

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : Environnement Marin

Thème :

**Etude de la pollution par les hydrocarbures dans les
eaux et les sédiments de la baie d'Alger**

Présenté par : M^r. CHOUCHAN Salah Eddine

Soutenu le 29 /10 /2014 devant le jury suivant :

M ^{me} BOUBECHICHE.Z	Maitre- Assistante A	ENSSMAL	Présidente
M ^r BOULAHDID. M	Professeur	ENSSMAL	Examineur
M ^r KADA. M	Assistant	ENSSMAL	Examineur
M ^{me} BENTCHIKOU. L	Maitre- Assistante A	ENSSMAL	Promotrice

Promotion : (2013/2014)

Résumé

La mer constitue la plus importante ressource naturelle et nous fournit la plus grande partie de notre alimentation ainsi que l'air que nous respirons. Dans la baie d'Alger cet espace est utilisé pour le transport maritime, la pêche, les activités industrielles et aussi pour les rejets urbains, et pour le déballastage des navires pétroliers.

Sous l'effet conjugué de ces différentes formes de pollution, on assiste aujourd'hui à une grave détérioration des conditions environnementales de cette baie par les hydrocarbures.

Notre travail consiste à évaluer le degré de contamination de la baie d'Alger par les hydrocarbures aromatiques. Pour cela des échantillons d'eau de mer et du sédiment ont été prélevés le 27 juin 2014, en utilisant la spectrofluorimétrie ultraviolette comme technique analytique, nous avons pu quantifier les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Les résultats des analyses quantitatives, confirment l'existence d'une pollution causée par la présence de teneurs élevées des hydrocarbures polyaromatiques, soit dans l'eau 6,46 µg/l, et dans les sédiments 14,64 µg/g.

Mots clés : Pollution, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, eau, sédiment, spectrofluorimétrie ultraviolette, baie d'Alger.



Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie Dieu le Tout Puissant pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles d'éditer ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous les membres de ce jury, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Je remercie M^{me} Bentchikou .L d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions.

Je tiens à remercier M^{me} Boubechiche.Z d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Je tiens à remercier M^r Boulahdid. M d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Je remercie M^r Kada. M d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.

Je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux membres de laboratoire de Sidi Fredj qui m'ont apporté leurs aides.

Je tiens aussi à remercier vivement M^r Boudjellal pour sa disponibilité, son aide et pour sa gentillesse.

C'est un plaisir autant qu'un devoir d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, pour la réalisation de ce modeste travail.

Merci à tous et à toutes





Dédicace

Je dédie ce mémoire à : mes parents et ma famille qui m'ont constamment aidés de leurs conseils, encouragements et de leur soutien moral tout le long de mes études.

***Ma mère** Dénia qui a œuvré pour ma réussite, les sacrifices et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Reçois à travers ce modeste travail l'expression de mes sentiments.*

***Mon père** Hamid qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider et avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit.*

***Mes frères et mes sœurs** : Yacine et sa femme Souhila, Sabrina et son mari Abdelkader, Nassima et son mari Kaddour, Mounir, Abdelkader, Adel, Lynda et Nawel 'Nano'. Qui m'ont assisté ces moments difficiles et m'ont servi.*

***Mes neveux de France** : Nabil Abderrahmane et Abdellah 'ToTo'.*

***Mes neveux et mes nièces de Zéralda** : Aymène, Abdellah, Abderrahim, Meriem et Lyna.*

*Je pourrais tous citer mes **vrais amis** de par le monde qui n'ont cessé de m'encourager.*

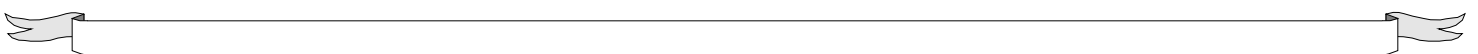


Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des acronymes	
Liste des équations	

Introduction.....	14
-------------------	----

Chapitre I : Zone d'étude

I. Baie d'Alger.....	17
I.1. Situation géographiques.....	17
I.2. Facteurs hydrodynamiques.....	17
I.2.1. La houle	17
I.2.2. Les courants.....	18
I.3. La bathymétrie.....	19
I.4. La sédimentologie	20
I.5. Réseaux hydrographiques.....	21
I.6. La météorologie.....	21
I.6.1 La température.....	21
I.6.2. La pluviométrie.....	21
I.6.3. Les vents.....	22
I.7. Etats de la pollution.....	22

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.1. Généralité sur la pollution marine.....	25
II.1.1. Définitions.....	25
II.1.2. Classification et sources.....	25
II.1.2.1. Selon l'origine.....	25
II.1.2.1.1. Pollution industrielles.....	25
II.1.2.1.2. Pollution domestiques.....	25
II.1.2.1.3. Pollution agricole.....	26
II.1.2.2. Selon la nature.....	26
II.1.2.2.1. Pollution physiques.....	26
II.1.2.2.2. Pollution biologiques.....	26
II.1.2.2.3. Pollution chimiques.....	26
II.2. les hydrocarbures.....	27
II.2.1. Genèse du pétrole.....	27
II.2.2. Définition des hydrocarbures.....	27
II.2.3. Classification des hydrocarbures.....	27
II.2.3.1. Les hydrocarbures saturés.....	27
II.2.3.2. Les hydrocarbures insaturés.....	28
II.2.3.3. Les hydrocarbure aromatique.....	28
II.2.3.4. les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	28
II.2.3.5. Les asphaltènes.....	29
II.2.3.6. Les résine.....	29
II.2.4. Propriétés physiques des hydrocarbures.....	29
II.2.4.1. Densité.....	30
II.2.4.2. La viscosité.....	30
II.2.4.3. le point d'écoulement.....	30
II.2.4.4. le point éclair.....	31
II.2.4.5. le point d'ébullition.....	31
II.2.4.6. La tension superficielle.....	31
II.2.5. Sources de la pollution par les hydrocarbures.....	31
II.2.5.1. Naturelles.....	31

Table des matières

II.2.5.2. Anthropiques.....	32
II.2.6. Conséquences de la pollution par les hydrocarbures.....	32
II.2.6. 1. Conséquences physiques.....	32
II.2.6. 2. Conséquences biologiques.....	33
II.2.6. 3. Conséquence pour la santé de l'homme.....	34
II.2.6.4. Conséquence économiques.....	34
II.2.7. Comportement et le devenir des hydrocarbures dans le milieu marin.....	35
II.2.7.1. Evaporation.....	35
II.2.7.2. Dissolution.....	36
II.2.7.3. L'émulsion.....	36
II.2.7.4. Photo-oxydation.....	36
II.2.7.5. Biodégradation.....	37
II.2.7.6. Sédimentation.....	37

Chapitre III : Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et les indicateurs de pollution

III. 1. Paramètres physico-chimiques du milieu marin.....	39
III.1.1. La température (T).....	39
III.1.2. La salinité (S).....	39
III.1. 3. Le potentiel d'hydrogène (PH).....	39
III.1.4. La conductivité électrique (C).....	40
III.2. les paramètres indicateurs de pollutions.....	40
III.2.1. Oxygène dissous (OD).....	40
III.2.2. La turbidité (Tu).....	41
III.2. 3. Les matières en suspensions (MES).....	41
III.2.4. La demande chimique en oxygène (DCO).....	41
III.2.5. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	41

Chapitre VI : Matériels et Méthodes

IV.1. Matériels utilisés.....	44
IV.1.1. Préparation et conditionnement du matériel utilisé.....	45
IV.2. Travaux effectués en mer.....	45
IV.2.1. Choix et localisation des stations du prélèvement.....	45
IV.2.2. Prélèvements et échantillonnages.....	46
IV.2.2.1. Prélèvement d'eau.....	46
IV.2.2.2. Prélèvement des sédiments.....	47
IV.2.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	47
IV.3. Traitements des échantillons effectués au laboratoire pour l'analyse des Hydrocarbures.....	47
IV.3.1. Principe de la méthode d'analyse.....	47
IV.3.2. Les hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer.....	48
IV.3.2.1. L'extraction.....	49
IV.3.2.2. Concentration.....	49
IV.3.2.2.1. Concentration par Evaporateur rotatif.....	50
IV.3.2.2.2. Concentration par Sous jet d'Azote.....	50
IV.3.2.3. Purification.....	51
IV.3.2.3.1 La fraction aliphatique.....	51
IV.3.2.3.2. La fraction aromatique.....	51
IV.3.3. Les hydrocarbures dans les sédiments superficiels.....	52
IV.3.3.1. Congélation.....	53
IV.3.3.2. Lyophilisation.....	53
IV.3.3.3. Broyage.....	53
IV.3.3.4. Extraction au Soxhlet.....	53

Table des matières

IV.3.3.5. Concentration.....	54
IV.3.3.6. Traitement au mercure.....	54
IV.3.3.7. Purification.....	55
IV.3.4. Méthodes d'analyses des hydrocarbures.....	55
IV.3.4.1. Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V).....	55
IV.3.4.1.1. Principe de la méthode d'analyse.....	55
IV.3.4.1.2. Appareillage.....	56
IV.3.4.1.3. Etalonnage et préparation des standards.....	56
IV.3.4.1.4. Mesure des intensités de fluorescence.....	57
IV.3.4.1.5. Mode de calcul des concentrations.....	58
IV.3.5. Quantification de la matière organique dans les sédiments.....	59

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Variations des paramètres physicochimiques.....	63
V.1. 1. Température.....	63
V.1. 2. Salinité.....	63
V.1. 3. Potentiels d'Hydrogène (pH).....	64
V.1. 4. Oxygène dissous (OD).....	65
V.2. Variations des paramètres mesurés au laboratoire.....	65
V.2.1. Matière organique (MO).....	65
V.2.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer.....	66
V.2.3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments.....	58
Conclusion.....	74
Bibliographie.....	76
Les annexes.....	81

Liste des figures

Figures	Pages
Figure 1 : Situation géographique de la baie d'Alger (source : Google earth, 2014)	17
Figure 2 : Bilan des courants dans la baie d'Alger (LEM, 1998)	19
Figure 3 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007)	19
Figure 4 : Nature du fond de la baie d'Alger (Maouche, 1987)	20
Figure 5 : Structure chimique de Benzo(a)pyrène (source : www.wikimedia.org)	29
Figure 6 : l'effet des hydrocarbures sur les organismes marins (source : CEDRE, 2006)	33
Figure 7 : Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : CEDRE, 2006)	35
Figure 8 : localisation des stations des prélèvements au niveau de la baie d'Alger	46
Figure 9 : Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer	48
Figure 10 : Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter.	49
Figure 11 : Dispositif d'un évaporateur rotatif	50
Figure 12 : Concentration sous jet d'azote pur	50
Figure 13 : Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte	51
Figure 14 : Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dans le sédiment superficiel marin	53
Figure 15 : Extracteur Soxhlet	55

Liste des figures

Figure 16 : Spectrofluorimètre rayonnement ultraviolet HITACHI	57
Figure 17 : Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA	5
Figure 18 : Variation de la température au niveau de la baie d'Alger	63
Figure 19 : Variation de la salinité dans la baie d'Alger.	64
Figure 20 : Variation du pH dans la baie d'Alger	65
Figure 21 : Variation de l'oxygène dissous dans la baie d'Alger.	66
Figure 22 : Variation de la matière organique dans les sédiments de la baie d'Alger	67
Figure 23 : Variation des HAP dans les eaux de la baie d'Alger.	68
Figure 24 : Distribution des HAP dans les eaux de la baie d'Alger	70
Figure 26 : Variation des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.	70
Figure 27 : Distribution des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.	71

Liste des tableaux

Tableaux	Pages
Tableau 1 : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 2009).	23
Tableau 2 : Densité originelle de quelques pétroles déversés dans le milieu (source : Fattal, 2008).	30
Tableau 3 : L'effet à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source : CEDRE, 1990 in Fattal, 2008).	34
Tableau 4 : Matériel utilisés au cours de cette étude.	44
Tableau 5 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.	57
Tableau 6 : Variations des paramètres étudiés au niveau de la baie d'Alger.	62
Tableau 7 : Les études précédentes sur les HAP dans l'eau de mer de la baie d'Alger.	69
Tableau 8 : les études précédentes sur les HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.	72

Liste des acronymes

APPL : Agence pour la **P**romotion et la **P**rotection du **L**ittoral Algérois.

CEDRE : Centre de **D**ocumentation, de **R**echerche et d'**E**xpérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux.

COI : Commission **O**céanographique **I**ntergouvernementale.

HAP : **H**ydrocarbures **A**romatiques **P**olycycliques.

HC : **H**ydrocarbure.

IF : Intensité de **F**luorescence.

LEM : Laboratoire d'**E**tudes **M**aritimes.

ONM : Office National de **M**étéorologie.

PAC : **P**rogramme d'**A**ménagement **C**ôtier Algérois.

St : **S**tandard.

SFUV : Spectrofluorimétrie **U**ltrat-**V**iolet.

ST : **S**tation.

UA : Unité **A**rbitraire.

UNEP : United Nations **E**nvironment **P**rogramme.

Liste des équations

Equations	Pages
(1): Droit d'étalonnage	58
(2): Mode de calcul de la concentration des hydrocarbures dans l'eau de mer	59
(3) : Mode de calcul de la concentration des hydrocarbures dans le sédiment	60
(4) : Quantification de la matière organique dans le sédiment.	60

Introduction

Introduction

Le littoral algérien recèle un potentiel biologique important, une flore et une faune riches et variés, des sites naturels exceptionnels, un tel littoral devrait faire l'objet d'un soin minutieux. Or tel n'est malheureusement pas le cas, cet espace ne suscite toujours pas l'attention qu'il mérite ni au niveau de l'aménagement ni au niveau de la protection.

Lorsqu'on parle de ça on évoque souvent les déchets que nous produisons et qui se retrouvent sur les plages. Bien sûr, on ne pense pas aux déchets naturels que sont les bois morts et les feuilles mortes de posidonies, mais à des déchets auxquels on ne pense pas forcément, ce sont les hydrocarbures qui ne sont pourtant pas les moins nuisibles.

Les hydrocarbures représentent la plus importante source de pollution des eaux de mers et d'océans. Cette pollution résulte de plusieurs activités liées surtout à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation des produits finis.

Les conséquences écologiques de la pollution par les hydrocarbures sont difficiles à évaluer, mais une chose est certaine, il est clair qu'ils compromettent l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Lorsqu'ils sont déversés massivement, ces produits sont très nocifs aussi bien pour la faune et la flore que pour l'homme, provoquant des dégâts physiques importants et durables.

Cette pollution a retenue l'attention de l'opinion mondiale et a suscité de nombreuses conventions internationales telles que la convention internationale de Londres du 12 mai 1954 «la prévention de la pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures» et la convention internationale de Bruxelles de 1971 «relative à la création d'un fonds international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures». En mai 1974, l'Algérie porta ratification de la convention de Bruxelles, puis, elle adopta le décret n°94-279 du 17 septembre 1994, portant organisation de lutte contre les pollutions marines et institutions de plans d'urgence.

Théoriquement la législation protège les baies algériennes, cependant la réalité est toute autre. Les textes de la loi restent inappliqués, puisque sur le terrain rien n'est respecté. Les rejets des déchets riches en hydrocarbures émanant des zones industrielles se déversent directement dans la grande bleue et sans parler de ceux émanant des bateaux poubelles et les navires de ballastage qui traversent quotidiennement la côte.

L'objectif de ce travail, porte sur l'évaluation le degré de contamination de la baie d'Alger par les hydrocarbures, afin de localiser les différentes sources de cette pollution et par conséquent prévenir des risques courus dans l'avenir.

Introduction

Ce travail comporte cinq chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à une présentation détaillé sur la zone d'étude.
- ✓ Le deuxième chapitre comporte un rappel bibliographique concernant la pollution marine par les hydrocarbures et ses conséquences.
- ✓ Le troisième chapitre présente les différents paramètres physicochimiques et les indicateurs de pollution en milieu marin.
- ✓ Le quatrième et dernier chapitre est réservé à la partie expérimentale, dans laquelle nous exposons l'ensemble du matériel et des méthodes utilisés pour le prélèvement et les analyses quantitatives des hydrocarbures, et les résultats obtenus ainsi que les commentaires avancés.
- ✓ Enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre I

Zone d'étude

Chapitre I : Zone d'étude

I. La baie d'Alger

I.1. Situation géographiques

La baie d'Alger se situe au cœur du littoral algérois, elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja, caractérisée par sa forme semi circulaire, délimitée au Nord par la mer méditerranéenne, à l'Ouest par la pointe Pescade et cap Matifou à l'est. Elle s'étale sur une surface de 7Km de Nord au Sud et de 18 Km d'Est en Ouest.

La morphologie de la côte se conforme à la distribution des unités géologiques continentales. En effet, entre les marges étroites du massif d'Alger et du cap Matifou, le plateau continental se développe pour former la baie d'Alger (**Maouche, 1987**).

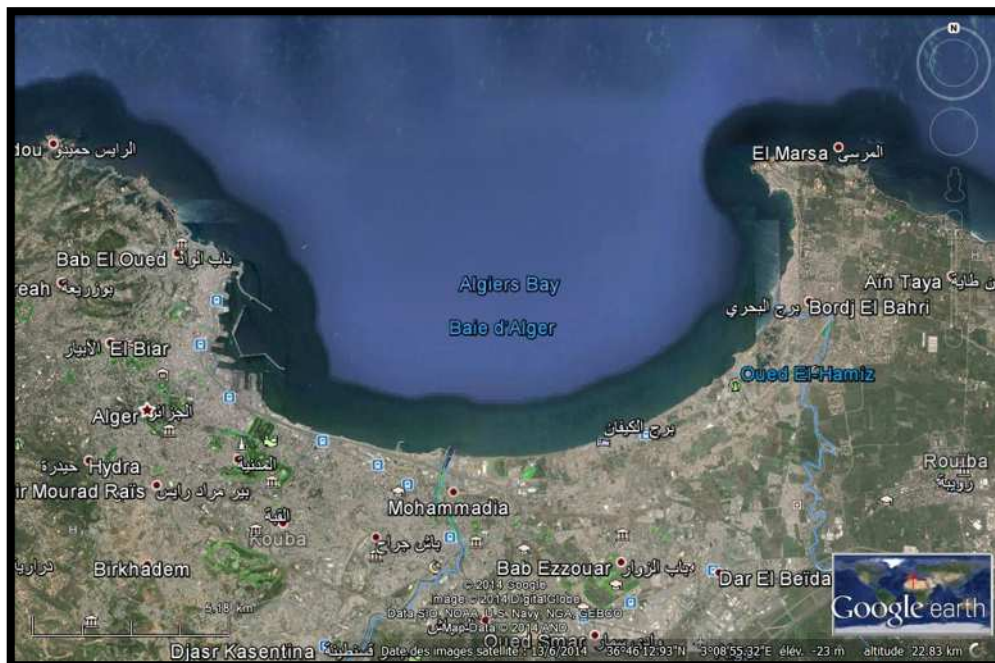


Figure 1 : Situation géographique de la baie d'Alger (source : Google earth, 2014).

