

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة 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 :

**Evaluation de la pollution marine par les
hydrocarbures dans la baie d'Alger et la
baie de Bou Ismail**

Présenté par : Djebara Younes

Talbi Younes

Soutenu le 06 /11/2014 devant le jury suivant :

M^{me} LOUANCHI .F	Professeur	Présidente
M^{me} HOUMA-BACHARI .F	Professeur	Promotrice
M^{me} CHERNAI-HAMDI .S	Maitre de conférences A	Examinatrice
M^r KADA .M	Chercheur	Examineur

Promotion : 2014

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur madame **BACHARI HOUMA F** qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Nous tenons également à remercier mes dames, messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, tout particulièrement :

Madame **LOUANCHI F** pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de cette mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude à Madame **HAMDI** et à Monsieur **KADA** pour avoir faire de lecteur notre mémoire, allé l'examiner et ils peuvent évaluer cette mémoire. Nous vous remercions pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et pour vos précieux conseils et remarques.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Younes & Younes

Dédicaces

Ce travail modeste est dédié :

À ma chère mère ;

À mon précieux père ;

*À tous mes proches de la famille Djebara, et plus
particulièrement, mes sœurs et mes frères tout à son nom et sans*

Oublier leurs enfants ;

À tous mes chers amis et mes collègues de l'école de

S'ENSSMAL ;

À Talsi Younes, mon binôme qui est sérieux

et toujours en bonne humeur ;

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire

Je dédie ce travail.

Younes .D

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A Djebara Younes, mon binôme qui est sérieux et toujours en bonne humeur

Mes professeurs de l'ENSSMAL qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Younes.T

Liste des figures

Figure 1: comportement des hydrocarbures en mer	26
Figure 2: Effets des hydrocarbures sur les organismes marins (source : le CEDRE, 2006). 29	
Figure3: La description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations (en particulier les hydrocarbures aromatiques soluble) (O'Sullivan et Jacques, 2001 in Bocard, 2006)	30
Figure 4: Délimitation de la baie d'Alger	32
Figure 5: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007).....	33
Figure 6: Localisation géographique de la baie de Bou Ismail.	36
Figure 7: Schéma de circulation de l'eau d'origine Atlantique (d'après Millot, 1987).....	37
Figure 8: réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail	38
Figure 9: localisation des stations de prélèvement dans la baie d'Alger.....	40
Figure 10 : localisation des stations de prélèvement dans la baie de Bou Ismail.....	40
Figure 11 : l'analyse des hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer.	45
Figure 12: Agitateur mécanique	46
Figure 13: évaporateur rotatif BUCHI R110.....	47
Figure 14: concentration sous jet d'azote.....	47
Figure 15: purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.....	48
Figure 16: Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA par SFUV	50
Figure 17: Auto Analyser San Plus (Skalar, 1998).....	52
Figure 18: La courbe d'étalonnage des nitrites.....	54
Figure 19: La courbe d'étalonnage des nitrates.....	54
Figure 20: La courbe d'étalonnage des orthophosphates.....	54
Figure 21: Variation de la température dans la baie d'Alger	56
Figure 22: variation de la salinité dans la baie d'Alger.....	57
Figure 23: variation du ph dans la baie d'Alger	58
Figure 24: variation d'oxygène dissous dans la baie d'Alger	59
Figure 25: Variation de la matière en suspension dans la baie d'Alger	59
Figure 26: Variation des nitrites dans la baie d'Alger.....	60
Figure 27: Variation des nitrates dans la baie d'Alger.....	61
Figure 28: Variation des phosphates dans la baie d'Alger.....	61

Figure 29: Les concentrations des poly aromatiques dans l'eau (HPA) mesurent par SFUV	62
Figure 30: variation de la température dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	64
Figure 31 : Spatialisation de la température dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	65
Figure 32: Variation de la salinité dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	66
Figure 33: Spatialisation de la salinité dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	66
Figure 34: Variation de PH dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	67
Figure 35: spatialisation de PH dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	67
Figure 36: Variation de l'oxygène dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	68
Figure 37: Spatialisation de l'O ₂ dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	68
Figure 38: variation des métiers en suspension dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismail .	69
Figure 39: spatialisation des métiers en suspension dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.	69
Figure 40: variation des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.....	70
Figure 41 : spatialisation des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : sensibilité de quelques populations (source : d'après O'sullivan et Jacques, 2001 in Fattal, 2008).	28
Tableau 2 : référence et utilisation des produits chimiques solide dans le traitement des hydrocarbures	43
Tableau 3 : références et utilisations des produits chimiques liquides dans le traitement des hydrocarbures	44
Tableau 4 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère	50
Tableau 5 : Test de reproductibilité sur la lecture de la concentration d'un échantillon d'eau de mer.....	51
Tableau 6 : Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimique dans la baie d'Alger.....	56
Tableau 7 : Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres des hydrocarbures polyaromatiques	62
Tableau 8 :. Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimiques dans la baie de Bou Ismail.....	65

Liste des abréviations

API : American Petroleum Institute.

C.N.EX.O : Centre National pour l'Exploitation des Océans.

C.O.I : Commission Océanographique Intergouvernementale.

ENSSMAL : Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

HC : Hydrocarbure.

IAEA: International Atomic Energy Agency (Agence Internationale de l'Energie Atomique).

IRS : Impact Référence System.

LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes.

P.S.U: Pratical Salinity Unit.

ST: Station.

SFUV : Spectro Fluorimétrie Ultra-Violet.

SIR : Spectrophotomètre Infra Rouge.

UNEP : United Nations Environment Programme.

Sommaire

Sommaire	10
Introduction	15
Généralités	17
1 Les paramètres physico-chimiques du milieu marin.....	17
1.1 La température (T°)	17
1.2 La salinité (S)	17
1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH)	17
1.4 L'oxygène dissous (OD)	17
1.5 La matière en suspension (MES)	18
1.6 La matière organique (MO)	18
2 Les sels nutritifs	19
2.1 Les composés azotés	19
2.2 Les composés phosphoriques.....	19
3 La pollution marine	19
3.1 Différents types de pollution.....	20
3.1.1 Pollution domestique et microbiologique	20
3.1.2 Pollution thermique	20
3.1.3 Pollution pétrolière	20
3.1.4 Phénomène naturels.....	21
3.1.5 Pollution chimique inorganique	21
3.1.6 La pollution marine par les hydrocarbures.....	21
4 Les hydrocarbures	21
4.1 Définition des hydrocarbures	21
4.2 Chimie des hydrocarbures.....	21
4.3 Classification des hydrocarbures	22
4.3.1 Les alcanes (ou paraffines)-aliphatiques	22
4.3.2 Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques.....	22
4.3.3 Les hydrocarbures aromatiques.....	22
4.3.4 Les asphaltènes et les résines	22
4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin.....	23

4.4.1	Sources naturelles	23
4.4.2	Sources anthropogéniques	23
4.5	Propriétés physiques des hydrocarbures	23
4.5.1	État naturel	23
4.5.2	La densité	23
4.5.3	La viscosité.....	24
4.5.4	Le point d'écoulement.....	24
4.5.5	Le point éclair.....	24
4.5.6	Le point d'ébullition.....	24
4.5.7	La tension superficielle	24
4.5.8	Tension de vapeur	25
4.5.9	Solubilité	25
4.6	Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	25
4.6.1	Evaporation	25
4.6.2	Sédimentation.....	25
4.6.3	Solubilisation.....	26
4.6.4	Émulsification	26
4.6.5	Dispersion.....	26
4.6.6	Photo-oxydation	26
4.6.7	La biodégradation.....	26
4.7	Les impacts d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.....	28
4.7.1	Impact sur les vivants	28
Zone d'étude		34
1	Baie d'Alger.....	34
1.1	Présentation générale de la baie d'Alger.....	34
1.2	Cadre géographique	34
1.3	Bathymétrie.....	35
1.4	Réseau hydrographique	35
1.4.1	Oued El Harrach.....	35
1.4.2	Oued El Hamiz	36
1.5	Facteurs météorologiques	36
1.5.1	La température.....	36

1.5.2	La pluviométrie	36
1.5.3	Les vents.....	36
1.6	Facteurs hydrodynamiques	37
1.6.1	Les houles.....	37
1.6.2	Les courants.....	37
1.7	Origine des eaux marines de la baie d'Alger	37
2	La baie de Bou Ismail	38
2.1	Présentation générale de la baie de Bou Ismail	38
2.2	Morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismail	38
2.3	La courantologie	39
2.4	Réseau hydrographique	39
	Matériel et méthodes	42
1	Travaux effectués en mer	42
1.1	Prélèvement d'eau et localisation des stations	42
1.2	Mesure des paramètres physico-chimiques	43
1.2.1	Température (T)	43
1.2.2	Salinité S ‰ ou (P.S.U (Practical Salinity Unit)	43
1.2.3	Potentiel d'hydrogène (pH).....	43
1.2.4	Oxygène dissous (OD)	44
1.2.5	Matière en suspension (MES)	44
2	Travaux effectués aux laboratoires	44
2.1	Conditionnement du matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures	44
2.2	Préparation des produits d'analyse	45
2.2.1	Produits solides	45
2.2.2	Les produits liquides	46
2.3	Quantification de la matière organique dans l'eau de mer	46
2.4	Traitement de l'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures	46
2.5	Protocole d'extraction des hydrocarbures dissous /dispersés	48
2.5.1	Extraction	48
2.5.2	Concentration de l'échantillon	48
2.5.3	Purification	49
2.5.4	Concentration	49

2.5.5	Purification et fractionnement.....	50
2.6	Technique d'analyse des hydrocarbures.....	50
2.6.1	Principe.....	51
2.6.2	Appareillage analytique.....	51
2.6.3	Etalonnage et préparation des standards	52
2.6.4	Le blanc de procédure	52
2.6.5	Limite de détection.....	52
2.6.6	Reproductibilité de la SFUV	53
2.6.7	Mesure des intensités de fluorescence.....	53
2.7	Dosage des sels nutritifs	54
2.7.1	Fonctionnement de l'appareil de dosage:	54
2.7.2	Principe de dosage des sels nutritifs.....	55
2.7.3	Dosage des nitrites	55
2.7.4	Dosage des nitrates	55
2.7.5	Dosage des phosphates	55
2.7.6	Etalonnage	55
	Résultats et discussion.....	58
1	La baie d'Alger	58
1.1	Analyse des paramètres physico-chimiques.....	58
1.1.1	La température.....	58
1.1.2	La salinité	59
1.1.3	Le potentiel d'Hydrogène (PH).....	59
1.1.4	L'oxygène dissous (mg/l).....	60
1.1.5	La matière en suspension (MES)	61
1.2	Les sels nutritifs	62
a.	Les nitrites	62
b.	Les nitrates	63
c.	Les phosphates	63
1.3	Hydrocarbures polyaromatiques (HPA)	64
2	La baie de Bou Ismail.....	66
2.1	La température:.....	66
2.2	Distribution spatiale de la salinité.....	67

2.3	Distribution spatiale du PH	68
2.4	Distribution spatiale de l'oxygène dissous.....	69
2.5	Distribution spatiale des matières en suspension (MES).....	70
2.6	Distribution spatiale des hydrocarbures poly aromatiques	72
	Conclusion.....	75
	Bibliographie.....	78

Introduction

Introduction

Les zones côtières représentent un enjeu considérable en termes de développements socioéconomique et cela depuis l'avènement de l'ère industrielle.

La zone côtière est très sollicitée et exploitée (la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme,...), par conséquent les effets de pollution se sont faits rapidement sentir dans toutes les mers et les océans, telle que la mer méditerranée qui est soumise à un problème grave de pollution, dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation.

A l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux (**Mennad, 2008**). La région algéroise n'échappe pas à cette réalité occasionnée par un bassin versant particulièrement industrialisé où le risque prédominant en terme de pollution est le pétrole, du fait qu'elle possède une façade maritime qui assure de plus en plus le transport de grande quantité de marchandise de toute sorte y compris les hydrocarbures. Le risque de les y retrouver aussi bien dans l'eau que dans le sédiment marin n'est guère nul. En effet, on assiste souvent à des accidents pétroliers spectaculaires et très graves, dans toutes les régions du monde, ainsi qu'à des relargages illicites des composés pétroliers issus des navires (déballastage, eaux de cale,...) ou des rejets d'usines parvenant à la mer par l'intermédiaire des cours d'eau.

Lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement, les constituants des produits pétroliers sont altérés par des mécanismes de biodégradation, d'évaporation, de lixiviation, etc. et présentent, à l'analyse, des patrons chromatographiques tout à fait différents de ceux des mélanges frais.

A ce titre, plusieurs programmes régionaux de surveillance de l'environnement sont développés en méditerranée et sont coordonnés par des organisations du système des nations unies (**PNUE, FAO, AIEA,...**).

L'objectif général de ce travail, est l'évaluation du degré de contamination par les hydrocarbures sur la côte de la baie d'Alger, afin de révéler les éventuelles sources de pollution et de permettre sa prise en charge par les dispositifs disponibles et les moyens nécessaires et adéquats.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composé de plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les paramètres physicochimiques et les hydrocarbures polyaromatiques dans le milieu marin.
- Le deuxième chapitre présentera la baie d'Alger et la baie de Bou Ismail comme zone d'étude.
- Le troisième chapitre présente d'une façon générale la méthodologie suivie dans la réalisation des travaux sur le terrain et au laboratoire aussi que les méthodes analytiques appliquées pour l'acquisition des différents paramètres étudiés.
- Le dernier chapitre traité, analyse et discute les résultats obtenus au niveau de la
Zone d'étude (la baie d'Alger et la baie de Bou Ismail).
- En fin, le mémoire est clôturé par une conclusion.

Généralités

Généralités

1 Les paramètres physico-chimiques du milieu marin

1.1 La température (T°)

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques et influe sur la répartition des espèces. La température est un paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique. (Aminot et Kerouel, 2004).

La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et du point de vue industriel pour les calculs d'échanges thermiques (Rodier et al, 1996).

Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'une élévation de la température (Gaujous, 1995).

1.2 La salinité (S)

La salinité représente le contenu en sels dissous d'une eau. La première définition de la salinité en 1902 est :

«La salinité est 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 ».

Dans les océans, la salinité est voisine de 35 et décroît de l'équateur au pôle.

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.
- De suivre leurs mélanges au large, à la cote dans les estuaires (Aminot et chaussepied, 1983).

1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H⁺) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Cette notion a été introduite par Sorensen en 1909 qui l'avait défini comme le logarithme décimal de la concentration en ions (H⁺). On note :

$$\text{pH} = - \log_{10} [\text{H}^+] \dots \dots \dots (1)$$

Il est un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes (Aminot et Kerouel, 2004). Le pH d'eau de mer, voisin de 8,2 est fixé par la présence des carbonates (CO₃²⁻) la modification des concentrations en (CO₂) (respiration, photosynthèse, échanges air-mer) ou en (CO₃²⁻) entraînera une modification du pH. (Aminot et chaussepied 1983).

1.4 L'oxygène dissous (OD)

La mesure de l'oxygène dissous concerne exclusivement l'oxygène moléculaire O₂ solution. Il intervient dans la plus part des processus biologiques permettant la vie terrestre et marine (Aminot et Kérouel, 2004).

La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau résulte de processus physiques, chimiques et biologiques :

- Echanges à l'interface air-eau (gain ou perte).
- Diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau.
- Photo oxydation (perte).
- Oxydation chimique.
- Respiration des organismes aquatiques, y compris la minéralisation.
- Nitrification (perte).
- Photosynthèse (gain).

1.5 La matière en suspension (MES)

La matière en suspension est l'ensemble des particules en suspensions susceptibles d'être retenues par un filtre dont les pores ont un diamètre de 0.45 µm. elle existe sous différentes formes : minérales ou organiques, vivantes ou non vivantes

La matière en suspension peut provenir de plusieurs origines :

- **Terrigène** : apport continentaux et produit d'érosion.
- **Eolienne** : regroupe toutes les particules qui sont transporté par les courants atmosphériques.
- **Biogène** : c'est la matière organique vivante ou non vivante (tissus organiques, excréments...)

La matière en suspension constitue une source importante pour la faune (zooplancton, filtreurs) et aussi pour la communauté bactérienne. Elle favorise la prolifération des microorganismes, diminue la transparence des eaux et le développement du phytoplancton car la nature ainsi que la teneur de la matière en suspension contenues dans l'eau de mer joue un rôle important, les teneurs élevés en matière en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière diminuent l'oxygène dissous et limitent le développement de la vie aquatique, l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies et souvent la conséquence d'une teneur élevée en matière en suspension. (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

1.6 La matière organique (MO)

Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulières dont les productions et le devenir varient beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre (**Aminot et Kerouel, 2004**).

La matière organique est intimement liée aux activités biologiques, soit comme résultat de la synthèse de la biomasse, soit comme source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires, phytoplancton).

Pour être précis la matière organique est constituée de composés organiques dont l'étude est l'objet de la chimie organique et de la biochimie outre le carbone et l'hydrogène qui sont les composants essentiels, elle peut contenir aussi les éléments : l'oxygène (O), azote (N), phosphore (P), soufre(S), fer (Fe).

Dans les zones riches en matière organique, sa présence faite partir au milieu un risque d'hypoxie, le risque étant plus grand quand cette matière organique est facilement dégradable par les bactéries (**Aminot et Kérouel, 2004**).

2 Les sels nutritifs

2.1 Les composés azotés

On considère un rejet moyen de 13 à 15 g par jour de l'azote par équivalent d'habitant sous forme d'urée et acide urique. La demande en oxygène est très élevée pour transformer l'azote organique en ammonium (NH_4^+) qui peut conduire à l'eutrophisation des ressources. On distingue 3 formes de l'azote dans les eaux usées.

2.1.1 L'azote ammoniacal : L'azote ammoniacal est représenté sous deux formes : l'ammoniac (NH_3) et l'ammonium (NH_4^+). L'ammoniaque provient de la décomposition des déchets azotés (urées, azotes organiques...), des engrais et de l'industrie textile. La présence des ions ammoniacales dans l'eau est un indicateur de pollution.

2.1.2 Les nitrites : les ions nitrites sont des intermédiaires entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates (NO_2^-). Ils résultent soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal par les bactéries nitreuses (nitrosomonas), soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes. La concentration des nitrates varie selon que l'eau est naturelle, douce, saumâtre ou marine et elle va de zéro à quelque moles/ l de nitrites.

2.1.3 Les nitrates : l'oxydation des nitrites par les bactéries (nitrobacter) donne les nitrates (NO_3^-). Cette forme d'azote est très stable.

Le phytoplancton utilise les nitrates pour sa croissance. Les nitrates proviennent de la minéralisation de la matière organique, des engrais azotés et des résidus des animaux.

2.2 Les composés phosphoriques

La présence de phosphore dans les effluents, les cours d'eaux et les lacs sont responsables du phénomène d'eutrophisation. L'eutrophisation provoque la prolifération anaérobie d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau, celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes et notamment pour les poissons. La présence de phosphate dans les effluents urbains est due à l'utilisation de lessive.

Parmi les composés phosphorés on trouve les formes suivantes : PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , et H_2PO_4^- qui sont des orthophosphates. Ces composés se répartissent en fonction du PH, pour les eaux usées de PH moyen on ne trouve que les formes HPO_4^{2-} et H_2PO_4^- . (**RODIER, 1984**).

3 La pollution marine

Cette partie est importante puisqu'il s'agit pour le cas de notre étude sur la baie d'Alger et baies de Bou Ismail. La pollution engendre une diminution de la teneur en oxygène dissous, due à la décomposition de la matière organique par les bactéries, les organismes aquatiques vont donc en souffrir. L'oxygène dissous étant consommé, il ne reste place que pour la dégradation anaérobie, qui libère des gaz toxiques et nauséabonds.

Selon la convention (**MONTEGO-BAY 1982**) des notions unis sur le droit de la mer, le terme pollution est définis : « introduction directe ou indirecte par l'homme de substances ou l'énergie dans le milieu marin y compris les estuaires, lorsque elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que les dommages aux ressources biologiques à la faune et flore marine, risque pour la santé de l'homme, entrave aux activité maritime y compris la pêche et les autre utilisations

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 (**Revue maritime trimestrielle;1861**) ».

Les émissions de rejets organiques en pleine mer proviennent :

- Des sédiments de dragage qui contient beaucoup de contaminants.
- Des boues des stations d'épurations des eaux usées que ont un contenu en matière organique élevé, ainsi que des métaux, des huiles et des graisses.

Les apports atmosphériques sont une source importante comme les 400.000 t/an de plomb de source naturelle et anthropique, les 5000 t/an de mercure provenant des activités volcaniques et le lessivage des sols. Rappelons que les mines contenant le mercure génèrent plus de 20.000 t/an d'apports atmosphériques, sont rejeter en mer plus de 5000 t/an de produits industriels et agricoles contenant de mercure. D'autres rejets sont possibles, comme les cendres et les substances radioactivités.

3.1 Différents types de pollution

3.1.1 Pollution domestique et microbiologique

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.

La pollution domestique se caractérise par :

- Des germes fécaux.
- Des fortes teneurs en matière organique.
- Des sels minéraux (azote, phosphore...etc.).
- Des détergents.

Les microorganismes d'origines anthropiques sont extrêmement diversifiés et abondantes dans le milieu au sein du quel certains arrivent à vivre, ou du moins à survivre pendant plusieurs jours ou d'avantage. Il s'agit d'invertébrés parasites surtout intestinaux, virus et bactéries pathogènes.

3.1.2 Pollution thermique

La pollution thermique est le résultat du rejet d'eau de mer utilisée pour le refroidissement des diverses installations industrielles (raffinerie de pétrole, centrales thermiques, centrales nucléaires...etc.). L'élévation de la température est elle-même une pollution puisque cet échauffement modifie certaines propriétés physiques de l'eau telle que la diminution de la densité.

3.1.3 Pollution pétrolière

Les sources de pollution des mers par le pétrole sont de nature multiples, on distingue généralement les pollutions liés :

- Au transport maritime
- L'exploration du sous-sol marin.
- Aux rejets telluriques d'activités industrielles.
- Aux fuites naturelles.
- Aux retombées atmosphérique.

Les pollutions dues au pétrole brut sont les plus redoutés du grand public. Les pollutions de ce type nécessitent une vigilance sans faille.

3.1.4 Phénomène naturels

Les divers phénomènes naturels peuvent être à l'origine de la pollution. Par exemple lors d'une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec les filons géologiques une source thermo minérale ([Gaujau, 1995](#)).

3.1.5 Pollution chimique inorganique

Parmi les polluants inorganiques, on trouve les métaux lourds. Ces derniers sont les résidus de traitement de minéraux, traitement de surface,... etc. Et sont rejetés plus ou moins en grande quantité par les industries. Beaucoup de ces métaux sont très toxiques tel que le mercure qui apparaît comme l'un des plus dangereux produits.

3.1.6 La pollution marine par les hydrocarbures

La plus part des pollutions résultent de la combinaison d'action et de circonstances particulières qui contribuent à des degrés divers à la pollution.

4 Les hydrocarbures

4.1 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés chimiques formés essentiellement de carbone et d'hydrogène (d'où leur nom) et dont l'importance économique et politique n'a cessé de croître avec le développement relativement récent des produits pétroliers. Ils sont essentiellement utilisés comme carburants, combustibles et bases pour la fabrication des huiles lubrifiantes. Ils constituent aussi la matière première des synthèses pétrochimiques. ([Lefebvre, 1978](#)).

4.2 Chimie des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Un atome de carbone a une valence de 4. Il peut être relié à quatre atomes d'hydrogènes ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples. Les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres composants minoritaires qui sont complexes (résines et asphaltènes) qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène ([Fattal, 2008](#)). Ces corps sont appelés aussi carbures d'hydrogène. En effet, pour $n < 5$, ces corps sont gazeux ; liquides si n est compris entre 5-12 ; et solides pour $n > 12$.

Selon la manière dont les atomes de carbones sont liés les uns aux autres, on distingue deux types d'hydrocarbures : les saturés et les insaturés.

a. Les hydrocarbures saturés : dans les quels toutes les liaisons C-C sont des liaisons simples résultant de la mise en commun de deux électrons (-C : C-). On les appelle saturés car ils ne peuvent pas fixer d'éléments supplémentaires à ceux qui constituent leur molécule.

b. Les hydrocarbures insaturés : dans lesquels une ou plusieurs liaisons C-C sont des liaisons multiples, résultant de la mise en commun de quatre ou de six électrons, ils peuvent

fixer certains éléments grâce aux électrons supplémentaires de leurs liaisons multiples (Lefebvre, 1978).

4.3 Classification des hydrocarbures

Il existe plusieurs familles

- **Aliphatiques** : Alcanes, oléfines (alcènes, alcynes)
- **Naphténiques** : Cyclopentane, cyclohexane
- **Aromatiques**
- **Asphaltènes et résines**

4.3.1 Les alcanes (ou paraffines)-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 alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). On les appelle aussi paraffines. Ces alcanes représentent environ 30 % du poids des pétroles bruts. Leur formule brute est de la forme C_nH_{2n+2} .

4.3.2 Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques

Les cycloalcanes sont aussi des hydrocarbures saturés avec des cycles. Ils ont un cycle constitué de six atomes de carbone formant une chaîne carbonée fermée. Cette catégorie est représentée par des composés qui contiennent de 1 à 6 cycles, qui en plus peuvent être ramifiés. Les hydrocarbures naphténiques représentent en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts (Marchand et Kantin, 1995). Peu toxiques, ils subsistent plus longtemps que les alcanes dans le milieu.

4.3.3 Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques comprennent des composés qui sont insaturés (au moins deux atomes de carbone voisins au sein de la molécule sont reliés entre eux par une double liaison) dont la molécule contient de 1 à 6 cycles benzéniques. Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbone, chacun relié à l'un de ses voisins par une double liaison et un atome d'hydrogène (C_6H_6). Les hydrocarbures aromatiques de base sont le benzène qui comprend un anneau aromatique à six atomes de carbone (un cycle aromatique), le naphthalène (deux cycles), le chrysène et le pyrène (quatre cycles). Les hydrocarbures aromatiques polyaromatiques (HPA) forment généralement 40 % (entre 15 et 40 %) des pétroles bruts.

4.3.4 Les asphaltènes et les résines

1. 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 trace tels que le nickel et le vanadium (Marchand, 1998). Certains pétroles ont dès l'origine une concentration élevée en asphaltènes (jusqu'à 50% de leur poids).

Cette teneur tend à augmenter lors du séjour de pétrole dans le milieu marin en raison de l'évaporation des fractions légères ainsi que des phénomènes d'oxydation. En matière de

pollution marine, la concentration en asphaltènes détermine les propriétés chimiques du pétrole en influant directement sur la viscosité, l'adhérence ou la mise en émulsion.

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

4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin

4.4.1 Sources naturelles

Elles représentent toutes les hydrocarbures biogéniques produits par les organismes marins, ainsi que ceux qui proviennent de suintements naturels à partir des fissures du plateau continental et les divers déversements continentaux (végétaux, feu de forêt) ces sources sont la plus grande partie des hydrocarbures qui pénètrent dans la mer de manière relativement discrète, dispersés sur de vastes étendues par les fleuves et les rivières ou par voie atmosphériques ([Lacaze, 1980](#)).

4.4.2 Sources anthropogéniques

Elles sont liées aux activités humaines, on estime qu'environ six millions de tonnes d'hydrocarbures sont annuellement déversés dans le milieu océanique ([Lacaze, 1980](#)). Parmi ces sources on trouve :

- Fuites lors de forages offshore.
- Les naufrages des pétroliers.
- La part due au transport maritime (chargement, déchargement,...).
- Les accidents pétroliers.
- Les activités industrielles.
- Les rejets d'eaux chargées en hydrocarbures résiduels.

4.5 Propriétés physiques des hydrocarbures

L'étude des propriétés physiques des hydrocarbures permet de distinguer les différents composés hydrocarbonés des pétroles bruts ou raffinés ([Fingas et al, 1979 in Fattal, 2008](#)).

4.5.1 État naturel

Dans la nature, les hydrocarbures se présentent le plus souvent sous la forme d'un liquide que l'on appelle le pétrole brut. Il existe cependant des gisements d'hydrocarbures gazeux, et plus exceptionnellement des gisements d'hydrocarbures solides sous forme de sables ou de schistes bitumeux ([Lescole, 2002](#)).

4.5.2 La densité

C'est un facteur qui détermine la flottabilité, elle est déterminée par les grosses molécules de carbone qui y sont présentes et elle se mesure en Kilogramme par mètre cube ou en degré sur l'échelle d'American Petroleum Institut (API) ([Ait Abbas et Lauani, 2002](#)). Les paraffiniques ont tendance à rester en surface, alors que les naphthènes ou les asphaltènes, plus lourds, peuvent couler. La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par en voie de conséquence flottent. Dès que le poids moléculaire

augmente (entre 1 et 1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau. Plusieurs facteurs contribuent à modifier la densité comme le poids moléculaire, la température, l'évaporation, ou l'association avec d'autres particules (**Fattal, 2008**).

4.5.3 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. Elle est représentée par la résistance à l'écoulement et elle est exprimée en centistokes (cSt- viscosité cinétique) pour une température donnée. La vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbures puis le degré de pénétration dans les sédiments lors qu'elle arrive à la cote est régit par cette propriété. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (**Owens, 1994 in Fattal, 2008**). 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 (**Fattal, 2008**).

4.5.4 Le point d'écoulement

Température au-dessous de laquelle le produit ne s'écoule plus. 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 augmente, plus la température du point d'écoulement augmente (<5% pour des températures <5°C ; <15% pour des températures 20°C).

Dans le cas de pollution marine, ce point d'écoulement est un facteur important, tant à la cote qu'en mer, car selon l'exposition, la température ou les saisons, il peut varier (**Fattal, 2008**).

4.5.5 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 (**Fattal, 2008**).

4.5.6 Le point d'ébullition

Chaque fraction d'hydrocarbures a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures, relativement basses, inférieures à 20°C. A contrario, il faut des températures de plus de 100°C pour évaporer les hydrocarbures lourds (**Fattal, 2008**).

Cette température augmente avec leur nombre d'atome de carbone. Ceci résulte De l'augmentation des attractions entre molécules, lorsque la longueur de la chaîne augmente.

L'introduction de ramifications sur la chaîne principale diminue cette température (**Belabes, 1999**).

4.5.7 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. Dans ce cas, de vastes surfaces sont touchées par l'étalement (**Fattal, 2008**).

4.5.8 Tension de vapeur

Les vapeurs d'hydrocarbures exercent dans une enceinte fermée, une pression déterminée et constante pour chaque température. C'est ce qu'on appelle « Tension de vapeur ». Elle augmente rapidement avec la température. Lorsque la température est stable, l'évaporation de liquide cesse dès que la tension de vapeur est atteinte (Lescole, 2002).

4.5.9 Solubilité

Les hydrocarbures aromatiques sont les plus solubles, ce qui accentue leur toxicité (Lacaze, 1980 in Ait Abbas et Lauani, 2002).

4.6 Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

Au cours d'un versement de pétrole dans l'environnement marin, la plupart des composants pétroliers se répandent immédiatement en une couche mince, continue et très dispersée à l'interface atmosphère-océan, et ceci en raison de la pesanteur et de la tension superficielle associées au mouvement des vagues, au vent et aux courants. Pendant la formation de ces films ou de ces nappes à l'interface atmosphère-océan, les pétroles bruts tendent à subir une dispersion, une sédimentation et une émulsification en « mousses au chocolat ». Il s'agit des premières étapes de la dégradation. Durant ces dernières années, la communauté scientifique a accordé une attention accrue à ce phénomène d'altération (Laseter, 1981).

Selon Raoul-Duval et al (2005), on peut classer ces processus en deux classes : processus d'évolution à court et moyen terme, et processus d'évolution à long terme.

- **Les processus à court et moyen terme** : vont débiter dès le déversement du pétrole et ne durent qu'une pendant une courte période.

- **Les processus d'évolution à long terme** : le pétrole déversé commence à subir d'autres transformations physiques et modifications chimiques qui vont durer dans le temps, pour aboutir, à terme, à sa disparition complète (Raoul-Duval et al, 2005).

4.6.1 Evaporation

Ce phénomène touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température, ...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone, qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (Soltani, 2004).

Le taux d'évaporation dépend en premier lieu de la volatilité des différentes fractions de l'hydrocarbure mais également d'autres facteurs, tels que la quantité déversée, les températures de l'eau et de l'air, l'agitation du plan d'eau, le vent et le taux d'étalement de la nappe (Le CEDRE, 2009).

4.6.2 Sédimentation

La sédimentation est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Elle se réalise lorsque la densité de l'hydrocarbure dépasse celle de l'eau. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradable par voie naturelle (in Koroghli, 2010).

4.6.3 Solubilisation

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau de mer est très faible. Elle augmente dans l'eau avec la polarité des composés, donc quand sa masse moléculaire est faible ([Hamlili, 2005](#)). Il est importants de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore ([Le CEDRE, 2009](#)).

4.6.4 Émulsification

Deux types d'émulsions peuvent se former : eau-dans-huile appelée "mousse chocolat" et huile-dans-eau. Elle dépend de type d'hydrocarbures et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures mais, si celui-ci devient trop important on assisterait à une dispersion parce que les émulsions deviennent instables ([In Abderrahmani, 2011](#)). Les émulsions eau-dans-huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaires. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages, alors que les émulsions huile dans- eau conduisent à la dispersion dans la colonne d'eau et facilitent l'élimination des hydrocarbures ([Soltani, 2004](#)).

4.6.5 Dispersion

Les vagues et les remous à la surface de la mer agissent sur la nappe en formant des gouttelettes de différentes tailles. Les plus petites restent en suspension dans la colonne d'eau, les autres se collent à d'autres gouttelettes ou s'étalent en fine couche ([Le CEDRE, 2009](#)).

4.6.6 Photo-oxydation

Elle 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 Philips, 1985](#)). Un des facteurs de ce processus est l'insolation car elle casse les liaisons moléculaires, entraînant la formation de molécules oxygénées de radical carbonyle (CO) et /ou de radical hydroxyle (OH) ([Fattal, 2008](#)).

L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés. Ainsi, elle 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. La photo-oxydation conduit à la formation de composés solubles dans l'eau (acides, alcools, cétones, peroxydes et sulfoxides) et certains travaux de recherche ont montré leur toxicité pour les communautés microbiennes alors que [Rontani et al \(1987, 1992\)](#), ont montré l'existence d'interactions entre la photo-oxydation et la biodégradation pour l'élimination des alkyl benzènes et de l'anthracène. L'action simultanée de ces deux phénomènes permet une élimination plus rapide de ces deux familles de composés ([Soltani, 2004](#)).

4.6.7 La biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement marin. Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries. La biodégradation des hydrocarbures par les microorganismes appelés hydrocarbonoclastes a été

mise en évidence dès **1946 par Zobell**. Depuis cette date le nombre d'espèces bactériennes identifiées possédant cette propriété n'a cessé d'augmenter. En se basant sur la fréquence d'isolement, les genres bactériens prédominants sont Pseudomonas, Acinetobacter, Alcaligènes, Vibrio, Flavobacterium, Achromobacter, Micrococcus, Corynebacteria, et Nocardia.

L'activité humaine, au travers des multiples sources de pollution et par la mondialisation des déplacements, favorise l'apparition de nouvelles souches aptes à la dégradation des hydrocarbures. Ainsi, même si les conditions de température, aération, PH, toxicité ou nutriments sont défavorables, une dépollution intrinsèque reste possible avec une efficacité amoindrie.

La capacité de se développer sur les hydrocarbures ne se limite pas uniquement aux bactéries, certains sites contaminés contiennent également de nombreux champignons et levures capables de les dégrader. Signalons enfin que certaines micro-algues sont capables d'attaquer les hydrocarbures, citons l'exemple de Protatheca zopfii qui dégrade 40 % du pétrole brut.

Cependant parmi les microorganismes aptes à se développer sur les hydrocarbures, les bactéries restent qualitativement et quantitativement prépondérantes pour métaboliser ces substrats (**Soltani, 2004**).

- Les capacités de dégradation en milieu marin

Il est bien connu que la sensibilité vis-à-vis de la biodégradation varie beaucoup d'un hydrocarbure à l'autre. Dans le cas d'un pétrole brut, on peut faire la classification suivante en terme de sensibilité décroissante : n-alcanes > iso-alcanes peu substitués > aromatiques de faible poids moléculaire > alcanes cycliques, les plus faibles vitesses de biodégradation, étant observées avec les aromatiques de haut poids moléculaire et les composés polaires du pétrole (asphaltènes et les résines).

La grande règle générale que l'on peut donner avec les pétroles bruts est que les huiles contenant une forte proportion d'asphaltènes, de résines et des hydrocarbures polyaromatiques se dégradent moins bien que celles qui contiennent une forte proportion de composés saturés et de hydrocarbures polyaromatiques (**Vandecasteele, 2005**).

- Pénétration des hydrocarbures dans la chaîne alimentaire

Les hydrocarbures sont assimilés en quantité très faible sur les premiers niveaux trophiques, puis progressivement concentrés à chaque niveau, les composés pétroliers sont transmis en dose finalement importante à l'alimentation des espèces supérieures. C'est par des apports nutritionnels que les produits polluants peuvent atteindre l'homme, dernier maillon de la chaîne alimentaire (**Carsin, 1998 in El Khil, 2003**).

Ces hydrocarbures sont absorbés directement par les organismes vivants ou par l'intermédiaire d'une alimentation contaminée. Après ingestion, ils peuvent être stockés, métabolisés ou excrétés (**Ramade, 1995 in Ait Abbas et Lauani, 2002**). En effet, les hydrocarbures aromatiques et paraffiniques seront dégradés par les poissons et par certains invertébrés marins tels que les copépodes en s'accumulant généralement dans les zones riches en lipides endogènes (**in Ait Abbas et Lauani, 2002**).

La capture d'hydrocarbures par les phytoplanctons tels que Chaetoceros Simplex Calcitrans est souvent suivie d'une dégradation rapide. Par contre, chez certaines espèces, l'élimination de ces composés organiques est impossible (**In Ait Abbas et Lauani, 2002**).

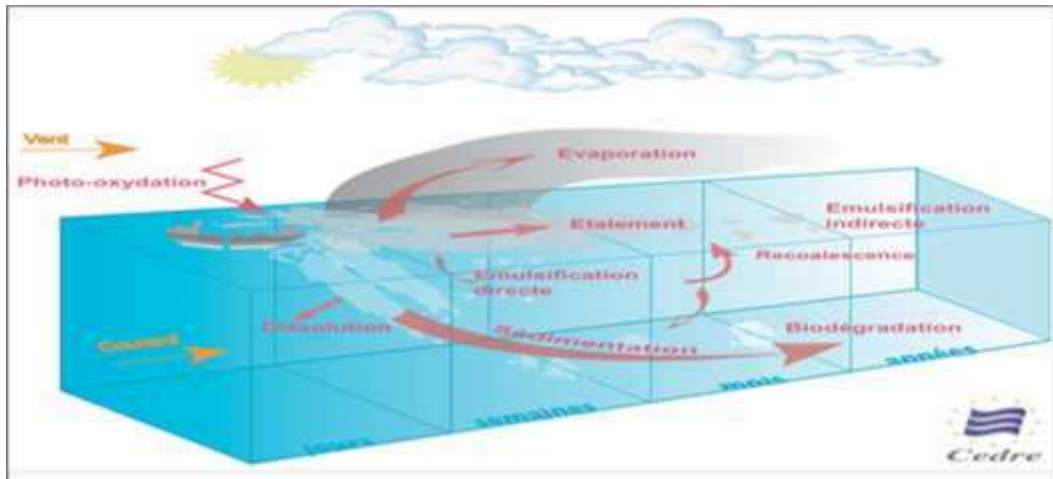


Figure 1: comportement des hydrocarbures en mer

4.7 Les impacts d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures

Une marée noire génère des impacts sur le milieu, sur ses peuplements et sur les activités économiques. La quantité de polluant déversé pèse naturellement lourd sur cet ensemble d'impact. Mais, la nature de produit en cause, le lieu et le contexte jouent énormément un grand rôle.

➤ **Facteurs déterminant l'importance d'une pollution**

Les conditions qui influent sur les impacts d'une pollution sont :

- Les types d'habitats.
- Le type et la quantité d'hydrocarbures (les hydrocarbures raffinés sont plus volatils et plus toxiques que les hydrocarbures lourds).
- Les espèces atteintes directement ou indirectement.
- La période du déversement (saison et stade d'évolution des espèces).
- Les conditions hydrométéorologiques.
- Le climat.
- La fréquence et la durée d'exposition aux hydrocarbures.
- L'efficacité des mesures d'intervention (**Fattal, 2008**).

4.7.1 Impact sur les vivants

Les produits pétroliers rejetés dans l'environnement ont des répercussions sur les plantes, animaux et êtres humains. Les conséquences de la contamination dépendent des organismes eux-mêmes et de la structure chimique des hydrocarbures. Certaines espèces éprouvent des changements de comportement à peine perceptibles ou des problèmes de santé à court terme, elles éprouvent des effets toxiques instantanés et aigus parfois mortels, tandis que chez d'autres espèces, les répercussions se manifestent lentement à long terme.

Les bactéries, nourriture de nombreuses espèces aquatiques, peuvent être des vecteurs de contamination par lesquels les hydrocarbures peuvent entrer dans la chaîne alimentaire (**Soltani, 2004**).

La nappe de pétrole constitue une barrière nette du transfert d'oxygène, réduction de la pénétration de la lumière et donc affecte le bon déroulement de la photosynthèse. Il entraîne aussi, l'élévation de la température et la prolifération des micro-organismes (**Tounsi, 1989**).

1. Les espèces planctoniques

Elles sont le premier maillon de la chaîne trophique donc toute altération les affectant se répercutera sur les niveaux trophiques les plus élevées (**Ait Abbas et Lauani, 2002**).

➤ **Phytoplancton**

Les huiles répandues en surface forment un filtre entre le soleil et le milieu aquatique pouvant réduire de 90% la pénétration de la lumière. Donc, il a pour conséquences immédiates : le ralentissement de l'activité photosynthétique et la production primaire (**Hocini, 1991**).

➤ **Zooplancton**

L'impact sur la communauté zoo-planctonique est moins évident car il est difficile de distinguer des phénomènes anormaux d'une variabilité naturelle qui est liée aux conditions écologiques comme le brassage et la saisonnalité. Toutefois, une marée noire entraîne inévitablement des effets (**Fattal, 2008**).

2. Les espèces benthiques

➤ **Phytobenthos**

Les algues benthiques ont une faible sensibilité aux hydrocarbures. Les effets à court terme, spectaculaire, se traduisent par l'englueage 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 générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (**Fattal, 2008**).

➤ **Zoobenthos**

C'est l'écosystème le plus fragile. Le pétrole peut détruire les organismes benthiques par immobilisation, asphyxie, intoxication, 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 celle des milieux rocheux.

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

En fin, les effets des hydrocarbures sur ce maillon trophique sont encore très peu connus. (**Bodennec et al, 1983 in Sellali, 1996**).

b. Impact sur les oiseaux

Les effets d'un déversement sur les oiseaux, sont toujours difficiles à évaluer car d'une part, il existe une grande variabilité des groupes à cause de variabilité des facteurs naturelle. D'autre part, lorsqu'une pollution survient les animaux qui échouent sur le littoral ne représentent qu'une partie des mortalités.

La vulnérabilité des oiseaux dépend de plusieurs variables comme le type de l'espèce (son origine géographique, sa structure d'âge, les stratégies démographiques du groupe, et les modes de reproduction) ; le type d'hydrocarbure ; l'étendue de la nappe ; le lieu de la pollution ainsi que la période où l'accident s'est produit. Concernant la quantité déversée et l'impact sur l'avifaune ; il n'y a pas de relation directe. En revanche, les espèces qui passent de longues périodes à la surface de l'eau, qui plongent, qui muent, ne volent pas, sont plus vulnérables que les autres. Les oiseaux de pleine mer dont plus spécifiquement les alcidés sont plus vulnérables que les oiseaux de rivage (Fattal, 2008).

c. Impact sur les mammifères

Il dépend des types des espèces, de leur mode de vie, mais aussi des facteurs comme la durée d'exposition, la surface du corps mazouté, le régime alimentaire, l'ingestion des hydrocarbures et l'inhalation. Ces deux derniers facteurs sont responsables d'irritation diverses, d'inflammation des muqueuses, d'ulcérations gastro-intestinales et d'obstruction des poumons (Fattal, 2008).

En conclusion, le tableau de synthèse suivant conclure la sensibilité des espèces, peuplements et populations. Il résulte de la mise en place de L'IRS (Impact Reference System), au sein de l'Union Européenne (O'sullivan et Jacquea, 2001 in Fattal, 2008).

Tableau 1 : sensibilité de quelques populations (source : d'après O'sullivan et Jacques, 2001 in Fattal, 2008).

Sensibilité	Populations
Très forte sensibilité	Guillemots, puffins, oiseaux plongeurs, corail
Forte sensibilité	Oursins, mammifères marins, larves de nombreux organismes
Moyenne sensibilité	Zooplancton, mollusques, polychètes
Sensibilité faible	Phytoplancton
Très faible sensibilité	Poissons adultes

Chapitre 1: Généralités

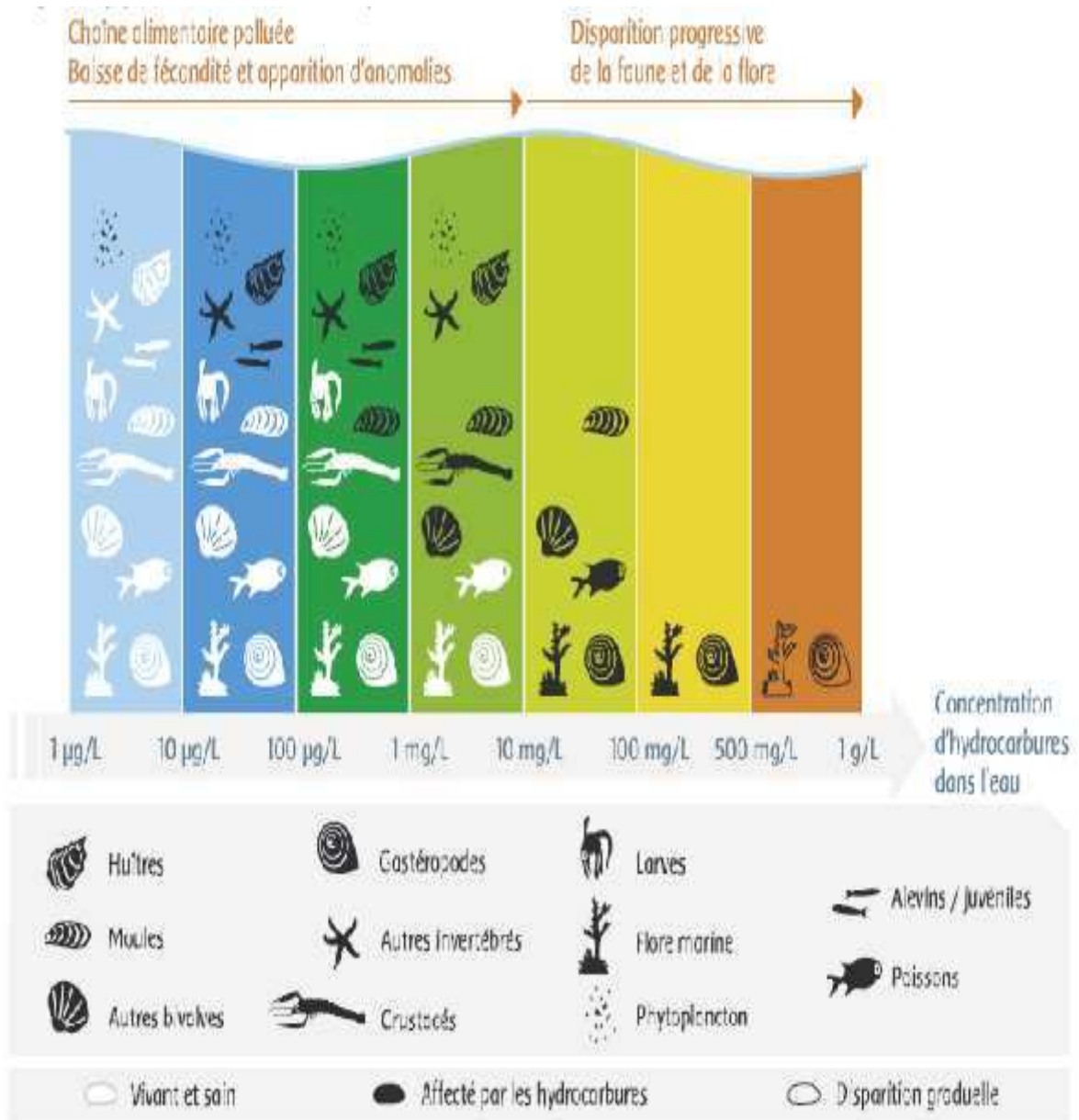


Figure 2: Effets des hydrocarbures sur les organismes marins (source : le CEDRE, 2006).



Figure 3: La description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations (en particulier les hydrocarbures aromatiques soluble) (O'Sullivan et Jacques, 2001 in Bocard, 2006)

d. Impact sur la santé humaine :

Il dépend de temps de l'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés.

L'ingestion de produit de la mer contaminé par une pollution par les hydrocarbures comporte un risque cancérogène difficile à apprécier.

Les premiers concernés sont les nettoyeurs qui inhalent les produits. La gêne occasionnée provoque des manifestations telles que des céphalées, vertiges, nausées, vomissements et irritations oculaires. D'autres manifestations peuvent être déclarées au moment des nettoyages comme les douleurs des jambes, des douleurs abdominales, de lombalgies et de troubles du sommeil (Fattal, 2008).

Zone d'étude

Zone d'étude

1 Baie d'Alger

1.1 Présentation générale de la baie d'Alger

La façade maritime Algérienne s'étend sur 1640km (anciennement évaluée à 1280km), dont la partie centrale de cette région de 2° Ouest jusqu'à 9°Est avec une superficie maritime sous juridiction nationale environ 10 millions d'hectares aux activités de pêches.

Ces côtes sont découpées, et les baies sont largement ouvertes et peu nombreuses. La côte est bordée de falaises abruptes, rendant la création de nouveaux ports difficile (Korichi, 1988) On s'intéresse à la région d'Alger qui s'étend sur environ 115Km et qui regroupe plusieurs baies dont la baie d'Alger, la baie de Bou Ismail, et la baie de Zemouri et particulièrement aux deux premières citées.

1.2 Cadre géographique

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte Algérienne, elle s'inscrit en Creux dans la plaine de la Mitidja et d'une forme semi-circulaire. Elle est délimitée par : la pointe Pescade (RAIS HAMIDOU) à l'Ouest, le cap Matifou (EI MARSAS) à l'Est, au Sud par le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée.

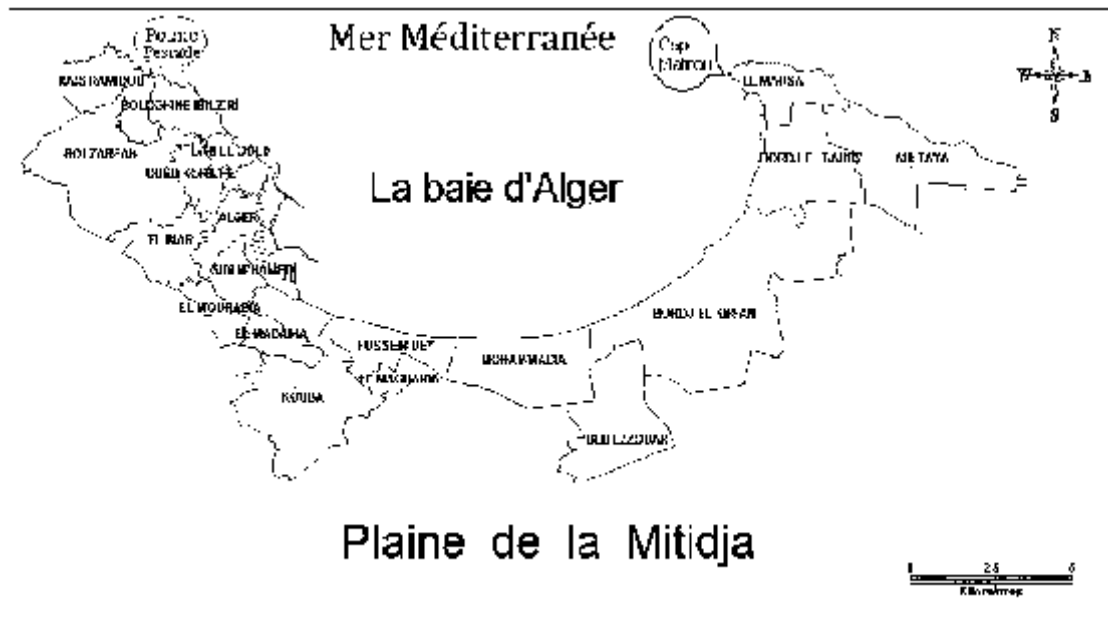


Figure 4: Délimitation de la baie d'Alger

1.3 Bathymétrie

La morphologie sous-marine de la baie d'Alger est régulière sans accident topographiques majeurs, la pente continentale passe du massif de Bouzaréah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, les isobathes sont régulières et parallèles à la côte et la distance qui sépare deux isobathes est d'environ 6 milles descendante en pente douce et uniforme de 0 à 100 m.

L'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte, celui de 100m est à 7,6Km, quant à celui 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1Km de la côte (**Figure 5**).

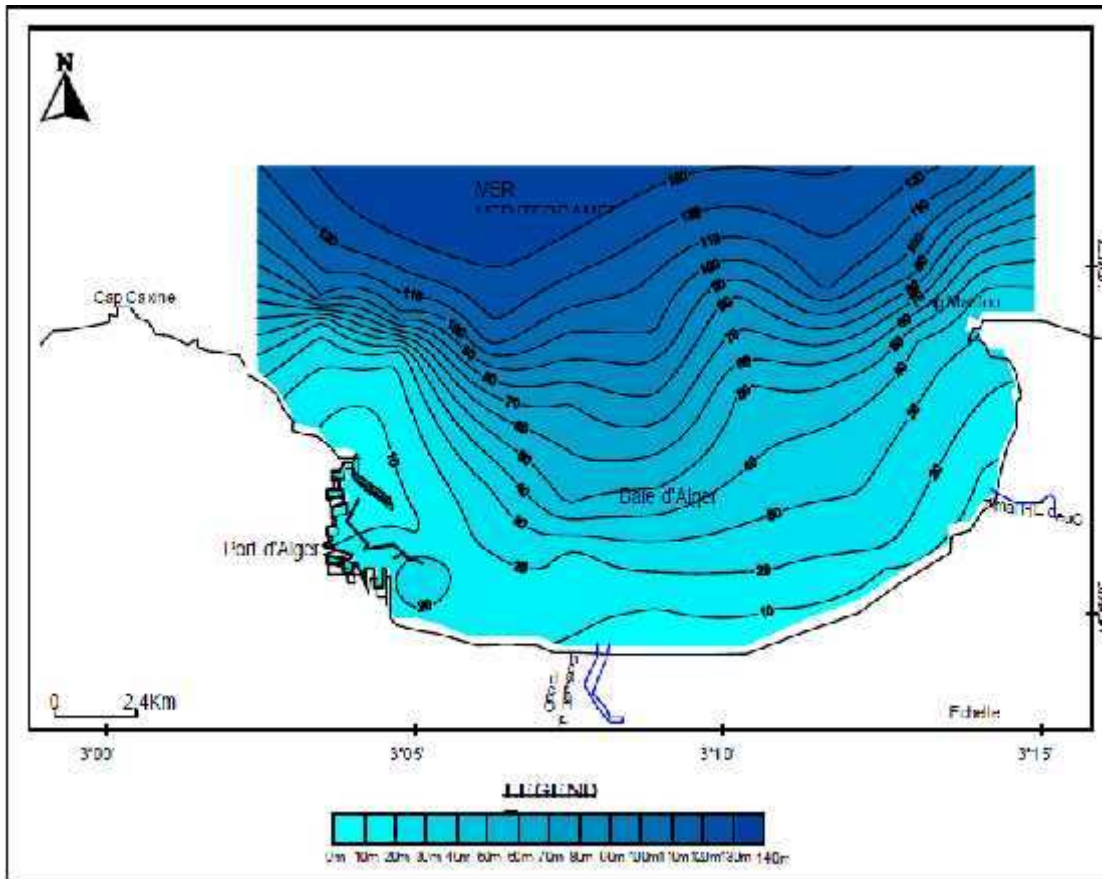


Figure 5: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (**Houma-Bachari, 2007**)

1.4 Réseau hydrographique

La baie d'Alger est alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz, ces cours d'eau prennent leur source dans l'atlas Blidéen et traversent la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer.

Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues observés surtout en hivers et rarement au printemps.

1.4.1 Oued El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie 970 km², il englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest. Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une

pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui en faveur d'une forte érosion et d'un alluvionnement important (LEM, 1999, in Khedimi et Abderrahmani, 2008). Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s.

1.4.2 Oued El Hamiz

La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou.

La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en Mer (LEM, 1999, in Khedimi et Abderrahmani, 2008). Ses principaux affluents sont : Oued Segia et oued Barek.

1.5 Facteurs météorologiques

1.5.1 La température

Selon le Laboratoire d'Etude Maritime LEM (2006), la baie d'Alger se distingue par deux périodes dans le cycle saisonnier annuel :

La première période est chaude, s'étale de Mai à Octobre avec un maximum en Aout (39.2°C). La deuxième période est relativement froide, couvre les autres mois de l'année avec un minimum en Février.

1.5.2 La pluviométrie

Dans la baie d'Alger, et selon les moyennes mensuelles obtenues on peut noter l'existence de deux saisons :

- Une saison humide qui s'étale du mois de septembre ou mois de mai avec une moyenne mensuelle enregistrée de 31,40 mm, cette moyenne s'élève progressivement Jusqu'au mois de Décembre ou elle atteint le maximum de 104,54 mm De là, elle diminue graduellement jusqu'au mois de Mai avec une moyenne mensuelle de 31,36 mm
- Une saison sèche qui est plus courte que la précédente qui s'étale du mois de Juin avec une moyenne mensuelle de 6,47 mm, ou mois de d'Août, avec une moyenne mensuelle de 13,18 mm. Remarquant que le mois de Juillet est le sec avec une moyenne mensuelle de précipitation de 1,73 mm.

1.5.3 Les vents

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

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

1.6 Facteurs hydrodynamiques

1.6.1 Les houles

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

En hiver : les houles prédominantes sont W-NW avec une période moyenne de 8 à 9 secondes.

En été : les houles sont de direction N-NE avec une période moyenne de 6 à 7 secondes.

1.6.2 Les courants

Il existe quatre types de courants dans la baie d'Alger (**LEM, 1998**).

A. Les courants généraux

Il s'agit de l'eau d'origine atlantique qui pénètre en surface dans le bassin méditerranéen par le détroit de Gibraltar, ce courant général crée dans la plus part des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest (**Obaton, 1998**).

B. Les courants Côtiers

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules, ce qui favorisent leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

C. Les courants de retour

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 de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

D. Les courants de dérive littorale

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

1.7 Origine des eaux marines de la baie d'Alger

Boulahdid et al, (2003), ont conclu à partir du diagramme température- salinité des eaux de la baie, que la baie d'Alger est le siège d'un mélange qui se fait entre trois eaux d'origines différentes: une eau superficielle ayant les caractéristiques de l'eau Atlantique légèrement mélangée avec l'eau de la Méditerranée le long de son parcours; une eau qui remonte d'une profondeur de l'ordre de 100 m au centre de la baie, et enfin une eau continentale non négligeable qui adouci en partie les eaux de la baie. La partie Sud-Ouest de la baie est une zone abritée, les eaux y sont assez stables.

Ces eaux décrivent un mouvement circulaire conditionné par la forme de la baie. Pendant leur séjour dans la baie, ces eaux se réchauffent légèrement. Ces conclusions suggèrent que les eaux de la baie se renouvellent aisément.

1%). Une nouvelle ligne d'inflexion à - 400 m apparaît ; elle marque le début du talus continental en pente forte (10 %) menant aux plaines abyssales (- 2500 m) (Leclaire, 1972).

2.3 La courantologie

Les courants induits par la houle au large ou à la côte, sont à peu près les seuls à agir de façon active sur la sédimentation actuelle (Caulet, 1972). La circulation d'un courant le long des côtes africaines est appelée « courant algérien ». Il est défini comme une veine d'eau de surface près du méridien 0°, avec les caractéristiques suivantes : une largeur de l'ordre 50 Km, une profondeur maximum de l'ordre de 150 m, une vitesse maximale supérieure à 50 cm/s.

La côte algérienne est caractérisée par ces deux couches d'eaux superposées, l'eau Atlantique modifiée et l'eau Méditerranéenne. En effet, l'eau Atlantique pénètre dans la mer d'Alboran où ses caractéristiques initiales commencent à s'altérer, donnant ainsi naissance à l'eau atlantique modifiée. Ce même auteur signale cette eau dans le bassin Algérien où elle se reconnaît dans une couche superficielle de 150 m d'épaisseur, avec une température de 15 à 23°C en surface et de 13,5 à 14°C en profondeur et de salinités allant de 36,5 à 38 ‰.

Le long des côtes algériennes, l'eau Atlantique modifiée décrit un écoulement plus ou moins stable avant de se diviser en deux branches. Dans le bassin algérien, l'eau Atlantique modifiée pénétrerait (Millot, 1987 ; Millot, 1993 et Ben Zohra, 1993) sous forme d'une veine de courant étroite qui donne naissance à des méandres et tourbillons côtier associés à des upwellings. Ces derniers favoriseraient une forte productivité biologique et par conséquent, augmentation des capacités trophiques du milieu.

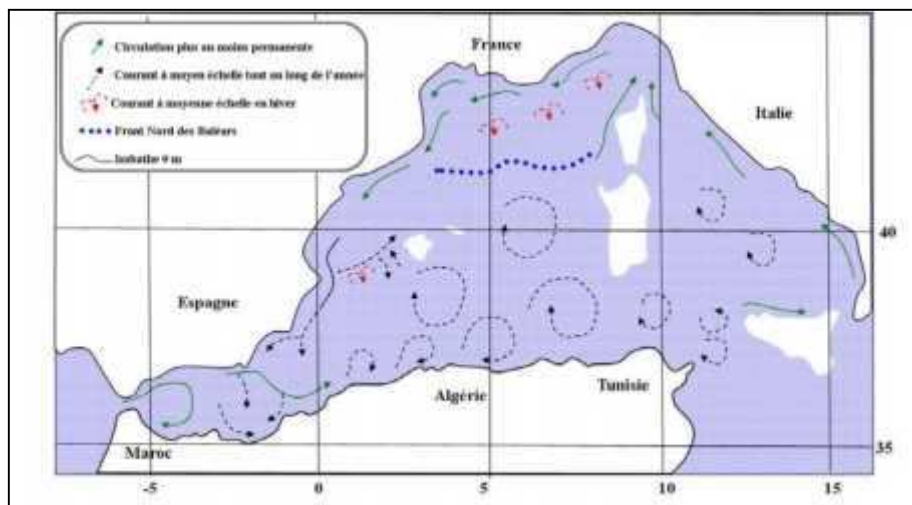


Figure 7: Schéma de circulation de l'eau d'origine Atlantique (d'après Millot, 1987)

2.4 Réseau hydrographique

Les principaux oueds qui se déversent dans la baie de Bou – Ismail sont au nombre de trois, et sont perpendiculaire (Oued Nador) ou obliques (Oued Beni Messous et Mazafran) à la côte.

- 2.4.1 Oued Beni Messous :** Se situe à 15 Km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et club des pins, aliment la baie d'El Djamila. Il prend source dans le grand Chéraga : il traverse les communes de Chéraga au Nord, Bouzaréah au niveau d'une agglomération appelée "la tribu" au nord Est, Dely Brahim à l'Est et Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée "les Dunes" à environ 2 Km à l'Ouest du port d'El Djamila sur une distance de 11.5 Km, regroupant l'Oued Defla et l'Oued Bâinem. Son bassin versant est réduit, il est souvent sec, sauf lors des fortes pluies ou il peut raviner une quantité non considérable de sédiments. (Aouidad.Z ,1997).
- 2.4.2 Oued Mazafran :** Situé à l'Ouest de Sidi Fredj, l'Oued Mazafran est formé par la ramification des Oueds Djer, Chaffa et Bou-Roumi. Il prend sa source de la plaine de la Matidja. Cet Oued débouche entre Zeralda et Douaouda .Son débit est estimé à environ $13.8 \text{ m}^3/\text{s}$, et couvre une superficie de 600 km^2 (Aouidad.Z ,1997).
- 2.4.3 Oued Nador :** Situé dans la partie occidentale de la baie, il prend son origine à partir de la cluse de Tipaza avant de déboucher dans la petite baie de Chenoua. Il est formé par la réunion des Oueds suivants : Oued Bou-Yersen, Bou-Ardoun et oued Meurad. Son bassin versant a une superficie de l'ordre de $200 \text{ à } 230 \text{ Km}^2$. (Aouidad.Z ,1997)

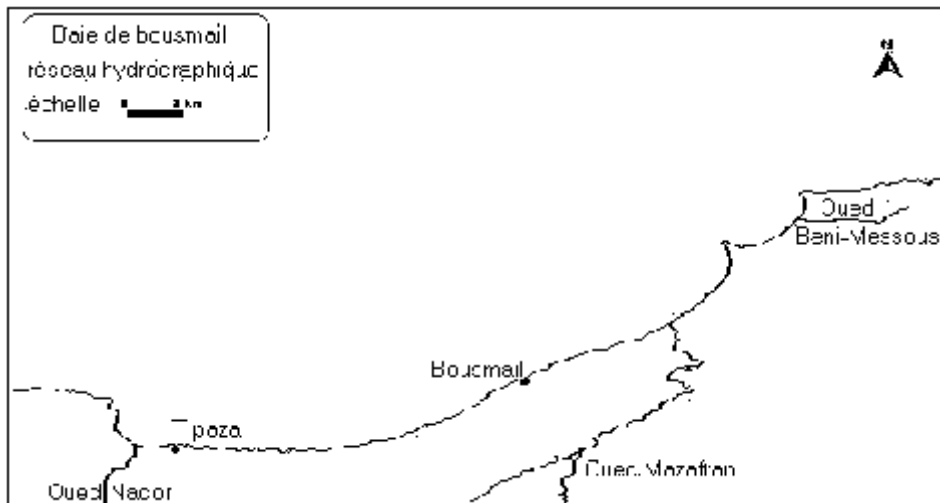


Figure 8: réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail

Matériels et méthodes

Matériel et méthodes

1 Travaux effectués en mer

1.1 Prélèvement d'eau et localisation des stations

Dans le but d'avoir une variété de mesures et une vue sur l'état de la pollution dans Les deux baies (baie d'Alger et la baie de Bou Ismail) nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans différentes stations (**Figure 9** et **figure 10**). Les échantillons d'eau de mer ont été prélevés pour l'étude des hydrocarbures, et des différents paramètres physico-chimiques. La sortie en mer a été effectuée le 23/11/2011 à bord de navire Océanographique *MS BEN YAHIA*.

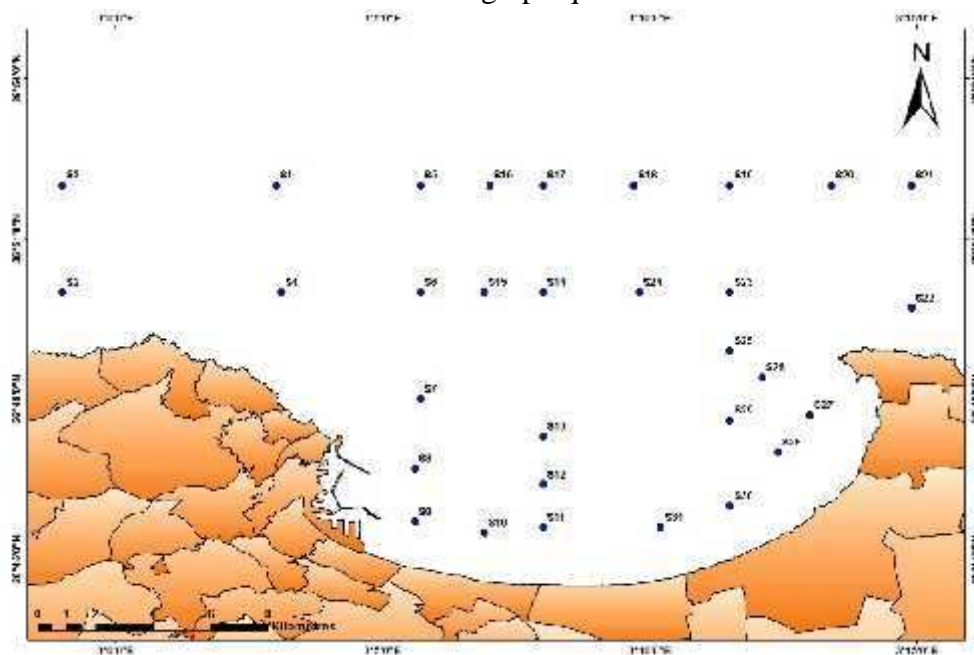


Figure 9: localisation des stations de prélèvement dans la baie d'Alger

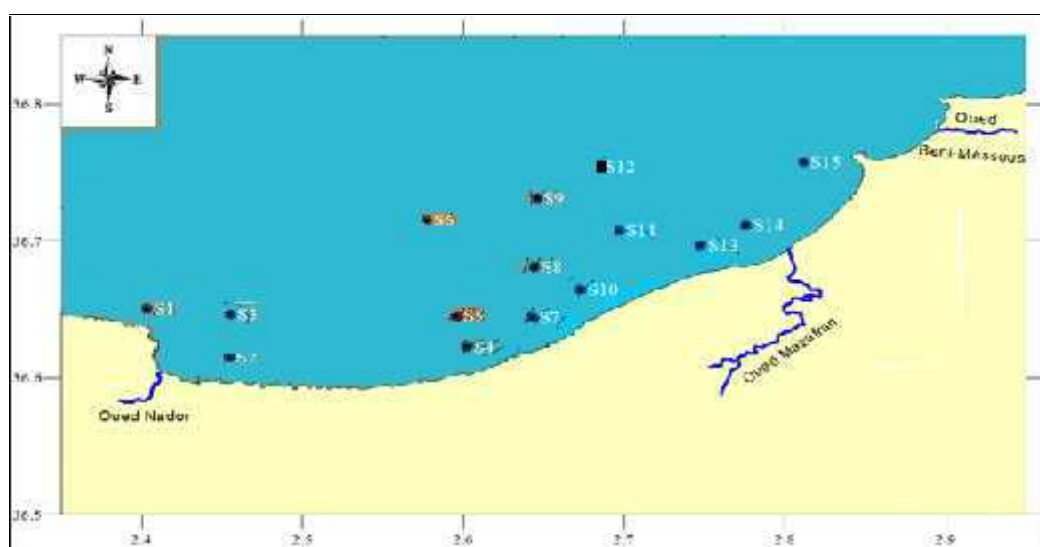


Figure 10 : localisation des stations de prélèvement dans la baie de Bou Ismail

Le procédé utilisé pour le prélèvement de l'eau de mer de surface est préconisé par l'U.N.E.P (Programme des Nations Unies pour l'Environnement 1995). Le dispositif recommandé pour le prélèvement des échantillons d'eau se compose d'une bouteille propre de verre fumé de 2.5 litres de capacité (une bouteille à solvant convient parfaitement), placée sur un support lesté. On choisira une bouteille à goulot étroit (2 à 3 centimètres de diamètre intérieur) pour qu'elle se remplisse lentement après s'être enfoncée dans l'eau.

Pour identifier les échantillons, il faut établir un relevé, en notant la position en degrés minutes de latitude et de longitude, la date et l'heure locale du prélèvement. Des précisions concernant le milieu doivent être fournies lorsque cela est possible. Une étiquette doit être fixée à la bouteille contenant l'échantillon et porter le numéro inscrit sur le relevé ainsi que le lieu, la date et l'heure du prélèvement. Il faut indiquer la profondeur des prélèvements si les échantillons sont recueillis à plus d'un mètre de profondeur.

L'eau de mer est récoltée à l'avant du navire en arrêt afin de réduire les risques de contamination par le bateau. La bouteille de prélèvement est ancrée dans un filet puis lesté et plongée entre 0 et -1m. La première extraction d'hydrocarbures est effectuée avec 50ml de solvant (l'hexane). La bouteille de prélèvement est rangée à l'obscurité dans un endroit frais.

1.2 Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont prélevés à chaque station d'échantillonnage. Ces paramètres sont généralement mesurés à la surface et en eau profonde. Nous avons utilisé une bouteille de type NISKIN pour les prélèvements et une valise multiparamétrique pour les mesures.

1.2.1 Température (T)

C'est une caractéristique physique importante, elle joue le rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond. Elle est mesurée généralement avec d'autres paramètres physico-chimiques.

1.2.2 Salinité S ‰ ou (P.S.U (Practical Salinity Unit))

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (Aminot, 2004), elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux. Les mesures de salinité ont été réalisées par la méthode conductimétrique grâce à un conductimètre de type WTW 315 i /Set qui permet la mesure de la conductivité ainsi que la salinité de l'eau de mer. Il affiche aussi les valeurs de températures.

1.2.3 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau de mer résulte de sa composition ionique et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) entre l'eau et l'atmosphère. C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Le pH dépend de la teneur en dioxyde de carbone ; c'est à dire une modification de CO₂ (Respiration, photosynthèse, échange air-mer) entraînera donc une modification du pH (Rodier, 2005).

Le pH a été mesuré in situ à l'aide d'un pH mètre de type PH 315i il affiche aussi les valeurs de températures.

1.2.4 Oxygène dissous (OD)

Afin d'évaluer les teneurs en oxygène dissous, des mesures sont effectuées, in situ, à l'aide d'un oxymètre WTW Oxi197i muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans la bouteille de prélèvement, ensuite les valeurs de l'oxygène dissous et la température s'affichent par une unité de mg/l et °C. L'appareil est étalonné à la pression atmosphérique.

1.2.5 Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension dans les eaux de mer sont des matières minérales ou organiques de dimensions très variables. Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45µm et elles peuvent être un indice de pollution.

La détermination des matières en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable. Elles présentent une surface de contact importante pour des échanges chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**), elles peuvent être considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques, biologiques (**Lacaze, 1996**).

L'analyse de cette dernière consiste à faire passer sur une membrane filtrante qui aura été préalablement pesée P1, une quantité connue d'effluent à analyser. Après passage à l'étuve à 110°C, la membrane est à nouveau pesée P2. La différence entre P2 et P1 représentera la quantité de matières retenues sur la membrane filtrante, puis séchée lors du séjour en étuve ; ce sont les MES, elles s'expriment en mg/l. La concentration de la matière en suspension (MES) s'obtient donc par l'expression :

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{P1 - P2}{V} \dots\dots\dots (2)$$

P1 : le poids du filtre avant filtration (mg).

P2 : le poids du filtre après la filtration (mg).

V : volume d'eau filtrée en litres.

2 Travaux effectués aux laboratoires

2.1 Conditionnement du matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures

La bouteille doit être nettoyée parfaitement et rincée comme indiqué ci-après :

- Lavage à l'eau et à la lessive classique.
- Rinçage à l'eau acidulée à 5%.
- Rinçage à l'eau distillée.
- Rinçage à l'acétone C₆H₆O.
- Séchage à l'étuve à 70°C pendant 24h.
- Rinçage au solvant (L'Hexane).

2.2 Préparation des produits d'analyse

Les produits d'analyse solides et liquides utilisés sont répertoriés dans les tableaux suivants

2.2.1 Produits solides

Tableau 2: référence et utilisation des produits chimiques solides dans le traitement des hydrocarbures

Produit solide	Références	Marque	Matrice utilisée	Etape d'utilisation
Florisil (MgO: 15,5%. SiO₂: 84% Na₂SiO₄: 0,5%)	-Florisil R 100 à 200 meshASTM. -destiné à la chromatographie sur colonne. - ph = 8,5.	MERCK	eau de mer.	-purification en chromatographie sur colonne ouverte.
gel de silice(SiO₂)	-70 - 230 mesh -ASTMou (0,032-0.063mm). -ph (10%,20°C).pour colonnes chromatographiques.		eau de mer	-fractionnement des hydrocarbures en chromatographie sur colonne ouverte.
alumine ou oxyde d'alumine (AL₂O₃)	-70 - 230 mesh. -ph neutre	B.D.H	eau de mer	-fractionnement de l'échantillon en chromatographie sur colonne ouverte.
sulfate de sodium anhydre(N32804)		B.D.H	eau de mer	pouvoir déshydratant (utilisé dans toutes les étapes pour l'eau de mer).

- Préparation des adsorbants

Le Florisil, le gel de silice, et l'alumine servant en chromatographie à colonne ouverte sont conditionnés comme suit

➤ Etape d'activation

Une quantité d'adsorbant pesée et mise à l'étuve à 120°C pendant 24 heures.

➤ Etape de désactivation partielle

L'adsorbant est ensuite désactivé partiellement par addition de 5% d'eau distillée. De même, les produits solides (alumine, gel de silice et sulfate de sodium) ainsi que la laine de verre, les cartouches en cellulose font l'objet d'une extraction à blanc. Cette étape intermédiaire permet leur nettoyage avec de l'hexane pur dans le dispositif Soxhlet pendant 4 heures

2.2.2 Les produits liquides

Tableau 3: références et utilisations des produits chimiques liquides dans le traitement des hydrocarbures

Produit liquide	Références	Marque	Matrice utilisée	Etape d'utilisation
n-Hexane(C₆H₁₄)	- pour analyses des résidus de pesticides pour I.R.	-B.D.H -R.D.H.	-eau de mer	- Extraction - Purification - fractionnement
dichlorométhane (CH₂CL₂)	- Stabilise à l'amylène. -Stabilise à 0,5% d'éthanol.	-R.D.H Pestanal®	-eau de mer	- Extraction - Purification -fractionnement
Acétone(C₃H₆O)	- pour analyses de résidus de pesticides. - eau < 1%. - pour U.V. spectroscopie.	B.D.H. -R.D.H Puranal®.- Flukachemika- Fluka.		-rinçage de la verrerie.

2.3 Quantification de la matière organique dans l'eau de mer

Les hydrocarbures sont introduits dans le milieu marin de différentes manières en s'associant à de la matière organique. Lorsque les hydrocarbures polyaromatiques sont présents à la surface de l'eau de mer, ils s'incorporent au sédiment marin par le biais des pelotes fécales du zooplancton selon **Grimalt et al (1988)**. Afin d'établir une éventuelle corrélation entre les teneurs d'hydrocarbures et le pourcentage de matière organique, la méthode de "pertes au feu" (**Castel et al, 1990**) est adoptée. Cette opération est effectuée sur tous les échantillons :

Les filtres de 0.4µm de diamètre de pores, ont été préparés de la même façon que pour la matière en suspension. Ils sont alors pesés avec précision dans des creusets en porcelaine, soit P₁. Après les avoir passés au four à moufle à 450°C pendant deux heures, les creusets et filtres sont à nouveau pesés, soit P₂. La différence de ces deux poids (P₁, P₂) nous donne celui de la matière organique brûlée :

$$\text{M.O (mg)} = P_1 - P_2 \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

P₁ : poids du creuset et du filtre avant séchage

P₂ : poids du creuset et du filtre après séchage

2.4 Traitement de l'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures

Les échantillons d'eau de mer ont été rapidement traités afin de minimiser les pertes ou les contaminations par les hydrocarbures. Le protocole appliqué est inspiré des normes françaises T90-114 et T90-203 de l'AFNOR (1972 a et b) (**Roussel, 1983**) et approuvés par les experts de la C.O.I (1982). Il se base sur deux grandes étapes :

- extraction liquide-liquide.
- purification et fractionnement.

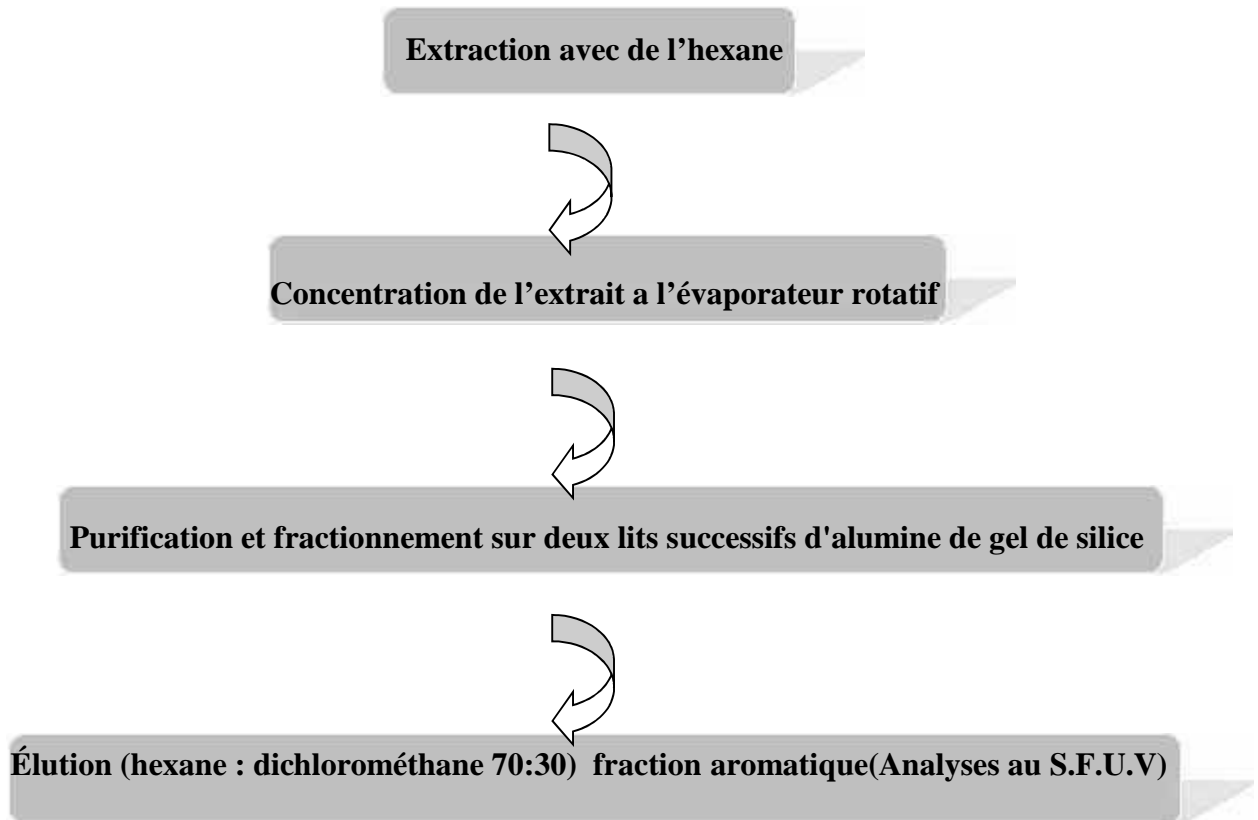


Figure 11 : l'analyse des hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer.

2.5 Protocole d'extraction des hydrocarbures dissous /dispersés

2.5.1 Extraction

Le procédé d'extraction adopté est celui décrit par **Roussel et Marchand (1983)**. L'extraction des échantillons doit être pratiquée dès que possible après le prélèvement (il faut ajouter «*in situ*» 50 ml de l'hexane et agiter pendant 3 minutes pour chaque échantillon). En principe, elle doit être effectuée en mer si les conditions et l'espace disponible le permettent. Sinon, elle doit être faite dès que le navire arrive à terre. Les échantillons ne doivent en aucun cas être conservés plus de trois à quatre heures avant l'addition de solvant et ils doivent être gardés au frais et dans l'obscurité (**COI, 1984**).

Une seconde extraction est réalisée au laboratoire avec 50ml d'hexane. Et comme ce dernier est un solvant organique plus léger que l'eau, au moment de l'agitation il permet la dispersion du solvant dans l'eau de mer et la formation d'une phase organique non miscible, piégeant ainsi les hydrocarbures présents dans l'eau. Cette extraction se fait par agitation mécanique dans une ampoule à décanter pendant 10 minutes. Après décantation, la phase organique supérieure de l'ampoule est récupérée dans un erlenmeyer à col rodé. Une pincée de sulfate de sodium (Na_2SO_4) anhydre est ajoutée afin d'absorber d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait.



Figure 12: Agitateur mécanique

2.5.2 Concentration de l'échantillon

La concentration de l'extrait d'eau de mer est réalisée dans le but d'éliminer le solvant d'extraction à l'aide d'un évaporateur rotatif. L'échantillon donc est concentré jusqu'à un volume d'environ 5ml au bain Marie à une température voisine de 40°C. Cette température est uniquement nécessaire à l'évaporation du solvant. L'échantillon est placé dans un évaporateur rotatif BUCHI R110 muni d'un thermostat. Ce dispositif est raccordé à une pompe aspirante d'une étanchéité au vide inférieure à 1 torr soit à 1,3 millibar. La concentration est une étape intermédiaire qui permet de diminuer le volume du contenant (solvant) dans l'échantillon et de travailler ainsi avec-des volumes réduits et manipulables.



Figure 13: évaporateur rotatif BUCHI R110

2.5.3 Purification

Le solvant organique utilisé piège non seulement les hydrocarbures mais aussi tous les composés organiques polaires tels que les lipides et les acides gras. Afin d'éliminer ces derniers et d'isoler les hydrocarbures, une purification est réalisée par le biais d'une chromatographie d'adsorption sur colonne ouverte. Une colonne en verre de 30ml de volume avec un diamètre interne de 10mm contenant la phase stationnaire, 5g de Florisil (100-200 mesh ASTM) conditionne, est préparée. Elle est garnie à l'extrémité supérieure par du sulfate de sodium. Le Florisil est maintenu à l'extrémité inférieure par de la soie de verre. La préparation de la colonne se fait par la méthode humide. L'adsorbant est préalablement mélangé au solvant. Cette solution est ensuite introduite dans la colonne. L'éluat est effectuée avec 20ml d'hexane. L'éluat récupéré a un volume final de 20ml.

2.5.4 Concentration

Une seconde concentration, très délicate cette fois-ci à cause du faible volume final est réalisée. En effet, l'échantillon est évaporé à sec sous jet d'azote et repris avec 5ml d'hexane. Le protocole de la C.O.I (1984) souligne le risque de perte au-dessous d'un volume de 200 μ l.

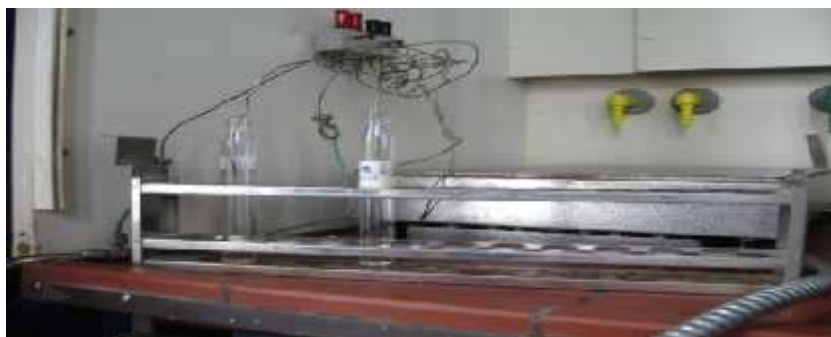


Figure 14: concentration sous jet d'azote

2.5.5 Purification et fractionnement

Cette méthode utilise la chromatographie sur colonne ouverte moyennement de l'alumine neutre (pouvoir de purification) et du gel de silice (pouvoir séparateur et/ou rôle de fractionnement) conditionnés. Ces deux composés (70-230 mesh) sont agencés en deux lits successifs :

- L'alumine, est située dans la partie supérieure de la colonne.
- Le gel de silice au-dessous

La quantité utilisée est de cinq gramme pour chacun d'entre eux. L'extrémité supérieure contient du sulfate de sodium. L'extrémité inférieure de la colonne est occupée par de la soie de verre.

Une première élution est effectuée sur l'extrait avec 20 ml d'hexane pur (F1 ou fraction aliphatique).

Une seconde élution est réalisée avec un mélange de 20ml d'hexane et de dichlorométhane dans les proportions 70 :30 (F2 ou fraction aromatique).

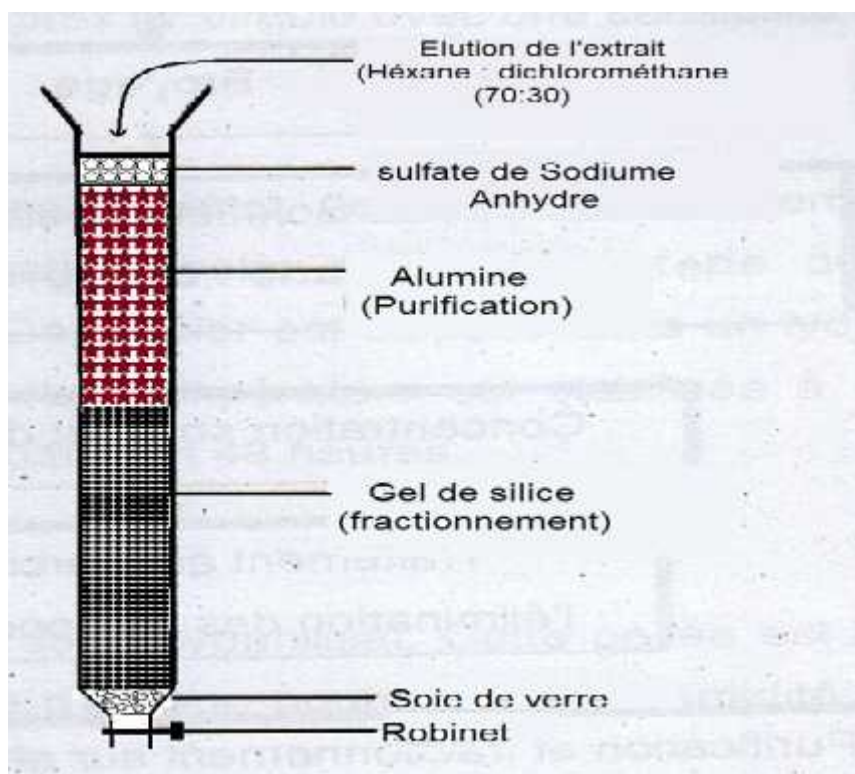


Figure 15: purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte

2.6 Technique d'analyse des hydrocarbures

Différentes techniques ont été mises en œuvre pour l'analyse des polluants organiques marins. Les méthodes spectrales avec la chromatographie en phase gazeuse offrent des résultats particulièrement satisfaisants du point de vue quantitatif et qualitatif.

La spectroscopie est une technique d'analyse des molécules qui se base sur la manière dont celle-ci absorbent les radiations. Parmi les techniques les plus souvent utilisées en chimie organique :

- la spectrophotométrie à rayonnement infrarouge (S.I.R).

- la spectrofluorimétrie à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V).
- Dans ce présent travail en se basant sur la deuxième technique (S.F.U.V).

. Spectrofluorimétrie à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V)

La SFUV sensible essentiellement aux hydrocarbures aromatiques, elle 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 (Représentent toutes les hydrocarbures biogéniques produits par les organismes marins, ainsi que ceux qui proviennent de suintements naturels à partir des fissures du plateau continental et les divers déversements continentaux « végétaux, feu de forêt... ») dans le milieu marin. La SFUV est beaucoup plus sensible que la SIR : la limite de détection est de l'ordre de 0,1 g/l pour l'eau de mer (**Roussel, 1983**). La SFUV est préconisée par la COI, (1984) pour la surveillance de la pollution par les hydrocarbures en mer. Elle permet d'apprécier globalement la teneur en hydrocarbures aromatiques. Elle est très sensible et peu sujette aux interférences. Elle ne fournit que très peu d'informations sur la nature des produits dosés lorsque les longueurs d'onde d'excitation et d'émission sont fixées.

2.6.1 Principe

La fluorescence est un phénomène qui se produit en deux phases

1. L'excitation : l'excitation d'une molécule par une radiation électromagnétique ultraviolette est un phénomène rapide qui se traduit par le transfert d'un électron d'une orbitale liante vers une orbitale antiliante. La molécule passe ainsi de son état électronique fondamental vers un état excité. L'ensemble des transitions électroniques constitue le spectre d'excitation. La radiation ultraviolette de même que la lumière visible possède suffisamment d'énergie pour transférer des électrons vers des orbitales antiliantes créant ainsi un état électronique excité.

2. L'émission : le retour à un état électronique de moindre énergie ou désactivation est relativement stable. Il fait intervenir un grand nombre de transitions produisant chacune l'émission d'une radiation dans toutes les directions. L'ensemble des transitions constitue le spectre d'émission du rayonnement de fluorescence. L'intensité de la fluorescence est proportionnelle à la concentration de l'échantillon à condition que cette dernière soit comprise dans la gamme étalon. Cette technique s'applique en particulier aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées tels que les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques.

2.6.2 Appareillage analytique

Les hydrocarbures polyaromatiques sont analysés avec un spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10s, 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.

2.6.3 Etalonnage et préparation des standards

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence. Celui préconisé est le chrysène ou 1,2 benzophenanthrène ($C_{18}H_{12}$).

La gamme étalonnée compose de 2 mg de chrysène dissous dans 10ml d'hexane soit de 10mg/50 ml ou bien 200 μ g/ml. Cette préparation est la solution mère ou solution initiale. Un volume de 1 ml est prélevé de cette dernière et dilué dans 25ml afin d'obtenir une solution intermédiaire de 8 μ g/ml. À partir de cette seconde solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles ou gamme étalon.

Tableau 4 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère

Etalon	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration (μ g/ml)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00

Les fioles contenant les solutions standards sont placées dans un bac à ultrasons pendant deux minutes dans le but de faire dissoudre le chrysène dans de l'hexane.

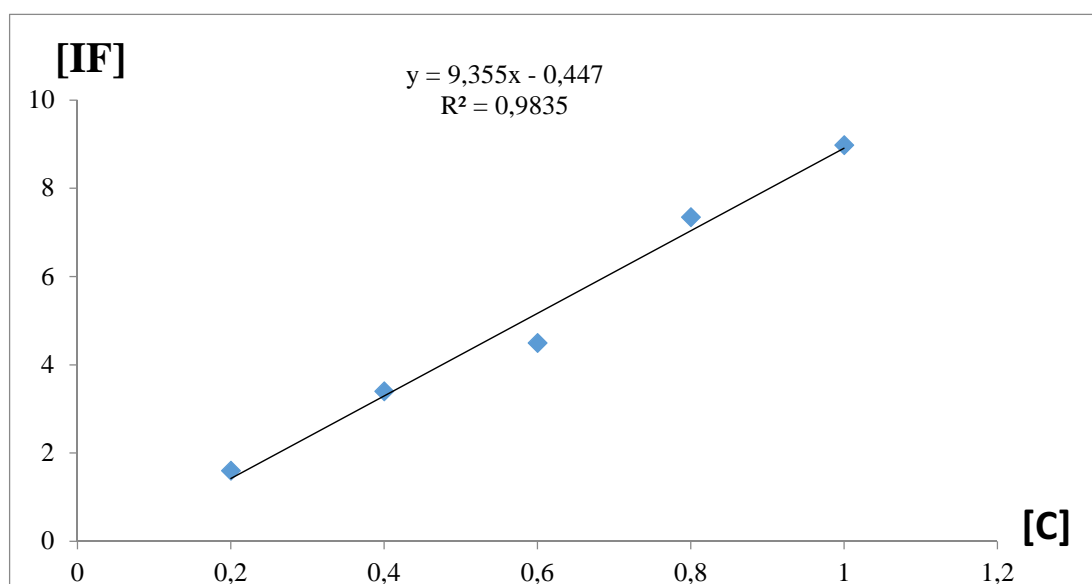


Figure 16: Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA par SFUV

2.6.4 Le blanc de procédure

Le blanc analytique provient impérativement des réactifs utilisés, en particulier des solvants. Pour le déterminer, on prend le même volume de solvant (n-hexane) que l'on a utilisé pour l'extraction d'un échantillon et on lui fait subir exactement le même traitement. Dans ce cas, une purification et un fractionnement à blanc sont réalisés.

2.6.5 Limite de détection

La limite de détection est la résultante des mesures effectuées sur les blancs échantillons, elle est repoussée à 0,1 ppm pour l'eau de mer. En pratique, différents facteurs peuvent influencer la détection limite, parmi lesquels, la sensibilité des appareillages et la qualité du

traitement des échantillons. Cette donnée indique d'éventuelles contaminations survenues en pratique. L'augmentation du seuil de détection révélerait l'importance des contaminations. L'utilisation des blancs de procédure permet de contrôler les étapes de traitement et d'écartier la contamination des échantillons.

2.6.6 Reproductibilité de la SFUV

La reproductibilité d'une méthode est un terme statistique qui implique sa précision, celle-ci définit jusqu'à quel degré une détermination représentative d'une substance dans un échantillon donnera une mesure qui approche la moyenne d'un nombre infini de détermination de même échantillon (C.O.I, 1982).

La reproduction de la spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet est testée pour l'eau et le sédiment marin sur des échantillons à concentration moyenne.

Pour l'eau de mer

La reproductibilité est effectuée sur un échantillon de concentration moyenne, les lectures se font à 360nm, 380nm et 410nm avec une excitation à 310nm. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5: Test de reproductibilité sur la lecture de la concentration d'un échantillon d'eau de mer

Paramètres	360nm	380nm	410nm
Moyenne	1.003	0.525	0.161
Ecart-type	1.530	3.579	10.889
Erreur relative %	±0.011	±0.03	±0.01
Précision %	98.469	96.427	89.112

La précision et la reproductibilité de la S.F.U.V sont prouvées par les résultats obtenus avec une augmentation de l'erreur relative à 410nm qui est le domaine d'absorption minimale des hydrocarbures polyaromatiques.

2.6.7 Mesure des intensités de fluorescence

Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques sont déterminées à partir de courbe étalon. 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.
- L'émission de fluorescence est mesurée entre 310 et 500nm pour des longueurs d'ondes d'émission fixées à 360 nm, 380nm et 410 nm avec un pic d'absorption maximale à 360 nm pour les hydrocarbures aromatiques polynucléaires.
- L'ouverture des fentes d'excitation et d'émission est respectivement égale à 2 nm et 5 nm.

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

d'étalonnage. Elle permet d'établir le tracé d'une droite d'étalonnage pour chaque longueur d'onde d'émission $\lambda = 360 \text{ nm}$, $\lambda = 380 \text{ nm}$, $\lambda = 410 \text{ nm}$ à partir des données de lecture correspondant aux 3 longueurs d'onde précisées.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$IF = a C + b \dots \dots \dots (4)$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

C : concentration en hydrocarbures polycycliques aromatiques HPA (en $\mu\text{g/ml}$)

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

g. Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polycycliques aromatiques

Les concentrations en hydrocarbures aromatiques sont :

Pour l'eau :

$$[\text{Hydrocarbure}] \mu\text{g/l} = C \times v/V \dots \dots \dots (5)$$

C : concentration d'hydrocarbures dans l'extrait purifié, déterminé d'après la courbe étalon, après déduction du blanc ($\mu\text{g/ml}$).

v : volume d'extrait purifié (ml).

V : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (l).

2.7 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.

2.7.1 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.
- Les réactions chimiques s'effectuent dans la veine liquide.
- La chaîne automatisée SKALAR pilotée par un microordinateur pour, fournir un fichier numérique contenant les résultats relatives à l'analyse.



Figure 17: Auto Analyser San Plus (Skalar, 1998)

2.7.2 Principe de dosage des sels nutritifs

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (nitrites, nitrates et phosphates) 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 (). 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 :

$$A = D.O = \text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon . L . C \dots\dots\dots(6)$$

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.

2.7.3 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**).

2.7.4 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**).

2.7.5 Dosage des phosphates

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.

2.7.6 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 01**

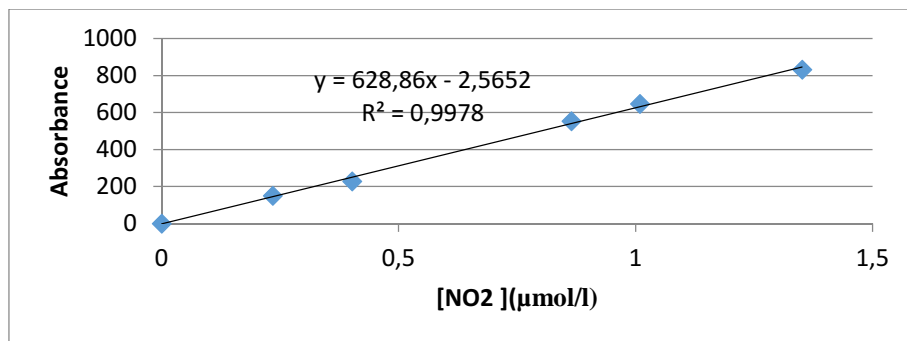


Figure 18: La courbe d'étalonnage des nitrites

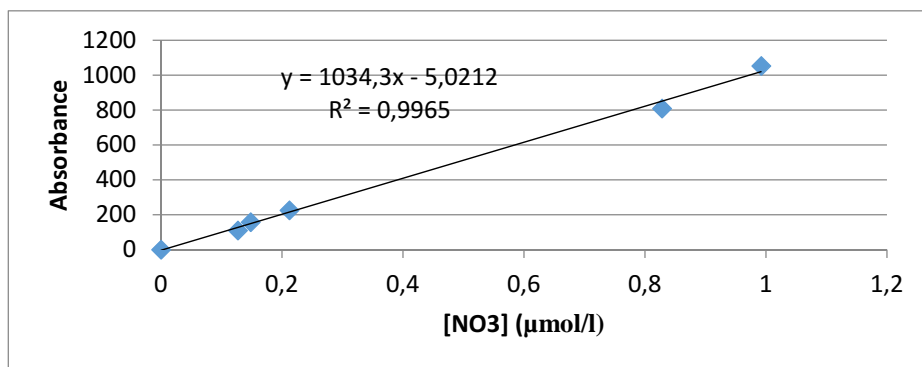


Figure 19: La courbe d'étalonnage des nitrates

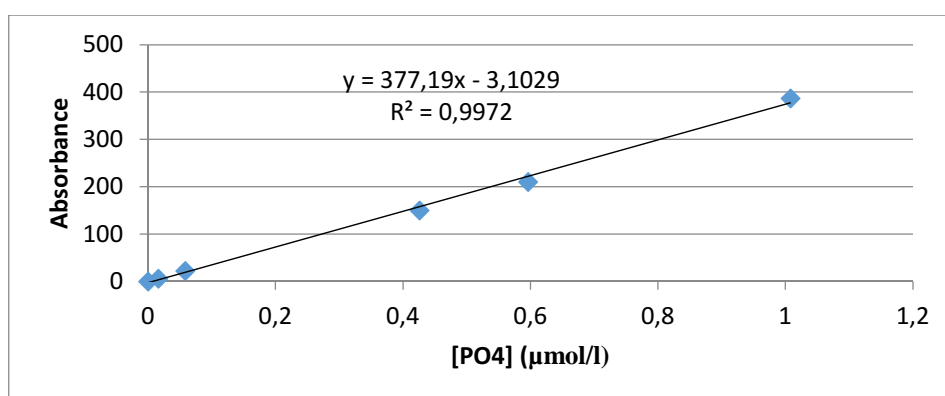


Figure 20: La courbe d'étalonnage des orthophosphates

Résultats et discussions

Résultats et discussion

1 La baie d'Alger

1.1 Analyse des paramètres physico-chimiques

Les données acquises en mer sont résumées dans le tableau suivant, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 6: Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimiques

Colonne1	T (°C)	S(PSU)	PH	[O2](mg/l)	MES (mg/l)
Minimum	14.60	36.06	7,89	6,80	3.40
Maximum	17.10	37.50	8,39	8.30	102.80
Moyenne	15.90	36.89	8,16	7,55	41.62
Ecartype	0.67	0,45	0,17	0,40	41.65

1.1.1 La température

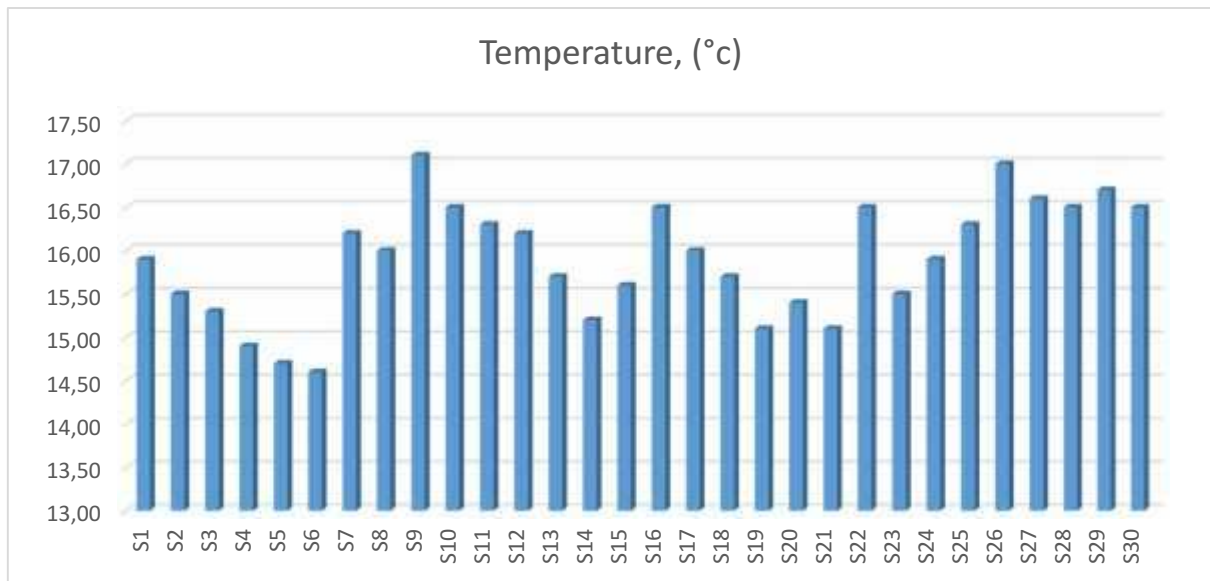


Figure 21: Variation de la température dans la baie d'Alger

Au niveau de la baie d'Alger, les valeurs de la température de surface variant de 14.60 à 17.10 C° avec une moyenne de 15.90c° et un écart type de 0,67.

De façon générale, les fluctuations de la température seraient dues probablement à l'influence des facteurs météorologique et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles qui se réchauffent légèrement pendant leur séjour dans la baie par le mélange avec les eaux de la baie, et les eaux d'origine continentale et aussi le contacte avec l'atmosphère. Dans l'ensemble les valeurs sont de niveau saisonnier (Madi Farida, 2009).

1.1.2 La salinité

Les valeurs de la salinité variant entre un niveau minimum de 36.06 PSU au niveau ses stations (S9.S27.S30).

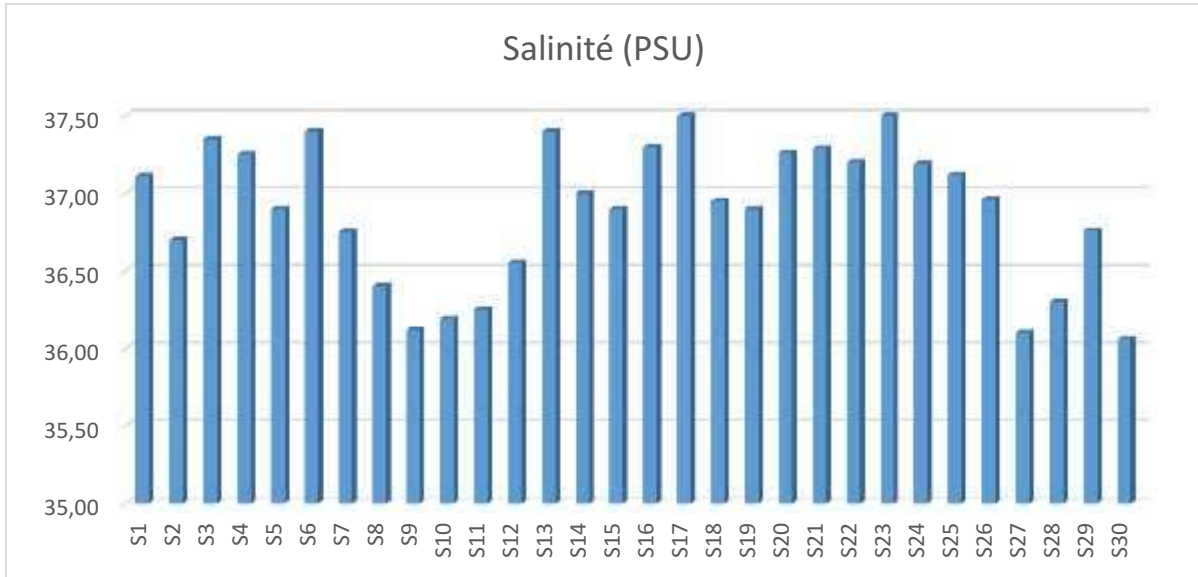


Figure 22: variation de la salinité dans la baie d'Alger

Les valeurs de la salinité inférieures à 37 PSU renseignent sur l'empreinte de l'eau continentale douce, par l'effet de la densité l'eau s'étale en surface et se mélange avec l'eau de mer, cette situation ressemble particulièrement à la valeur très faible de la salinité relevée à la station S10 située en face à l'oued El Harrach et à la proximité des apports de ruissellement et de déversement.

Les salinités allant jusqu'à 37,50 PSU peuvent être intermédiaires et qui pénètrent dans la baie sous l'effet du vent de secteur NW, celle-ci ne peut être que l'eau atlantique légèrement mélangée avec l'eau méditerranéenne le long de son parcours.

Ce phénomène explique bien d'ailleurs les valeurs baigné par les eaux nettement atlantiques amenées par le courant Algérien et également la remontée d'eau profonde (Madi Farida, 2009)

1.1.3 Le potentiel d'Hydrogène (PH)

Le potentiel d'Hydrogène (ph) des eaux de la baie d'Alger varie entre un minimum de 7,89 au niveau de la station S14 avec une moyenne de 8,16 et un écart type de 0,17 qui sont conformes aux normes algériennes 2006, limitées entre 6.5 et 8.5, situant dans la bonne gamme d'activités des microorganismes et favorisant aisément un traitement biologique.

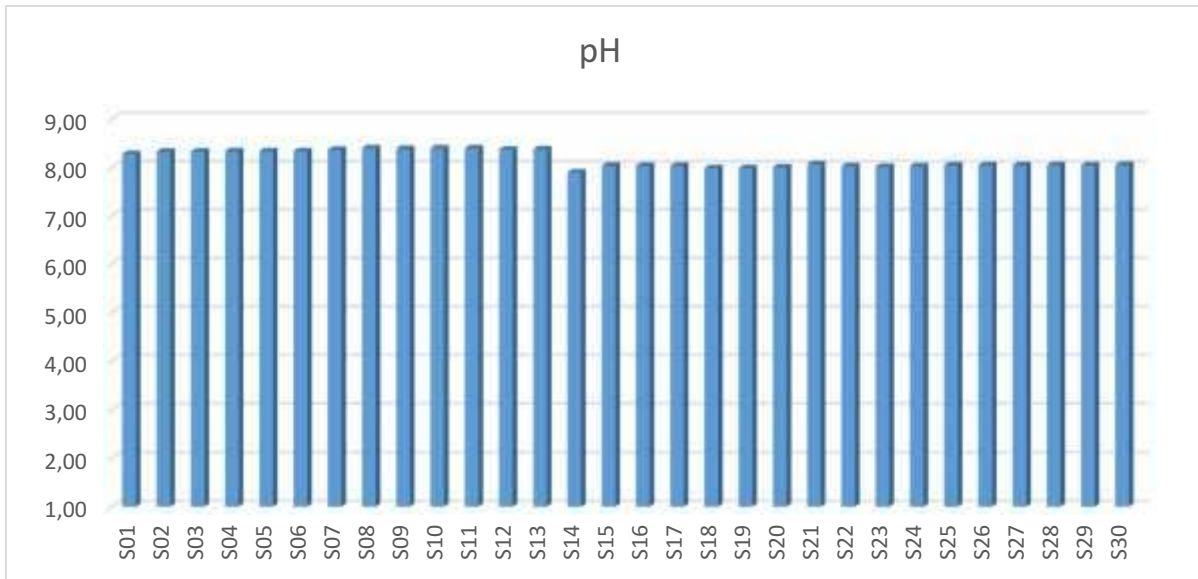


Figure 23: variation du pH dans la baie d'Alger

Les valeurs de pH sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations de surface au niveau du port et comme d'ailleurs de toute la baie rappelons qu'en période de prélèvement les conditions météorologique étaient caractérisées par une agitation des eaux dans toute la zone. La variation du pH est due probablement aux apports d'eaux continentales et aux rejets industriels, il est affecté par les processus naturels qui déplacent les équilibres du système carbonique, comme la poussé du phytoplancton, consommatrice de CO₂ ou la reminéralisations de la matière organique, productrice de CO₂ (Madi Farida, 2009). Le processus de la dégradation de la matière organique acidifie le milieu, ce qui peut expliquer la plus faible valeur de pH observée au niveau de la baie d'Alger.

1.1.4 L'oxygène dissous (mg/l)

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles de la baie d'Alger varient entre 6.80 (mg/l) (valeur minimale), et 8.30 (mg/l) (teneur maximale), avec une moyenne de 7.55 (mg/l) et un écart type de 0.41.

La plus faible valeur est observée à la station S16 ; ces concentrations s'expliquent par l'intense consommation d'oxygène dans les processus de minéralisation de la matière organique.

. Tandis que la teneur la plus élevée est signalée à la station S17.

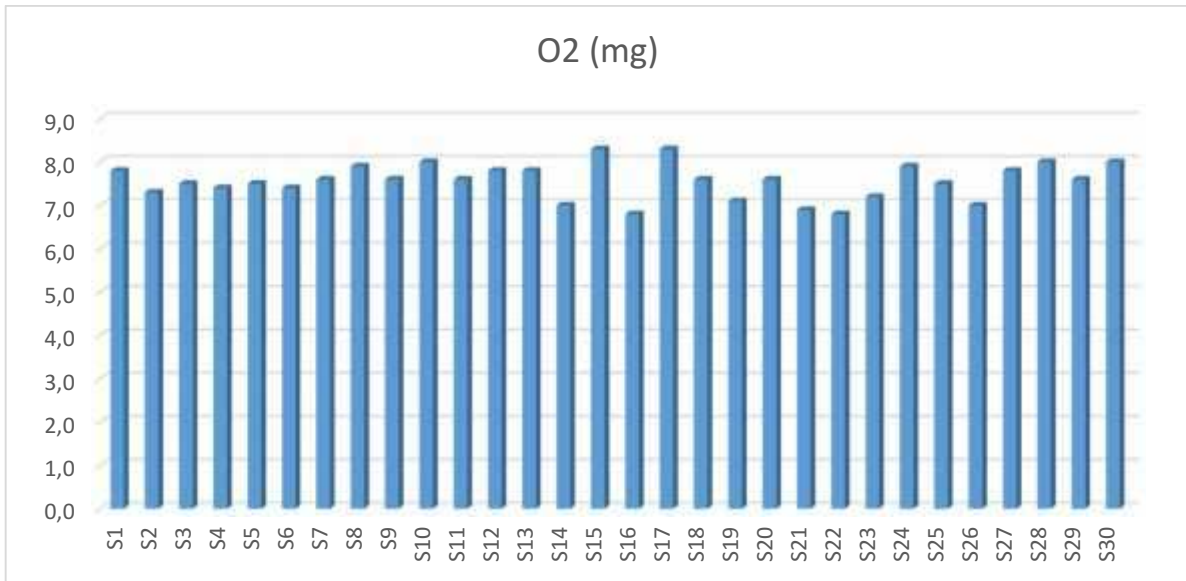


Figure 24: variation d'oxygène dissous dans la baie d'Alger

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par la fort agitation des eaux pendant les jours de la sortie en absence d'activité biologique, la concentration de l'oxygène dissous tend vers la saturation de l'eau (Madi Farida, 2009), qui est en fonction de la température et de la salinité (à pression normale). Ainsi les valeurs d'O2 des eaux de la baie sont supérieures à 5 mg/l et cela est dû à l'important phénomène débrasage des eaux donc à l'échange air-mer et à l'activité photo synthétique.

1.1.5 La matière en suspension (MES)

Les valeurs de MES au niveau de la baie d'Alger varient en générale dans l'intervalle [3.40mg/l-102.80 mg/l] avec une moyenne de 41.62 et un écart type de 41.65.

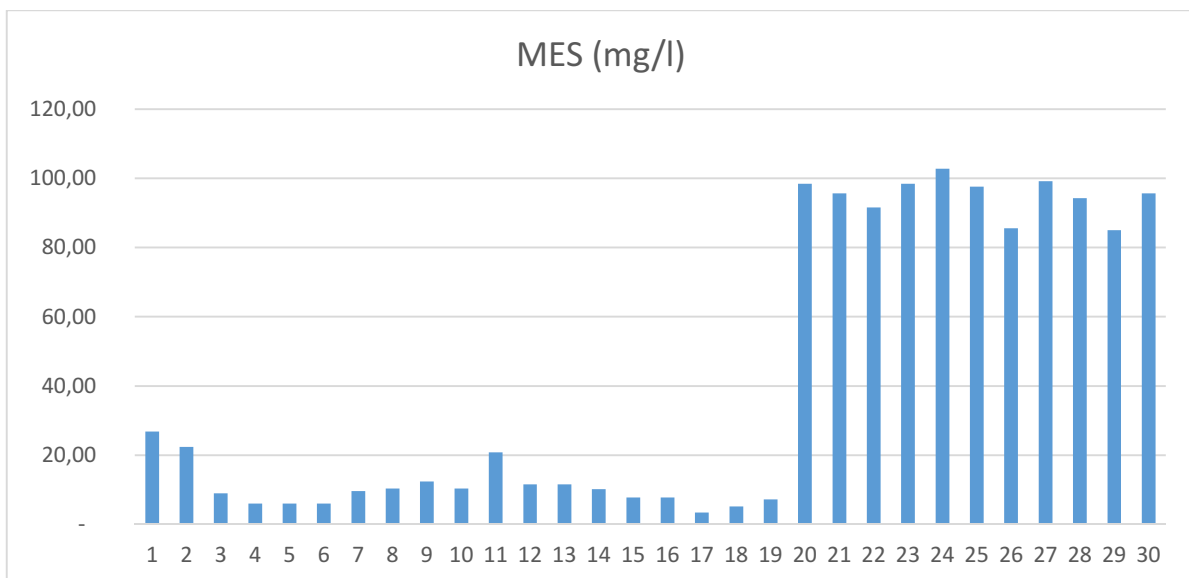


Figure 25: Variation de la matière en suspension dans la baie d'Alger

Les fortes teneurs en matières en suspensions se localisent au niveau des stations S20 jusqu'à S30.

Cette augmentation s'explique par l'agitation des eaux de surface qui favorisent la mise en suspension des particules et les déchets organiques.

1.2 Les sels nutritifs

a. Les nitrites

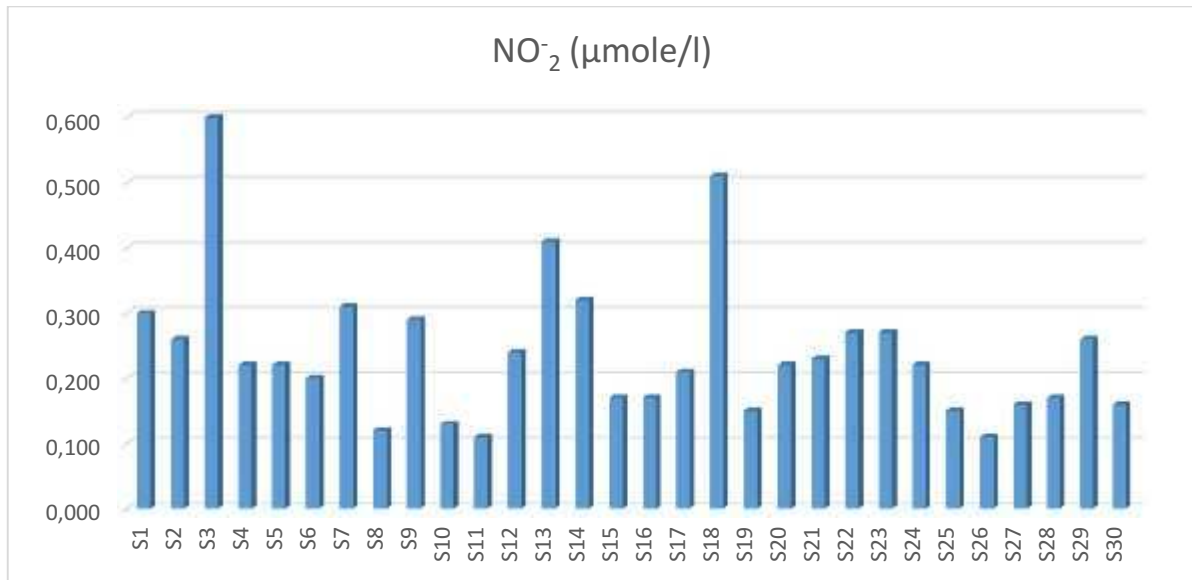


Figure 26: Variation des nitrites dans la baie d'Alger

La concentration des nitrites dans les eaux superficielles de la baie d'Alger varient entre 0.11 (μmol/l) (valeur minimale), et 0.60 (μmol/l) (teneur maximale), avec une moyenne de 0.24 (μmol/l) et un écart type de 0.11.

La plus faible valeur est observée à la station S11 et S26 tandis que la concentration la plus élevée est signalée à la station S03 ; cette augmentation de la concentration des nitrites provient de l'oxydation de l'ammonium et de la réduction des nitrates (dénitrification). par contre la faible concentration dans certains station peut être expliquée par la quasi-absence d'oxygène dans les eaux.

b. Les nitrates

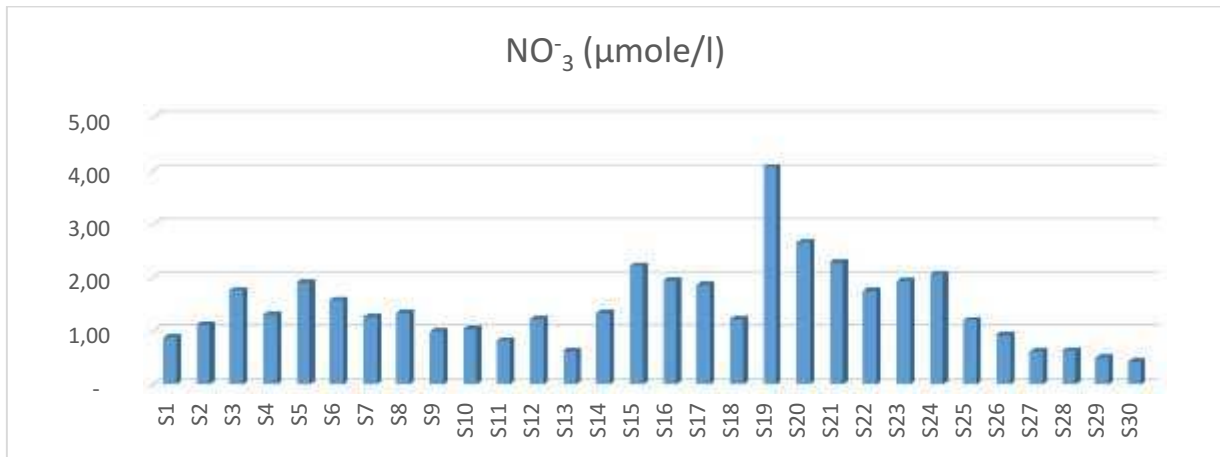


Figure 27: Variation des nitrates dans la baie d’Alger

La concentration des nitrates dans les eaux superficielles de la baie d’Alger varient entre 0.43 (μmol/l) (valeur minimale), et 4.07 (μmol/l) (valeur maximale), avec une moyenne de 1.45 (μmol/l) et un écart type de 0.76.

La plus faible valeur est observée à la station S30 tandis que la concentration la plus élevée est signalée à la station S19 ; cette augmentation due à la nitrification qui consiste en une oxydation de l’ammonium par les bactéries nitrifiantes.

c. Les phosphates

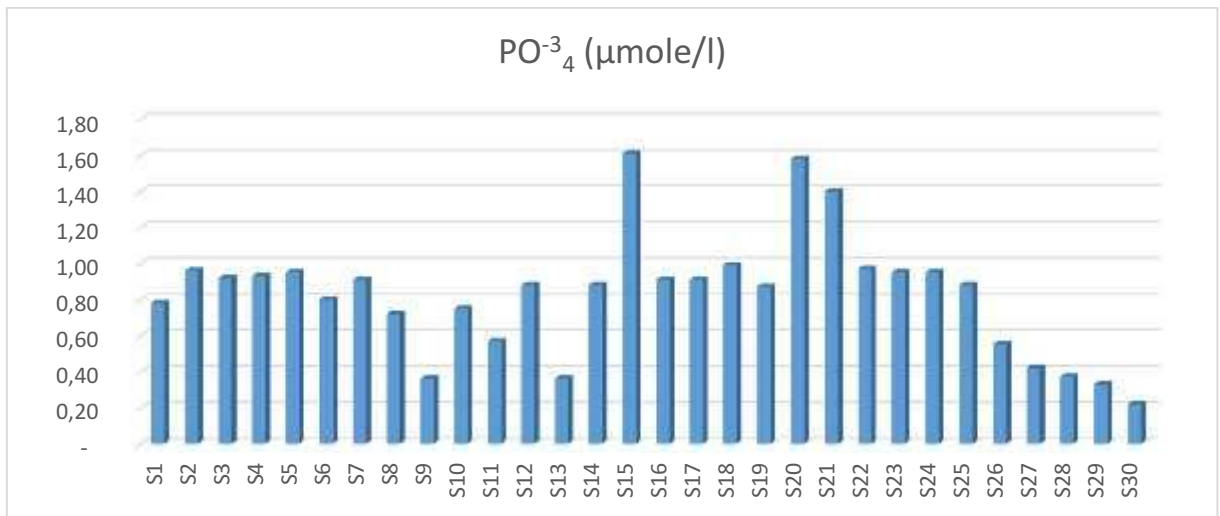


Figure 28: Variation des phosphates dans la baie d’Alger.

Les phosphates peuvent provenir des rejets domestiques ainsi que du lessivage des terres cultivées qui renferment des engrais phosphatés et des pesticides.

La concentration des phosphates dans les eaux superficielles de la baie d’Alger varient entre 0.22 (μmol/l) (valeur minimale) et 1.61 (μmol/l) (valeur maximale) avec une moyenne de 0.82 (μmol/l) et un écart type de 0.33.

La plus faible valeur est observée à la station S30 tandis que la concentration la plus élevée est signalée à la station S15.

La faible concentration due à la quasi-absence de l'oxygène qui facilite l'adsorption des phosphates ; par contre à la station S15 avec la grande concentration en oxygène, les phosphates s'adsorbent très rapidement ce qui augmente leur concentration

1.3 Hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

L'analyse de l'eau de mer de toute la baie d'Alger par la SFUV présente des concentrations en hydrocarbures polyaromatiques comprises dans l'intervalle de 6.40 µg/l à 1.12 µg/l avec une valeur moyenne de 3.62µg/l et un écart type de 1.09.

Tableau 7: Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres des hydrocarbures polyaromatiques

Les hydrocarbures polyaromatiques (µg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecartype
	6.40	1.12	3.62	1.09

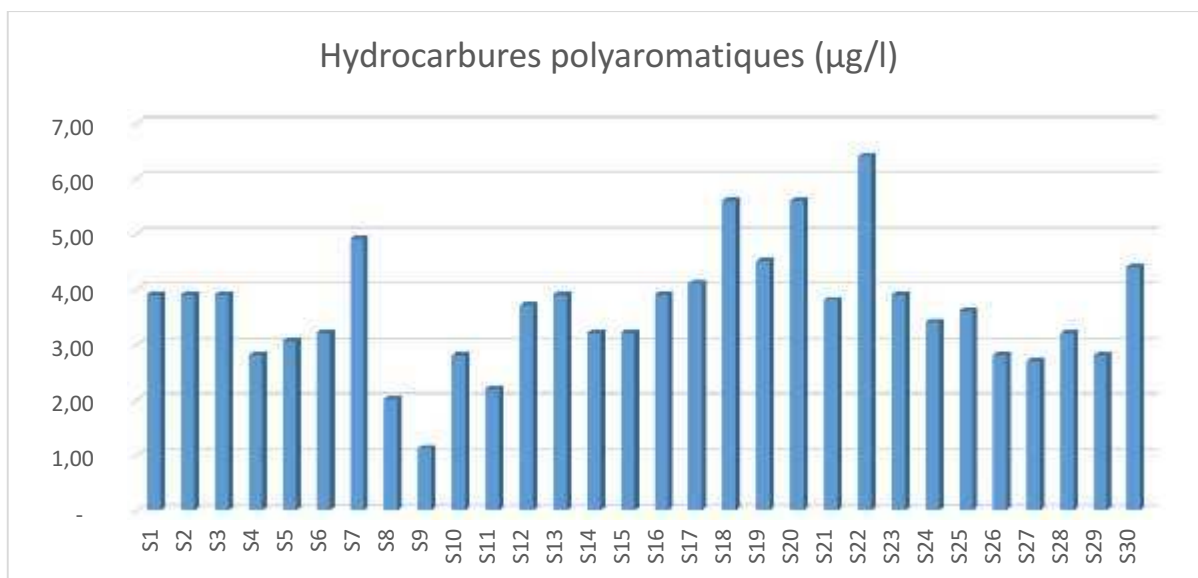


Figure 29: Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau (HPA) mesurent par SFUV

Les résultats obtenus pour les hydrocarbures offrent une image de la qualité de l'eau de mer. La distribution spatiale permet un découpage sectoriel en fonction des lignes isoconcentriques à faibles ou à fortes teneurs.

Selon **Bodenec (1983), Lacaze (1980) Walker (2001) et Fattal (2008)** les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin.

L'hétérogénéité de la distribution des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de surface de cette région a permis d'identifier des zones particulièrement contaminées par ces polluants organiques.

Les fortes valeurs retrouvées s'expliqueraient par le fait que cette région est étroitement liée au trafic maritime. En effet, celui-ci est essentiellement pétrolier avec 97% de pétrole brut en 2001(**Ministère des transports, 2001**).

L'enrichissement du milieu marin en hydrocarbures polycycliques aromatiques est encore lié à la combustion partielle de la matière organique. Les hydrocarbures polycycliques aromatiques néoformés s'incorporent à l'eau de mer à travers les processus fluviaux et éoliens (U.N.E.P./I.O.C./I.A.E.A, 1995). Selon Grimalt et al, (1988), les hydrocarbures polycycliques aromatiques rejetés en mer ouverte sont encore attribués aux apports atmosphériques.

En effet, l'atmosphère joue un rôle prépondérant dans l'apport des hydrocarbures polycycliques aromatiques à la mer (Broman et al, 1991). Par la suite, les hydrocarbures polycycliques aromatiques rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau. Les sources potentielles de pollution par les hydrocarbures polycycliques aromatiques sont nombreuses. Les émissions de gaz d'échappements des automobiles par combustions d'essences contribuent significativement à la pollution de l'air urbain par les hydrocarbures polycycliques aromatiques (Westerholm et al. 1988).

Sellali (1996), évoque aussi l'importante influence des sources anthropiques et de la circulation automobile sur la qualité de l'eau de mer de surface.

La variabilité spatiale des hydrocarbures polycycliques aromatiques dans l'eau de mer s'expliquerait d'une part, par des apports potentiels ; d'autre part, une élimination simultanée des hydrocarbures polycycliques aromatiques à la surface marine provoquerait une diminution des teneurs. Selon Lacaze (1980), cette hétérogénéité peut être causée par une dégradation biologique. En effet, selon Halmann (1996), les hydrocarbures polycycliques aromatiques sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles. La microcouche de surface est enrichie par des résidus organiques (pétrole dégradé) comparée à l'eau de surface sous-jacente (Burns et al. 1986).

Des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des hydrocarbures polycycliques aromatiques à la surface de l'eau de mer (Lacaze, 1980).

L'oued El-Harrach rejette des quantités non négligeables d'hydrocarbures dans le milieu marin avoisinant. L'importance et la régularité des apports biogène et anthropiques dans cet oued, sa contribution à la qualité de l'eau de mer semble probable. En effet, cinq exécutaires principaux débouchent vers la mer directement par l'intermédiaire de l'oued *El Harrach* sans aucun prétraitement préalable.

Les hydrocarbures polycycliques aromatiques ne sont pas en équilibre entre les phases particulaire et dissoute, la phase particulaire est enrichie (Bouloubassi et Saliot, 1992). Cette sédimentation des hydrocarbures polycycliques aromatiques particulaire réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau d'où la faible teneur (0,97µg/l) retrouvée dans la station S9. Les hydrocarbures polycycliques aromatiques prélevés seraient en majorité dissous et en petite quantité. Le non fonctionnement de la station d'épuration de la zone industrielle favorise l'enrichissement du milieu marin en hydrocarbures polycycliques aromatiques puisque les eaux industrielles sont évacuées sans aucun traitement dans l'oued El-Harrach (1m³/s) et à la côte qui reçoit aussi les eaux usées urbaines des camps d'habitation (ANRH, 2003).

Selon Berné et Cordonnier (1991), parmi les principaux polluants impliqués dans les eaux résiduaires de l'industrie du pétrole, sont répertoriés les hydrocarbures aliphatiques et polycycliques aromatiques.

Cependant, une fois en mer, les processus tels que la répartition à l'équilibre entre l'eau et les particules en suspension, la photo oxydation, les différents processus biologiques tels que la

bioaccumulation, la dégradation microbiologique, modifient considérablement les concentrations et la composition des hydrocarbures introduits dans l'océan superficiel (Martin et Saliot, 1992). Selon ces mêmes auteurs, d'autres processus d'élimination des hydrocarbures polycycliques sont à signaler. L'éjection de ces composés sous forme d'aérosols est suivie d'une intense et rapide dégradation dans l'atmosphère.

Ces composés, malgré les fortes teneurs rencontrées, peuvent avoir diminué entre le moment de leur rejet et celui de l'échantillonnage. (Burns et al, 1982; Walker, 2001).

Effectivement, quelle que soit la stabilité des hydrocarbures, des transformations se produisent en particulier dans les zones côtières. Ces transformations physico-chimiques dues aux forts gradients de salinité, de pH, aux réactions photochimiques et biologiques en particulier microbiologiques (Saliot et al, 1992).

La combinaison et la complexité de ces processus expliquent l'hétérogénéité de la distribution des hydrocarbures polycycliques à la surface de l'eau de mer. Cependant, les fortes teneurs rencontrées dans le port d'Alger et même au niveau de toute la baie d'Alger semblent indiquer que l'équilibre entre les apports et les processus d'élimination est rompu. Ces concentrations extrêmes signifieraient que les apports en hydrocarbures polycycliques sont de loin plus importants que toutes les voies de sortie des hydrocarbures polycycliques du milieu marin du port et de la baie d'Alger.

Les réponses données en fluorescences constituent une preuve incontestable d'une pollution pétrolière, puisque les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin.

2 La baie de Bou Ismail

2.1 La température:

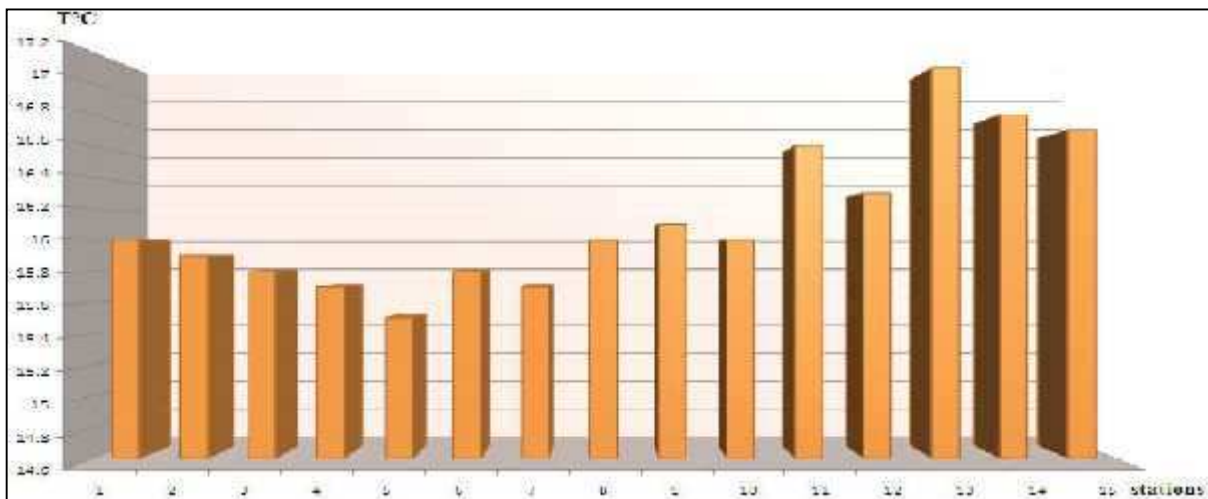


Figure 30: variation de la température dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

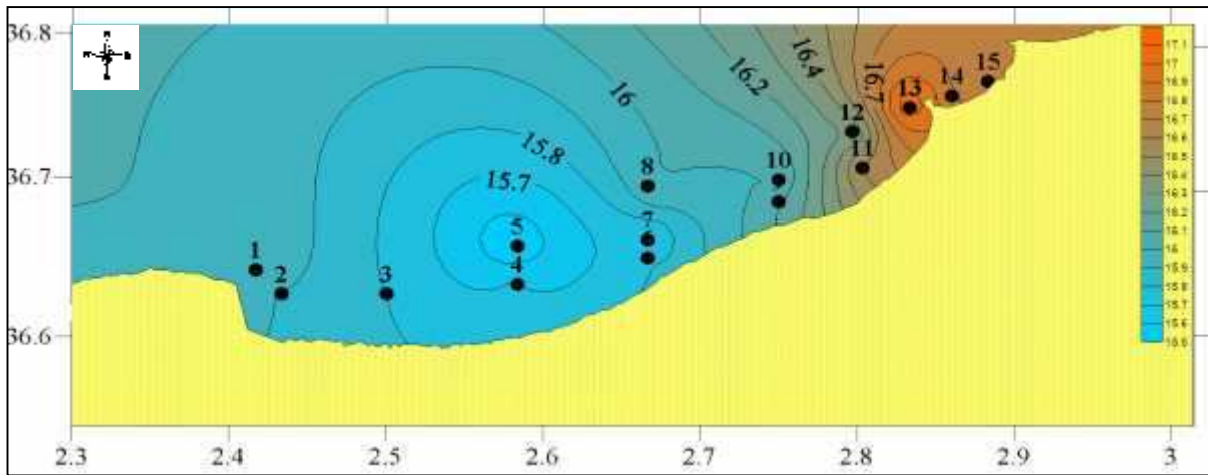


Figure 31 : Spatialisation de la température dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

Les températures mesurées reflètent la période saisonnière en relation avec les conditions météorologiques. Ces valeurs sont influencées par celles de l'air ; elles varient entre 15,5 et 17,1°C, on remarque que la distribution spatiale de la température est homogène sur la totalité des stations, mais au même temps on observe aussi un gradient allant de l'Ouest vers l'Est. Une diminution de la température est généralement accompagnée par une diminution de la vitesse de biodégradation qui peut être expliquée par une décroissance de l'activité enzymatique. Des températures plus élevées ont pour effet d'augmenter la vitesse de biodégradation (Walworth et al. 2001; Sandvik et al. 1986; Song et al. 1990) et par conséquent elle entraîne une diminution des teneurs des hydrocarbures en eau de mer.

Tableau 8: Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimiques dans la baie de Bou Ismail.

	T°C	O2dissous (mg/l)	S% (PSU)	pH	MES (mg/l)	MO (mg)	HPA (µg/l)
moyenne	16,13333	7,926667	36,677	8,243333	146,56	0,09724	0,630047
maximum	17,1	10	36,823	8,27	216,8	0,2896	1,001
minimum	15,5	4	36,363	8,2	61,6	0,0745	0,278
ecartype	0,467007	1,676423	0,123309	0,021931	30,09653	0,053308	0,254292

2.2 Distribution spatiale de la salinité

Selon Taleb (1970), la salinité des eaux de l'océan Atlantique est comprise entre 36 et 36.9 PSU, et en méditerranée, elle est comprise entre 37.8 et 39.39 PSU.

Nous remarquons alors que les valeurs de salinité sont relativement faible que nous pouvons expliqué par la proximité des stations de la côte où il est apparu clairement l'influence des oueds et des apports des eaux de ruissellement qui déversent l'eau douce.

Quand la concentration en chlorure de sodium dépasse 1 mg, l'élimination du pétrole brut diminue rapidement. Pour ce type de substrat, les fortes salinités constituent donc une barrière naturelle pour la biodégradation (Al Mallah, 1988; Tagger et al., 1976; Bertrand et al., 1990).

Ward et Brock (1978) ont montré que la vitesse de la biodégradation des hydrocarbures décroît lorsque la salinité passe de 3,3 à 28,4‰, et ils ont attribué ces résultats à une réduction générale des vitesses métaboliques des microorganismes.

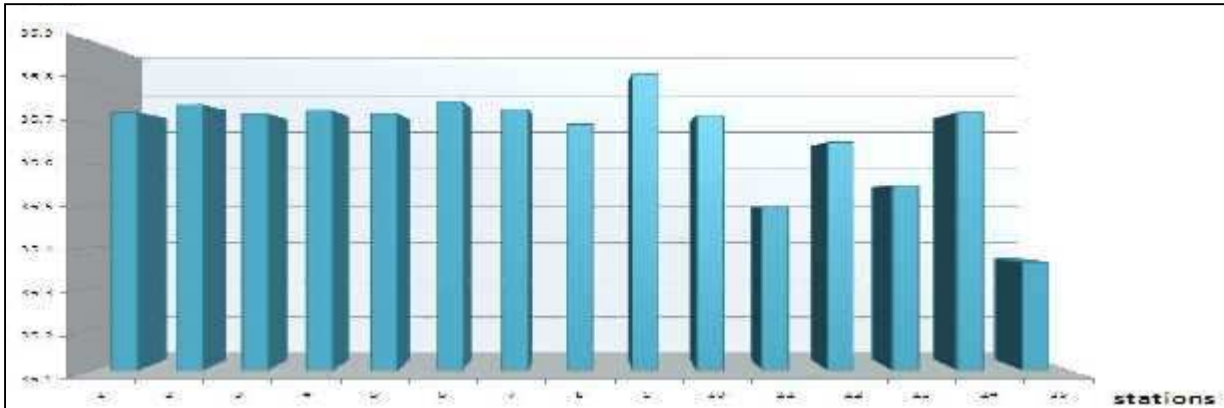


Figure 32: Variation de la salinité dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

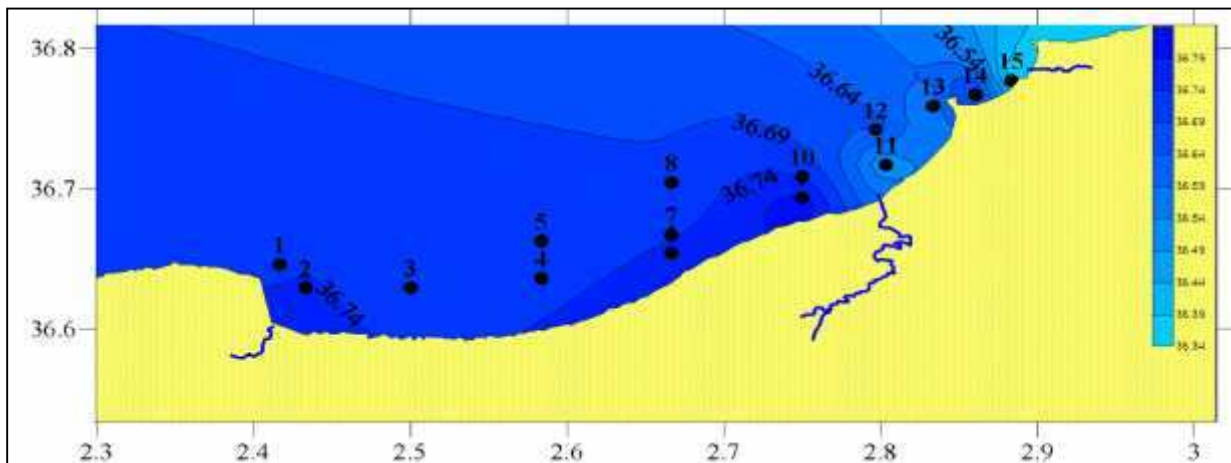


Figure 33: Spatialisation de la salinité dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

Les valeurs de la salinité sont comprises entre 36.56 et 36.82‰ avec une moyenne de 36.68‰ et un écart-type de 0,12, elle montre un gradient décroissant en allant de l'ouest vers l'Est, cela est dû à l'influence des apports d'eau douce dans la baie. Où on remarque que les valeurs minimales de salinité se situent face à l'embouchure des oueds Beni-messous et Mazafran qui sont de l'ordre de 36.35 et 36.5 ‰ respectivement. En revanche, dans le cas d'Oued Nador où on remarque des valeurs relativement élevées qui sont de l'ordre de 36.7 ‰ ce qui explique l'influence du port de Tipaza dans cette zone.

2.3 Distribution spatiale du PH

Les valeurs de ph au niveau de la baie de Bou-Ismaïl sont comprises entre 8.2 et 8.27. La moyenne est de 8.24 et un écart type de 0.02. Ces valeurs sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations de surface de la baie.

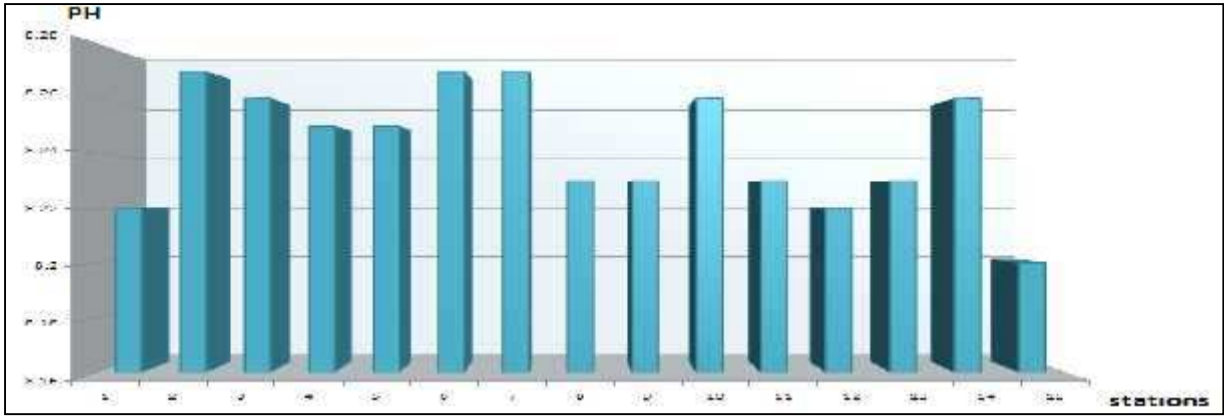


Figure 34: Variation de PH dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

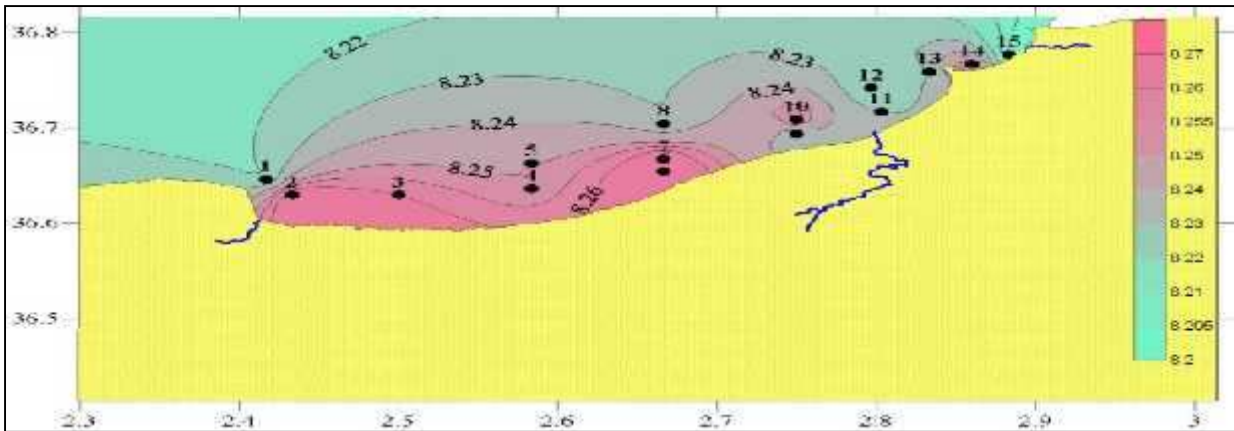


Figure 35: spatialisation de pH dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

Cependant, La distribution spatiale du ph montre un faible gradient allant du large vers la côte, où on remarque clairement que les valeurs les plus élevées sont localisées près des côtes et surtout au niveau des trois ports de la région (Tipaza, Bouharoun, et Sidi-Fredj) ce qui est expliqué par les rejets d'eaux usées et il dépend aussi de la quantité de la matière organique présente au niveau de ces stations et de sa dégradation.

2.4 Distribution spatiale de l'oxygène dissous

L'étape initiale du catabolisme des hydrocarbures aliphatiques, cycliques et aromatiques par les bactéries et les champignons inclut l'oxydation de ces substrats par l'intermédiaire d'hydroxylases et d'oxygénases, pour lesquelles l'oxygène moléculaire est indispensable (Leahy et Colwell, 1990; Atlas, 1981; Bertrand et Mille, 1989).

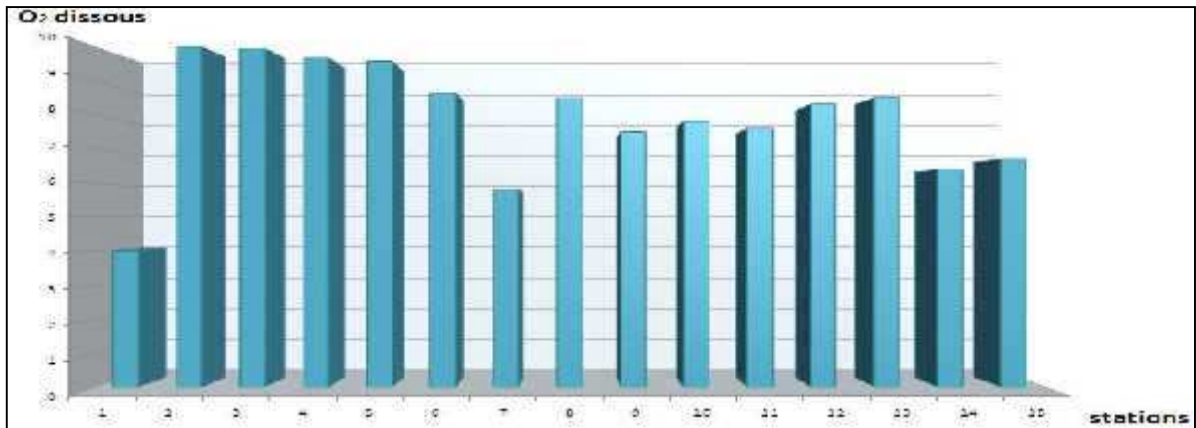


Figure 36: Variation de l'oxygène dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

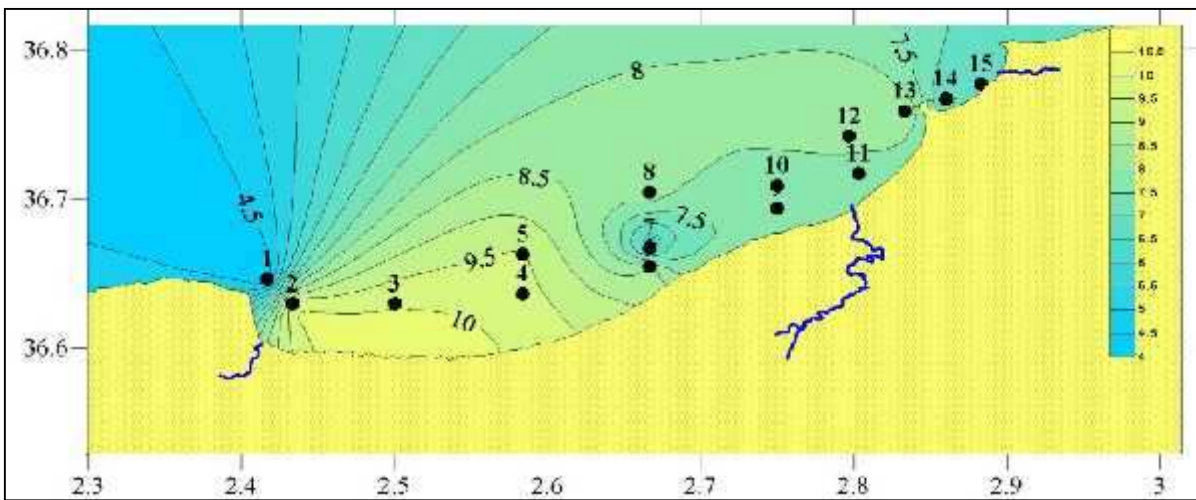


Figure 37: Spatialisation de l'O₂ dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail.

La teneur minimale en oxygène dissous enregistrée est de 4 mg/l. Cette faible concentration indique une intense consommation d'oxygène par l'oxydation de la matière organique. La plus forte teneur en oxygène dissous se trouve au niveau de la station 2 qui est de l'ordre de 10 mg/l. A cet endroit, les eaux sont relativement bien oxygénées. Ces eaux sont en contact permanent avec celles de la baie et ce qui permet leur renouvellement continu.

Le problème de la limitation de l'oxygène moléculaire dans les couches superficielles des colonnes d'eau est inexistant, Théoriquement, 3,5 g d'oxygène sont nécessaires pour l'oxydation complète de 1 g de pétrole; [Zobell \(1969\)](#), a calculé que la quantité d'oxygène dissoute dans 320m³ d'eau de mer est nécessaire pour l'oxydation de 1 litre de pétrole brut.

2.5 Distribution spatiale des matières en suspension (MES)

La distribution des matières en suspension dans l'eau de mer dépend essentiellement de l'état de la mer, des courants et de l'agitation. Pour réaliser une étude spatiale de la des matières en suspension nous avons présenté les teneurs en des matières en suspension dans 15 stations qui couvrent la totalité de la baie.

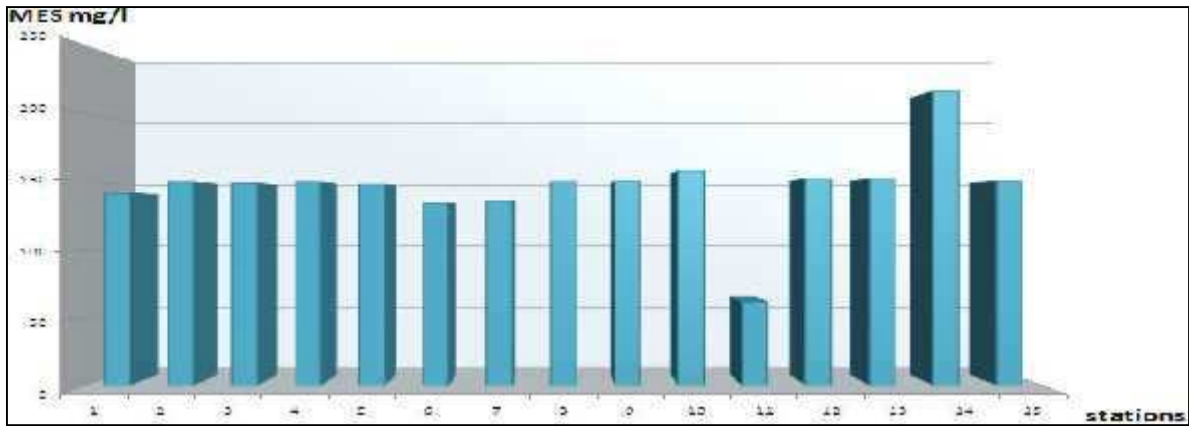


Figure 38: variation des matières en suspension dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl

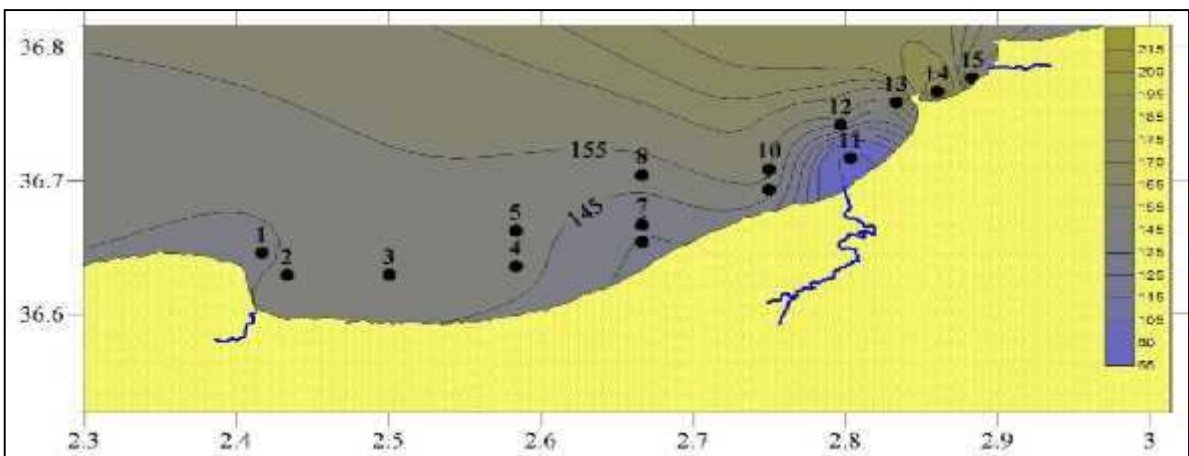


Figure 39: spatialisation des matières en suspension dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismaïl.

Les valeurs des matières en suspension sont comprises entre 61.6 et 216.8 mg/l avec une moyenne de 146.56 mg/l et un écart-type de 3.1 mg/l, la distribution spatiale des matières en suspension montre une distribution hétérogène où on note des fortes valeurs au niveau des embouchures d'oued Beni-Messous et Oued Nador, cela est dû à l'influence des rejets domestiques des eaux usées (forte urbanisation) et la mise en suspension des éléments fins par les courants surtout au niveau des faibles profondeurs. On remarque aussi que les valeurs maximales des matières en suspension se situent face aux ports (sidi-Fredj) qui sont de l'ordre de 216.8 et 150.4 mg/l respectivement.

2.6 Distribution spatiale des hydrocarbures poly aromatiques

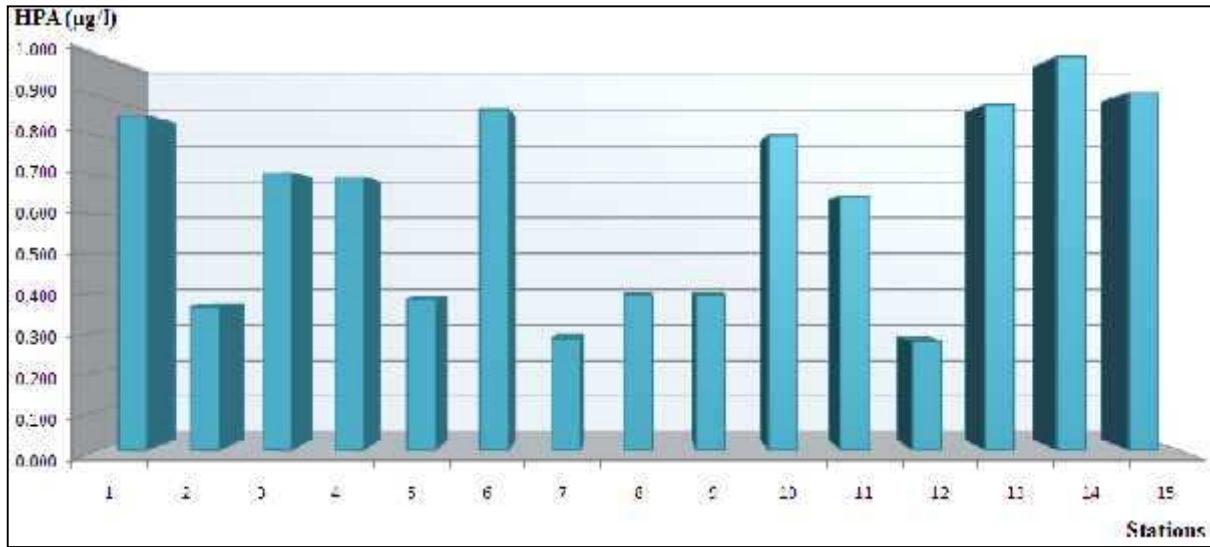


Figure 40: variation des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail

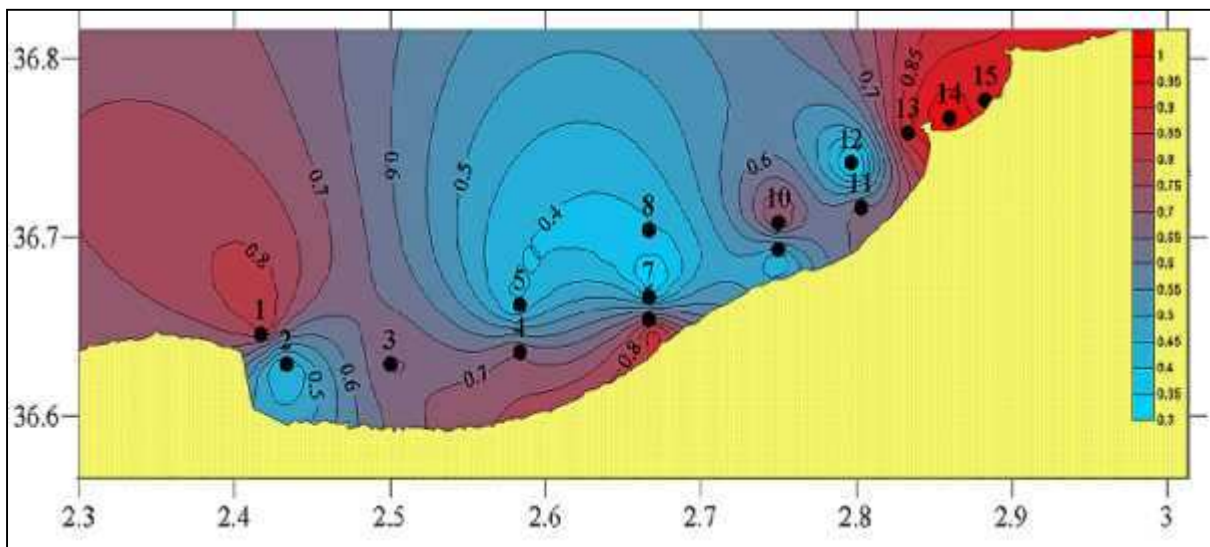


Figure 41 : spatialisation des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer de la baie de Bou Ismail

Les teneurs des hydrocarbures polyaromatiques varient dans un intervalle de 0.278 µg/l à 1.001 µg/l avec une valeur moyenne de 0.63 µg/l et un écart type de 0.47. La teneur la plus faible (0.278 µg/l) a été enregistrée au large de l'oued de Mazafran (S₁₂). Les concentrations les plus importantes (1.001 µg/l et 0,9079µg/l) ont été enregistrées à la plage Est (S₁₄) et à l'embouchure de l'oued de Beni Messous (S₁₅).

En analysant de plus près les concentrations obtenues, nous avons remarqué que pour la majorité des stations de la côte les valeurs varient entre [0.278 – 0.879 µg/l] mises à part une légère augmentation des concentrations au niveau des deux dernières stations (S₁₄ et S₁₅) qui se trouvent à l'Est du port de Sidi Fredj. Nous avons aussi distingué, une légère augmentation des concentrations des stations les plus proches de la côte ainsi qu'au niveau des principaux

points de rejets. Une légère pollution ponctuelle serait due au trafic portuaire et urbain de la station d'essence et de fioul de l'unité NAFTAL du port de Sidi Fredj.

Les concentrations en hydrocarbures polycycliques dans l'eau de mer constituent un indice non négligeable de pollution pétrolière dans cette zone du fait de la succession des naufrages pétroliers en méditerranée comme le naufrage du **Couguar (2003)** au large de Tipaza, avec des galettes de fioul répandues sur quelques plages de la baie qui ont fait augmenter les concentrations en hydrocarbures polycycliques.

Conclusion

Conclusion

Le littoral algérien connaît une forte pression (plus de 50% de la population algérienne est concentrée sur le littoral). Les pressions dues aux activités humaines causent des dommages considérables aux écosystèmes et aux paysages côtiers. L'occupation anarchique des espaces littoraux et l'absence d'une stratégie environnementale, sont également à l'origine des problèmes de pollution des milieux marins.

L'enjeu majeur auquel nous avons à faire face aujourd'hui est la protection et la préservation de l'environnement marin face à la pollution due essentiellement aux activités industrielles, agricoles et touristiques. Les SIG permettent de représenter les corrélations existantes entre toutes les activités anthropiques pratiquées près de la côte et l'état de la mer.

L'étude menée à travers ce mémoire est basée sur l'approche de l'utilisation des paramètres physico-chimiques en tant que traceurs océaniques et aussi à l'étude des contaminants (hydrocarbures polyaromatiques) et leurs niveau de contamination dans le milieu marin.

La distribution de la matière en suspension dans les deux baies est principalement gouvernée par l'activité anthropique (rejets d'eaux usées).

Cependant, l'analyse de l'eau de mer de la baie d'Alger par la Spectrofluométrie à ultra-violet donne un résultat instantané de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques. L'utilisation de cette technique d'analyse (Spectrofluométrie à ultra-violet) nous a permis de cerner une pollution de l'eau de mer dans la baie d'Alger avec une teneur maximale de 6,40($\mu\text{g/l}$), et même pour la baie de Bou Ismail l'interpolation spatiale nous a permis de déterminer les zones les plus polluées et les zones à faible pollution.

Les valeurs obtenues par l'analyse hydrocarbures polyaromatiques montrent qu'il y a une nette aggravation de la concentration dans la partie Ouest de la baie de Bou Ismail.

Ces résultats soulignent la présence d'une pollution, si l'on réfère aux normes de qualité environnementale dans l'eau, proposés par le réseau national d'observation ([RNO, 2002 in Louchami, 2006](#)) qui est de 1,2 ($\mu\text{g/l}$).

Nous proposons le plan général ci-après pour le control de la pollution :

- Collecte de données de base sur toutes les sources existantes de pollution par le moyen d'enquêtes nationales et calculs des charges théoriques.
- Evaluation de l'état des plans d'eau à l'aide d'analyses chimiques de type simple et d'activité de surveillance biologique.
- Evaluation des dommages possible aux pêcheries par les moyens suivants :
 - Examen des données publiées, épreuves de toxicité pour des espèces locales et chaque fois que possible, analyse chimique des composantes de l'environnement ;
 - Formulation de «normes» de sécurité pour les effluents, et d'une liste «grise» de substances dangereuse ;
 - Détermination d'objectifs pour les eaux réceptrices sur la base de critère de qualité des eaux, modifiés de manière appropriée, déjà proposé ailleurs.

Conclusion

- Enfin, compte tenu de l'état actuel du port de Sidi-Fredj, nous recommandant des perspectives d'avenir pour diminuer la pollution et sauvegarde du patrimoine marin.

Pour terminer, nous souhaitons préciser que cette approche ne constitue qu'une base d'un travail continu pour avoir une banque de données concernant l'état actuel de la pollution par les hydrocarbures tout au long du littoral Algérien.

Bibliographie

Bibliographie

ABDERRAHMANI, K. (2011). Les hydrocarbures poly aromatiques dans la baie de Bou Ismail : Surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur. Thèse, Magister, ENSSMAL.103 p.

AMINOT, A., KEROUEL, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et Analyses. Paris : Ifremer.336 p.

AMINOT, A., CHAUSSEPIED. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu Marin.13 p.

AIT ABBAS, D., LAUANI, S. (2002). Contribution à la détermination du degré de pollution par les hydrocarbures totaux au niveau port pétrolier de Bejaia. Mémoire DEUA, Université ABDERAHMANE MIRA, Bejaia.89 p.

ANRH, (2003) : Agence national des ressources hydrauliques.

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 de dragage. Thèse. Magister, ENSSMAL.182 p.

BARNABE, G., BARNABE, R. (1997). Ecologie et aménagement des eaux côtières. Ed. Lavoisier Techniques et documentation, Paris.383 p.

BELABES, F. (1999). Biodégradation des hydrocarbures pétroliers. Mémoire DES, Université ABDERAHMANE MIRA, Bejaia.67 p.

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

BERNE, F., CORDONNIER, J. (1991). Traitement des eaux : Epuration des eaux résiduaires et raffinage. Conditionnement des eaux de réfrigération.306 p.

BODENNEC. (1983). Suivi chimique de la pollution pétrolière dans les eaux et les sédiments. Paris : CNEXO.108 p.

BOULOUBASI, I., Saliot, A. (1992). Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. pp. 9-21.

BROMAN, D., NÄF, C., ZEB HR, Y. (1991). Long-term-high and low-volume air sampling of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and polycyclic aromatic hydrocarbons along a transect from urban areas on the Swedish Baltic Coast. pp.1850-1865.

BRUNS, KA ., SALIOT, A. (1986). Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean Sea: A Mass Balance. Marine chemistry, 20, Elsevier science publishers B.V. pp.141-157.

BOULAHIDE, M., EDDALIA, N., BOUDJALAL, B., AZZOUZ, M. (2003). Les eaux de La baie d'Alger. Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. annuaires de L'institut National Agronomique-El Harrach- Alger-Algérie. Vol.24, N°1. pp. 2-39.

CEDRE. (2006). Impact écologique des marées noires, contribution à la mise en place d'un suivi. 2000. 80 p.

C.O.I. (1984). Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Procédures applicables à la composante pétrolière du système de surveillance de la pollution marine de la C.O.I. (MRRRPMON-P). Manuels et guides, 13, Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco.35 p.

Bibliographié

FATTAL, P. (2008). Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de rennes, France.395 p.

FINGAS, M., BROWN, CE. (1979). Review of oil spill Remote Sensing in proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Environmental Reaserch Institute of Michingan, Ann Arbor,Michingan.pp.1211-1218.

GAUJOUS, D. (1995).La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, technique et Documentation. ISMAL.41 p.

GRIMALT, J.O., ALBAIGES, J. (1988). Aerosol transport of polynuclear aromatic hydrocarbons over the Mediterranean sea.Naturwissenschaften. pp.39-42.

GUIBOT, P. (1987). Atlas hydrologique de la Méditerranée. IFREMER, Brest.150 p.

HALMANN, MM. (1996). Photo degradation of waters pollutants.301 p.

HAMLILI, N. (2005).Traitement biologique des eaux contaminées par les hydrocarbures dans un bioréacteur a lit fluidise tri-phasique. Thèse Magistère, USTHB.145 p.

HOCINI, N. (1991). Méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment Superficiel : résultats préliminaires à l'embouchure de l'oued Mazafran (Baie de Bou-Ismaïl) et le lac El-Mellah (El-Kala). Mémoire TS, ISMAL.85 p.

HOUMA – BACHARI, F. (2007).Caractérisation des polluants de la côte oranaise et algéroise par analyse physico-chimique et corrélation avec les données satellites. Thèse de doctorat, USTHB, Algérie, 225 p.

KORICHI, HS. (1988). Contribution à l'étude de biologique de deux espèces de saurels: Trachurus trachurus (Linné, 1758) et Trachurus méditerranéus (Steindachner, 1868) et la de Trachurus trachurus dans la baie de Boui-smail (Algerie). Thèse Magister, ISMAL.260 p.

KOROGHLI, A. (2010). Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse Magister, USTHB. L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE. Edition, 2009.150 p.

LACAZE, JC. (1980). La pollution pétrolière en milieu marin. Edt Masson. pp. 118-119.

LEFEBVRE, G. (1978). Chimie des hydrocarbures.Paris.284 p.

LESCOLE, C. (2002). Les feux d'hydrocarbures. Centre de Secours de Divonne-les-Bains.

LEM. (1999). LABORATOIRE D'ETUDES MARITIME. Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.

MAOUCHE, S. (1987). Mécanisme hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologiste, géochimique et traitement statistiques. Thèse de Doctorat en Océanologie, Université de Perpignan. 214 p.

MARCHAND, M. (1995). Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie ultra-Violet. Manuel des analyses en milieu marin, Paris : C.N.E.X.O .pp 329-336.

MARTIN, JM., SALIOT, A. (1992).Bilan des apports fluviatiles et atmosphériques d'éléments et composés chimiques en Méditerranée occidentale.3^{ème} rencontre de l'agence régionale pour l'environnement, Province, Alpes, Côte d'Azur. pp 61-66.

Bibliographié

MENNAD, M. (2008). Approche des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières. Application à la baie d'Alger. Mémoire de magister, ENSSMAL.79

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

OBATON, D. (1998). Circulation et modélisation de la méditerranée occidentale et du golfe du lion. Synthèse des connaissances et des travaux existants. 391 p.

PAYNE, JR., PHILIPPS, CR. (1985). Photochemistry of petroleum in water: Photo oxidation causes changes in oil and enhances dissolution of its oxidized products. Environmental Science and Technology 19. 589 p.

RAMADE. (1995). Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition Ediscience International.428 p.

REVUE MARITIME TRIMESTRIEL. (1861). Revue trimestrielle. Convention des nations unies sur le droit de la mer dite Montego bay (1982). Publiée par l'institut Français de la mer. 151 p.

RNO. (1974-2004). "Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement."

RODIER, J. (1996). L'analyse de l'eau [8^{me} édition] eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Paris : DUNOT. pp. 385- 401.

RODIER, J. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Paris : DUNOD. 1384 p.

RONTANI, JF., BONIN, P. (1992). Utilization of *n*-alkyl-substituted cyclohexanes by a marine Alcaligènes. Chemosphere 24.pp. 1441-1446.

RONTANI, JF., GIUSTI, G. (1987). Photosensitized oxidation of pristine in sea water: effect of photochemical reactions on tertiary carbons. Journal of Photochemistry and Photobiology A. 40. pp .107-120.

ROUIBAH, M., BOULAHIDID, M., BOUDEJELLAL, B., EDDALIA, N., OUNADI, F. (2005). Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia. Contrat ISMAL-APPL.74 p.

ROUSSEL, JC. (1983). Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrométrie infrarouge. in : Manuel des analyses chimique en milieu marins. Paris : CNEXO. 321 p.

SALLOT, A. (1992). Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. Hydroécol. Appl. pp. 9-21.

SELLALI, B. (1996). La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée Sud-Occidentale « contamination de l'eau et des sédiments superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse de magistère. ISMAL. Alger. 118 p.

SOLTANI, M. (2004). Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, Université Paris 6.

Bibliographié

L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE. 284 p.

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

TOUNSI, R. (1989). Contribution à l'étude de la pollution de l'eau de mer par les Hydrocarbures en Baie d'Alger et dans le Golfe d'Arzew. Mémoire TS, ISMAL.60 p.

VANDECASTEELE, JP. (2005). Microbiologie pétrolière. Paris : TECHNIP, Volume 2.795 p.

WESTERHOLM, RN. (1988) .Effect of fuel polycyclic aromatic contents on the emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagenic substances from a gasoline-fueled automobile. Environ. pp. 925-93.

WOOD, EP., AMSTRONG, FA ., Richard, FA. (1967). Determination of nitrate in seawater by cadmium cooper reduction to nitrite. [s.l.] : J.Mar.Biol.Assc.U.K, 1967. pp. 23-31.

Bibliographié

Annexe

Annexe 01

Le protocole pour le dosage des sels nutritifs :

1) Dosage des nitrates et nitrites :

Les réactifs :

La solution tampon :

Verser 50g de NH_4Cl (chlorite d'ammonium) dans 800 ml d'eau distillée, ajuster le pH à 8.2 avec la solution d'ammonium (NH_4OH : 1ml), ajuster 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 -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 4°C.

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 :

Annexe

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

Solution secondaire :

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

ST	LONG	LAT	T°C	O ₂ dissous mg/l	S% (PSU)	pH	MES (mg/l)	MO (mg)	HPA (µg/l)
1	2.42	36.65	16	4	36,727	8.22	141.6	0.0856	0.85
2	2.43	36.63	15.9	10	36,747	8.27	149.6	0.0879	0.365
3	2.50	36.63	15.8	9.95	36,724	8.26	148.8	0.0831	0.705
4	2.58	36.64	15.7	9.65	36,731	8.25	149.6	0.0848	0.694
5	2.58	36.66	15.5	9.55	36,724	8.25	148	0.0846	0.385
6	2.67	36.65	15.8	8.65	36,755	8.27	134.4	0.0819	0.866
7	2.67	36.67	15.7	5.81	36,735	8.27	136	0.0813	0.283
8	2.67	36.70	16	8.49	36.7	8.23	149.6	0.0856	0.393
9	2.75	36.69	16.1	7.5	36,823	8.23	150.4	0.0831	0.3968
10	2.75	36.71	16	7.8	36.72	8.26	157.6	0.0858	0.801
11	2.80	36.72	16.6	7.6	36,497	8.23	61.6	0.0851	0.646
12	2.80	36.74	16.3	8.3	36,656	8.22	152	0.0852	0.278
13	2.83	36.76	17.1	8.5	36,549	8.23	152	0.2896	0.879
14	2.86	36.77	16.8	6.4	36,727	8.26	216.8	0.0745	1,001
15	2.88	36.78	16.7	6.7	36,363	8.2	150.4	0.0805	0.9079