennes, 395.

GAUJOUS, D. (1995). *La pollution des milieux aquatiques:aide-mémoire.* Paris(France) : ISBN, 217.

GESAMP. (1993). *impact of oil and related chemicals on the marine environment.* London : IMO, 180.

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

HOUMA-BACHARI, F, BOULAHIDJ, M ET KHOUIDER, A. (2004). *Développement d'une méthodologie pour caractériser et déterminer la pollution des eaux de mer par les hydrocarbures en utilisant des images satellites.* Barcelone : CIESM, 208.

JACQUES, G ET TREGUER, P. (1986). *les écosystèmes pélagiques marins III.L'océan Antarctique.La méditerranée occidentale.* Paris(France) : Masson, 255.

KANKOU, M. (2004). *Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie-étude en laboratoire du comportement de deux pesticides.* France : Université de Limoges, 159.

KASSAR, A. (2011). *Suivi de la chlorophylle et du phytoplancton dans les zones côtières algéroises: Approche des mesures satellitaires à leur modélisation. Thèse de magister. Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et littoral.* Alger : ENSSMAL, 152.

LACASE, J C. (1980). *La pollution pétrolière en milieu marin:de la toxicologie à l'écologie.* Paris (France) : Masson, 118.

LACASE, J C. (1996). *L'eutrophisation des eaux marines et continentales:cause, et manifestations, conséquences et moyens de lutte.* Paris(France) : Ellipses, 191.

LASSUS, P, PAULMIER, G ET LE BAUT, C. (1982). *rôle de phytoplancton dans les perturbations des écosystèmes côtiers et estuariens .* France : Ifremer, 66.

LECLAIRE, L. (1972). *La sédimentation Holocène sur le versant Méridional du bassin algéro-baléares (Précontinent algérien).* Paris(France) : Muséum, 391.

LEM. (1998). *Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.* Alger : Laboratoire d'Etude Maritime.

LEM. (2006). *Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais di port d'Alger.* Alger : Laboratoire d'étude maritime.

LEROY, J B. (1999). *La pollution des eaux.* France : Le point des connaissances actuelles, 126.

LEVITUS, S. (1993). *Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans.* France : Programme Océanographique, 245-273.

Bibliographie

MAOUCHE, S. (1987). *Mécanisme hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie): approche sédimentaire, géochimique et traitement statistique.* France : Univ.Perpignan, 214.

MARCHAND, M. (1983). *Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie UV.* In Aminot et al. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris(France) : CNEXO, 329-336.

MICHEL, P. (1983). *dosage global des hydrocarbures aromatiques dans les organismes marins par C.L.H.P.* Brest(France) : CNEXO, 337-346.

MILLOT, C. (1987). *circulation in the western Mediterranean sea.* *Oceanologica Acte.* 1987, Vol. 10, 2.

MULLIN, J B ET RILEY, J P. (1955). *The spectrophotometric determination of silicate-silicon natural waters with special reference to sea water.* s.l. : Anal.Chim.Acta, 162-170.

ONM. (2010). *Le climat en Algérie (mise à jour du 21 Avril 2010).* Alger : Office National de la Météorologie.

PAYNE, J R ET PHILIPS, C R. (1985). *Photochemistry of petroleum in water: photo-oxidation causes in oil and enhances dissolution of it oxidized products.* s.l. : Environmental science and Technologie, 569-579.

PERES, J M, BELLAN G, RAMADE F, ANCELINI J, LE LOURD PH, MICHEL P, GAUTHIER M, SOUDAN F ET BELLAN S D. (1976). *la pollution des eaux marines.* France : Gauthier, 231.

PNUE. (2012). *évaluation initiale intégrée de la mer méditerranées.* Athnèse, 233.

RAMADE, F. (2000). *Dictionnaire encyclopédique des pollutions.* France : Ediscience international, 690.

RODIER, J. (2009). *L'analyse de l'eau.* Paris(France) : Dunod, 1579.

RODIER, J, BAZIN C, BROUTIN J P, CHAMBON H ET RODI, L. (1996). *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer.* Paris(France) : Dunod, 1383.

RODIER, J, BAZIN C, BROUTIN J P, CHAMBON H ET RODI, L. (2005). *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.* Paris (France) : Dunod, 1384.

RONTANI, J F ET GUISTI, G. (1987). *Photosensitized oxidation of pristine in sea water: effet of photochemical reactions on tertiary carbons.* *Journal of photochemistry and photobiology.* 107-120.

ROUSSEL, J C. (1983). *Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrométrie infrarouge.* In Aminot et al. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris(France) : CNEXO, 321.

SAMSON-KECHACHA, F L, HALLAL, O ET HELIS, L. (1992). *Caractéristiques phytoplanctoniques de deux stations côtières de l'Est algérois.* *Hydroécol,* Vol. 4, 123-138.

Bibliographie

SEBIH, S. (1990). *Analyse des hydrocarbures dissous dans l'eau par chromatographie.* Thèse de doctorat d'état. Alger : USTHB, 140.

SKALAR. (1998). [En ligne] 1998. [www.Skalar.fr/pr san.htm](http://www.Skalar.fr/pr_san.htm). 23.