I.2. Facteurs hydrodynamiques.

I.2.1. La houle

La houle présente un facteur très important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisant leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude,

Chapitre I : Zone d'étude

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 (**Millot, 1987**).

La houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (**Leclaire, 1972**). En hiver, les houles sont de direction Ouest-Nord-Ouest (300°) et, en été, elles sont de direction Nord-Nord-Est (20°- 40°) (**Benzohra, 1993**).

I.2.2. Les courants

La mer Méditerranée est connue par son excès d'évaporation par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an, ce déficit est compensé par un flux entrant d'eau atlantique, par le détroit de Gibraltar.

Ces eaux de salinité ($S < 36,5$ PSU), au fur et à mesure de leur progression vers l'Est, elles se méditerranéisent le long des côtes algériennes, d'où l'appellation du courant algérien (**Bachari Houma, 2009**).

Le courant algérien, contrairement à ce qui était largement admis, serait un courant turbulent qui se déplacerait d'Ouest en Est en tourbillons croissants (**Millot, 1989**).

Parmi les types des courants dans la baie d'Alger, nous citons :

- **Les courants généraux :** Il existe un courant général rentrant par le détroit de Gibraltar se dirigeant vers l'Est. Ce courant reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s au large des côtes algérienne (**LEM, 2006**).
- **Les courants côtiers :** Les courants côtiers les plus significatifs sont dus à la houle. Les courants le long des côtes algériennes sont généralement faibles en direction Ouest et Est. Les courants côtiers dominants ont une vitesse de 0,25 m/s environ 75 % du temps. Elle est, 24 % du temps, inférieure à 0,5 m/s et seulement à 1 % du temps supérieure à 1m/s (**Aichiuo et al., 2006**).
- **Les courants de dérive littorale :** La dérive littorale est présente lorsque la houle atteint la côte avec une certaine oblicité. La vitesse du courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

D'une façon générale, l'hydrologie de la baie est caractéristique des eaux atlantiques dont la circulation varie en fonction du régime des vents. La baie largement ouverte à l'ouest reçoit les eaux océaniques qui s'écouleraient à vitesse moyenne de trois nœuds avec un maximum en décembre et un minimum en juillet-août où les vents de l'Est sont dominants (**Gaumer, 1981**).

Chapitre I : Zone d'étude

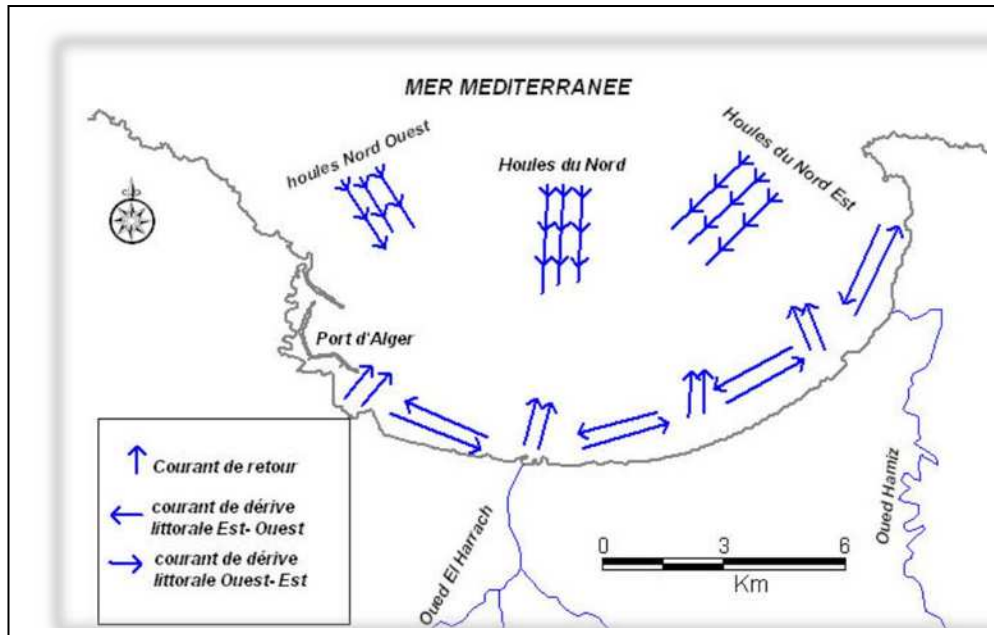


Figure 2 : Bilan des courants dans la baie d'Alger (LEM, 1998).

I.3. La bathymétrie

La baie d'Alger représente une morphologie régulière sans Accédent 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 (Leclaire, 1972).

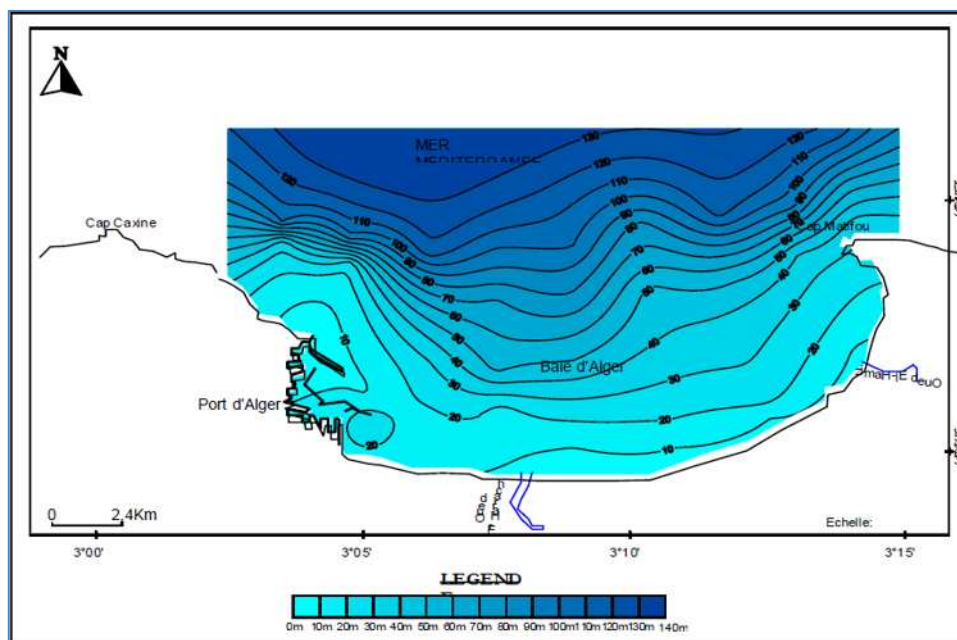


Figure 3: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007).

Chapitre I : Zone d'étude

I.4. La sédimentologie

A partir de la composition globale des dépôts, **Maouche (1987)** distingue, de façon générale, trois types de faciès :

- ✓ **Faciès sableux** : se limitant à la bordure littorale (entre -10 m et -35 m) ; les sables fins étant représentés dans l'ensemble des dépôts pélitiques, les sables moyens à la limite du secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, et les sables grossiers prédominants dans le secteur Est, mélangés au faciès pélitiques.
- ✓ **Faciès carbonatés** : On les retrouve dans la bordure Ouest jusqu'à des profondeurs de 35 à 50m, et dans la bordure Est à des profondeurs plus élevées, au droit du Cap Matifou. Ils sont limités aux bordures rocheuses, ainsi qu'aux hauts-fonds rocheux de la baie.
- ✓ **Faciès pélitiques** : Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction pélitique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds.

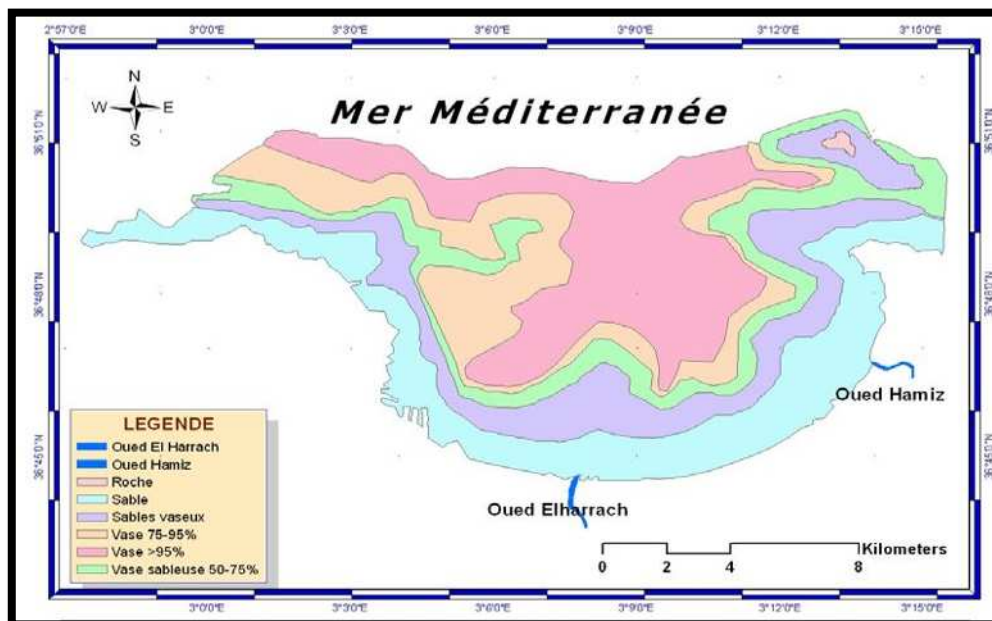


Figure 4: Nature du fond de la baie d'Alger (**Maouche, 1987**).

Chapitre I : Zone d'étude

I.5. Réseaux hydrographiques

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

- **Oued El Harrach** : Son bassin versant couvre une superficie de 970 km², son débit en période de pluie est de 1000 m³/seconde. 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 accentue une forte érosion et un alluvionnement important (LEM, 1998). Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger, ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel (Houma-Bachari, 2009).
- **Oued El Hamiz** : Il se déverse à l'Est de la baie près du cap Matifou. 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, 1998), le débit est régulé par un barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante (Houma-Bachari, 2009).

I.6. La météorologie

I.6.1 La température

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 (LEM, 2006).

I.6.2. La pluviométrie

La baie d'Alger caractérisé est par 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 31,36mm.

Chapitre I : Zone d'étude

- 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, au mois d'Août, avec une moyenne mensuelle de 13,18 mm. Remarquant que le mois de Juillet est le plus sec avec une moyenne mensuelle de précipitation de 1,73 mm.

I.6.3. 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 répartie 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.

I.7. Etats de la pollution

La baie d'Alger est soumise aux perturbations anthropiques de différentes origines, près de mille entreprises exercent dans différents domaines et se partagent cette baie : métallurgie, construction, pétrochimie, production pharmaceutique, industries mécaniques, électriques et électroniques, alimentation, production de papier... (**PAC, 2005**). L'installation de ces nombreuses zones industrielles fait augmenter le risque de la pollution du milieu marin.

L'écosystème marin a été gravement touché par la pollution, et une diminution de la biodiversité de 14% pour les espèces de grand intérêt écologique a été signalée (**PAC, 2005**).

La baie d'Alger constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution. Ses eaux usées sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes génèrent des pollutions organiques et chimiques ; cette situation est aggravée par l'absence de traitement des eaux (**Houma-Bachari, 2009**).

Parmi les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (tableaux 1), nous citons :

- ✓ Le port d'Alger constitue une source inépuisable de pollution qui, au-delà de son activité portuaire même, reçoit un grand nombre d'égouts (24 égouts) qui drainent les eaux usées de la ville d'Alger et dont l'influence est étalée dans l'espace et le temps. De plus des pollutions ponctuelles très localisées sont engendrées par les navires en rade dans la baie (**APPL, 2010**).
- ✓ Les apports des émissaires urbains situés dans le secteur de Hussein-Dey ont eux aussi une forte influence sur la qualité du milieu marin de la baie (**APPL, 2010**).

Chapitre I : Zone d'étude

Tableau 1 : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 2009).

Communes de la baie d'Alger	Unités industrielles	Nombre de rejets d'eaux	Influence sur la mer
Bab el oued	5	1	Rejets
Casbah	0	1	Rejets
Alger centre	10	24	Rejets au port
Hamma	5	3	Rejets
Hussein dey	16	3	Rejets
Mohammadia	5	4	Oued El Harrach et rejets
Bordj El kiffen	4	8	Oued El Hamiz et effluents
Bordj El bahri	0	4	Oued El Hamiz, rejets

Chapitre II

Pollution par les hydrocarbures

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.1. Généralité sur la pollution marine

En Algérie, comme dans tous les pays méditerranéens, le littoral tend à devenir un espace sur occupé et surexploité par l'urbanisation et les différentes activités industrielles, portuaires, halieutiques et de loisirs. Cependant, le développement et l'industrialisation du littoral ont pour conséquence une pollution non maîtrisée, qui se manifeste par des rejets divers en mer, sans traitement. Certaines substances chimiques telles que les hydrocarbures menacent l'écosystème marin.

II.1.1. Définitions

Définition admise par le **Comité Scientifique Officiel de la Maison-Blanche pour la protection de l'environnement en (1965)**: « La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine... » (**Saker, 2006**).

Selon la loi n° 03– 10 du journal officiel algérien n°43 du 19 juillet 2003 sur la protection de l'environnement: La pollution des eaux est « l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques, de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux » (**Saker, 2006**).

La pollution marine a été définie par l'Organisation Internationale Maritime comme étant « L'introduction par l'homme dans l'environnement marin, directement ou non, des substances ou d'énergies générant des effets néfastes pour l'environnement ou susceptibles d'affecter la santé humaine... » (**CEDRE, 2006**).

II.1.2. Classification et sources

La pollution est un problème d'actualité, elle affecte pratiquement tous les écosystèmes y compris l'environnement marin. Elle présente un risque pour la santé humaine, la prolifération anarchique d'algues, ainsi que la multiplication de certaines espèces bactériennes contaminant aussi bien l'eau et les espèces consommables.

Il existe deux manières de classer la pollution :

II.1.2.1. Selon l'origine

II.1.2.1.1. Pollution industrielles

Cette pollution est classée parmi les principales sources de la pollution des eaux, provenant des usines et des industries telles que (industrie chimique, métallurgique, électronique, production d'énergie...etc.) caractérisée par une grande diversité des produits ou sous-

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

produits comme la matière organique et graisses, les hydrocarbures, métaux...etc. (Gaujous, 1995).

II.1.2.1.2. Pollution domestiques

Cette pollution est due essentiellement aux rejets des effluents d'habitations, véhiculées en mer, soit directement sans épuration, ou par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Ces rejets sont caractérisés par des très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux, sels minéraux, détergents...etc. (Gaujous, 1995).

II.1.2.1.3. Pollution agricole

Cette pollution résulte de l'utilisation de divers produits phytosanitaire, issus du lessivage des terres agricoles, des résidus des élevages intensifs des animaux et des eaux d'abattoirs qui engendrent des pollutions chroniques et diffuses (Leroy, 1999).

II.1.2.2. Selon la nature

II.1.2.2.1. Pollution physiques

On parle de ce type de pollution quand le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) (Saker, 2006).

II.1.2.2.2. Pollution biologiques

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites) apporté par les eaux usées directement rejetées en mer, ainsi les efflorescences planctoniques causé par les différents apports des rejets riches en nitrate ou phosphore.

II.1.2.2.3. Pollution chimiques

Cette pollution est due au déversement des rejets industriels ou urbains qui apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables, et qui modifier la composition chimique de l'eau de mer.

Dans cette étude, nous nous intéressons à la pollution par les hydrocarbures.

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.2. Les hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures revêt de nos jours une importance de plus en plus grande. Les pétroles bruts sont constitués de différentes familles des composés dont la composition chimique varie énormément selon leur origine géographique et géologique (**Tissot et Welte, 1984**).

II.2.1. Genèse du pétrole

Le pétrole brut résulte de la transformation, sous des pressions élevées et à l'abri de l'oxygène, de débris organiques (animaux ou végétaux) des peuplements marins. Mêlés aux sédiments, progressivement enterrés par le dépôt de nouvelles couches sous les effets combinés de l'augmentation de la température et de la pression, ces déchets subissent des remaniements moléculaires. Ils deviennent alors des liquides ou des pâtes essentiellement composés d'hydrocarbures (**CEDRE, 2006**).

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts (**Saker, 2006**).

II.2.2. Définition des hydrocarbures

Un hydrocarbure est un composé organique contenant exclusivement des atomes de carbone et d'hydrogène (**Amiard, 2011**). Ils sont sous forme dissoute ou adsorbé sur les particules en suspensions ou des fractions du sédiment.

Les hydrocarbures sont essentiellement utilisés comme carburant, combustibles et bases pour la fabrication des huiles lubrifiantes et constituent aussi la matière première des synthèses pétrochimiques (**Lefebvre, 1978**).

II.2.3. Classification des hydrocarbures

Selon la manière dont les atomes de carbones sont liés les uns aux autres. On distingue plusieurs types d'hydrocarbures :

II.2.3.1. Les hydrocarbures saturés

Ce sont des composés dans lesquels toutes les liaisons (C-C) sont des liaisons simples qui résultent de la mise en commun de deux électrons. Ainsi ces composés ne peuvent pas fixer d'éléments supplémentaires à ceux qui constituent leur molécule (**Lefebvre, 1978**).

Ce type d'hydrocarbure se divise en deux catégories :

- ✓ **Les hydrocarbures paraffines ou alcanes** : ce sont des hydrocarbures saturés à chaîne ouverte (**Lefebvre, 1978**). Ces hydrocarbures sont légers, aliphatiques, à chaîne droite ou ramifiée. Ces alcanes représentent environ 30% du poids des pétroles bruts. Dans le

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

cas de pollution ces pétroles qui sont peu nocifs, ont une biodégradabilité rapide, surtout lorsque les chaînes sont droites (Fattal, 2008).

- ✓ **Les hydrocarbures naphténiques ou cyclanes** : ce sont des hydrocarbures saturés avec des cycles. Ces cycles constitués de six atomes de carbone formant une chaîne carbonée fermée, sont peu toxiques (Fattal, 2008).
Ces hydrocarbures représentent en moyenne 40 à 50% des composés des pétroles bruts (Marchand et Kantin, 1995, in Fattal, 2008).

II.2.3.2. Les hydrocarbures insaturés

Ce sont des composés dans lesquels une ou plusieurs liaisons (C-C) sont des liaisons multiples, résultent de la mise en commun de quatre ou six électrons. Ces composés ne sont pas saturés puisque, grâce aux électrons supplémentaires de leurs liaisons multiples, ils peuvent fixer certains éléments en particulier par addition d'hydrogène, ils peuvent se transformer en hydrocarbures saturés (Lefebvre, 1978).

Ce type d'hydrocarbure se divise en deux catégories :

- ✓ **Les hydrocarbures oléfiniques ou alcènes** : Les organismes marins synthétisent un grand nombre d'oléfines à chaînes droites, possédant jusqu'à six doubles liaisons (Salot, 1981, Volkman et al, 1980, in Saker, 2006). Ces composés présentent un déficit en hydrogène, et comportent dans leur molécule deux atomes d'hydrogène de moins au minimum que les hydrocarbures saturés correspondants (Lefebvre, 1978).
- ✓ **Les hydrocarbures acétyléniques ou alcynes** : ces hydrocarbures sont caractérisés par la présence dans leur molécule d'une triple liaison ($C\equiv C$) (Lefebvre, 1978).

II.2.3.3. Les hydrocarbure aromatique

Les hydrocarbures aromatiques sont constitués d'un anneau aromatique, le benzène. Ces hydrocarbures sont caractérisés par un rapport (C/H) plus élevé que celui que l'on observe dans les autres hydrocarbures. Ils possèdent tous la caractéristique de contenir dans leur molécule un cycle hexagonal à six atomes de carbone, lié à un seul hydrogène ou à un seul autre carbone (Lefebvre, 1978).

II.2.3.4. les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques constituent une famille de plus d'une centaine de composés organiques, constitué d'atomes de carbone et d'hydrogène formant au moins deux cycles aromatiques condensés (Amiard, 2011).

Les HAP forment généralement 40% des pétroles bruts et ont un impact sur la faune et la flore, car ils sont toxiques et persistants. La toxicité est due à leur insolubilité qualifiée (Fattal, 2008).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

Vis-à-vis la toxicité des HAP pour l'homme, Le Benzo(a)pyrène est un des HAP les plus toxiques. En effet, il est reconnu comme cancérogène par l'IARC (International Association for Research on Cancer). Ceci est lié à sa capacité à former des adduits avec l'ADN. Outre leurs propriétés cancérogènes, les HAP présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Ils peuvent aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire augmentant ainsi les risques d'infection (Ifremer, 2013).

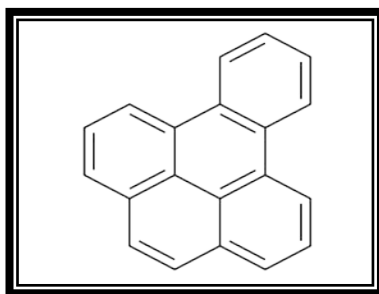


Figure 5 : Structure chimique de Benzo(a)pyrène (source : www.wikimedia.org).

II.2.3.5. Les asphaltènes

Ce 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, in Fattal, 2008).

II.2.3.6. Les résines

Les résines sont riches en carbone, composés 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 (Fattal, 2008).

Lors d'un accident pétrolier en mer, les asphaltènes et les résines représentent la fraction majeure qui subsiste après quelque mois d'exposition aux agents naturels de dégradation. Et comme ces composés renferment certains constituants majeurs et mutagènes, ils représentent un réel danger environnemental (Bentchikou, 2005).

II.2.4. 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).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

Tableau 2 : Densité originelle de quelques pétroles déversés dans le milieu (source : **Fattal, 2008**).

Déversements accidentels de pétrole	Année	Densité	Viscosité cSt centistokes	Point d'écoulement
Prestige	13/11/2002	0,993-0,995	615 à 50 °C	+6 °C
Erika	12/12/1999	0,996-1,02	554,6 à 50 °C	+3 °C
Nakhodka	02/01/1997	0,959	6000 cSt à 10 °C	-17 °C
Sea Empress	15/02/1996	0,82-0,84	7 cSt à 20 °C	-12 C
Braer	05/01/1993	0,8798	16,5 cSt à 20 °C	-4,5 °C
Amoco Cadiz	16/03/1978	0,853	8 cSt à 21 °C	-

D'après ce tableau on peut distinguer quelques propriétés physiques des hydrocarbures et nous citons :

II.2.4.1. Densité

La densité détermine la flottabilité des hydrocarbures. La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 par conséquent ils flottent. Dès que le poids moléculaire augmente, le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau (**Fattal, 2008**).

II.2.4.2. La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Cette viscosité traduit une mesure de la résistance à l'écoulement et elle s'exprime en centistokes (cSt – viscosité cinématique) pour une température donnée. 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**).

La viscosité régit la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis le degré de pénétration dans les sédiments lorsqu'elle arrive à la côte. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre dans le sédiment (**Owens, 1994, in Fattal, 2008**).

II.2.4.3. Le point d'écoulement

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

Le point d'écoulement est lié corrélativement à la teneur en alcanes, car si le pourcentage des alcanes augmente, la température de point d'écoulement augmente (**Fattal, 2008**).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.2.4.4. Le point éclair

Le point éclair est la plus basse température à laquelle les fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumises à une étincelle. Comme certaines essences ont des points d'éclair à -40°C (Fattal, 2008).

II.2.4.5. 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 . Au contraire, pour les fractions lourdes, il faut des températures plus de 100°C pour s'évaporer (Fattal, 2008).

Pour cela on peut distinguer que la température varie en fonction de nombre d'atome de carbone, et ceci résulte de :

- Augmentation des attractions entre molécules, lorsque la longueur de la chaîne augmente.
- L'introduction de ramification sur la chaîne principale diminue cette température (Belabes, 1999, in Boudjellaba et Dehane, 2012).

II.2.4.6. La tension superficielle

Permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbure et cette tension superficielle est inversement proportionnelle avec la température, car plus la température augmente, plus la tension superficielle diminue et plus la vitesse d'étalement est importante (Fattal, 2008).

II.2.5. Sources de la pollution par les hydrocarbures

Les sources des hydrocarbures en mer peuvent être classées en deux catégories par leur importance :

II.2.5.1. Naturelles

Cette source représente un niveau de référence considérables, et il s'agit des :

- a) **Suintements naturels des sous-sols marin** : Sont observés lorsqu'il ya une remonté des hydrocarbures fossiles contenue dans certains gisements dans des zones où l'activité sismique est importante. Ces suintements constituent des lieux privilégiés d'information sur l'influence du pétrole sur le milieu naturel, ils réduisent à sa valeur la notion de virginité des sites naturels toujours affirmée quand il se produit une marée due à l'activité humaine (CEDRE, 2006).
- b) **Hydrocarbures biogéniques** : Ces hydrocarbures sont soit des produits de synthèse de la matière vivante, soit des métabolites issus de l'ingestion d'hydrocarbures par les organismes vivants. Les principaux producteurs d'hydrocarbures biogènes sont le phytoplancton, le zooplancton, les algues benthiques, les macrophytes des eaux côtières et les bactéries.

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.2.5.2. Anthropiques

Cette source est liée aux activités humaines, et on estime qu'environ six millions de tonnes d'hydrocarbures sont annuellement déversés dans le milieu océanique (**Lacaze, 1980**).

Parmi les différentes sources on distingue :

- a) **Transport maritime** liée aux rejets systématiques des eaux de vidange des soutes, des eaux de rinçage des citernes, des eaux de déballastage, rejets de circuits de refroidissement des navires, vidange des eaux de cale.
- b) **Rejet a terre** et les apports des rivières par les installations industrielles côtières (raffinerie et terminal pétroliers, activités portuaires, transport routier, opération de transfert et de stockage) (**Saker, 2006**). Après un versement, il y'a une partie entraînée dans les réseaux hydrographique qui finit par aboutir en mer, où ils contribuent à la pollution du littoral (**CEDRE, 2006**).
- c) **Par voie atmosphérique** : A partir de fumées industrielles, gaz d'échappement des moteurs, rabattues par les eaux de pluie (**Saker, 2006**).
- d) **Accidents de pétroliers** : ce sont les plus dangereux, car ils peuvent porter des mauvaises conséquences sur le milieu et les écosystèmes aquatiques comme le cas de :

L'Amoco Cadiz : Le 16 mars 1978, à la suite d'une avarie de barre, après deux tentatives infructueuses de remorquage, le pétrolier libérien Amoco Cadiz, chargé de 227 000 tonnes de pétrole brut, s'échoue sur les roches de Portsall, dans le Nord Finistère en France. L'ensemble de la cargaison s'échappe au fur et à mesure que le navire se disloque sur les brisants, polluant 360 km de littoral entre les villes de Brest et de Saint-Brieuc. C'est la plus grande marée noire par échouement de pétrolier jamais enregistrée dans le monde. Elle conduit le gouvernement français à revoir son plan de lutte antipollution (le plan Polmar), renforcer ses stocks de matériel (les stocks Polmar) et imposer des nouveaux rails de circulation en Manche (**CEDRE, 2006**).

II.2.6. Conséquences de la pollution par les hydrocarbures

II.2.6. 1. Conséquences physiques

Liée aux comportements physiques des hydrocarbures dans l'eau, donc un film d'hydrocarbures étalé à la surface de la mer empêche les échanges air/mer nécessaires à de nombreux cycles biologiques marins (**Gaujous, 1995**). Par conséquent:

- ✓ Il diminue le renouvellement de l'oxygène.
- ✓ Il est un obstacle aux rayons du soleil, limitant ainsi la photosynthèse.
- ✓ Il entraîne une augmentation de la température et favorise la prolifération de microorganismes consommateurs d'oxygène (**Saker, 2006**).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.2.6. 2. Conséquences biologiques

La faune et la flore marine sont très sensibles aux effets toxiques du pétrole et ses dérivés. Beaucoup d'espèces aquatiques absorbent les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques dissous. Cette fraction est très soluble dans les lipides et elle est bio-accumulatrice par les poissons et les coquillages ce qui forme une véritable menace pour les ressources aquatiques.

Certains de ces composés s'accumulent aussi dans le sédiment ce qui forme une menace permanente pour les organismes benthiques même à long terme (**Kennish, 1997**). Parmi les hydrocarbures susceptibles d'être accumulés par les organismes, ce sont essentiellement les hydrocarbures aromatiques et leurs métabolites qui sont les causes principales des effets toxiques sur les espèces marines et les écosystèmes (**CEDRE, 1993**).

La pénétration des hydrocarbures pétroliers dans les chaînes alimentaires marines est clairement démontrée par leurs teneurs importantes dans de nombreuses espèces aquatiques en milieu marin, le pétrole peut être absorbé directement par les organismes ou indirectement par l'intermédiaire d'une nourriture contaminée. Après ingestion il sera, selon le cas, stocké, métabolisé ou excrété (**Lacaze, 1980**).

Voici un schéma et un tableau qui montrent l'effet des hydrocarbures sur les organismes marins.

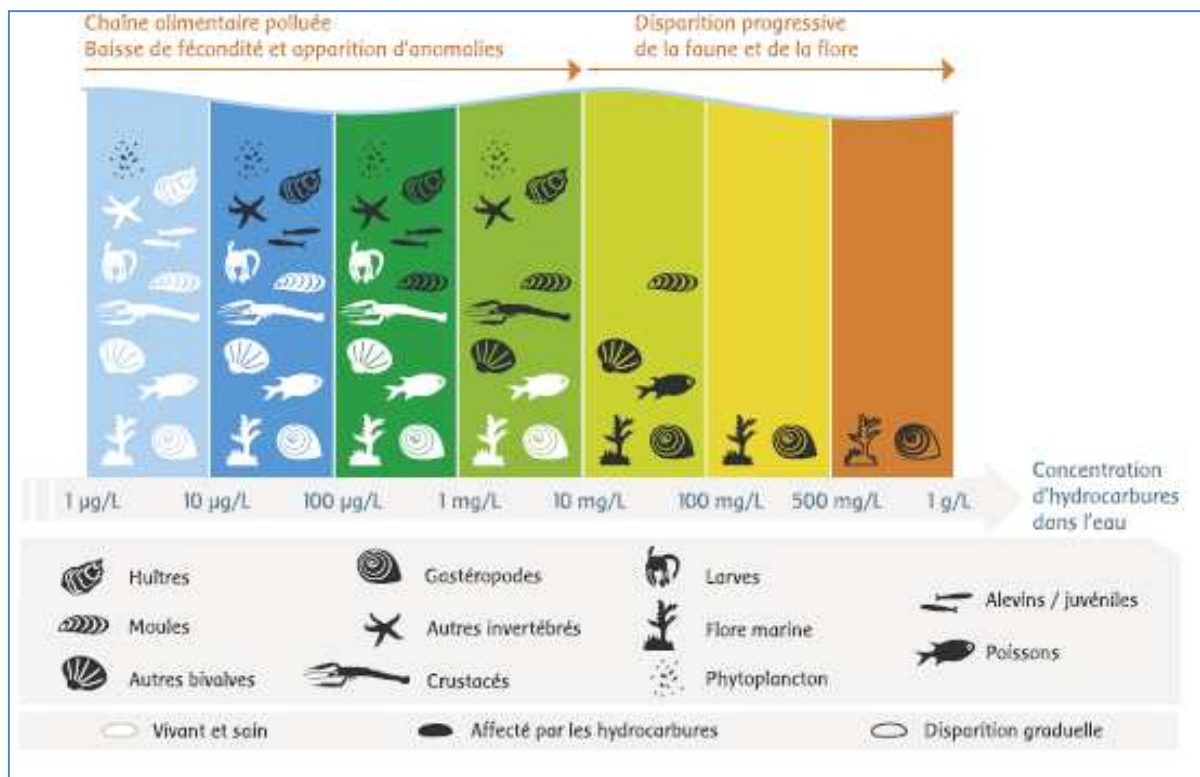


Figure 6 : l'effet des hydrocarbures sur les organismes marins (source : **CEDRE, 2006**).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

Tableau 3 : L'effet à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source : **CEDRE, 1990 in Fattal, 2008**).

Peuplement	Sensibilité	Effet à court terme	Effet à long terme
Algues	Faible	Engluement ou nécrose des tissus	Bonne restauration
Flore des marais marins et estuariens	Variable suivant les espèces, l'état de développements des plantes et les périodes de l'année.	Engluement des parties aériennes	Restauration longue Erosion du marais Modification de la diversité spécifique
Mollusque intertidaux	Forte en général	Asphyxie ou contamination	Accumulation par les filtreurs Altération de la reproduction et de la croissance
Ecosystèmes benthiques rocheux	Forte en général	Asphyxie ou contamination	Dépend de la durée de contact Dans la zone battue, l'effet es faible
Poissons	Faible pour les pélagiques Forte pour les benthiques	Asphyxie par engluement sur les branchies Plaies chez les poissons fouisseurs dans des sédiments faiblement pollués	Désaffection de la zone polluée
Oiseaux	Variable (forte pour les plongeurs)	Engluement du plumage et contamination	Désaffection de la zone polluée

II.2.6. 3. Conséquence pour la santé de l'homme

Cette mauvaise conséquence sur la santé de l'homme dépend du temps d'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés (**Fattal, 2008**).

Le contact permanent avec des hydrocarbures lourds, contenant des HAP, provoque sur le long terme des troubles neurologiques et neurophysiologiques (**Baars, 2002 in Fattal, 2008**).

II.2.6.4. Conséquence économiques

Les effets nocifs de la pollution sont ressentis indirectement par le truchement de l'impact économique et écologique :

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

- ❖ Dommage aux ressources biologiques: flore et faune marines, avec comme conséquence des entraves à certaines activités maritimes.
- ❖ Dégradation des installations et atteinte au tourisme qui constitue une valeur économique fondamentale;
- ❖ Diminution de la qualité de l'eau qui se répercute sur ses multiples usages (**Saker, 2006**).

II.2.7. Comportement et le devenir des hydrocarbures dans le milieu marin

De son état liquide et leur faible solubilité dans l'eau, les hydrocarbures une fois déversés, un phénomène d'étalement en surface s'engage aussitôt. Il tend, par mer calme, à constituer un film huileux de quelque dixième de millimètre à quelque millimètre d'épaisseur.

L'hydrodynamique casse ce film en nappes qui dérivent en surface, séparées par des zones d'eau libre et pour partie en gouttelettes qui se dispersent dans les premiers mètres de la colonne d'eau, ainsi une autre influence sur ces nappes par le vent, la lumière, la houle et l'eau sur ces nappes par toute une combinaison d'effets physiques et chimiques (**CEDRE, 2006**).

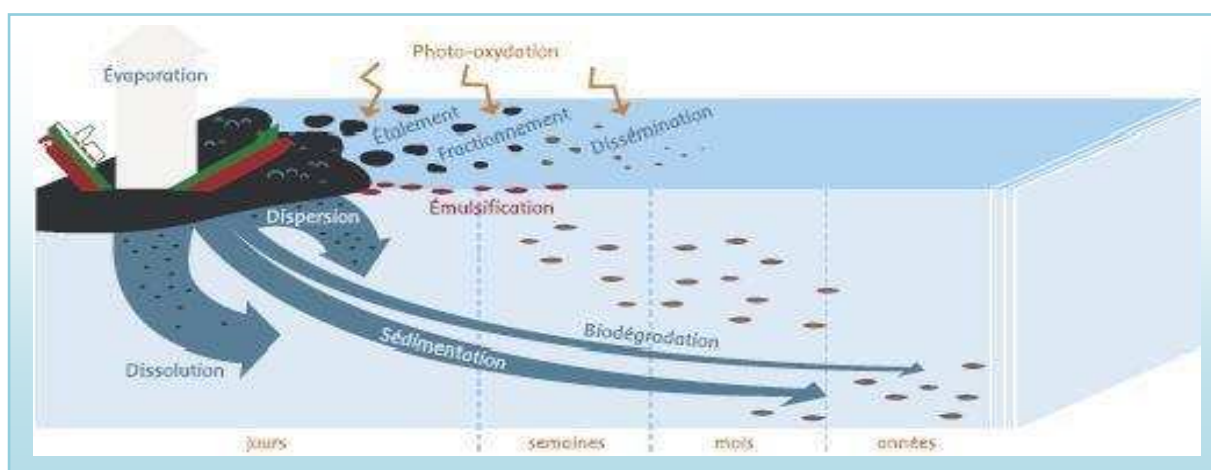


Figure 7 : Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : **CEDRE, 2006**).

Parmi ces différents effets nous citons :

II.2.7.1. Évaporation

Cet effet touche également les composés de faible poids moléculaires ayant 4 à 12 atomes de carbone ($T_{eb} < 270\text{ °C}$). Le passage d'un hydrocarbure fluide à sa forme gazeuse est plus au moins long, il dépend des conditions climatiques et le type de pétrole (**Fattal, 2008**).

L'évaporation se fait d'autant vite que la température est élevée et les vents fortes (**CEDRE, 2006**). Ainsi les hydrocarbures les plus légers s'évaporent plus rapidement (**Saker, 2006**).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

Après l'évaporation des fractions légers, il ne reste que celle qui sont lourds, comme les asphalte...qui rendes ces résidus plus dense et plus visqueux (**Marchand, 1998, in Fattal, 2008**).

II.2.7.2. Dissolution

La dissolution concerne essentiellement des produits aromatiques, c'est un phénomène plus lent que l'évaporation (**CEDRE, 2006**).

Cette dissolution qui disperse le polluant est fonction de la viscosité, du taux de solubilité de l'hydrocarbure ainsi des conditions environnementales (**Fattal, 2008**).

II.2.7.3. L'émulsion

En générale les hydrocarbures lourds s'émulsionnent plus rapidement que les hydrocarbures légers. Pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures, cependant si celui-ci devenait trop important. L'émulsion ne seraient pas stables... (**Shalansonnet et Joyaux, 2005, in Fattal, 2008**).

Il existe deux formes d'émulsion :

- ✓ **Emulsion huile dans l'eau** : concerne les pétroles légers et moyens. Elle se manifeste par la fragmentation de la nappe en gouttelette de pétrole qui s'intègre à la colonne d'eau. L'augmentation de l'interface huile/eau permet d'accélérer le processus de biodégradation et la dépollution dans certains cas des opérations (**Fattal, 2008**).
- ✓ **Emulsion de l'eau dans les hydrocarbures** (mousse au chocolat) : c'est l'incorporation de l'eau introduite dans l'huile sous l'action des vagues. Cette émulsion peut contenir jusqu'à 90% d'eau et peut avoir une viscosité et une densité plus élevées à celles des hydrocarbures d'origine (**Voirin, 1987 in Saker, 2006**).
Vu leur grande viscosité, les hydrocarbures émulsionnés sont difficiles à enlever de la surface de l'eau.

II.2.7.4. Photo-oxydation

C'est un processus qui intervient en plein eau, liée à l'intensité de l'éclairement et la finesse des nappes (**CEDRE, 2006**).

La photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les *n*-alcanes (**Rontani et Giusti, 1987, in Saker, 2006**).

La photo-oxydation conduit à la formation de composés solubles dans l'eau (acides, alcools, cétones...) et certains travaux de recherche ont montré leur toxicité pour les communautés microbiennes (**Payne al., 2001, in Saker, 2006**).

Chapitre II : Pollution par les hydrocarbures

II.2.7.5. Biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement marin. Les bactéries sont responsables à la transformation des hydrocarbures en produits moins toxiques. Les hydrocarbures constituent une source d'alimentation pour toutes les bactéries de milieux froid et tempérée (**Berni, 1982, in Fattal, 2008**).

Les travaux de recherches sur la biodégradation des hydrocarbures ont montré que ce processus dépend de la structure chimique des hydrocarbures et des conditions environnementales (**Saker, 2006**).

II.2.7.6. Sédimentation

C'est le coulage de la fraction pétrolière la plus lourde et dont la densité est supérieure à celle de l'eau de mer vers le fond. Ce processus conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradable par voie naturelle (**Saker, 2006**).

Les facteurs responsables de ce phénomène sont principalement la floculation (adsorption) et la solubilisation des composés masse moléculaire entraînent une augmentation du rapport poids/volumes (**Fattal, 2008**).

Chapitre III

Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et indicateurs de pollution

Chapitre III : Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et les indicateurs de pollution

III. 1. Paramètres physico-chimiques du milieu marin

La pollution se traduit généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de la pollution consistera donc à mesurer, par des analyses ces caractéristiques (**Gaujous, 1995**).

Parmi ces caractéristiques nous citons :

III.1.1. La température (T)

La température est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces, aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières (**Arouya, 2011**).

La température agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques (**Makhoukh et al., 2011**).

La mesure précise de la température se fait normalement directement dans le milieu (in situ). Cette mesure est effectuée grâce à des thermomètres spéciaux, les thermomètres à renversement au mercure ou électroniques, ou encore à l'aide de sondes. (**Aminot et Kérouel, 2004**).

III.1.2. La salinité (S)

La première définition résulte de la technique reproductible de **Sørensen(1902)**: *<< 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 sont convertis en oxydes et toute la matière organique est oxydée >>* (**Rodier, 2009**).

En océanographie physique, la mesure très précise de la salinité sert à calculer la masse volumique de l'eau de mer, et caractériser les masses d'eau et étudier leur mélange. En milieux côtiers et estuariens, la salinité est le traceur idéal des mélanges entre l'eau douce et l'eau de mer (**Aminot et Kérouel, 2004**).

III.1. 3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H^+) dans un milieu. Cette notion a été introduite par **Sørensen en 1909** qui l'avait défini comme : *<< le cologarithme décimal de la concentration en ions H^+ >>*.

$$pH = - \log [H^+]$$

Chapitre III : Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et les indicateurs de pollution

Le pH d'eau de mer, voisin de 8,2 est fixé par la présence des carbonates (CO_3^{2-}) la modification des concentrations en (CO_2) ou en (CO_3^{2-}) entraînera une modification du pH (**Aminot et chaussepied, 1983**).

La mesure de pH est très importante, car il conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique du milieu marin (**Arouya, 2011**).

III.1.4. La conductivité électrique (C)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (**Rodier, 2005**).

Elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température (**Arouya, 2011**).

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m).

III.2. les paramètres indicateurs de pollutions

III.2.1. Oxygène dissous (OD)

L'oxygène constitue un excellent indicateur de la qualité du milieu et gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (**Aminot et chaussepied, 1983**).

C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution, sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution.

La mesure de l'oxygène dissous concerne exclusivement l'oxygène moléculaire (O_2) en solution. Sa concentration et sa saturation dans l'eau est régie par des processus physiques, chimiques et biologiques tels que :

- ✓ Echanges à l'interface air-eau.
- ✓ Diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau.
- ✓ Oxydation chimique.
- ✓ Respiration des organismes aquatiques, y compris la minéralisation.
- ✓ Photosynthèse (**Aminot et Kérouel, 2004**).

Chapitre III : Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et les indicateurs de pollution

III.2.2. La turbidité (Tu)

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau. Elle a été définie par la norme **ISO 7027 (Afnor, 1999b)** comme étant : « *réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes* » (**Aminot et Kérouel, 2004**).

Une turbidité forte, elle est souvent signe de pollution. Elle joue un rôle écologique complexe :

- ✓ Baisse de lumière.
- ✓ Pouvoir adsorbant.
- ✓ Abrasion et sédimentation (**Gaujous, 1995**).

III.2. 3. Les matières en suspensions (MES)

Les matières en suspension sont définie en plus des substances dissoutes. L'eau de mer contient des matières en suspension de toute tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature soit biologiques, éolienne et météorique (**Ivanoff, 1972**). Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0,45 µm (**Aminot et chaussepied, 1983**).

Leur effet néfaste peut provoquer :

- Empêchement de la bonne pénétration de la lumière (réduction de la photosynthèse).
- Colmatage des branchies des poissons.
- La constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.

III.2.4. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) requise pour oxyder chimiquement la matière organique et inorganique oxydable contenue dans l'eau, à l'exception de certains composés comme les hydrocarbures paraffiniques et cycloparaffiniques non miscibles qui résistent à la puissante oxydation (**CEAE Québec, 2006**).

Plus une eau est chargée de matières organiques, plus la demande en oxygène cédée par voie chimiques est importante (**Rejsek, 2002, in Ammi Ali et Hammouche, 2013**).

III.2.5. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (exprimée en mg/l) est la quantité d'oxygène moléculaire dissous consommée par les microorganismes pendant une durée d'incubation de

Chapitre III : Présentation des paramètres physico-chimiques du milieu marin et les indicateurs de pollution

cinq jours et à une température de 20 °C pour dégrader les substances organiques biodégradables contenues dans l'eau (**Arouya, 2011**).

Ce paramètre est utilisé pour évaluer les matières organiques biodégradables dans les eaux (**Bontaux, 1993**), et déterminer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel ou l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet par un procédé biologique.

Chapitre IV

Matériels et Méthodes

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

L'importance du trafic pétrolier maritime, le développement de l'exploitation offshore et l'implantation littorale d'unités de raffinage sont autant de causes chroniques ou accidentelles de rejets d'hydrocarbures dans l'environnement marin.

A cet effet, notre étude porte sur l'évaluation de la pollution marine causée par les hydrocarbures.

IV.1. Matériels utilisés

Les méthodes d'analyse des hydrocarbures sont nombreuses, le choix est dicté par la situation et l'objet de l'analyse. Le tableau 4 énumère tout le matériels utilisés et nécessaires au cours de cette étude.

Tableau 4 : Matériel utilisés au cours de cette étude.

Verreries (verre Borosilicaté)	Appareillages	Produits chimiques	
Bouteilles fumés de 2,5l	Evaporateur rotatif	Acétone (C ₃ H ₆ O)	Gel de silice (SiO ₂)
Ballons de 250ml	Soxhlet	Hexane (C ₆ H ₁₄)	Alumine ou Oxyde d'alumine (AL ₂ O ₃)
Piluliers	SFUV	Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂)	Sulfate de sodium anhydre (Na ₂ SO ₄)
Erlen Meyer a col rodée 100 ml	Sous jet d'Azote		La laine de verre
Eprouvette de 100ml	Lyophilisateur		Boiling chips
Ampoule à décanter de 2l	Balnce de précision		Chrysene (C ₁₈ H ₁₂)
Burette de 50ml	Agitateur mécanique		
Tubes à essais	Dessiccateur		
Béchers	Mortier en porcelaine		
Spatule en métal inoxydable	Benne Van Veen		
	Valise multiparamétrique (pH, T, Oxygène.)		

Remarque : les références et usage des produits chimiques utilisés dans le traitement des hydrocarbures sont indiqués dans les annexes 2 et 3.

IV.1.2. Préparation et conditionnement du matériel utilisé

➤ Préparation de la verrerie

Selon (UNEP, 1995) et pour éviter tout risque et source de contaminations, le matériel utilisé doit être lavé et conditionné comme indiqué ci-après :

- ✓ Lavage au détergeant
- ✓ Rinçage à l'eau de robinet.
- ✓ Rinçage à l'eau bi-distillée.
- ✓ Rinçage avec l'acétone, puis mise à l'étuve à 120°C pendant 24h.
- ✓ Rinçage avec l'hexane.
- ✓ Mise à l'étuve à 300°C pendant une nuit.
- ✓ Couverture de la verrerie avec du papier aluminium préalablement rincé avec l'hexane.

➤ Préparation des adsorbants

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.

IV.2. Travaux effectués en mer

IV.2.1. Choix et localisation des stations de prélèvement

Suivant de notre objectif, plusieurs prélèvements ont été réalisés dans les différentes stations en prenant en compte une carte qui localise les principaux points des rejets et des oueds le long de cette baie.

Les coordonnées géographiques ainsi que l'heure des prélèvements sont indiquées dans l'annexe 1.

La sortie en mer a été effectuée le 27/06/2014 début de la période estivale au bord du navire "Récif", avec un échantillonnage d'eau et de sédiment, le prélèvement de l'eau est

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

superficiel (de 1 à 2m de profondeur), quand au sédiment superficiel est situé à une profondeur allant jusqu'à 34 m.

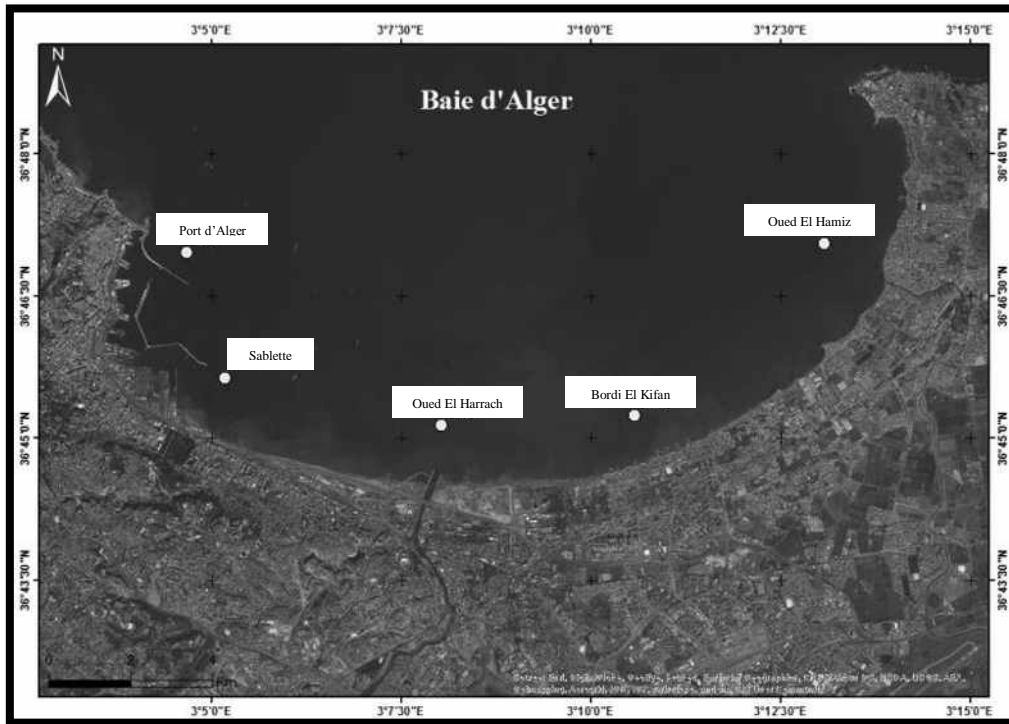


Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement au niveau de la baie d'Alger.

IV.2.2. Prélèvements et échantillonnages

IV.2.2.1. Prélèvement d'eau

Un procédé a été préconisé par l'U.N.E.P en 1995 pour le prélèvement d'eau de mer de surface, utilisant une bouteille en verre fumé, d'une capacité de 2,5L, propre, placée sur un support lesté. On choisit une bouteille à goulot étroit pour qu'elle se remplisse lentement lorsqu'on l'enfonce dans l'eau.

Le dispositif de prélèvement est lancé à l'avant du navire en arrêt, afin de réduire les risques de contamination par le moteur du bateau.

La bouteille de prélèvement ne doit pas être complètement remplie, afin de pouvoir ajouter le solvant (50ml d'Hexane) pour effectuer une première extraction, tout en assurant une agitation manuelle pendant 5 à 10 minutes. Cette bouteille est fermée avec un bouchon en plastique isolé avec une feuille d'aluminium pour éviter tout contact avec la matière plastique du bouchon.

Les échantillons prélevés sont étiquetés, et conservés dans une glacière portative, au bord du navire, puis ramenés au laboratoire et gardés à 4°C.

IV.2.2.2. Prélèvement des sédiments

Le prélèvement du sédiment superficiel a été effectué au moyen d'une benne preneuse de type Van Veen, dans des zones à bathymétrie comprise entre 10 et 34m. La benne est constituée d'acier inoxydable, à un poids d'environ 25 Kg et à une section d'impact de 0,19 m².

Avant l'envoi de la benne par gravité, les deux bras leviers sont écartés de chaque côté, avec les mâchoires ouvertes. Au contact du fond, le mécanisme de fermeture se déclenche et quand le câble est tiré pour remonter la benne, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiment. Une fois la benne remontée, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule en acier inoxydable en évitant tout contact avec les parois de la benne.

Les échantillons collectés sont mis dans des piluliers en verre, puis fermé avec un bouchon après leur isolement avec papier aluminium pour éviter tout risque de contamination.

Les piluliers sont étiquetés, et conservés dans une glacière portative au bord du navire. Puis ramenées au laboratoire et placés dans un congélateur à -18°C. La congélation permet de conserver pour l'essentiel les propriétés chimiques des échantillons, et d'éviter une contamination avec le milieu ambiant et la perte d'éléments volatils.

IV.2.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques est réalisés au bord, en considérant l'eau de surface en utilisant une bouteille de prélèvement de type NISKIN et une valise multiparamétrique.

Les mesures sont réalisées d'une façon à prolonger chaque sonde électrolyte d'un appareil dans la bouteille de prélèvement comme indiqué ci-après :

- Le pH mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de marque WTW. L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalons à différents pH. Il affiche en outre les valeurs de température en °C.
- Salinité à été mesure à l'aide d'un salinomètre de marque WTW.
- L'oxygène dissous mesuré à l'aide d'un oxymètre de marque WTW, les valeurs de l'oxygène dissous s'affichent en mg/l. L'appareil est étalonné à la pression atmosphérique.

IV.3. Traitements des échantillons effectués au laboratoire pour l'analyse des hydrocarbures

IV.3.1. Principe de la méthode d'analyse

Les hydrocarbures sont extraits du substrat à étudier par un solvant. L'extrait est purifié sur un adsorbant afin de retenir les composés polaires et apolaires, et l'éluât est analysé par spectrofluorimétrie Ultra Violet (**Roussel, 1983**).

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

IV.3.2. Les hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer

Le traitement des échantillons d'eau est réalisés le plutôt possible en suivant le protocole appliqué est inspiré des normes françaises T90-114 et T90-203 de l'AFNOR (1972 a et b) (Roussel, 1983). Le protocole et résumer sur la figure suivante :

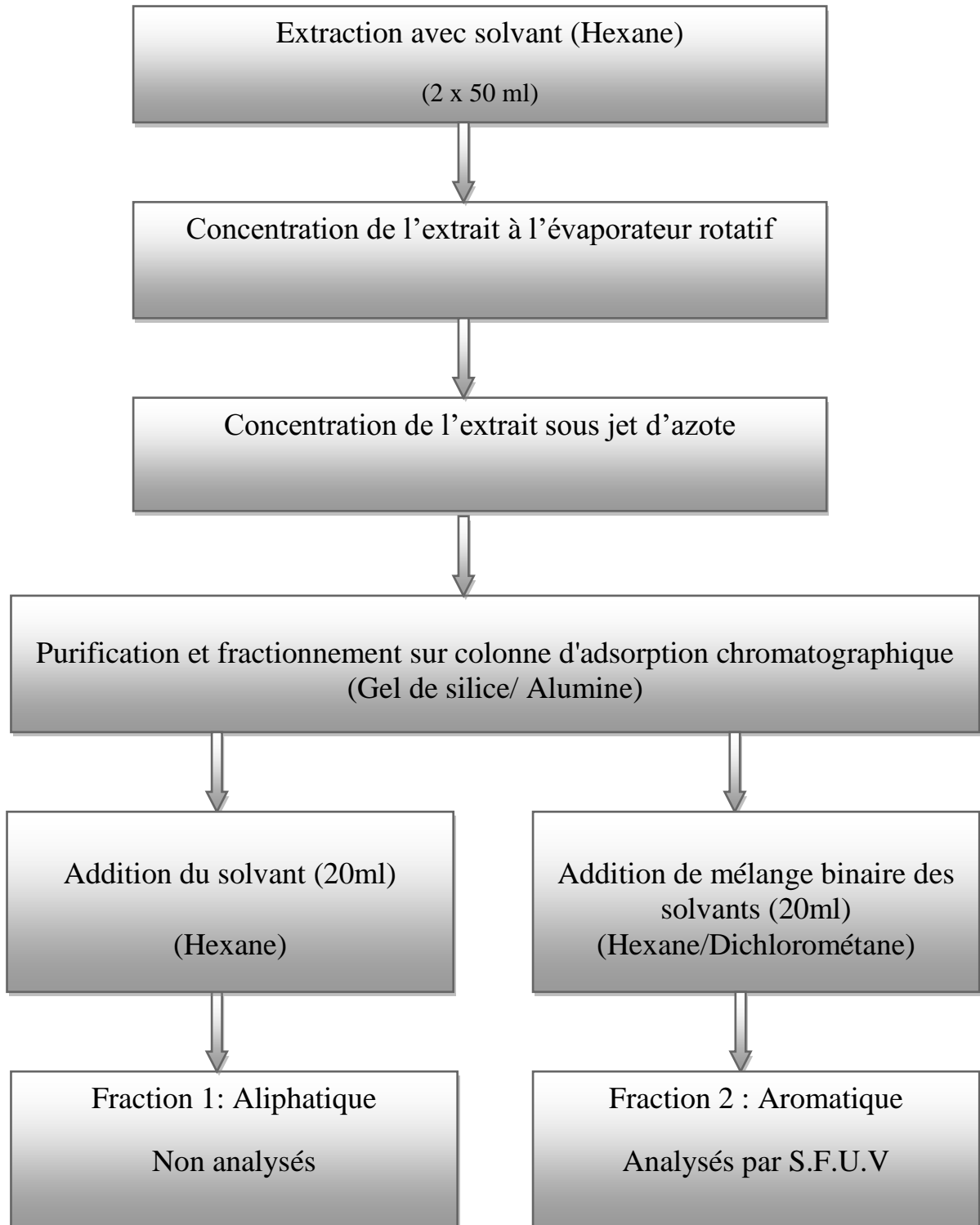


Figure 9 : Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures dissous/dispersés de l'eau de mer

IV.3.2.1. L'extraction

La réalisation de cette seconde extraction s'effectue en mettant l'échantillon et son premier solvant d'extraction dans l'ampoule à décanter et en lui additionnant 50ml d'hexane.

On agite pendant 20 min, puis on laisse décanter pendant 10 à 15 min, la phase organique supérieure de l'ampoule, est récupérée dans un ballon, et la phase aqueuse qui se situe au dessous est récupérée dans une éprouvette graduée, dont le volume totale V est noté.

Une pincée de Sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) est ajoutée afin d'absorber d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait organique.

A la fin de cette étape l'extrait récupérée dans le ballon et met dans un endroit frais.



Figure 10: Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter.

IV.3.2.2. Concentration

La concentration est une étape intermédiaire qui permet de diminuer le volume de solvant contenu dans l'échantillon. Cette étape est effectuée en deux parties : évaporateur rotatif et sous jet d'Azote.

IV.3.2.2.1. Concentration par Evaporateur rotatif

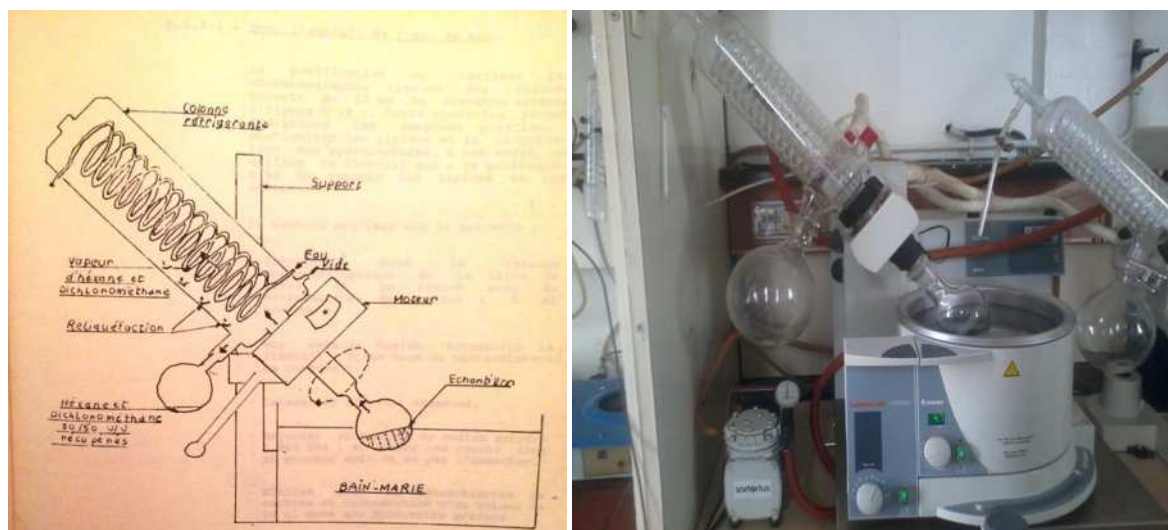


Figure 11 : Dispositif d'un évaporateur rotatif

L'évaporateur rotatif permet d'éliminer le solvant contenu dans l'échantillon, ce dernier est concentré jusqu'à un volume d'environ 10ml, placé au bain-marie à une température voisine de 40°C. Cette température est uniquement nécessaire à l'évaporation du solvant, qui est récupéré dans un ballon après condensation de ses vapeurs dans le réfrigérant du dispositif utilisé. Ce passage à l'état de vapeur et la régularisation de l'ébullition sont améliorés par le système de rotation. Ainsi qu'une pression sous vide, assurée par une pompe aspirante d'une étanchéité au vide inférieure à 1 torr soit à 1,3 millibar.

IV.3.2.2.2. Concentration par Sous jet d'Azote



Figure 12 : Concentration sous jet d'azote pur

Cette concentration est considérée comme l'étape la plus délicate à cause du faible volume final réalisée. En effet, l'échantillon est évaporé à sec sous jet d'azote et repris jusqu'à un volume de 2ml. Le protocole de la **C.O.I** (Commission Océanographique Intergouvernementale, 1984) souligne le risque de perte au-dessous d'un volume de **200µl**.

IV.3.2.3. Purification

Le principe de la purification repose sur la séparation ou le partage des deux fractions d'hydrocarbure par l'utilisation des adsorbants réalisés sur une colonne chromatographique ouvert muni d'un robinet en téflon. Le remplissage successif de la burette est effectué comme indiqué ci-après :

Mettre la laine de verre à l'aide d'une tige, puis verser 20 ml d'hexane pour conditionner la burette, et laisser couler.

Ajouter 5g de gel de silice mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne sécher.

Ajouter 5g d'alumine mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne sécher.

Ajouter une pincée de Sulfate du sodium anhydre en tête de la colonne pour l'absorption des gouttelettes d'eau.

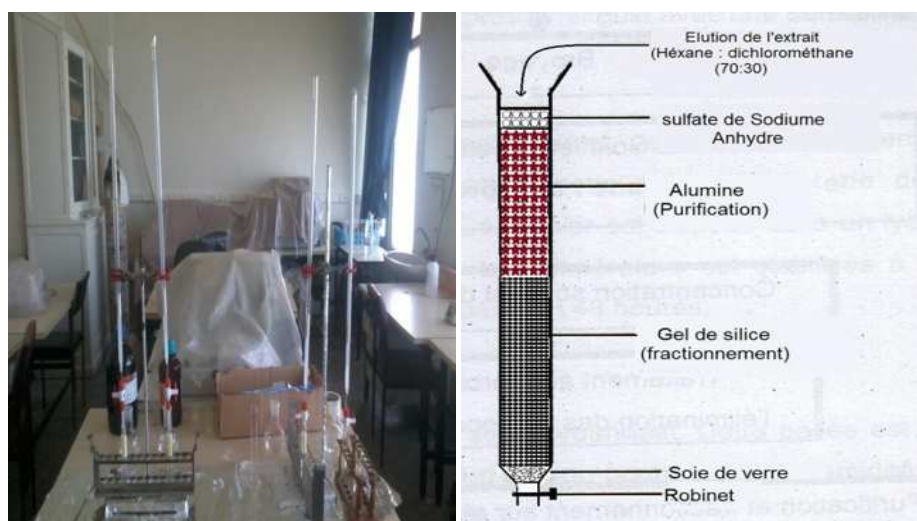


Figure 13 : Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.

IV.3.2.3.1 La fraction aliphatique

La première élution est effectuée avec l'hexane. L'échantillon est versé après leur agitation par un agitateur mécanique, puis ajouter 20ml d'hexane et récupérer la fraction dans un tube à essai.

IV.3.2.3.2. La fraction aromatique

La seconde élution est réalisée avec un mélange d'hexane et dichlorométhane dans les proportions (70:30). Pour récupérer la deuxième fraction, ajouter 20 ml de mélange.

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

A la fin de cette étape chaque tube de fraction récupérée est fermée avec un bouchon en plastique isolé avec une feuille d'aluminium et du téflon pour éviter toute contamination, puis conservés au frais.

IV.3.3. Les hydrocarbures dans les sédiments superficiels

Le diagramme suivant décrit le protocole expérimental préconisé par la C.O.I (1982)

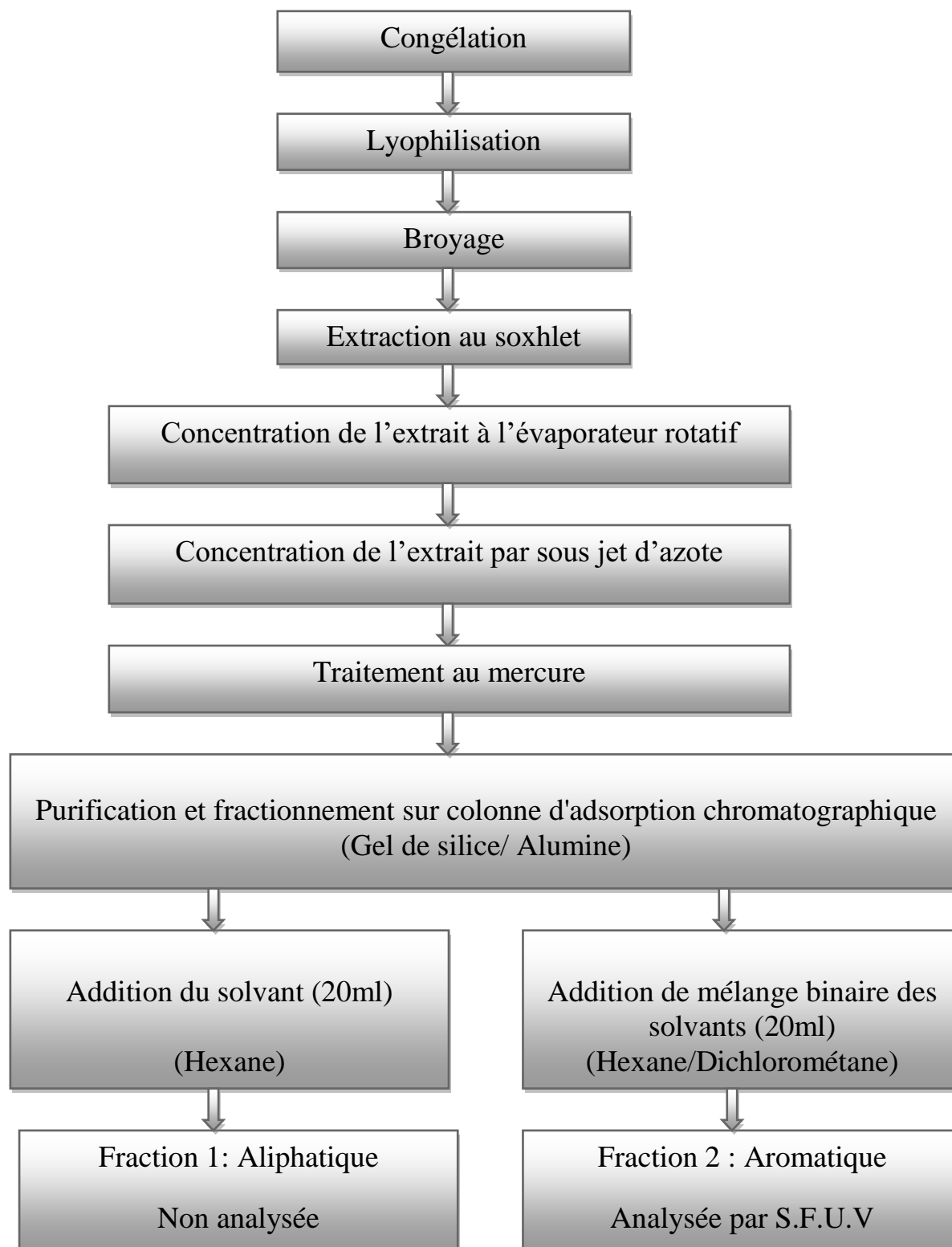


Figure 14: Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures du sédiment superficiel marin.

IV.3.3.1. Congélation

Les échantillons du sédiment récolté dans des piluliers en verre sont conservés au congélateur à -18°C dès le retour au laboratoire. La conservation des échantillons à basse température permet de bloquer les processus d'évaporation et de dégradation microbienne pouvant altérer les composants organiques du sédiment parmi lesquels les hydrocarbures.

IV.3.3.2. Lyophilisation

Les échantillons retenues de l'étape précédente sont placés dans un lyophilisateur d'une marque CHRIST Betta 1-8.

La lyophilisation est une déshydratation par sublimation (c'est le passage directe de l'eau, de l'état solide à l'état de vapeur sans passer par l'état liquide) à basse température et sous pression.

Les échantillons sont lyophilisés à une température de -40°C et une pression de 10^{-1}atm , pendant 48h.

IV.3.3.3. Broyage

Le sédiment est broyé en poudre fine dans un mortier en porcelaine. Cette étape est permet de libérer les polluants incrustés dans les particules du sédiment.

Après avoir obtenue une poudre fine, les sédiments sont homogénéisés à l'aide d'un agitateur mécanique. L'homogénéisation permet donc de répartir uniformément tous les polluants au niveau des particules sédimentaires.

Les échantillons sont remis dans des piluliers pour les conservés.

IV.3.3.4. Extraction au Soxhlet

Il s'agit d'une extraction solide liquide. Le Soxhlet permet d'extraire, par lessivage, tous les hydrocarbures contenus dans le sédiment avec un mélange de solvants en phase liquide ou partiellement vaporisés.

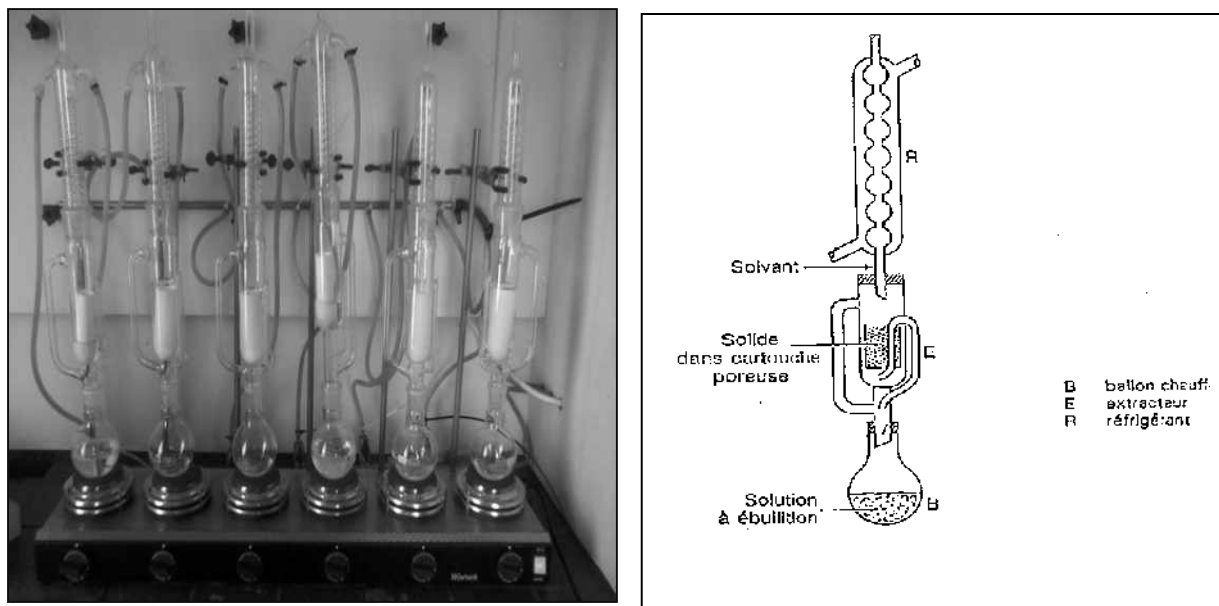


Figure 15 : Extracteur Soxhlet.

Le dispositif Soxhlet contenant une cartouche en cellulose remplie avec une quantité de 5g de l'échantillon est fixé sur un réservoir de solvant constitué d'hexane et de dichlorométhane (50:50), contiennent quelque grain de Boiling chips, et surmonté d'un réfrigérant. Le solvant est vaporisé puis condensé, et reste en contact avec l'échantillon. L'extract s'enrichit petit à petit et l'échantillon est toujours mis en contact avec le solvant pour une durée de 8h.

Remarque : Pour le conditionnement des cartouches une extraction à blanc à été effectués avec le solvant pendant 4h. Ainsi, pour chaque série d'échantillons passés par l'extraction, un blanc est pris en considération.

IV.3.3.5. Concentration

L'extract récupéré est concentré par l'évaporateur rotatif puis sous jet d'azote (suivant les mêmes étapes effectuées pour l'eau) et enfin récupéré dans un tube à essai conditionné.

IV.3.3.6. Traitement au mercure

Les sédiments marins contiennent une partie importante de soufre, particulièrement ceux qui sont riches en matière organique. Cet élément interfère beaucoup dans les analyses en chromatographie en phase gazeuse.

Le traitement s'effectue par l'ajout de quelques gouttes de mercure à l'échantillon, suivi par une agitation de 3 minutes avec un agitateur vibrant. Lorsque le soufre est piégé par le mercure, ce dernier noirci. L'opération est répétée autant de fois que nécessaire et cela jusqu'à ce que le mercure garde sa couleur d'origine.

IV.3.3.7. Purification

Cette opération est identique à celle décrite pour l'eau de mer, avec une petite modification concernant la quantité d'alumine qui est de 10g et 5g pour le gel de silice.

IV.3.4. Méthodes d'analyses des hydrocarbures

L'étude du comportement des hydrocarbures au sein des masses d'eau, des interactions entre le milieu fluide et le sédiment, de leur action sur la faune et la flore, demande la mise au point de méthodes analytiques spécialement adaptées. Des difficultés restent encore à résoudre avant d'obtenir des techniques donnant entièrement satisfaction.

Parmi les techniques qui ont été mise en œuvre pour l'analyse des HC, les méthodes spectrales avec la chromatographie en phase gazeuse qui offrent des résultats particulièrement satisfaisants du point de vue quantitatif et qualitatif. Du point de vue quantitatif, la méthode globale d'estimation des hydrocarbures par infrarouge, bien que moins sensible et moins précise que des méthodes d'analyse fine des constituants, est intéressante par sa rapidité de mise en œuvre. Elle donne un indice global de contamination par les hydrocarbures totaux et s'avère adaptée au contrôle de routine ou au suivi de pollution accidentelle (**Roussel, 1983**)

Dans cette étude, nous avons utilisés la Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet.

IV.3.4.1. Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V)

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.

La réponse de fluorescence de la SFUV fournit un excellent indice de pollution pétrolière, du fait des très faibles teneurs en hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin. La SFUV est beaucoup plus sensible que la SIR (Spectrométrie à infrarouge) : la limite de détection est de l'ordre de 0,1 g/l pour l'eau de mer (**Roussel, 1983**).

IV.3.4.1.1. Principe de la méthode d'analyse

La Spectrofluométrie UV mesure l'émission de fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation UV. La réponse de fluorescence des substances excitées est fonction de leur structure moléculaire. Elle ne s'applique pas aux liaisons de valence C-H (hydrocarbures aliphatiques), elle s'applique aux molécules qui possèdent des liaisons doubles conjuguées, par conséquent aux hydrocarbures aromatiques des pétroles. Parmi les composés les plus fluorescents figurent les hydrocarbures polyaromatiques (**Marchand, 1983**).

IV.3.4.1.2. Appareillage

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont analysés avec un Spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10s (montré par la figure 17), équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1.5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm. L'appareil contient des cellules en quartz de 1 centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces. Un volume minimal de 0,5ml d'échantillon est suffisant à l'analyse.



Figure 16 : Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI.

IV.3.4.1.3. Etalonnage et préparation des standards.

Le chrysène est l'étalon de référence utilisé dans notre étude, et celui préconisé par CIO.

La préparation des standards est effectuée à partir d'une solution mère d'une concentration de 100 μ g/l, obtenue à partir de 1mg de chrysène dissous dans un 10ml d'hexane.

A partir de cette solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles, utilisés comme série d'étalon.

Tableau 5 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.

Standards	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration (μ g/ml)	0,2	0,4	0,6	0,8	1

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

IV.3.4.1.4. 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.
- Ouverture des fentes d'excitation et d'émission respectivement égale à 2 nm et 5 nm.
- plaçant une fraction de l'extrait dans une cuve en quartz de 1cm de trajet optique.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$\mathbf{IF = a C + b \dots\dots\dots (1)}$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

C : concentration en hydrocarbures polyaromatiques HPA (en µg/ml)

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

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.

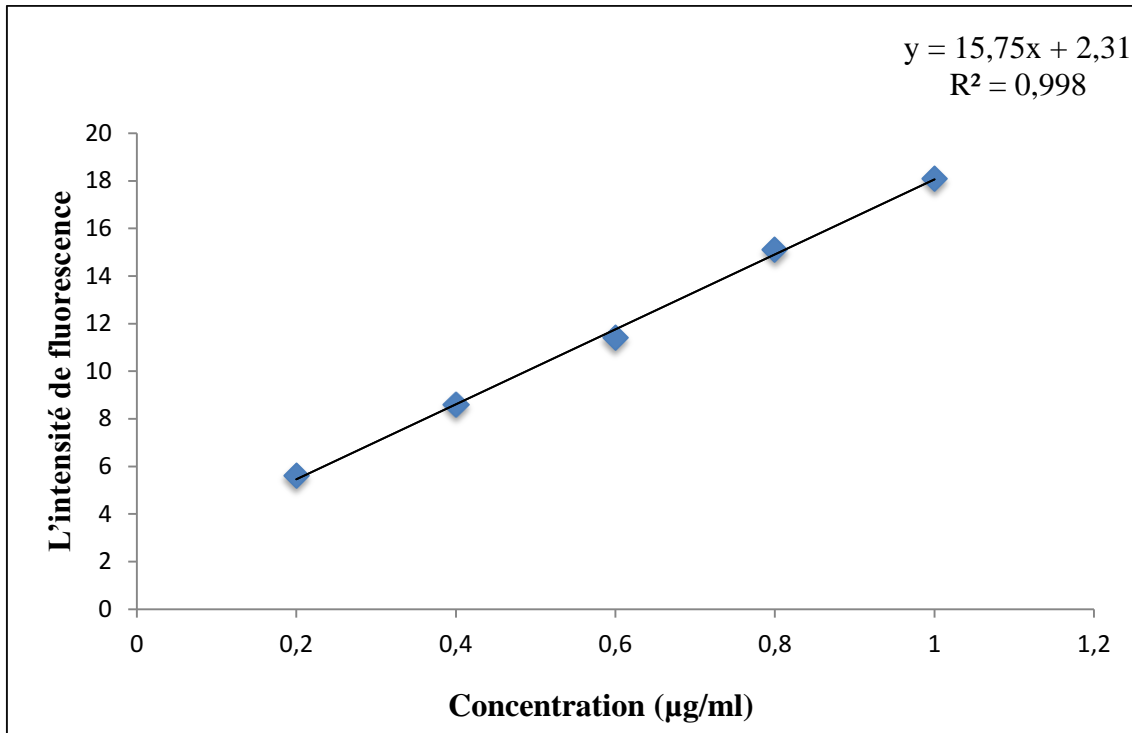


Figure 17 : Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA

IV.3.4.1.5. Mode de calcul des concentrations

Les HAP sont déterminés à partir de la relation suivante, soit

❖ Pour l'eau :

$$[\text{HAP}] = C_e \times V_p / V_f \dots\dots\dots (2)$$

[HAP] : concentration finale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'échantillon d'eau en µg/l.

C_e : Concentration de l'extrait obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

V_p : volume finale de l'extrait de la fraction F2 en ml.

V_f : volume de l'échantillon en L.

❖ Pour le sédiment

$$[\text{HAP}] = (C_e - C_b) \times V_p / p \dots\dots\dots (3)$$

[HAP] : Concentration finale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'échantillon de sédiment en µg/g.

C_e : Concentration de l'extrait obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

C_b : Concentration du blanc obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

V_p : Volume finale de l'extrait de la fraction F2 en ml.

p : Poids sec de l'échantillon en gramme.

IV.3.5. Quantification de la matière organique dans les sédiments

Par la connaissance des propriétés physiques des hydrocarbures, il existe un phénomène d'association de ces derniers avec la matière organique. Selon **Grimalt et al (1988)** " 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...".

Une étude de la matière organique à été effectué selon la manière suivante :

- Après le broyage du sédiment, une quantité de chaque échantillon est pesés avec précision dans des creusets en porcelaine, soit P1.
- Passés au four à moufle à 600°C pendant deux heures.
- Pesée du nouveau poids P2 après refroidissement

La différence de ces deux poids (P1, P2) nous donne celui de la matière organique brûlée :

$$\text{M.O (g)} = P1 - P2 \dots\dots\dots (4)$$

Avec :

- ✓ P1 : poids du creuset avant séchage
- ✓ P2 : poids du creuset après séchage

Chapitre V

Résultats et Discussions

Chapitre V : Résultats et Discussions

Les analyses obtenues faits pour les hydrocarbures sont réalisés au niveaux du laboratoire, alors que les paramètres physicochimiques on été effectués in situ, au bord de navire Récif. Ci-dessous le tableau qui regroupe toutes les résultats obtenus de la baie d'Alger.

Tableau 6 : Variations des paramètres étudiés au niveau de la baie d'Alger.

Stations	T (°C)	S (psu)	O.D (mg/l)	pH	M.O (g)	HAP dans l'eau (µg/l)	HAP dans les sédiments (µg/g)
ST1	23,7	36,2	5,07	8,43	1,03	3,28	7,13
ST 2	23,6	36,4	4,59	8,46	0,87	2,98	4,22
ST3	23,8	36,3	5,17	8,44	1,22	3,61	9,08
ST4	23,5	36,7	5,7	8,46	0,79	1,73	3,27
ST5	23,4	36,6	5,8	8,45	1	6,46	14,64
Moyenne	23,6	36,64	5,26	8,45	0,98	3,61	7,67
Ecartype	0,15	0,23	0,49	0,01	0,16	1,74	4,53

Avec : maximum, minimum

V.1. Variations des paramètres physicochimiques

Les variations de ces paramètres semblent être assez homogènes, et cela est probablement dû aux conditions météorologiques (pendant la période de prélèvement les conditions météorologiques étaient caractérisées par une agitation des eaux).

V.1. 1. Température

Les températures mesurées reflètent la période saisonnière (estival) en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles.

Les valeurs obtenues varient entre 23,4 et 23,8 °C avec une moyenne de 23,6°C. Cette homogénéisation est due aussi à l'influence des apports continentaux au niveau des Oueds El-Hamiz et El Harrach allant de l'Est vers l'Ouest.

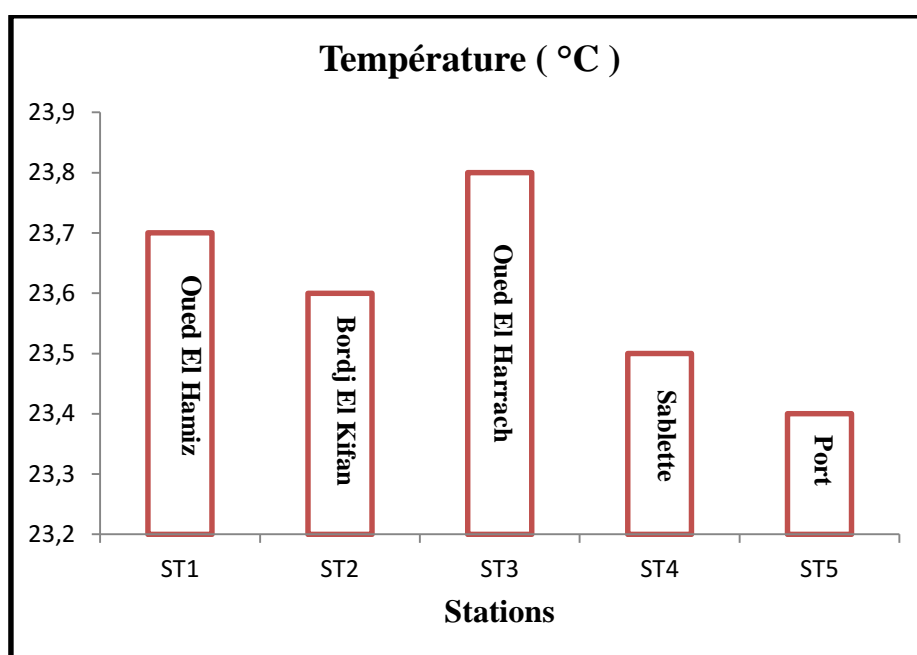


Figure 18 : Variation de la température au niveau de la baie d'Alger.

V.1. 2. Salinité

L'augmentation de la température durant cette période fait que l'évaporation de l'eau de mer serait importante, pour cela les valeurs obtenues varient entre 36,2 et 36,7 psu, avec une moyenne de 36,64 psu et un écartype de 0,23.

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 (**Bachouche, 2010**).

On peut remarquer que la salinité dans la baie d'Alger est influencée d'une part par les eaux d'atlantique qui sont légèrement mélangées avec l'eau méditerranéenne le long de son parcours, sous l'effet du vent de secteur Nord-Ouest Nord, et d'autre part par les apports des eaux de ruissellement qui déversent l'eau douce d'autre part. Cela est expliqué par la proximité des stations de port et des oueds.

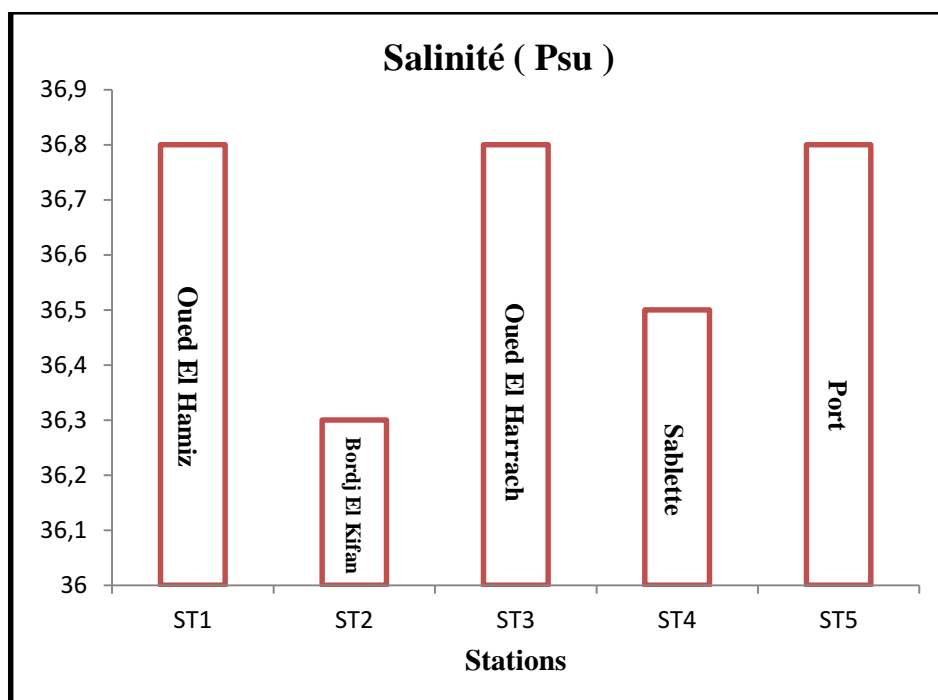


Figure 19 : Variation de la salinité dans la baie d'Alger.

V.1. 3. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH dans la baie d'Alger varie entre 8,43 et 8,46 avec une moyenne de 8,45 et un écartype de 0,01. Alors que le pH de l'eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones (**Barnabe et al., 1997**).

On peut remarquer que les valeurs de pH enregistrées sont élevées, bien que la variation de ce paramètre entre les différentes stations soit négligeable. Cette augmentation pourrait être due aux apports d'eaux continentales par des rejets urbains et industriels, en relation avec les conditions météorologiques et l'hydrodynamique.

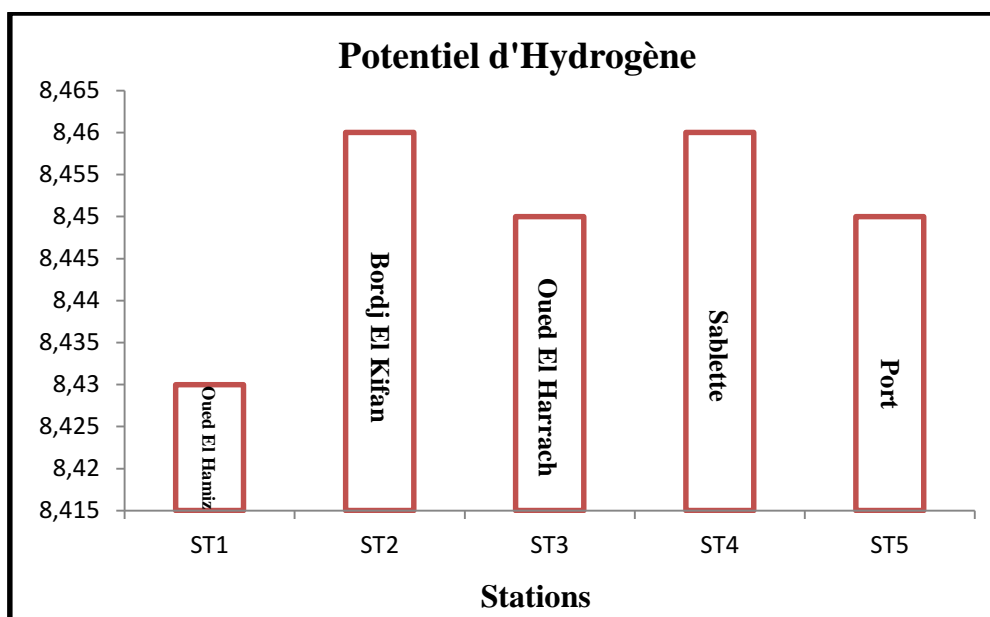


Figure 20 : Variation du pH dans la baie d'Alger.

V.1. 4. Oxygène dissous (OD)

Les teneurs d'oxygène varient entre 4,59 et 5,8 mg/l avec une moyenne de 5,26 mg/l et un écartype de 0,49.

La teneur la plus élevée est observée au niveau de ST5 situé au niveau de la passe d'entrée du port. Cette oxygénation est due à l'hydrodynamique qui permet le renouvellement continu des eaux de surface. En allant de l'Ouest vers l'Est, on remarque une diminution de cette teneur caractérisés par une consommation d'oxygène par le processus de reminéralisations de la matière organique en provenance des eaux usées, et en relation avec le mouvement des eaux de surface par l'action du vent NWN, et cela marqué surtout au niveau de la ST 2 'Bordj El Kifan' situé au milieu des deux embouchures.

D'une façon générale les teneurs en l'oxygène dissous dans les eaux de la baie sont supérieures à 5mg/l et cela est dû à l'important phénomène de brassage des eaux donc à l'échange air-mer et à l'activité photosynthétique.

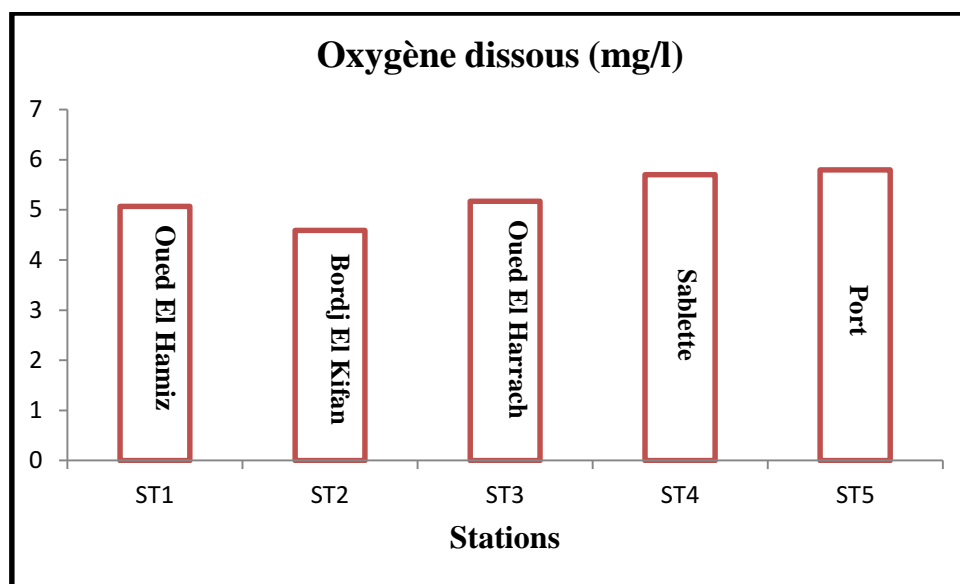


Figure 21 : Variation de l'oxygène dissous dans la baie d'Alger.

V.2. Variations des paramètres mesurés au laboratoire

V.2.1. Matière organique (MO)

Les quantités de la MO dans les sédiments sont élevées, et varient entre 0,79 et 1,22 g du poids sec, avec une moyenne de 0,98 g et un écartype de 0,16.

Ces quantités élevées sont observées au niveau de Oued el Harrach, Oued el Hamiz et le port d'Alger respectivement, avec une variabilité moins négligeable au niveau de Bordj el Kifan et Sablette. Pour cela on peut distinguer l'importance des apports continentaux des nutriments au niveau des Oueds et du port proviennent des différentes destinations (industries, urbaine et domestiques) influencés par l'hydrodynamiques et la granulométrie.

En général la matière organique résultant de l'activité biologique dans la couche de surface coule en profondeur par l'effet de la gravité, cette MO subit des transformations physiques, chimiques et biologiques le long de la colonne d'eau de mer pour atteindre le fond sous un état de dégradation et se poursuivra par des minéralisations aérobies (**Boulaïdid, 1987**).

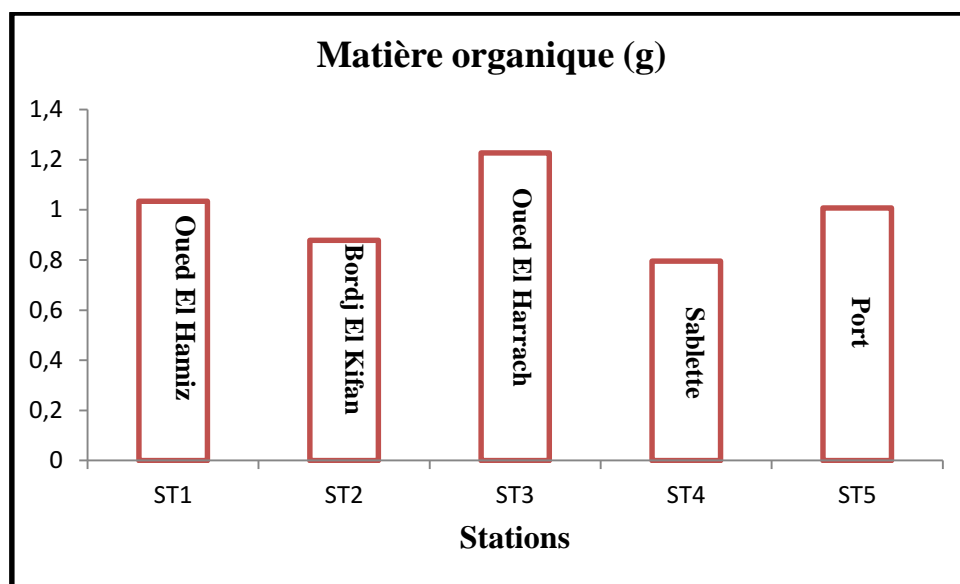


Figure 22 : Variation de la matière organique dans les sédiments de la baie d'Alger.

V.2.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer

Les concentrations des HAP dans l'eau de mer sont élevées au niveau de la baie d'Alger, varient entre un minimum de 1,73 $\mu\text{g/l}$ et un maximum de 6,64 $\mu\text{g/l}$ avec une moyenne de 3,61 $\mu\text{g/l}$ et un écartype de 1,74.

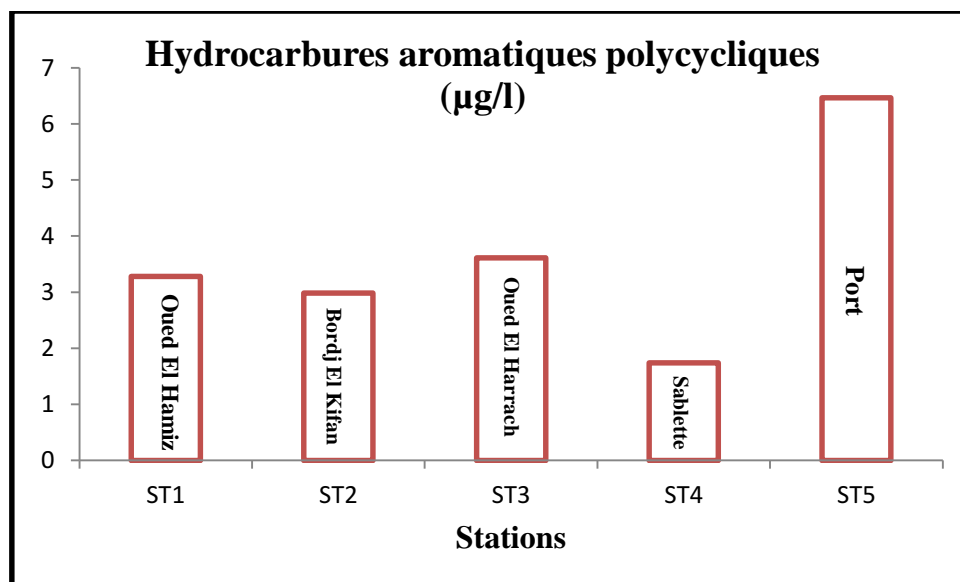


Figure 23 : Variation des HAP dans l'eau de la baie d'Alger.

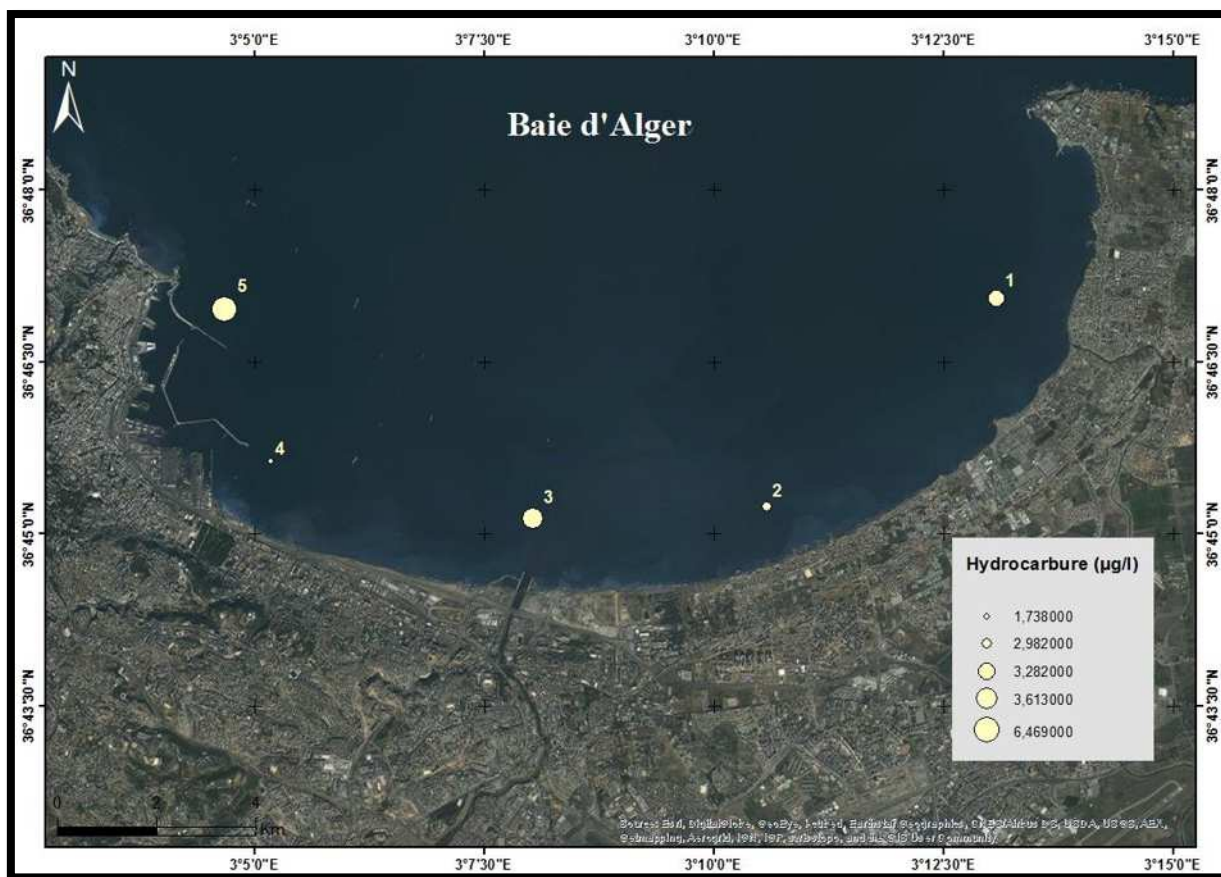


Figure 24 : Distribution des HAP dans les eaux de surface de la baie d'Alger.

Les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin (**Fattal et al., 2008**).

Ces teneurs importantes localisés au niveau de la baie sont en relation avec l'hydrodynamique et particulièrement le vent marqué pendant les prélèvements d'une part, et avec les apports continentaux et atmosphériques, ainsi que l'intensité du trafic maritime d'autre part. Pour cela on peut distinguer :

Au niveau des stations 1 et 3 situés respectivement à Oued El Hamiz et El Harrach sont marqués par des concentrations importantes (3,28 µg/l et 3,61 µg/l), et cela est probablement dû aux apports continentaux domestiques, fluviaux et industriels qui rejettent des quantités non négligeables au milieu marin sans aucuns traitements préalables.

Au niveau de la station 2 situé à Bordj El Kifan avec une teneur de 2,98 µg/l, cette concentration est plus ou moins importante, peuvent être causée par les mouvements des eaux qui transportent les HAP de la station 1 par l'action du vent Nord-Ouest Nord vers cette station. Ainsi la localisation de cette station en milieu de deux embouchures favorise l'élévation de la teneur en HAP. Selon **Lacaze (1980)** 'Le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants'. Et celle-ci est bien

Chapitre V : Résultats et Discussions

expliquée au niveau de la station 4 situé à la Sablette avec une teneur minimal en HAP de 1,71 µg/l.

Au niveau de la station 5 située dans la passe d'entrée du port, qui marque la teneur maximale des HAP avec 6,64 µg/l, cette valeur est expliquée par l'importance du trafic maritime, ainsi que les activités industriels différentes et variées (raffinerie, stockage, centrale thermique...etc.) que le port renferme des dont les rejets s'affectent dans ce milieu semi-fermé. Les concentrations en hydrocarbures seraient aussi dépendantes de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port. Les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent à elles seules des valeurs allant de 25 à 33% de la capacité utile (Bachouche, 2010).

Voici un tableau qui regroupe quelques études précédentes sur les hydrocarbures dans l'eau au niveau de la baie d'Alger.

Tableau 7 : Les études précédentes sur les HAP dans l'eau de mer de la baie d'Alger.

Zones d'études	Concentrations (µg/l)	Références
La baie d'Alger	0,35-5,74	Kemmoum (1989)
la baie d'Alger	3-6	Tounsi (1989)
Méditerranée Sud-Occidentale	0,9-6	Sellali (1996)
Le port d'Alger	1,51-5,14	Louchami (2006)
la baie d'Alger	0.23- 4	Bachari-Houma (2007)
Le port d'Alger	1,7-5,3	Mechekef (2009)
Le port d'Alger	1,43-5,15	Bachouche (2010)
La baie d'Alger	0,87-5,02	Boudjellaba et Dehane (2012)
La baie d'Alger	1,71-6,64	Présent étude

Selon UNEP/IOC/IAEA, (1995) les HAP d'origine biogène peut être l'une des principales causes de ces grandes concentrations dans le milieu marin (Louchami, 2006).

A l'issue d'une comparaisons avec nos résultats, on peut constater une augmentation de la teneur des hydrocarbures dans la baie d'Alger. Et cela peut être expliqué de la manière suivante :

- L'importance de l'influence des apports anthropiques sur la qualité de l'eau de mer de surface.
- L'atmosphère joue un rôle distingué dans l'apport des HAP à la mer qui rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau pour se lier aux matières en suspension.
- Les apports de la matière organique jouent un rôle important dans l'augmentation des teneurs en HAP dans les couches superficielles, surtout en période estival avec

Chapitre V : Résultats et Discussions

l'augmentation de la salinité et l'activité photosynthétique. Ce qui expliquerait en partie les teneurs extrêmes retrouvées dans la majorité des stations de prélèvements.

- Les HAP prélevés seraient en majorité dissous et en petite quantité. Le non fonctionnement de la station d'épuration favorise l'enrichissement du milieu marin en HAP.
- L'influence des ports est forte avec le non fonctionnement de la station de déballastage, le risque de contamination ne fait qu'amplifier. Les pétroliers videraient leur ballast directement dans l'eau de mer, cette situation expliquerait ces teneurs élevées.
- Certaines algues phytoplactoniques (*Pavloca lutheri*), en présence des hydrocarbures réduisent leur métabolisme, leur photo respiration et leur division cellulaire et meurent (**Lambert-Castel et Penot, 1981 in Louchami, 2006**). Cette létalité enrichirait le milieu marin en matière organique et donc en hydrocarbure.

La combinaison et la complexité de ce processus expliquent l'hétérogénéité de la distribution des HPA à la surface de l'eau de mer. Cependant, les fortes teneurs rencontrées indiquent que l'équilibre entre les apports et les processus d'élimination est rompu. Ces concentrations extrêmes signifieraient que les apports en HPA sont de loin plus importants que toutes les voies de sortie des HPA du milieu marin.

V.2.3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments

Les teneurs élevées des HAP en les retrouve souvent dans les sédiments par apport à la surface de l'eau.

Dans la baie d'Alger les concentrations des HAP dans les sédiments varient entre 3,27 et 14,64 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 7,67 $\mu\text{g/g}$ et un écartype de 4,53.

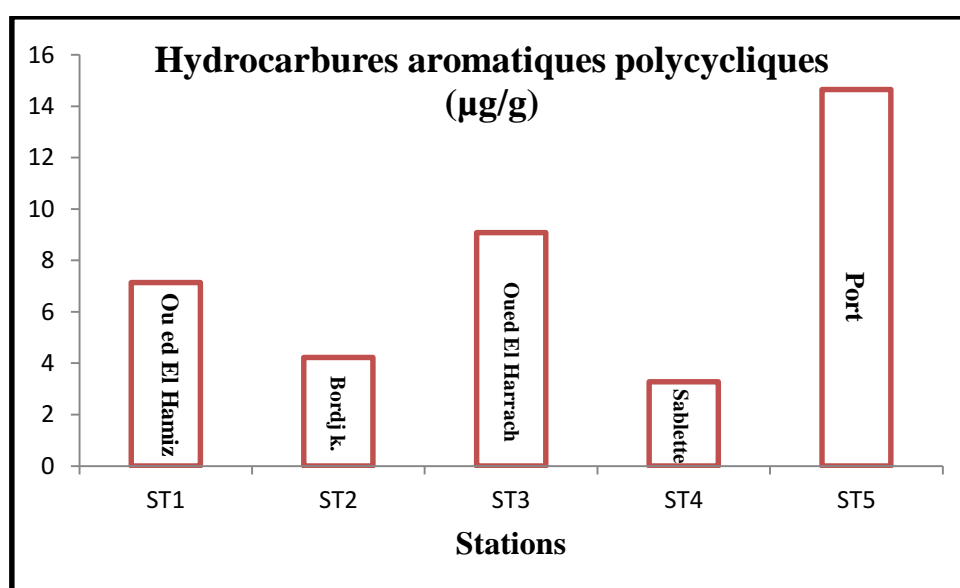


Figure 25 : Variation des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.

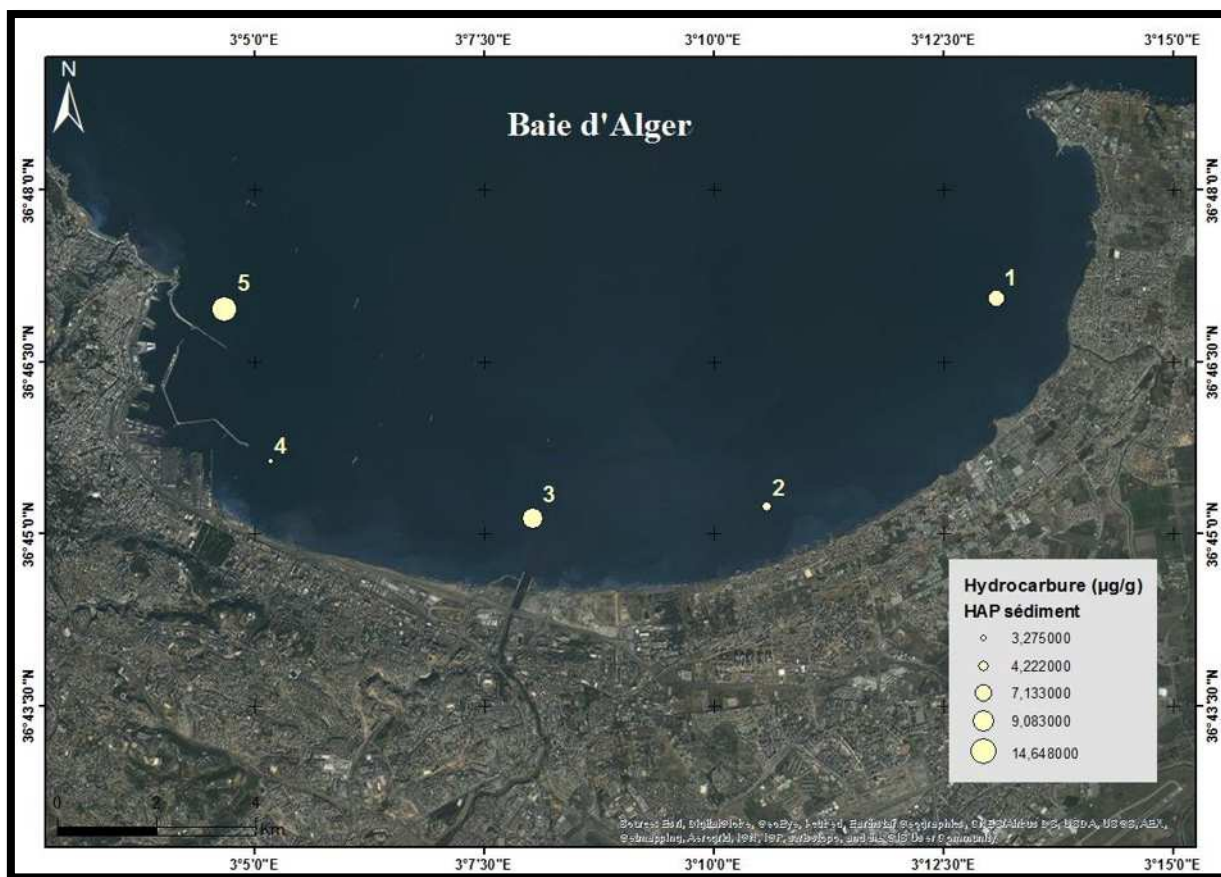


Figure 26 : Distribution des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.

Ces valeurs importantes sont probablement dues au positionnement des stations des prélèvements par rapport au port et aux embouchures des Oueds, et en relation avec les conditions hydrosédimentaires et granulométriques.

La valeur la plus élevée se localise au niveau de la station 5 située dans la passe d'entrée du port avec une teneur de 14,64 µg/g, rappelons que dans la même station les teneurs en HAP dans l'eau sont aussi élevées. Ces résultats nous conduisent à constater l'intensité du trafic maritime, les activités portuaires, et les apports d'eau usées via les différentes destinations d'une part, et les quantités des matières organiques importantes incorporées avec les HAP décantés et accumulés dans le sédiment au fil du temps, en relation avec la nature du sable 'sable fin' qui piège beaucoup plus les hydrocarbures d'autre part.

Au niveau de la station 1 située en face Oued el Hamiz et la station 3 située aussi en face Oued El Harrach, on a retrouvés des concentrations importantes en HAP avec 7,13 µg/g et 9,08 µg/g respectivement. La position des deux stations au centre de deux grandes sources des apports des eaux usées à partir des rejets industriels, pétroliers et urbains de la ville d'Alger riches en matière organique, et qui les rendent un lieu d'accumulation. Ces concentrations sont en relation avec la nature sédimentaire des fonds, soit sable vaseux à l'embouchure du Oued El-Harrach, et soit sable fin au niveau d'Oued El Hamiz.

Chapitre V : Résultats et Discussions

La station 2 situé a Bordj El Kifan caractérisés par la présence des HAP a une concentration plus au moins importante avec 4,22 µg/g, cette station peut être connue une contamination par les apports d'eau usées au niveau des deux emboucheurs transportés par les courants et accumulés dans le sédiment de nature sable fin qui favorise cette teneurs élevé.

Une autre contamination situé au niveau de la station 4 'Sablette' avec une concentration de 3,27µg/g, du à l'activité portuaire et au apport de Oued El Harrach, en relation de la granulométrie 'sable vaseux' qui adsorbe trop les HAP.

Voici ce tableau qui représente quelques études à été faites sur les HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.

Tableau 8 : les études précédentes sur les HAP dans les sédiments de la baie d'Alger.

Zones d'études	Concentrations (µg/g)	Références
la baie d'Alger	0,14-19,58	Sadouni et Chouakri (1996)
La baie d'Alger	0,9-6	Sellali et al (1996)
Le port d'Alger	2,99-10,71	Mechekef (2009)
La baie d'Alger	2,92-9,67	Boudjellaba et Dehane (2012)
La baie d'Alger	3,27-14,64	Présent étude

D'après ce tableau, on peut dire que nos résultats sont comparables avec les travaux précédents, assisté avec une augmentation des teneurs des HAP dans chaque année.

D'une façon générale, et d'après nos résultats, on peut constater à une augmentation de la pollution par les HAP au niveau de la baie d'Alger.

Conclusion

Conclusion

L'évaluation de degré de contamination de la baie d'Alger par les hydrocarbures polyaromatiques, est l'objectif principal de cette étude.

Pour atteindre cette objectif, plusieurs prélèvements on été effectués lors d'une sortie en mer en période estival, pour différentes stations le long de cette baie. A cet effet, deux matrices ont été étudiées, à savoir l'eau et le sédiment marin. Ce dernier est considéré comme le réservoir final auxquels sont acheminée la plupart des contaminants.

Les résultats des analyses quantitatives par Spectrofluométrie à Ultra Violet, confirme l'existence d'une pollution causée par la présence des teneurs élevées des hydrocarbures polyaromatiques, dans l'eau 6,46 µg/l, et dans les sédiments 14,64µg/g.

La nature sédimentaire de la baie d'Alger joue un rôle primordial dans la rétention des HAP, en relation avec les propriétés physiques et chimiques de ces derniers avec la granulométrie du sédiment d'une part, et la courantologie d'autre part.

La baie d'Alger est caractérisée par un trafic maritime important sans oublier le caractère pétrolier du port d'Alger, rappelant que ce dernier est classé en 4^{eme} position en transport d'hydrocarbures après Arzew, Skikda et Bejaïa. Ainsi, cette baie représente un siège de multiples sources de pollution (la ville d'Alger, oued El-Hamiz, et oued El-Harrach).

A la fin on peut conclure que la baie d'Alger est contaminée par les hydrocarbures polyaromatiques, et cette contamination a une tendance à augmenter d'une année à l'autre.

Il est recommandé de prendre en considération cette élévation de degré de pollution dans cette zone, en prenant compte des éventuelles conséquences qui peuvent toutefois affecter l'environnement marin. En perspective, il serait souhaitable de pensé à :

- ✓ L'emploi et le respect d'une réglementation rigoureuse et à la sensibilisation de la population sur la qualité des eaux rejetées par les industries polluantes.
- ✓ L'implantation des stations d'épuration des eaux usées sur les différentes sources.
- ✓ Une étude de la courantologie au niveau de la baie d'Alger pour comprendre la dynamique des eaux et par conséquent les différentes voies de pollution.

Bibliographie

AMIARD, J.C. (2011). Les risques chimiques environnementaux : méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Ed. Lavoisier, Paris : 782 p.

AMINOT, A., CAUSSE-PIED, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Ed. CNEXO, Brest (France) : 395 p.

AMINOT, A., KEROUEL, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Ed. Ifremer, France : 336 p.

BACHARI HOUMA, F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse Doctorat d'Etat, Université du Val de Marne .Paris XII: 274 p.

BACHIR BEY, N., AYACHE, M. (2011). Impact de la pollution marine par les hydrocarbures sur la qualité de l'eau et des sédiments de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'Etat, ENSSMAL : 90 p.

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.

BADJ, R. (2000). Niveaux, sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels du littoral Est de l'Algérie. Mémoire D'ingénieur d'Etat, ISMAL : 54 p.

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

BENZOHRRA, M. (1993). Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb, 9-11 novembre 1992, INOC : 33-44.

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

BENCHIKH, S. (1999). Niveaux de contamination des sédiments superficiels du Golfe d'Arzew par les hydrocarbures pétroliers : caractérisation des sources et origines. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ISMAL : 65 p.

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

BERTRAND, A. (2000). Transport maritime et pollution accidentelle par le pétrole : Faits et chiffres (1951-1999). Ed. TECHNIP, Paris : 146 p.

BOCARD, C. (2006). Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures- enjeux environnementaux et traitement des pollutions. Edition.TECHNIP, France : 295 p.

BOUDJELLABA, Dj., DEHANE, Dj. (2012). Etat de la pollution par les hydrocarbures dans les eaux et les sédiments superficiels dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur d'Etat, ENSSMAL : 94p.

BOUGHRIRA, A. (2012). Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bousmail. Thèse Magister, ENSSMAL : 147p.

BOULAHIDJ, M., (1987). Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer : étude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. Thèse de doctorat, université de Paris VII : 241p.

BOULAHIDJ, M., et al. (2003). Les eaux de la baie d'Alger : quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. Annales de l'Institut National Agronomique-El Harrach-Vol 24 n°1 et 2 ,2003.

BOULOUBASSI, SALIOT. (1995). Dissolved particulates and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal environment : geochemical significance. Marine chemistry : p-127-143.

BROMAN, D., et al. (1988). A multi-sediment –trap study on the temporal and spatial variability of polycyclic aromatic hydrocarbons and lead in a anthropogenic influenced archipelago. Environ.Sci.Technol., Vol.22, N°10, p.1219-1228.

BURNS K, A., SALIOT, A. (1986). Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean sea: A mass Balance. Marine Chemistry, 20, Elsevier Science Publishers B.V, pp.141-157.

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

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

GAUJOUS, D. (1995). La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, technique et documentation, 2ème Ed : 220p.

GAUMER, Gisèle. (1981). Evolution annuelle des communautés microplanctoniques de la baie d'Alger: variations de la composition spécifique liées à la nature du facteur nutritionnel limitant la biomasse algale .Ed. Université Pierre et Marie Curie, Paris : 91 p.

GRIMAL, J.O., ALBAIGES, J. (1988). Aerosol transport of polynuclear aromatic hydrocarbons over the Mediterranean sea. Naturwissenschaften, 75, p.39-42.

- HALMANN, M.M. (1996).** Photodegradation of waters pollutants. (CRC Press,Eds.) , 310p.
- 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, F. (2007).** Caractérisation des polluants de la cote algéroise et oranaise par analyse physico-chimique avec corrélation des données satellitaires. Thèse Doctorat d'Etat, USTHB : 260 p.
- IVANOFF, A. (1975).**Introduction à l'océanographie: propriétés physiques et techniques des eaux de mer (tome 2).Ed. Vuibert, Paris : 340 p.
- KENNISH, M. (1997).** Pratical handbook of estuarine and marine pollution. Ed. CRC.Press.p 524.
- LACAZE, J C. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. *Ed Masson, Paris. 117p.*
- LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent algérien). Mémoire Museum Histoire Naturelle. Paris Sr C, 24, 391p.
- LEROY, J.B. (1986).**La pollution des eaux. Ed. Presse universitaire, Paris : 127 p.
- LEM. (1999).** LABORATOIRE D'ETUDES MARITIME. Etude de délimitation d'une zone D'extraction de sable en baie d'Alger.
- LEFEBVRE, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures. Ed. TCHNIP, Paris : 284 p.
- LOUCHAMI, M. (2006).** Evaluation de la pollution par les hydrocarbures totaux et polyaromatiques : Application au port d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état, ISMAL : 61 p.
- MARCHAND, M. (1983).** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluométrie U .V. in CNEXO (ed).p. 329-336.
- MAKHOUKH.M., et al. (2011).** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielle de l'Oued Moulouya (Maroc oriental).Publié par Larhyss Journal, Algérie, p 149-169.
- MECHEKEF, Y. (2009).** Evaluation de la contamination par les hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau et le sédiment superficiel dans le port d'Alger : cartographie des polluants. Mémoire d'ingénieur d'état, ENSSMAL : 66p.
- MEGUELLATI, A., SRAOUI, A. (2012).** Les métaux traces dans les sédiments et les biotes du milieu marin dans les deux baies d'Alger et Bou-Ismaïl. Mémoire Ingénieur d'état, ENSSMAL : 64p.

- MILLOT, C. (1987).** Circulation in the western Mediterranean sea. *Oceanologica Acte*. Vol 10; .n°2, p: 143- 149.
- RAMADE. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition Ediscience international.428p.
- RODIER, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 8^{ème} édition, Paris : 1384 P.
- RODIER, J. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 9^{ème} édition, Paris : 1579 P.
- ROUBAH.M., et al. (2005).** Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia. Contrat ISMAL-APPL, 74p.
- ROUSSEL, JC. (1983).** Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrofluométrie I.R. in CNEXO. Ed. p 321-327.
- SADOUNI, N., COUAKRI, S., (1996).** La pollution par les hydrocarbures dans la baie d'Alger : sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels. Mémoire Ingénieur d'état, ISMAL : 76p.
- SAKER, H. (2007).** Analyse et dosage des hydrocarbures présents dans les eaux de mer du littoral de Skikda. Thèse Magister, Université du 20 - Août 1955 - SKIKDA : 120 p.
- SALIOT, A., BOULOUBASSI, J., (1992).** Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtiers-Hydroécol.Appl., tome4, Vol 2, p. 9-21.
- SELLALI, B. (1996).** Pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée Sud-Occidentale : contamination de l'eau et du sédiment superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse Magister, ISMAL : 118p.
- SELLALI, B., et al. (1993).** Contamination des sédiments de la côte algérienne par les hydrocarbures polyaromatiques. Workshop sur la circulation des eaux et la pollution des côtes Méditerranéennes des pays du Maghreb, Rabat (MAROC). Publié par INOC, IZMIR-Turquie, p167-169.
- 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 : 284p.

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 : 60p.

Les annexes

Annexe 1

Tableau des stations de la baie d'Alger effectué le 27 juin 2014.

Nom des stations	Signe des stations	Latitude	Longitude	heure de prélèvement	Nature du sédiment	Profondeur (m)
Oued El-Hamiz	ST1	36°47,046	3°13,074	13h05	sable fin avec débris coquille	15
Bordj El-Kifan	ST2	36°45,239	3°10,576	12h20	sable fin	17
Oued El-Harrach	ST3	36°45,132	3°08,026	11h35	sable vaseux	10
Sablette	ST4	36°45,626	3°05,184	10h35	sable fin vaseux	15
Port	ST5	36°47.333	3°04,457	10h05	sable fin	34

Annexe 2

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

Produit liquide	Marque	Matrice utilisée	Etape d'utilisation
Hexane (C ₆ H ₁₄)	B.D.H	Eau et sédiment marins	Extraction Purification fractionnement
Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂)	R.D.H Pestanal®	Eau et sédiment marins	Extraction Purification Fractionnement
Acétone (C ₃ H ₆ O)	Fluka chemika.	/	Rinçage de la verrerie.

Annexe 3

Tableau des Référence et utilisation des produits chimiques solide dans le traitement des hydrocarbures

Produit solide	Marque	Matrice utilisée	Etape d'utilisation
Gel de silice (SiO ₂)	B.D.H	Eau et sédiment	fractionnement des hydrocarbures en chromatographie sur colonne ouverte.
Alumine (AL ₂ O ₃)	B.D.H	Eau et sédiment	fractionnement de l'échantillon en chromatographie sur colonne ouverte.
sulfate de sodium anhydre (Na ₂ SO ₄)	B.D.H	Eau et Sédiment	Pouvoir déshydratant