WOOD, E P, AMSTRONG, F A ET RICHARD, F A. (1967). *Determination of nitrate in seawater by cadmium cooper reduction to nitrite.* s.l. : J.Mar.Biol.Assc.U.K, 23-31.

Annexes

Annexes**Annexe 01 :**

Tableau 3: Moyenne mensuelles des précipitations (P) en mm et de la température (T) en °C dans la baie d'Alger pour l'année 2010 (ONM, 2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	14.6	16.53	16.6	17.1	20.3	22.36	25.36	16.36	24.3	21.43	17.16	16.23
P (mm)	21.33	24.33	55	18.66	10.33	4	0.25	38	13	64.33	46.66	33.66

Tableau 4: Moyenne mensuelles des précipitations (P) en mm et de la température (T) en °C dans la baie de Bou-Ismaïl pour l'année (2001-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	11.1	11.48	13.77	15.61	18.84	23.06	25.8	26.31	23.55	20.75	15.33	12.27
P (mm)	88.4	61.78	57.69	42.89	43.2	2.31	1.75	12.45	33.23	58.31	106.64	102.53

Annexe 02

Tableau 5: Localisation des stations de prélèvement en (28 Mai-15 Juin) 2014

Station	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitude	3,22	3,16	3,09	2,89	2,82	2,71	2,40	2,00
Latitude	36,81	36,75	36,78	36,80	36,73	36,71	36,65	36,59

Annexe 03**Le protocole pour le dosage des sels nutritifs :****1) Dosage des nitrates et nitrites :****Les réactifs :**La solution tampon :

Verser 50g de NH₄Cl (chlorure d'ammonium) dans 800 ml d'eau distillée, ajuster le pH à 8.2 avec la solution d'ammonium (NH₄OH : 1ml), ajouter 5 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) agiter bien, compléter à 100 ml par l'eau distillée, dissoudre 3 ml de bridj (30%). Elle peut être conservée 1 semaine à 4°C.

Réactif de coloration :

Dissoudre 150 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 (85%)) ; dans 700 ml d'eau distillée, avec 10 g de sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{NS}$) et 0.5 g de α -Naphthylène diamine dihydrochloride ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$), compléter à l'eau distillée jusqu'à 1000 ml. Cette solution peut-être conservée 2 semaines.

Standards :

Solution mère :

Verser 0.6068 g de nitrate de sodium (NaNO_3) dans 800 ml d'eau distillée. Compléter à 1000 ml. La solution peut être conservée 4 semaines à 4⁰C.

La solution secondaire :

Verser 10 ml de la solution mère et compléter à 100 ml l'eau distillée.

2) Dosage des orthophosphates

Les réactifs :

Solution de molybdate d'ammonium :

Dissoudre 230 mg d'antymonytartrate de potassium ($\text{K}(\text{SbO}) \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) dans 800 ml d'eau distillée, ajouter 69.94 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 (97%) et 6 g de molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ajouter avec l'eau distillée à 1000 ml, et 2 ml de FFD_6 .

Solution d'acide ascorbique :

Dissoudre 11 g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 800 ml d'eau distillée, ajouter 60 ml d'acétone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) et compléter à l'eau distillée jusqu'à 1000 ml par l'eau distillée.

Les standards :

Solution mère :

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 l avec de l'eau distillée et mélanger. La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4⁰C quand la solution n'est pas utilisée.

Solution secondaire :

Diluer 10 ml de la solution mère jusqu'à 100 ml par l'eau distillée.

3) Dosage d'ammonium

Les réactifs :

Solution tampon :

Verser 33 g de potassium et de sodium ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa}, 4\text{H}_2\text{O}$) dans 800 ml d'eau distillée, ajouter 24 g de citrate de sodium ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}, 2\text{H}_2\text{O}$), ajuster le pH à 5 avec la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1N. Compléter à 1000 ml par l'eau distillée, dissoudre 0.5 ml bridj 35 (30%). Elle peut être conservée une semaine à 4⁰C.

Annexes

Solution de phénol :

Dissoudre 83 g de phénol (C_6H_5OH) dans 50 ml d'eau distillée. Ajouter 40 g de l'hydroxyde de sodium ($NaOH$) et mélangé. Compléter à 1000 ml par l'eau distillée. Cette solution peut être conservée à une semaine.

Solution de l'hypochlorite de sodium :

Diluer 200 ml d'hypochlorite de sodium ($NaClO$ (13% de colorant active)) dans 700 ml d'eau distillée. Compléter à 1000 ml avec l'eau distillée et bien mélangé.

Solution de nitoprusside de sodium :

Dissoudre 0.5 g de nitoprusside de sodium ($Na_2 [Fe(CN)_5 NO] \cdot 2H_2O$) dans 800 ml d'eau distillée. Compléter à 1000 ml par l'eau distillée et mélangé le tous. Stocke la solution d'une bouteille noire, conservé une semaine à $4^\circ C$.

Les standards :

Solution mère :

Dissoudre 0.381g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) dans 800 ml d'eau distillée. Compléter à 1000 ml par l'eau distillée et mélanger. Cette solution peut être conservée pendant un mois à $4^\circ C$.

Solution secondaire :

Diluer 10 ml de la solution mère 100 ppm jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée.