

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 D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème :

**Etat de la pollution par les hydrocarbures du sédiment
superficiel dans le port d'Alger (Bassin Mustapha)**

Présenté par:

- Mr. MAMECHE Abdelaziz
- Mlle. TOUINA Amal

Soutenu le 05/10/2015 devant le jury suivant :

M ^{me} . BACHARI H.	Professeur	Présidente (ENSSMAL)
Mme. GHAZI M.	Maitre de conférence	Examinatrice (ENSSMAL)
Mr. KHADRAOUI S.	Maitre assistante	Examineur (CRD)
M ^{me} . HAMDI S.	Maitre de conférence	Promotrice (ENSSMAL)

Promotion : (2014-2015)

Remerciements

Nous tenons à remercier ALLAH le Tout Puissant, pour le courage et la patience qu'il nous a offerts, afin de réaliser ce travail.

Ce travail a été réalisé au sein de laboratoire de ENSSMAL, associée au CRD (centre de recherche et de développement), sous la direction de Mme Hamdi Safia (enseignantes à ENSSMAL) et Mme Houma Bachari (directrices d'études et enseignante à ENSSMAL) et de Mr. khodja et Mr. khadraoui de CRD à qui nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance pour nous avoir accueilli dans leurs laboratoires, pour l'aide précieuse qu'ils nous ont toujours apportées.

Nous adressons également nos plus vifs remerciements à Mme Hamdi Safia pour l'encadrement de ce mémoire auquel elle a manifesté beaucoup d'intérêt, ainsi pour sa patience et l'amitié qu'elle nous a témoignées.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous font Mme le Professeur BACHARI H. (directrices d'études et enseignante à ENSSMAL), en acceptant d'être le président de jury de notre ingéniorat. Nous sommes très heureux de bénéficier de leurs observations et nous tenons à leur exprimer notre sincère reconnaissance pour cette marque d'intérêt.

Que Mme GHAZI M. (enseignante à ENSSMAL) et Mr KHADRAOUI (CRD) trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Le travail exposé dans ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans le soutien et l'amicale attention de Mr MEKKI et Mr BOUKORT à qui nous reconnaissons nos profonds et sincères remerciements d'être nos guides à toute étape de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mlle DJAHNIT N. et Mr ZERROUKI M. (doctorant à ENSSMAL), Mme KHAN, Mme SAADI, Mr MENAA pour leur disponibilité et leur aide si efficace.

Nous remercions aussi toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à notre famille et nos amis.

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique.

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

cSt : Centistokes, unité de viscosité.

CCME : Conseil canadien des ministres de l'environnement.

CEDRE : Centre de Documentation, de Recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux.

Cogral : Entreprise des corps gras d'Alger.

CPG : Chromatographie phase gazeuse.

E : Est.

ΔE : Potentiel d'électrode.

ELIROWA : Entreprise de Construction de bâtiments divers.

ENCG : Entreprise Nationale des Corps Gras.

EPAL : Entreprise portuaire d'Alger.

Éq : Equation.

Erenav : Entreprise nationale de réparation navale.

EVP : Donteneurs équivalents vingt pieds (unité).

FID : Détecteur d'ionisation à flamme.

GPS : Global Positioning System.

GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Pollution.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

HCP : Hydrocarbure pétrolier.

IARC : International Agency for Research on Cancer,(www.iarc.fr).

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

ITOPF : International Tanker Owners Pollution Federation.

MES: Matière en suspension.

MO : Matière Organique.

MOP : Matière organique particulaire.

Moy : moyenne.

NAFTEC : Société Nationale de Raffinage de Pétrole

Liste des abréviations

NE : Nord-Est.

NRC : National Research Council.

NTP : National Toxicologic Program.

OD : Oxygène dissous.

ONM : Office National de la Météorologie.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : potentiel d'hydrogène.

PSU : practical salinity unit.

S : Salinité.

SEMPAC : Société nationale des semouleries, meuneries, fabriques de pâtes alimentaires et Cousous

S.O.N.A.TRA.M : Société Nationale des TRAvaux Maritimes.

St : Station.

SW : Sud-Ouest.

T : Température.

UNEP : United Nations Environment Programme.

US-EPA : Agence américaine de Protection de l'Environnement.

.

USNWS: United States Naval Weather Service.

W : Ouest.

ZSM : Zone Spéciale Marine.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : répartition par classes chimiques par précipitation des asphaltènes en chromatographies phase liquide (source : www.ifp.fr in Fattal P., 2008).

Tableau I.2 : Valeurs de quelques indices moléculaires caractérisant l'origine des HAP (Thompson., 1999 in Geffard O.,2001).

Tableau I.3: Propriétés physico-chimiques des 16 HAP prioritaires (Selon (INERIS, 2005).

Tableau I.4: Epaisseur moyenne d'une nappe d'hydrocarbures durant les premières heures qui suivent le déversement de pétroles bruts en mer (Marchand N., 1999 in Almulsi E., 2011).

Tableau I.5: Estimation des quantités d'hydrocarbures évaporées (source : Marchand, 1998 et CEDRE, 2000 in Fattal P., 2008).

Tableau I.6: Comparaison de la solubilité (mg/l) des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques en fonction de leurs degrés de volatilité (Marchand N., 1999 in Fattal P., 2008).

Tableau III.1 : Référence et utilisation des produits chimiques solides dans le traitement des hydrocarbures dans le sédiment.

Tableau III.2 : Référence et utilisation des produits chimiques liquides dans le traitement des hydrocarbures dans le sédiment.

Tableau IV.1: Les paramètres physico-chimiques enregistrés au niveau du port d'Alger.

Tableau VI.2 : Les concentrations des hydrocarbures enregistrés au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha).

Liste des figures

- Figure I.1:** Liste des 16 HAP classés prioritaires par l'US-EPA.
- Figure I.2 :** les processus de vieillissement des hydrocarbures en mer (sources : ITOPF, 2012).
- Figure I.3:** Etalement d'une nappe de pétrole (ITOPF, 2000 in Almulse E., 2011).
- Figure I.4 :** Dissolution des hydrocarbures en mer (ITOPF, 2000 in Almulse E., 2011).
- Figure I.5:** Emulsification des hydrocarbures en mer (ITOPF, 2000 in Almulse E., 2011).
- Figure II.1 :** Situation du port au niveau du baie d'Alger (in Koroghli A., 2010).
- Figure II.2 :** Ouvrages du port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990 modifié).
- Figure II.3 :** Localisation des unités industrielles et les rejets dans le port d'Alger (EPAL modifié).
- Figure II.4:** Circulation des eaux dans le Port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990).
- Figure III.1:** Positionnement des stations de prélèvement sur le bassin Mustapha au niveau du d'Alger.
- Figure III.2 :** valises multi-paramètres HANNA HI9828 Ph/ORP/DO.
- Figure III.3 :** bouteille de prélèvement de type NISKIN.
- Figure III.4 :** benne « Van Veen ».
- Figure III.5 :** les boites des échantillons.
- Figure III.6:** Valise multi-paramètre HANNA HI9828 pH /ORP/ DO.
- Figure III.7:** pH-mètre Seven Compact (METTLER TOLEDO).
- Figure III.8 :** Rompe de filtration
- Figure III.9 :** Balance de précision 10^{-5} .
- Figure III.11:** Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dans le sédiment superficiel marin.
- Figure III.13:** Lyophilisateur (CHRIST BETTA 1-8).
- Figure III.14:** Le broyage à l'aide d'un mortier en porcelaine.
- Figure III.15:** L'extraction des hydrocarbures L'extraction à l'aide d'un extracteur Soxhlet.
- Figure III.16:** concentration par l'évaporateur rotatif.
- Figure III.17:** concentration sous jet d'azote.
- Figure III.18 :** préparation de la colonne pour chromatographie.
- Figure III.19 :** Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.
- Figure III.20:** Chromatogramme (Taleb-Bendiab S-A., 1975).
- Figure III.21 :** Chromatographe de marque Clarus 580 (PerkinElmer).
- Figure III.22 :** courbe d'étalonnage.
- Figure IV.1:** Variation de la température dans le bassin Mustafa du port d'Alger.
- Figure IV.2:** Variation de la Salinité dans le bassin Mustafa du port d'Alger.
- Figure IV.3:** Variation de l'oxygène dissous dans le bassin Mustafa du port d'Alger.

Liste des figures

Figure IV.4: Variation de pH dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

Figure IV.5: Variation de la matière en suspension dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

Figure IV.6: Variation de M.O.P dans l'eau du bassin Mustapha du port d'Alger.

Figure IV.7: Variation de la matière organique dans le sédiment du bassin Mustafa du port d'Alger.

Liste des Annexes

Tableau 1: Effets des hydrocarbures sur certaines populations marines (OMI/PNUE, 2002).

Tableau 2 : coordonnées géographiques des stations de prélèvement.

Tableau 3 : Composition de la solution tampon pH (TRIS) dans l'eau de mer artificielle de salinité 35 selon Dikson 1994.

Sommaire

Introduction	15
---------------------------	----

Chapitre I : Généralités

I. la pollution marine.....	19
I.1. Définition de la pollution marine.....	19
I.2. Les principaux types de pollution.....	19
I.2.1. La pollution chimique.....	19
I.2.2. La pollution physique	19
I.2.3. La pollution microbiologique.....	20
I.3. Les paramètres physico-chimiques.....	20
I.3.1. la température.....	20
I.3.2. la salinité.....	20
I.3.3. L'oxygène dissous (OD).....	20
I.3.4. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	21
I.4. Les paramètres indicateurs de la pollution	21
I.4.1. les matières en suspension (MES)	21
I.4.2. la matière organique (MO)	21
II. La pollution par les hydrocarbures :.....	22
II.1. Définition des hydrocarbures	22
II.2. Propriétés physiques des hydrocarbures	22
II.2.1. La densité	22
II.2.2. La viscosité	23
II.2.3. Le point d'écoulement	23
II.2.4 Le point éclair.....	23
II.2.5 Le point d'ébullition	23
II.2.6 La tension superficielle	23
II.3. Classification des hydrocarbures	23
II.3.1. Les hydrocarbures aliphatiques	23
II.3.1.1. Les hydrocarbures saturés	23
II.3.1.1.1. les alcanes linéaires	24
II.3.1.1.2. les alcanes ramifiés.....	24
II.3.1.1.3. les cyclo alcanes	24
II.3.1.2. Les hydrocarbures insaturés	24
II.3.2. Les hydrocarbures aromatiques	24
II.3.3. Les asphaltènes et les résines	24
II.3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.....	25
II.3.1. Généralités	25
II.3.2. Origines des HAP.....	26
II.3.3. Toxicité	26
II.3.4. Propriétés physico-chimiques des HPA.....	27
II.3.4.1. Les propriétés chimiques	27
II.3.4.2. Les propriétés physiques	28

III. Sources des hydrocarbures dans le milieu marin.....	29
III.1. Les sources naturelles	29
III.2. les sources ou les apports anthropogènes.....	29
III.2.1. les apports chroniques	29
a)-Transport maritime	29
b)- L'exploitation de gisements marins.....	29
c)- Retombées atmosphérique	29
d)- Apports continentaux	29
III.2.2. les apports accidentels	30
IV. Comportement des hydrocarbures dans l'eau de mer.....	30
IV.1. Les altérations physiques	31
IV.1.1. Etalement	31
IV.1.2. Evaporation	31
IV.1.3. Dissolution (<i>Solubilisation</i>).....	32
IV.1.4. Emulsification	33
IV.1.5. Flocculation.....	34
IV.1.6. Sédimentation au fond	34
IV.2. Les modifications chimiques.....	34
IV.2.1. Photooxydation	34
IV.2.2. Biodégradation	35
VI. Toxicité des hydrocarbures	35
VI.1. Génotoxicité et cancérogénicité	35
VI.2. Effets sur la reproduction et le développement.....	36
VI.3. Autres effets	36

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II. Présentation générale du port d'Alger.....	38
II.1. Situation géographique	38
II.2. Historique	39
II.3. La pollution dans le port d'Alger.....	40
II.3.1. Bassin Mustapha.....	40
II.3.2. Bassin Agha.....	40
II.3.3. le bassin Vieux Port.....	40
II.4. Paramètres météo-océanologiques.....	41
II.4. 1. Les données météorologiques.....	41
II.4. 1. 1. Le vent	41
II.4. 1. 2. Température	41
II.4. 1. 3. Pluviométrie	42
II.4.2. La circulation des eaux dans le port	42
II.5. Caractères bathymétrique et sédimentologiques.....	43
II.5. 1. Bathymétrie	43

II.5.2.Sédimentologie	43
-----------------------------	----

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Choix et localisation des stations du prélèvement.....	46
III.2. Préparation du matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures.....	47
III.3. Prélèvement et échantillonnage	47
III.3.1. Pour la mesure des paramètres physicochimiques.....	47
III.3.2. L'extraction des hydrocarbures	48
III.3.3. Mesure des paramètres physicochimiques.....	49
III.4. Analyses au laboratoire.....	49
III.4.1.Mesure du pH	49
III.4.1.1. Appareillage	50
III.4.1.2. Etalonnage de l'appareil.....	50
III.4.1.3. Mesure du pH.....	51
III.4.2.Mesure de la matière en suspension et la matière organique particulaire.....	51
III.4.2.1.Mesure de la matière en suspension.....	51
III.4.2.2. La matière organique dans l'eau de mer.....	52
III.4.3.Détermination du taux de la matière dans le sédiment	53
III.4.4.Analyse des hydrocarbures	53
III.4.4.1.Préparation des produits d'analyse.....	54
III.4.4.2.Traitement du sédiment superficiel marin pour l'analyse des hydrocarbures...	55
III.5. Technique d'analyse des hydrocarbures	61
III.5.1. La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)	61
III.5.2. Principe de CPG.....	61
III.5.3. Etalonnage	63
III.5.3.1. Préparation du solvant d'extraction	63
III.5.3.2. Mélanges d'étalonnage.....	63

Chapitre IV: Résultats et Discussions

IV. Variation des paramètres physico-chimiques	66
IV.1.La température	66
IV.2.la salinité	67
IV.3. L'oxygène dissous.....	68
IV.4. Potentiel d'hydrogène (pH).....	69
IV.5. Matières en suspension.....	69
IV.6.Matière organique particulaire	70
IV.7. Matière organique dans le sédiment	71
IV.8. Résultats des analyses des hydrocarbures.....	72
Conclusion	75
Bibliographie	
Annexes	

Introduction Générale

Introduction générale

L'intensité des activités humaines dans des régions entourant des mers fermées et semi-fermées, telle que la mer Méditerranée, a toujours à long terme une forte incidence environnementale se traduisant par la dégradation côtière et maritime, ainsi que par un risque aggravé de dommages plus sérieux (Domingo *et Lucien*, 1999). Les milieux marins, plus spécialement les milieux côtiers sont donc soumis à de perpétuels changements d'origine physique, chimique et bactériologique (Alain *et Roger*, 2004 *in Boudraa et al.*, 2011) et sont considérés comme des lieux fragiles et sensibles d'après Bouras *et al.* (2007).

Par ailleurs, ces milieux sont des ressources essentielles à la vie en général et aux sociétés humaines en particulier, dont il faut surveiller la qualité en prévenant les pollutions de toutes natures. Citons la pollution par les hydrocarbures (pétrole), qui représentaient encore en 2009, 81 % de la demande mondiale d'énergie primaire. Dans ce sous-ensemble, la part du pétrole était de 33 % (Beall *et Feretti*, 2012). L'extraction, le transport et l'utilisation de cette source d'énergie entraînent des risques de pollution (accidentelle et chronique) pour l'environnement pouvant influencer l'équilibre écologique et parfois entraîner la destruction de l'écosystème (Bouchez *et al.*, 1996 *in Bordjiba*, 2009). Nombreuses sont les études, qui évaluent entre 0.7 et 1.3 million de tonnes de rejets annuels d'hydrocarbures en Méditerranée (CGPM-FAO, 1972 *in Remili et al.*, 2014).

La Méditerranée est désignée par la Convention MARPOL, comme Zone Spéciale Marine « ZSM », dans laquelle tout rejet d'hydrocarbures est strictement interdit. Mais en ne représentant que 1% de la surface des mers du globe, 28% du pétrole mondial et 30% du trafic de la planète y transite (Carsin *et al.*, 1998 *in Remili et al.*, 2014). La côte algérienne n'échappe pas à cette réalité, elle constitue une voie de navigation et de transit préférentiel des pétroliers et des tankers dans le bassin occidental. La mer est déjà souillée par les hydrocarbures et les produits des cuves des pétroliers lors de nettoyage ou de naufrage. Un déversement de plus de 500.000 tonnes d'hydrocarbures a été signalé par Dekhil S., (1992).

Le port d'Alger est un port semi-fermé, où convergent les rejets urbains d'une ville de près de deux millions d'habitants, comprenant une importante zone industrielle et commerciale avec des aires de stockage et de manutention ainsi que des secteurs réservés

Introduction générale

aux activités liées à la pêche et à la plaisance, qui peuvent entraîner une détérioration du milieu dont les conséquences tant sur le plan qualitatif que quantitatif se font sentir ([Rebzani-Zahaf et al., 1996](#)).

Les sédiments sont avant tout le lieu de vie et de ponte de nombreux organismes. Mais ils constituent également une source de contamination à long terme des eaux de surface et de la chaîne alimentaire en accumulant les polluants adsorbés sur les particules sédimentées ([Ecotox, 2012](#)). Le compartiment sédimentaire, ne devrait pas être négligé car sa contamination peut engendrer des effets délétères qui doivent être considérés dans la surveillance des écosystèmes aquatiques ([Ecotox, 2012 in Rouidi S., 2014](#)). Les sédiments constituent donc un biotope privilégié pour rechercher de l'état de pollution d'un écosystème aquatique ([Mearns et al.1986 in Lacaze J-C., Paquet F., 1989](#)). De ce fait, de nombreux travaux se sont intéressés à la matrice sédimentaire qu'à celle de l'eau ([Sellali et al., 1993](#)).

Dans cette optique plusieurs conventions internationales ont été adoptées pour la responsabilité et la réparation des dommages dus à la pollution par les hydrocarbures ([Albakjaji M.,2011](#)), tels que les conventions de 1969, la convention de 1992, et les fonds internationaux d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures Fipols, la convention MarPol, MedPol).

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention entre l'école ENSSMAL et le centre de développement et de recherche du SONATRACH (CRD) afin d'évaluer la pollution par les hydrocarbures de la matrice sédimentaire du port d'Alger, notamment le bassin Mustapha en utilisant la méthode de chromatographie en phase gazeuse (CPG).

Afin de satisfaire cet objectif, ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Une synthèse bibliographique sur la pollution et les hydrocarbures figure dans ce mémoire comme premier chapitre, permettra de mettre en évidence la pollution par les hydrocarbures (définitions, classification, principales caractéristiques physico-chimiques, les impacts...). Un deuxième chapitre permet la présentation de la zone d'étude suivi d'un troisième chapitre consacré aux réalisations expérimentales, ainsi que les principaux protocoles et les outils utilisés au cours de ce travail dans le but de réaliser les prélèvements, la conservation et l'analyse des échantillons. Les résultats expérimentaux

Introduction générale

obtenus font l'objet d'un quatrième chapitre, qui traite les paramètres physico-chimiques à savoir le pH, la température, la salinité et l'oxygène dissous, la matière en suspension et la matière organique, puis les résultats obtenus à l'issue de l'analyse des hydrocarbures dans le sédiment marin.

Enfin, une conclusion clôturera ce mémoire.

Synthèse bibliographique

I. La pollution marine :

La pollution marine due aux activités anthropiques est devenue une préoccupation environnementale mondiale qui met en danger l'ensemble de l'écosystème marin

I.1. Définition de la pollution marine :

Elle est définie par le **GESAMP** comme l'introduction par l'homme dans le milieu marin, y compris les estuaires, directement ou indirectement des substances ou d'énergie pouvant entraîner des effets délétères tels que dommage aux ressources biologiques, danger pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (pêche), diminution de la qualité de l'eau de point de vue son utilisation et réduction de possibilités offertes dans le domaine des loisirs ([Revue maritime trimestrielle., 1861](#) ; [Ramade F., 2000](#)).

Ainsi l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) fournit la définition suivante : « la pollution des milieux aquatiques est définie comme étant, toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques ou tout rejets de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau d'une façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue de la santé, de la sécurité et du bien-être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique ».

De même La définition de la pollution marine est donnée par le premier rapport du Conseil sur la Qualité de l'Environnement de la Maison Blanche (1965), étant «...une modification défavorable du milieu naturel, comme un sous-produit de l'action humaine...». ([Ramade F., 2000](#)).

I.2. Les principaux types de pollution :

I.2.1. La pollution chimique :

Cette pollution est due à des substances en solution ([Leroy J-B., 1986](#)) indésirables dans la composition chimique de l'eau de mer ([Kankou M., 2004](#)). Elle se traduit par un changement de saveur (eaux salées ou saumâtres), parfois par l'apparition d'un caractère toxique lorsque le corps dissous est un poison ([Leroy J-B., 1986](#)). Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols. ([Ramade F., 2000](#)).

I.2.2. La pollution physique:

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

Les apports d'eaux chaudes diminuent la solubilité de l'oxygène du milieu, provoquant ainsi des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse ([Bellan et Perres, 1994 in Bachouche S., 2010](#)).

I.2.3. La pollution microbiologique :

Parmi ses agents causals, nous citons:

- Les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus : Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetés en mer.
- Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctonique est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates (Koroghli A., 2010).

I.3. Les paramètres physico-chimiques indicateurs de pollution :

I.3.1. La Température :

La température est avec la salinité, un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu (Aminot A., 2004). Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et donc des courants, elle permet de plus l'étude du mélange des masses d'eaux. La principale application physico-chimique est la détermination de la valeur de saturation des gaz dissous et en particulier de l'oxygène. La température joue un rôle important dans les cycles biologiques qui ont des répercussions sur la pêche : reproduction, référendum thermique,... (Aminot A., 1983).

I.3.2. La salinité :

La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Elle représente la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer. Elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la cote ou dans les estuaires (Aminot A., 1983).

I.3.3. L'oxygène dissous (OD) :

Ce paramètre détermine la qualité du milieu (Aminot et Chausse-Pied., 1983), et gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Aminot et Kerouel., 2004). C'est la variable environnementale qui a le plus évolué au cours des dernières décennies dans les écosystèmes côtiers (Diaz et al., 1995 in Koroghli A., 2010). Le déficit en oxygène est évalué par la teneur en matière oxydable (Rodier J., 2005). La concentration d'oxygène dissous dans l'eau résulte des processus physiques, chimiques et biologiques :

- Température, échange air-mer, pression atmosphérique et salinité.
- Diffusion et mélange au sein de la masse d'eau,
- Photo-oxydation (perte) et Oxydation chimique (perte),
- Respiration des organismes aquatiques, y compris la minéralisation (perte),
- Nitrification (perte),
- La photosynthèse et la régénération.

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

Souvent aussi important que la concentration, le pourcentage d'oxygène par rapport à la saturation est un élément nécessaire à l'étude d'un système aquatique. La dissolution de l'oxygène dans l'eau et en effet régie par des lois physiques et dépend de la pression atmosphérique, de la pression de vapeur saturante, de la température de l'eau et de la salinité (Aminot A., 1983).

I.3.4. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2, est principalement fixé par la présence des carbonates ($\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$). La modification des concentrations en CO_2 (respiration, photosynthèse, échanges air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entrainera donc une modification du pH. En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux continentales sont la cause de variations du pH qui s'avère dans ce cas un indice de pollution (Aminot A., 1983).

I.4. Les paramètres indicateurs de la pollution :

I.4.1. Les matières en suspension (MES) :

D'après Ivanoff (1972) , en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origine minérale ou organique, vivantes ou détritiques, de nature biogéniques, terrigènes, éoliennes et en fin météoriques. Elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires. Les matières en suspension comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 μm et elles peuvent être un indice de pollution. (Koroghli A., 2010).

L'impact de MES sur l'eau se traduit par la diminution de la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique. D'autre part, elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (Aminot et Chausse-Pied., 1983).

Dans les océans, la concentration de MES est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus grandes teneurs en MES sont observées au niveau des milieux côtiers et estuariens.

La détermination des matières en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable, car le devenir de ces deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration (Koroghli A., 2010).

I.4.2. La matière organique (MO) :

Les produits organiques retrouvés dans l'eau sont extrêmement diversifiés. Ils peuvent être en suspension, en solution, former une phase différente (huiles par exemple).

Les molécules organiques sont caractérisées par une structure carbonée, les autres éléments principaux étant l'hydrogène, l'oxygène, l'azote le soufre et le phosphore. Les molécules organiques ont une origine biologique (photosynthèse), ils sont initialement remaniés par les êtres vivants (biochimie) mais aussi au travers de phénomènes géologiques ou par l'activité humains (Gaujous D., 1995).

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

Bien qu'il n'y ait pas de classification bien établie dans la multitude des molécules organiques, nous distinguerons (Gaujous D., 1995):

- Les matières organiques « naturelle » d'origine biologique récente (animal, végétal, bactérienne),
- Les hydrocarbures,
- Les produits de synthèses « fabriqués » par l'homme.

II. La pollution par les hydrocarbures :

La pollution des mers par le pétrole est l'une des formes de dégradation les plus visibles et dont on parle le plus. C'est aussi une pollution très particulière, car son action est à la fois physique (engluement), chimique (en raison de l'effet toxique des hydrocarbures ingérés) et fertilisante (les hydrocarbures sont des matières organiques) (Lacaze J-C., 1996).

Le pétrole est une huile minérale plus au moins fluide, visqueuse, combustible, qui est constituée de mélange de nombreuses molécules gazeuses, organiques, liquides, solides, de soufre, et de métaux, de divers hydrocarbures. Ces derniers représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts (Fattal P., 2008).

II.1. Définition des hydrocarbures :

D'après Standards et Pancanadians (2008), le terme « hydrocarbure pétrolier » (HCP) est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou dérivés de ces matières. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires qui sont des composants (résines et asphaltènes) qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (Lefebvre G., 1978). Ils sont, dans des conditions normales de température et de pression, solides (paraffine), liquides (essences, pétrole, etc.) ou gazeux (méthane, butane, etc.). (Lescole C., 2002).

II.2. Propriétés physiques des hydrocarbures :

Dans la nature, les hydrocarbures se présentent le plus souvent sous la forme d'un liquide que l'on appelle le pétrole brut. Il existe cependant des gisements d'hydrocarbures gazeux, et plus exceptionnellement des gisements d'hydrocarbures solides sous forme de sables ou de schistes bitumeux. Le pétrole brut est un mélange d'hydrocarbures que l'on doit séparer par raffinage pour obtenir des produits utilisables. L'opération de raffinage donne des produits gazeux, liquides et solides (Marchand N, 1999 in Almulsi E., 2011).

II.2.1 La densité :

La densité d'un hydrocarbure détermine sa capacité à flotter. La plupart des hydrocarbures flottent sur l'eau (densité variante entre : 0.8 – 1.0) à l'exception de certains pétroles bruts et résidus de raffinage lourds. Il faut noter que la densité des mélanges d'hydrocarbures augmente avec le temps au fur à mesure que les fractions volatiles s'évaporent, ce qui peut faire couler les parties résiduelles des mélanges (Marchand N, 1999 in Almulsi E., 2011).

II.2.2 La viscosité :

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Cette viscosité traduit une mesure de la résistance à l'écoulement et elle s'exprime en centistokes (cSt- viscosité cinématique) pour une température donnée. Cette propriété régit la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis le degré de pénétration dans les sédiments lorsqu'elle arrive à la côte. En effet plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (Owens, 1994 in Fattal P., 2008). La viscosité diminue lorsque la température augmente et elle s'accroît par l'évaporation des composés volatiles, par l'oxydation photochimique et surtout par formation d'émulsion inverse qui modifie le comportement initial du produit (Fattal P., 2008).

II.2.3 Le point d'écoulement :

Le point d'écoulement est la température en dessous de laquelle un hydrocarbure ne s'écoule plus. Si la température ambiante est inférieure à son point d'écoulement, le produit en question se comporte comme un solide (Marchand N, 1999 in Almulsi E., 2011).

II.2.4 Le point éclair :

Le point éclair est la plus basse température à laquelle les fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumises à une étincelle. Certaines essences ont des points d'éclair à 40°C alors que le mazout, que l'on trouve communément dans une chaudière, à un point d'éclair aux alentours de 55°C (Fattal P., 2008).

II.2.5 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. A contrario, il faut des températures plus de 100°C pour évaporer les hydrocarbures lourds. Ainsi un pétrole déversé, au cours d'une journée chaude et ensoleillée, voit une partie de sa fraction passer de la phase liquide à la phase gazeuse. Avec l'évaporation, les hydrocarbures restant deviennent plus visqueux et plus denses (Fattal P., 2008).

II.2.6 La tension superficielle :

La tension superficielle dépend de la température et permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbures. Plus la température augmente plus la tension superficielle diminue et plus la vitesse d'étalement est importante. Dans ce cas, de vastes surfaces ont touchées par l'étalement (Fattal P., 2008).

II.3. Classification des hydrocarbures :

II.3.1. Les hydrocarbures aliphatiques :

II.3.1.1. Les hydrocarbures saturés

Dans lesquelles toutes les liaisons C-C sont des liaisons simples, c'est-à-dire résultent de la mise en commun de deux électrons. On les appelle les hydrocarbures saturés car ils ne peuvent pas fixer d'éléments supplémentaires à ceux qui constituent leurs molécules (Lefebvre G., 1978). Parmi lesquels, on distingue :

II.3.1.1.1. les alcanes linéaires (*n*-alcanes, C_nH_{2n+2}) :

Ce sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés à chaîne ouverte droite, dont la longueur de la chaîne varie de 7 à 40 atomes de carbone, ils constituent une des classes les plus abondantes (10 à 40 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier) (Soltani M., 2004).

II.3.1.1.2. les alcanes ramifiés :

Les plus abondants sont les *iso*-alcanes (groupement méthyle en position 2), les autres composés ramifiés antéiso (groupement méthyle en position 3) ou poly-ramifiés tels que les isoprénoïdes (exemple: pristane, phytane) sont beaucoup moins nombreux. Ces composés se trouvent dans le pétrole brut dans des proportions sensiblement égales à celles des *n*-alcanes. Par contre le pétrole brut d'origine fossile ne contient en général pas d'alcènes (Soltani M., 2004).

II.3.1.1.3. les cyclo alcanes (naphtènes) :

Les chaînes hydrocarbonées peuvent se fermer sur elle-même en formant des cycles (5 ou 6 atomes de carbone) saturés et le plus souvent substitués. Quelques dérivés polycycliques sont aussi présents et certains d'entre eux tels les stéranes et les triterpanes sont caractéristiques d'un pétrole brut. Cette famille peut représenter entre 30 et 50 % des hydrocarbures totaux d'un pétrole brut (Soltani M., 2004).

II.3.1.2. Les hydrocarbures insaturés (oléfines et Acétyléniques) :

Dans lesquels une ou plusieurs liaisons C-C sont des liaisons multiples c'est-à-dire résultent de la mise en commun de quatre ou de 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 G., 1978).

II.3.2. Les hydrocarbures aromatiques :

La molécule contient de 1 à 6 cycles benzéniques (C_6H_6). Les hydrocarbures aromatiques sont le benzène qui comprend un anneau aromatique à 6 atomes de carbone (un cycle aromatique), le naphthalène (deux cycles), l'anthracène (trois cycles), le chrysène et le pyrène (quatre cycles). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) forment généralement 40% (entre 15 et 40%) des pétroles bruts (Fattal P., 2008),

II.3.3. Les asphaltènes et les résines :

Les asphaltènes :

Les asphaltènes de pétrole sont des fractions à poids moléculaire élevé qui sont insolubles dans les paraffines à bas poids moléculaire (*n*-pentane) mais solubles dans certains solvants aromatiques comme le toluène, la pyridine ou le benzène.

En plus des atomes de carbone et d'hydrogène, les asphaltènes contiennent des hétéroatomes d'azote, de soufre, ou d'oxygène, ainsi que d'autres composants à l'état de traces tels que le

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

nickel et le vanadium (Marchand., 1998 in Fattal P., 2008). Certains pétroles ont dès l'origine une concentration élevée en asphaltènes (jusqu'à 50% de leurs poids) (Fattal P., 2008). Cette teneur tend à augmenter lors du séjour du pétrole dans le milieu marin en raison de l'évaporation des fractions légères ainsi que des phénomènes d'oxydation. En matière de pollution marine, la concentration des asphaltènes détermine les propriétés du pétrole en influençant directement sur la viscosité (Fattal P., 2008).

Les résines :

Les résines sont considérées comme homologues des asphaltènes, avec un poids moléculaire inférieur et une structure moins condensée (Djelti F., 2012). Ils sont riches en carbone, composés d'enchevêtrements de plus de six molécules de types benzénique. Ce groupe de composés très stable est généralement le plus persistant dans les littoraux car ils forment des goudrons (tableau I) (Fattal P., 2008).

Tableau I.1 : répartition par classes chimiques par précipitation des asphaltènes en chromatographies phase liquide (source : www.ifp.fr in Fattal P., 2008).

Famille (%m /m)	Fioul d'origine prestige	Fioul Erika
saturés	23.0	25.0
Aromatiques	54.0	55.0
Résines	12.5	13.0
Asphaltènes	10.3	7.0
Insoluble au DCM (dichlorométhane)	0.2	0.0

II.3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

II.3.1. Généralités

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) constituent une classe diversifiée de composés organiques contenant deux ou plusieurs noyaux aromatiques (benzéniques) fusionnés qui à forte concentration, peuvent être toxiques pour le biote aquatique (CCME, 1999). Certains HAP peuvent contenir des structures cycliques comportant moins de six atomes de carbone (p. ex., acénaphthylène, acénaphène et fluorène). Dans d'autres HAP, le remplacement d'un atome de carbone du noyau benzénique par un atome d'azote, de soufre ou d'oxygène détermine la formation des composés aromatiques hétérocycliques (McElroy et coll., 1989 ; Wilson et Jones., 1993 in CCME, 1999). De plus, les atomes d'hydrogène de l'HAP d'origine peuvent être remplacés par des alkyles (p. ex., 2-méthylnaphtalène). La position des substituants alkyles a une très grande incidence sur la cancérogénicité des HAP (Neff., 1979), et l'alkylation peut ralentir la vitesse de minéralisation (dégradation) microbienne de l'HAP (Heitkamp et Cerniglia, 1987 in CCME, 1999).

II.3.2. Origines des HAP :

Les HAP ont trois origines ; la plus important est la source pyrolytique qui correspond à la combustion incomplète de la matière organique à haute température (Neff., 1979 ; McElroy *et al.*, 1989 in GEFARD O.,2001). La seconde est pétrogénique, elle correspond à tous les déversements de pétrole dans l'environnement (naturels ou anthropiques). Enfin la dernière, moins importante, est la diagenèse précoce, processus qui transforme les dépôts sédimentaires et les roches en pétrole. (Neff., 1979 ; McElroy *et al.*, 1989 in Geffard O.,2001).

Les divers processus de formation des HAP génèrent des distributions différentes pouvant être utilisées comme empreinte moléculaire. Plusieurs indices (rapport de la concentration entre deux HAP) ont été développés afin de pouvoir identifier la source des HAP présents dans une matrice sédimentaire. Certains de ces indices, correspondant aux rapports de concentration entre isomères, sont présentés dans **le tableau II**.

Tableau I.2 : Valeurs de quelques indices moléculaires caractérisant l'origine des HAP (Thompson., 1999 in Geffard O.,2001).

Source / Indice	Phe/Pyr	Fluo/Pyr	Chrys/BaA	BeP/BaP
Pyrolytique	1 - 10	> 1	< 1	< 2
Pétrogénique	> 25	< 1	> 1	> 5
Référence	Garrigues et al.,1995	Soclo.1986	Sicre et al.,1987 Raoux, 1991	Broyelle. 1997

II.3.3. Toxicité :

Les HAP constituent une classe de composés particulièrement étudiée en raison de leur caractère potentiellement cancérigène et/ou mutagène (Ravindra *et al.*, 2001 in Ringuet J., 2012). Ils ont fait l'objet d'une évaluation réalisée par les ministères de l'Environnement et de la Santé du gouvernement fédéral du Canada en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Il en est ressorti que ces substances pénètrent dans le milieu naturel en quantités, à des concentrations ou dans des conditions qui ont ou peuvent avoir un effet défavorable sur l'environnement (LCPE., 1985 in CCME, 1999). 16 HAP sont d'ailleurs classés comme polluants prioritaires par l'US EPA (IARC., 1987 in Ringuet J., 2012). La formule des principaux HAP non substitués classiquement étudiés est représenté sur la Figure I.1

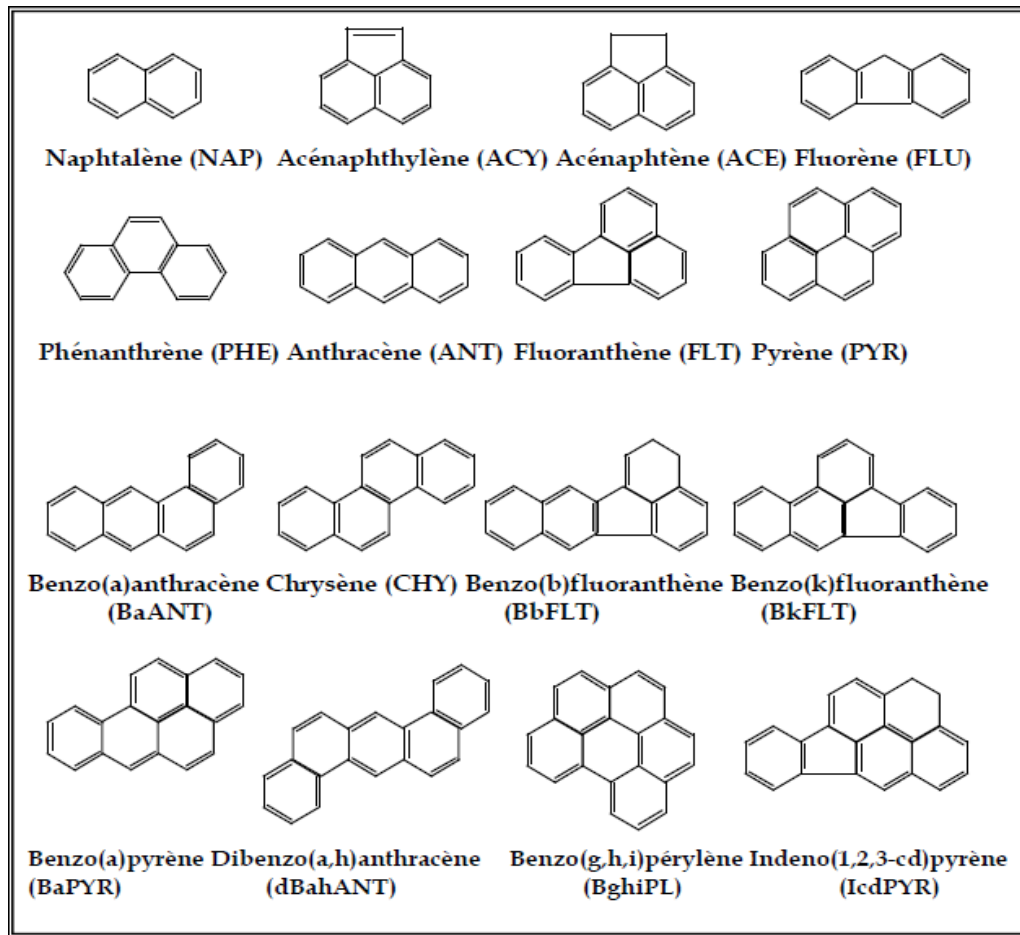


Figure I.1: Liste des 16 HAP classés prioritaires par l'US-EPA.

II.3.4. Propriétés physico-chimiques des HPA :

Le transport et la répartition des HAP dans l'environnement dépendent notamment de leurs propriétés physico-chimiques, à savoir la solubilité dans l'eau, la pression de vapeur, la constante de Henry, le coefficient de partage octanol/eau et le coefficient de partage du carbone organique ([Bourcereau et al., 2008](#))

La migration et l'évolution de ces substances sont aussi fonction des propriétés physico-chimiques et de l'activité biologique du milieu récepteur ([INERIS, 2005](#)).

II.3.4.1. Les propriétés chimiques :

Les HAP peuvent être classés en trois groupes basés sur le nombre de cycles aromatiques qu'ils contiennent et leurs masses molaires moléculaires ([Koroghli A., 2010](#)):

- HAP de faibles masses molaires moléculaires (de l'ordre de 152-178 g/mol, soit 2 à 3 cycles) : naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, anthracène et phénanthrène – **solubilité et volatilité la plus élevée.**
- HAP de masses molaires moléculaires intermédiaires (de l'ordre de 202 g/mol, 4 cycles) : fluoranthène, pyrène,

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

• HAP à masses molaires moléculaires élevées (de l'ordre de 228-278 g/mol, soit 4 à 6 cycles): benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3, cd) pyrène – **sorption la plus forte.**

II.3.4.2. Les propriétés physiques :

La plupart des HAP sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu (INERIS, 2005).

Etant hydrophobes, liposolubles et généralement volatils, les HAP ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques (Chefetz., 2000 ; Accardi-Dey., 2002 ; Zhou., 2004 in Koroghli A., 2010).

Tableau I.3: Propriétés physico-chimiques des 16 HAP prioritaires (Selon (INERIS, 2005).

Nom	Masse Molaire (g/mol)	Constante de Henry K_H (Pa.m ³ /mol)	Solubilité dans l'eau S à 25 °C (mg/l)	Coefficient de partage octanol-eau log K_{ow}	Demi-vie (j=jour, a=an)
Naphtalène	128,2	48,9	32	3,30	16 – 48j
Acénaphthylène	152,2		3,93	4,07	/
Acénaphthylène	154,2	14,7	3,42	3,98	/
Fluoréne	166,2	9,2	1,90	4,18	32 - 60j
Phénanthrène	178,2	2,9 (à 20 °C)	1	4,45	16 – 200j
Anthracène	178,2	5,04	0,07	4,45	50j – 1,3a
Fluoranthène	202,3	1,5 (à 25 °C)	0,27	4,90	140j – 1,2a
Pyrène	202,3	1,1.10 ⁻³ (à 25 °C)	0,16	4,88	210j – 5,2a
Benzo(a)anthracène	228,3	/	0,0057	6,61	102j – 1,9a
chrysène	228,3	0,1 (à 25 °C)	0,002	6,16	1 – 2,7a
Benzo(b)fluoranthène	252,3	0,05 (à 25 °C)	0,0010	6,57	360j – 1,7a
Benzo(k)fluoranthène	252,3	0,069 (à 25 °C)	0,0008	6,8	2,5 – 5,9a
Benzo(a)pyrène	252,3	4,0 . 10 ⁻¹²	0,0038	6,06	57j – 1,5a
Dibenzo(ah)anthracène	278,3	4,8. 10 ⁻³ (à 25 °C)	0,0005	6,84	361j – 2,6a
Benzo(ghi)pérylène	276,3	2,7. 10 ⁻² (à 25 °C)	0,002	6,50	0,25a – 1,8a
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	276,3	2,9. 10 ⁻²	0,0008	6,58	1,6 – 2a

III. Sources des hydrocarbures dans le milieu marin :

Les sources d'enrichissement du milieu marin par les hydrocarbures peuvent être naturelles ou anthropogènes.

III.1. Les sources naturelles :

Elles regroupent les apports autochtones essentiellement, biogènes ou récents et fossiles (pétroliers) qui sont le résultat d'activités sismiques et volcaniques sous marines, et les apports continentaux d'hydrocarbures d'origine naturelle (végétaux, feux de forêts, ...), véhiculés par les fleuves, les rivières, les lessivages ou par voie atmosphérique (Sellali B., 1996).

Les apports naturels en milieu marin représentent d'après Lacaze J-C (1980), 600 000 tonnes/ans.

III.2. les sources ou les apports anthropogènes :

III.2.1. les apports chroniques :

Les sources sont multiples, souvent insidieuses et participent pour une grande part dans la contamination du milieu marin (Jeffery, 1974 et Le lourd, 1977 in sellali B., 1996).

a)-Transport maritime :

Les transports du pétrole, dont la voie maritime est la première en termes de quantité transportée, entraînent aussi des déversements de toutes sortes (nettoyages sauvages de cuves, rupture de pipelines, fuites diverses)(Rouidi S., 2014).

b)- L'exploitation de gisements marins :

Elle peut provoquer des déversements lors de ses trois principales opérations : forage, production et transport par oléoduc sous-marin, mais compte peu dans le bilan global (Bertrand A., 2000).

c)- Retombées atmosphérique :

Elles concernent les imbrûlés produits lors de combustion (échappement des automobiles, incendie de navires et de déversement pétrolier, etc.) ou les hydrocarbures gazeux vaporisés lors de fuites ou de manipulation. Ces composés sont pour la plupart rapidement oxydés. Seule une faible fraction retombe en mer, le plus souvent à proximité du lieu d'émission. L'estimation de ces retombées en mer au cours de la période 1970-1985 est de 0,3 à 9Mt/an (Bertrand A., 2000).

d)- Apports continentaux :

L'utilisation et la combustion de cette énergie fossile sur les continents, dans les mers et l'atmosphère constitue une importante source d'hydrocarbures, qui seront apportés au milieu

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

marin directement ou indirectement via les rivières, les eaux de ruissellement, les rejets industriels et urbains, ...etc (Lipiatou E. et Saliot A., 1991a ; Samanta et al., 2002 ; Asia L., 2012 in Rouidi S., 2014).

II.2.2. les apports accidentels :

La pollution du milieu par les hydrocarbures pétroliers atteint des phases critiques lors du déversement de grandes quantités de pétrole en une courte période et un endroit restreint.

C'est le cas des accidents pétroliers (Torrey Canyon en 1967, Amoco-Cadiz en 1978, Exxon-Valdez en 1989,...) mais également lors de rupture de pipelines dans les sites de chargement de pétrole et dérivés (installations cotiers ou plates-formes fixes offshore)(Sellali B., 1996).

IV. Comportement des hydrocarbures dans l'eau de mer :

Dès que les hydrocarbures se déversent dans le milieu ils « vieillissent » (weathering) et sont soumis à des processus d'altération et de modification de leurs propriétés physico-chimiques initiales. Les facteurs de la dégradation dépendent de la nature du pétrole et du milieu ambiante, c'est-à-dire, de la température et de l'énergie mécanique des vagues. Les processus qui entraînent les changements physiques sont l'évaporation, la dissolution, l'émulsion, la floculation et la sédimentation. Ceux qui entraînent les modifications chimiques sont la photo-oxydation et la biodégradation (Fattal P., 2008).

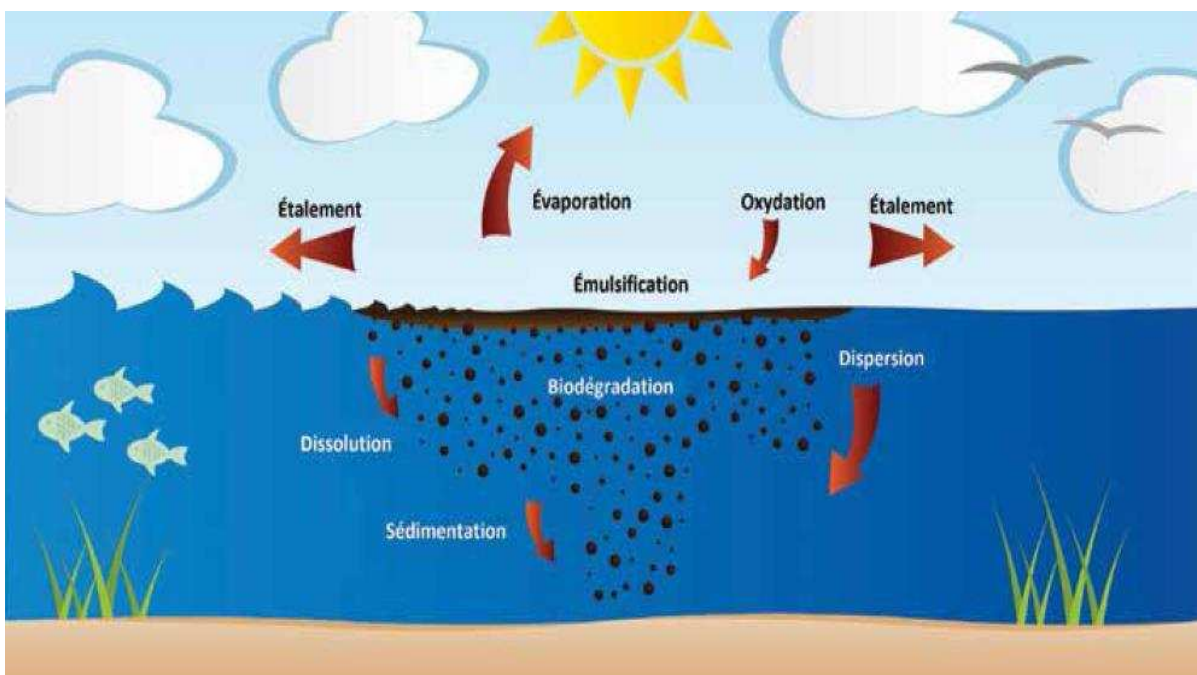


Figure I.2 : les processus de vieillissement des hydrocarbures en mer (sources : ITOFP,2012).

IV.1. Les altérations physiques :

IV.1.1. Etalement :

Une fois déversé, le pétrole a immédiatement tendance à s'étaler à la surface de l'eau. Ce processus, d'abord provoqué par la gravité, dépend aussi des caractéristiques physico-chimiques du pétrole (densité, viscosité etc.) et des qualités physiques de la mer au moment et à l'endroit du déversement (Lacaze J-C., 1980).



Figure I.3: Etalement d'une nappe de pétrole (ITOPF, 2000 in Almulsi E., 2011).

Sous l'influence des conditions météo océaniques, de l'évaporation simultanée des fractions légères, l'épaisseur de la nappe diminue rapidement en fonction du temps de son déplacement sous l'influence du vent et des courants (Tableau IV). Au bout de quelques heures la nappe commence à se fractionner tout en formant des bandes étroites et parallèles à la Direction du vent (Marchand N., 1999 in Almulsi E., 2011)

Tableau I.4: Epaisseur moyenne d'une nappe d'hydrocarbures durant les premières heures qui suivent le déversement de pétroles bruts en mer (Marchand N., 1999 in Almulsi E., 2011).

Durée	2 minutes	20minutes	2 heures
Epaisseur	2 – 3 mm	0.4 – 0.6 mm	0.1 – 0.2 mm

IV.1.2. Evaporation :

C'est le phénomène de transfert des fractions volatiles des hydrocarbures de la masse du pétrole dans l'atmosphère, et qui intervient dans les premières heures de la pollution, entraînant une augmentation de la densité et de la viscosité du résidu et la limitation de l'étalement (Almulsi E., 2011). Elle dépend des conditions climatiques (vent et température), du type de pétrole et de l'épaisseur de la nappe, ainsi de l'essence et/ou du gazole s'évaporent totalement et plus rapidement dans des températures ambiantes chaudes et avec des vents notables (Fattal P., 2008). A titre d'exemple, la fraction légère des hydrocarbures déversés par le Braer (un navire pétrolier, qui s'est échoué aux Shetland) s'est dans les 24 heures qui ont

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

suivi la catastrophe, malgré les températures peu élevées des Shetland (Ritchie, 1993 in Fattal P., 2008). En revanche un hydrocarbure lourd comme celui de l'Erika a, quant à lui, une très faible vitesse d'évaporation (Merlin et al., 2002 in Fattal P., 2008). Dans le cas de l'Amoco Cadiz c'est près de 30 % des hydrocarbures qui se sont évaporés dans les premières heures (Hesse, 1978, in Owen, 1994 in Fattal P., 2008).

Il est possible de prévoir expérimentalement la fraction évaporée d'un pétrole en fonction des paliers de distillation (Michel, 1982 in Fattal P., 2008). Plus le pétrole est léger, plus il a un taux d'évaporation important (tableau V) (Fattal P., 2008).

Tableau I.5: Estimation des quantités d'hydrocarbures évaporées (source : Marchand, 1998 et CEDRE, 2000 in Fattal P., 2008).

Pétrole et produits raffinés	Taux d'évaporation
Produits légers	75 % et plus
Pétroles brutes	20 à 50 %
Produits lourds	moins de 10 %

IV.1.3. Dissolution (*Solubilisation*):

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

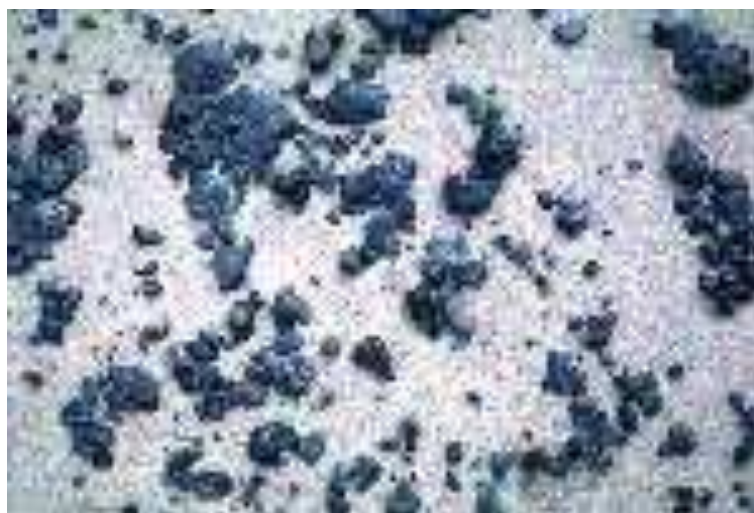


Figure I.4 : Dissolution des hydrocarbures en mer (ITOPF, 2000 in Almuli E., 2011).

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

Tableau I.6: Comparaison de la solubilité (mg/l) des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques en fonction de leurs degrés de volatilité (Marchand N.,1999 in Fattal P., 2008).

Température D'ébullition	Hydrocarbures aliphatiques	Hydrocarbures aromatique
36°C	Pentane : 39	-
69°C	Hexane : 9.5	-
80°C	-	Benzène : 1780
98°C	Heptane : 2.9	-
111°C	-	Toluène : 515
126°C	Octane :0.7	-
136°C	-	éthyl-benzène
174°C	Décane :005	-
218°C		Naphtalène : 31
50 - 100°C	2 – 10 (hexane-heptane)	1780 (benzène)
100 - 200°C	0.05 – 1.0 (octane – décane)	150 – 515 (toluène-xylène)
200 - 250°C	<0.01 (dodécane)	20 – 50 (naphtalènes)

IV.1.4. Emulsification :

Ce terme regroupe deux processus inverses :

-L'émulsion l'huile dans l'eau ou dispersion du pétrole dans la colonne d'eau .ce phénomène est intense dans les milieux de grandes énergies (vagues...). Il permet de « réduire » la pollution en surface .Ces émulsions, fines gouttelettes de pétrole dispersées dans l'eau, théoriquement instables, peuvent être retrouvées à de grandes profondeurs (-80 m) selon Michel, (1983)

-Emulsion eau dans l'huile: on les appelle également « émulsion inverse » ou « mousse au chocolat » à cause de leurs aspects. Ce phénomène qui tend à stabiliser la nappe perturbe l'ensemble des actions de lutte (confinement, dispersion, et récupération). Les émulsions inverses peuvent se former en quelques heures et contenir jusqu'à 90% d'eau (sellali B. ,1996).



Figure I.5: Emulsification des hydrocarbures en mer (ITOPF, 2000 in Almuli E., 2011).

IV.1.5.Floculation:

La floculation résulte de l'agrégation des particules fines, contenues dans l'eau de mer, sur les microgouttelettes de pétrole. Ce phénomène d'adsorption ne se réalise qu'avec l'eau qui joue le rôle de microfilm liant (grâce aux charges électriques des ions contenus dans l'eau de mer, les fines peuvent se fixer au pétrole) (Fattal P., 2008).

IV.1.6. Sédimentation au fond :

La sédimentation est le passage de pétrole de la masse d'eau ou de la surface vers le fond; elle se présente lorsque la densité des résidus goudronneux excède celle de l'eau de mer. Ce phénomène est provoqué essentiellement par deux processus (Lacaze J-C., 1980):

- Dans les eaux côtières, peu profondes, des mouvements turbulents peuvent apporter en surface du matériel sédimentaire en suspension. Après contact avec les particules de pétrole, le sédiment adhère à ces dernières et provoque le coulage de la masse pétrole- sédiment.

- Le vieillissement des produits pétroliers avec l'évaporation et la solubilisation des composés de faible poids moléculaires, augmente leur densité. Ces modifications combinées avec les processus d'oxydation et de dégradation, aboutissent à la formation de glomérules ou boules de goudron semi-solides qui flottent en surface. Une dégradation plus poussée de ces particules goudronneuses conduit à la formation de formes plus petites et plus denses qui coulent sur le fonds marins (Morris et Butler, 1973 in Lacaze J-C., 1980).

IV.2. Les modifications chimiques :

Les modifications chimiques touchent la structure même des molécules. Elles sont principalement liées à la photo-oxydation et la biodégradation. Le pétrole se modifie et vieillit (Fattal P., 2008).

IV.2.1.Photooxydation :

La photo-oxydation est observée au niveau de la surface de l'eau où l'air (oxygène) et la lumière (radiations solaires) sont présents pour la transformation des hydrocarbures (Payne et Phillips, 1985 in Soltani M., 2004). L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés (Bertrand et Mille, 1989 in Soltani M., 2004). Ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les *n*-alcanes (Rontani et Giusti, 1987 in Soltani M., 2004).

La photo-oxydation conduit à la formation de composés solubles dans l'eau (acides, alcools, cétones, peroxydes et sulfoxydes) et certains travaux de recherche ont montré leur toxicité pour les communautés microbiennes (Payne and Phillips, 1985; Larson et al., 1979; Maki et al., 2001 in Soltani M., 2004). Alors que Rontani et al. (1987, 1992), ont montré l'existence d'interactions entre la photo-oxydation et la biodégradation pour l'élimination des alkylbenzènes et de l'antracène. L'action simultanée de ces deux phénomènes permet une élimination plus rapide de ces deux familles de composés (Soltani M., 2004).

IV.2.2. Biodégradation :

Ce processus peut être plus efficace que la photo-oxydation et elle résulte la somme de deux biodégradations totale (la transformation chimique des hydrocarbures en CO₂ et en H₂O) et primaire (transformation incomplète) (Pages-Jones, 1996 in Fattal P., 2008). La dégradation des hydrocarbures se fait dans des milieux aérobies et anaérobies grâce à des microorganismes, principalement des bactéries et/ou des champignons qui puisent dans le pétrole leur alimentation. En effet les hydrocarbures constituent une source alimentaire pour toutes les bactéries des milieux froids (psychrophiles) ainsi que des milieux tempérés (mésophiles) (Berné, 1982 in Fattal P., 2008).

L'oxydation est principalement liée aux processus biochimiques. Celui-ci dégrade les composés hydrocarbonés pour produire de dioxyde de carbone, de l'eau, de la biomasse ainsi des produits inertes (Bragg et al., 1993 in Owens, 1994 in Fattal P., 2008). A titre d'exemple, les HAP légers se dégradent bien, alors que ceux qui sont lourds ne se dégradent qu'avec des conditions environnementales favorables. Cette dégradation s'opère 1, 2, et 3 mois elle est très nette pour les molécules les plus petites. La dégradation fongique est quant à elle, de l'ordre de 20 à 31 %, en 10 jours, pour les champignons mucorales et *Drescheslera* (Amiard et al., 2004 in Fattal P., 2008). En somme si l'on récapitule la liste des facteurs qui participent à la biodégradation lente dans la colonne d'eau et au fond, il y a la température de l'air et l'eau la surface de nappe exposée, le type de microorganismes ainsi que d'autres facteurs. En effet, plus une nappe est étalée et / ou dispersée, plus la dégradation est facile. Enfin l'activité bactérienne est favorisée d'une part par la présence de MES sur lesquelles se fixent les microorganismes (Owens, 1994 in Fattal P., 2008) et, d'autre part par la présence d'éléments nutritifs dans un milieu oxygéné (Fattal P., 2008).

VI. Toxicité des hydrocarbures :

Lors d'un déversement des hydrocarbures, plusieurs facteurs déterminent leurs impacts sur la faune et la flore : La particularité du pétrole, les quantités introduites, le mode d'introduction, la nature et le lieu de versement ainsi que la susceptibilité des organismes (Sellali B., 1996). La toxicité est la capacité inhérente à une substance de produire un effet délétère sur un organisme. Les HAP n'ont pas tous les mêmes propriétés toxiques et ont différents effets toxiques (Mazeas O, 2004).

Actuellement, les effets toxicologiques de tous les HAP sont imparfaitement connus. Toutefois, les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montré que certains HAP pouvaient induire spécifiquement de nombreux effets sur la santé, des effets systémiques (hépatiques, hématologiques, immunologiques et développement d'athéroscléroses), et/ou des effets sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques et cancérogènes (INERIS, 2005).

VI.1. Génotoxicité et cancérogénicité :

L'aspect génotoxique (mutagène) et cancérogène des HAP est au premier plan des propriétés toxiques des HAP. C'est d'ailleurs l'aspect le plus étudié. Il a été montré lors de tests en laboratoire sur des rongeurs et lors d'études épidémiologiques que certains HAP sont

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

des cancérogènes chimiques (NTP, 1999; White, 1986 in Mazeas O., 2004). De nombreuses études ont montré que la mutagénicité et la cancérogénicité des HAP s'exerçaient également sur la faune et la flore marine (Blumer, 1976 et al. in Mazeas O., 2004).

VI.2. Effets sur la reproduction et le développement :

Certains HAP et leurs métabolites hydroxylés ainsi que d'autres contaminants possèdent des structures qui s'apparentent plus ou moins à une catégorie d'hormones, les stéroïdes (dérivés d'hydrocarbures cycliques). Les trois autres familles d'hormones sont les amines, les prostaglandines et les hormones peptidiques et protéiques.

La structure de certains xénobiotiques leur confère la capacité d'interagir avec les fonctions endocrines des organismes. On parle alors de perturbateurs endocriniens. Ces molécules sont définies par l'US-EPA comme des « agents exogènes qui interfèrent avec la synthèse, la sécrétion, le transport, la liaison, l'activité ou l'élimination des hormones naturelles agissant sur l'homéostasie, la reproduction, le développement ou le comportement des organismes ». Elles peuvent présenter un effet agoniste (activité estrogénique ou androgénique) ou antagoniste (anti-estrogénique ou anti-androgénique) chez les êtres vivants. Elles peuvent de plus perturber la synthèse et le métabolisme des hormones naturelles (Mazeas O., 2004).

VI.3. Autres effets :

Il a été constaté dans différentes études que le benzo(a)pyrène était capable d'inhiber les réponses immunitaires de différents organismes (Dean et al., 1983 et 1986; Blanton et al., 1986; White, 1986; Deal, 1995; Klaasen, 1997 in Mazeas O., 2004). L'immunotoxicité des HAP a également été montrée sur des carlottins anglais, *Parophrys vetulus* (Arkoosh et al., 1996 in Mazeas O., 2004). L'embryotoxicité et les effets tératogènes de certains HAP ont par ailleurs été observés chez des organismes marins (Barbieri et al., 1986; De Flora et al., 1991 in Mazeas O., 2004).

Les effets des hydrocarbures sur l'environnement sont variés et complexes. Certains se manifestent immédiatement, d'autres après une période plus longue, ils affectent à des titres divers le règne animal et végétal de la surface et à l'intérieur de la mer. Le tableau VII (Annexe I) résume ces effets sur certaines populations marines caractéristiques (Koroghli A., 2010).

Zone d'étude

II. Présentation générale du port d'Alger:

La situation géographique du port d'Alger lui permet de desservir plusieurs wilayas (collectivités publiques territoriales). C'est le port le plus important du pays. Plus de 90% des échanges commerciaux avec l'étranger s'effectuent par voie maritime, le port d'Alger assure le tiers de ces échanges en volume du trafic national des marchandises diverses (céréales, denrées alimentaires, produits pétroliers, ciments, produits métalliques, engrais, produits chimiques, transactions, biens d'équipements) (in Bachouche S., 2010). En moyenne le port d'Alger avitaille 20 navires par jour ; 16 millions de tonnes de marchandises y transitent annuellement dont plus de 600 000 t/ an de véhicules roulants, remorques, bus, engins, etc... et plus de 250 000 conteneurs en 2001. (in Rebzani-Z, 2003).

II.1. Situation géographique :

Le Port d'Alger construit à l'extrême Ouest de la baie d'Alger, est localisé au pied du massif de la Bouzaréah, et est limité à l'Ouest par la ville d'Alger, l'ensemble portuaire couvre un plan d'eau de 184 ha. Il se situe entre 03° 03' 44" et 03° 04' 00" de longitude Est et entre 36° 45' 44" et 36° 47' 43" de latitude Nord (**Figure II.1**).

De par sa situation géographique, le port d'Alger dessert plusieurs wilayas et assure le traitement de différentes catégories de marchandises: vrac solides et liquides, les conteneurs, les véhicules et les engins lourds, ainsi que les passagers et véhicules légers (gare maritime).

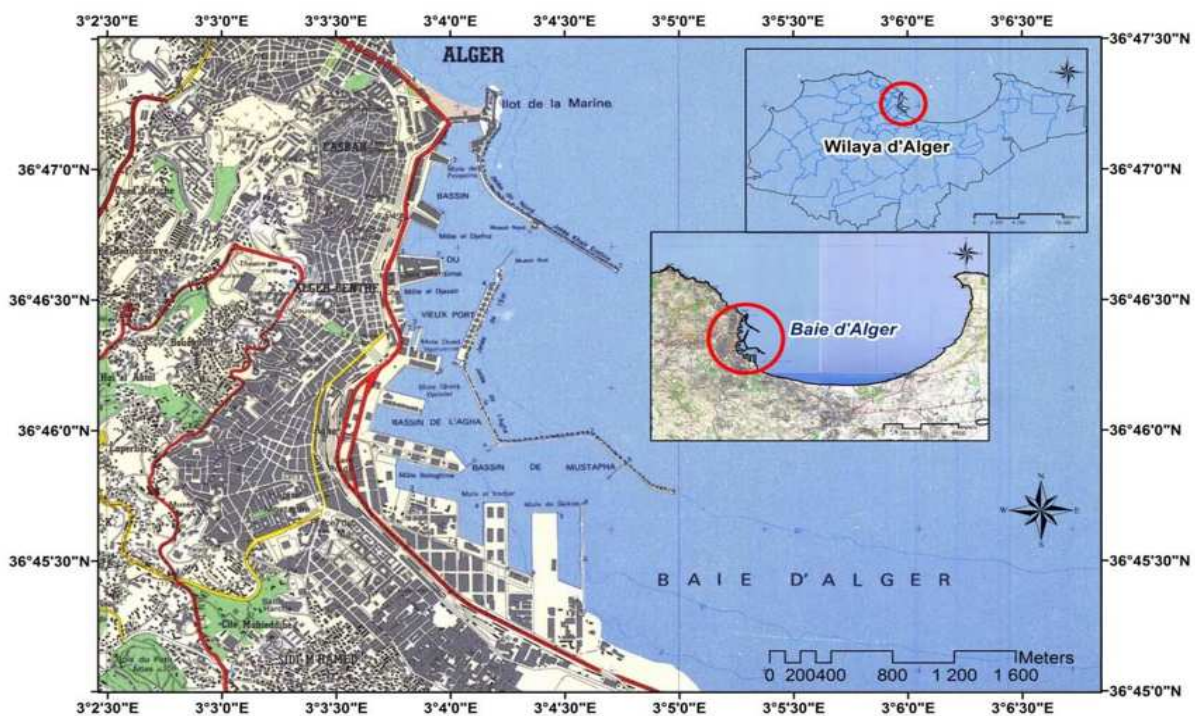


Figure II.1 : Situation du port au niveau du baie d'Alger (in Koroghli A., 2010).

Chapitre II : Zone d'étude

Il est constitué de trois bassins :

Le bassin de Mustapha d'une superficie de 75 ha, communique avec le large par une passe dite « passe sud » et avec le bassin de l'Agha par la passe de Mustapha. C'est un bassin à intense activité industrielle et commerciale dont la profondeur varie entre 7 et 11 m.

Le bassin de l'Agha est situé entre le bassin de Mustapha et celui du Vieux Port. Sa profondeur est comprise entre 6 et 15 m et il offre un plan d'eau de 35 ha. Il communique avec le bassin du Vieux Port par la passe dite du Vieux Port. C'est un bassin de transbordement de marchandises diverses.

Le bassin du Vieux Port a une superficie de 74 ha, une profondeur de 7 à 20 m et il communique avec le large par la passe dite passe Nord. C'est un bassin à fonctions multiples: transport de marchandises et de voyageurs, plaisance, pêche et radoub.

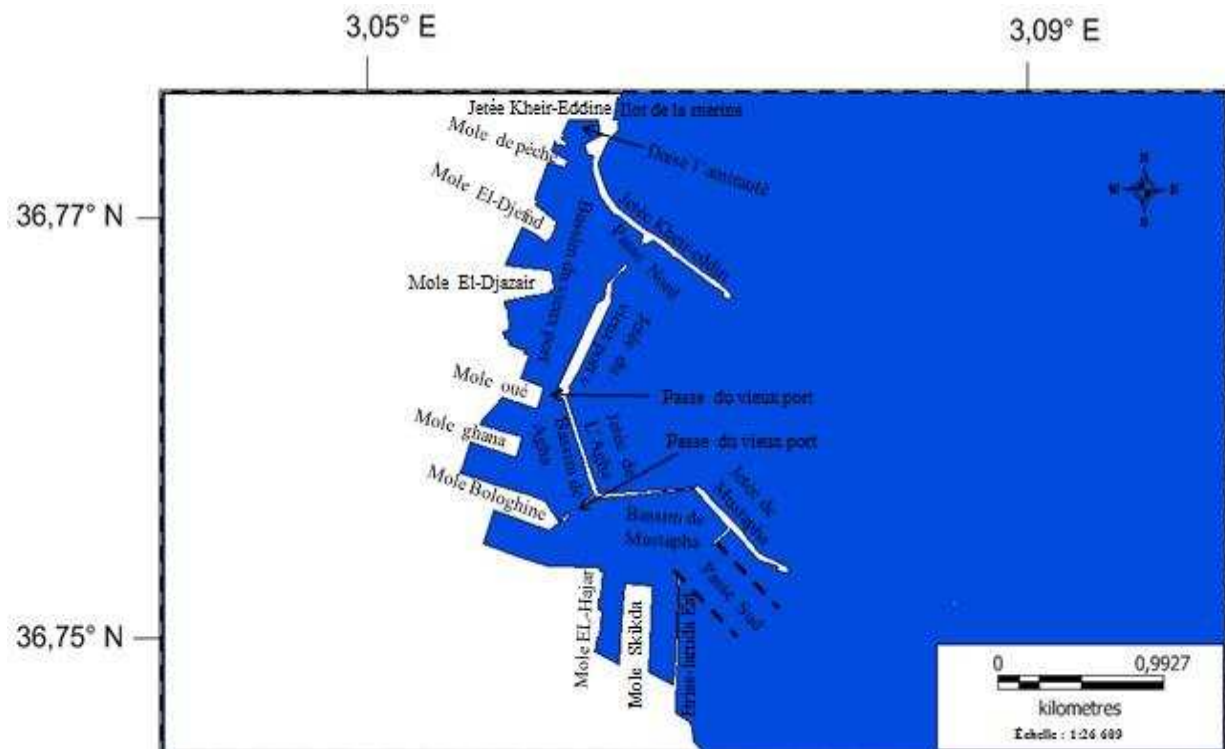


Figure II.2 : Ouvrages du port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990 modifié).

II.2. Historique :

En 1830, le port offrait une superficie de 3 hectares 50 ares avec une passe de 130 mètres de large au Sud. Il comprenait : la jetée Nord, l'actuelle grande jetée Kheir-Eddine, la jetée du Sud (dite du large), les rampes reliant les quais à la ville, deux formes de radoub, gare et voies ferrées, ces dernières furent achevées en 1865.

La construction du bassin de l'Agha s'est faite de 1870 à 1914.

Chapitre II : Zone d'étude

De 1914 à 1940, construction du bassin Mustapha qui est séparé du bassin de l'Agha par le grand môle Bologhine et par une passe de 100 m.

De 1950 à 1953 Construction de la gare maritime au môle El Djazaïr.

De 1961 à 1963, construction du môle de Skikda.

De 1987 à 1988 remblayages de la darse de Calvi et réalisation d'un appontement en duc d'Albe et de six rampes Ro/Ro (équipement de chargement et de déchargement de marchandises horizontalement).

De 1994 à 1998, construction du Terminal à Conteneurs d'une superficie de 17,5 ha et d'une capacité de plus de 250.000 EVP.

De ce fait, le Port d'Alger est le plus important port de marchandises générales en Algérie avec près de 10 Km de quai offrant des profondeurs variant de 7 à 11 m.

II.3.La pollution dans le port d'Alger :

II.3.1.Bassin Mustapha :

Plusieurs sources de pollution se trouvent dans ce bassin: Rejets de déchets d'hydrocarbures et l'usine huilère et la savonnerie (ex : ENCG au niveau du quai 32) ([Bachouche S.2010](#)), rejets urbains de la partie Est de la ville d'Alger, rejets de la SEMPAC (silos à grains), un bateau usine de traitement de ciment, rejets d'eaux chaudes chlorées de la centrale électrique ([Rebzani-Zahaf C., 1996](#)).

II.3.2.Bassin Agha :

Le bassin de l'Agha, le plus petit, comporte deux darses. Il est en communication avec les bassins du Vieux Port et de Mustapha. Ce bassin est essentiellement à vocation commerciale, à signaler également la présence d'un chantier naval important au niveau de ce bassin. Les rejets sont essentiellement d'origine urbaine.

II.3.3.le bassin Vieux Port :

Le bassin du Vieux Port, en relation avec la baie par la passe Nord. Il abrite toutes les activités de pêche et certaines activités commerciales;

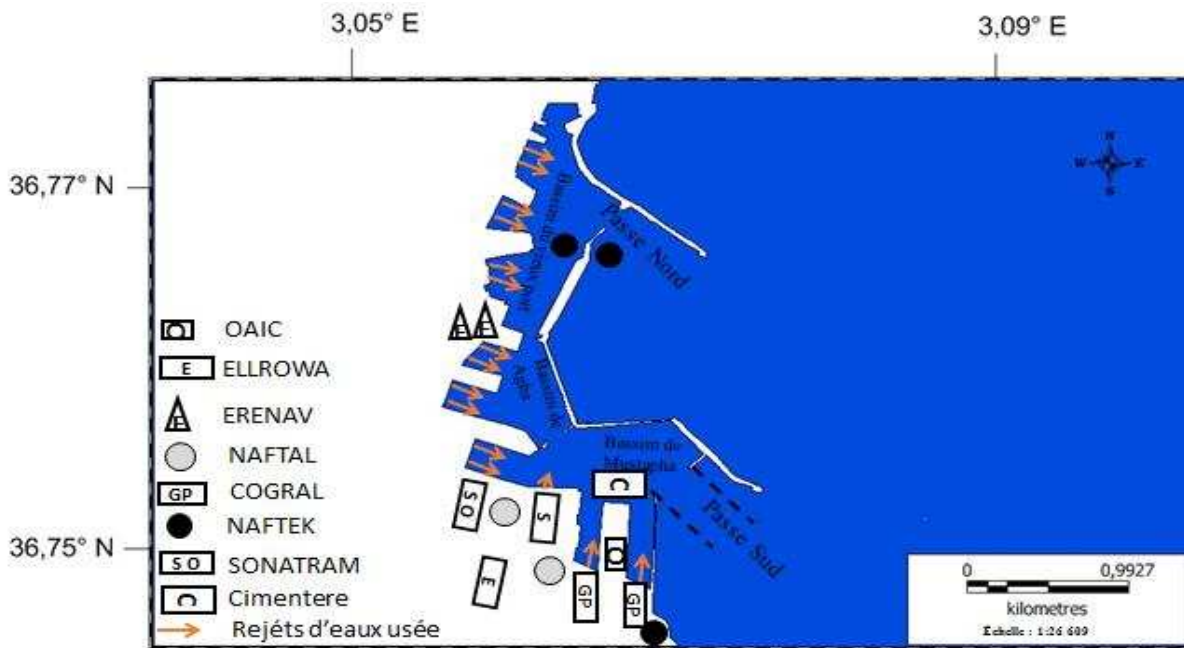


Figure II. 3 : Localisation des unités industrielles et les rejets dans le port d'Alger (EPAL modifié).

II.4. Paramètres météo-océanologiques :

II.4. 1. Les données météorologiques :

Comme toutes les zones littorales méditerranéennes, Alger bénéficie d'un climat sec et chaud en été, froid et humide en hiver.

II.4. 1. 1. Le vent

Le Port d'Alger se situe au pied du massif de Bouzaréah, les vents de secteurs NW, W et SW ne l'affectent pas ; quant aux vents de secteur N, NE et E, ils arrivent sans atténuation sur les ouvrages portuaires. (Ben Aissa et al, 2006)

Les études faites par l'United States Naval Weather Service (USNWS) au large d'Alger sur la période de 1963 à 1970 ont montré l'existence de quatre directions de dominance annuelle : W, E, NE, SW.

Les vents de secteurs W, NE et E sont les plus fréquents (25%, 16,9%, 14,6%), tandis que les vents des autres secteurs ont des fréquences d'apparition inférieure à 10,50%. Les périodes de calme représentent 7%.

II.4. 1. 2. Température :

L'Office National de la Météorologie (ONM) a enregistré pendant trois ans (1996, 2003 et 2004) dans la région du port d'Alger, les températures moyennes de l'air.

Chapitre II : Zone d'étude

La température moyenne maximale est enregistrée durant la période estivale pour les deux saisons est relevée en mois d'Août (26 à 27 °C) et la température minimale est relevée en mois de Février (11 à 14 °C) (O.N.M., 2003).

II.4. 1. 3. Pluviométrie :

Les données enregistrées par l'ONM ont montré que pour la région du port d'Alger, sur les trois ans de mesure (1996, 2003 et 2004), la moyenne des précipitations est de 796 mm

II.4.2. La circulation des eaux dans le port :

Rebzani-Zahaf (1990) a montré l'existence d'une circulation des eaux dans le port à partir des deux passes Nord et Sud (Figure II.4).

Les eaux circulent dans les bassins du Nord au Sud et du Sud au Nord. La circulation est plus intense dans le Vieux Port contrairement aux deux autres bassins Mustapha et l'Agha.

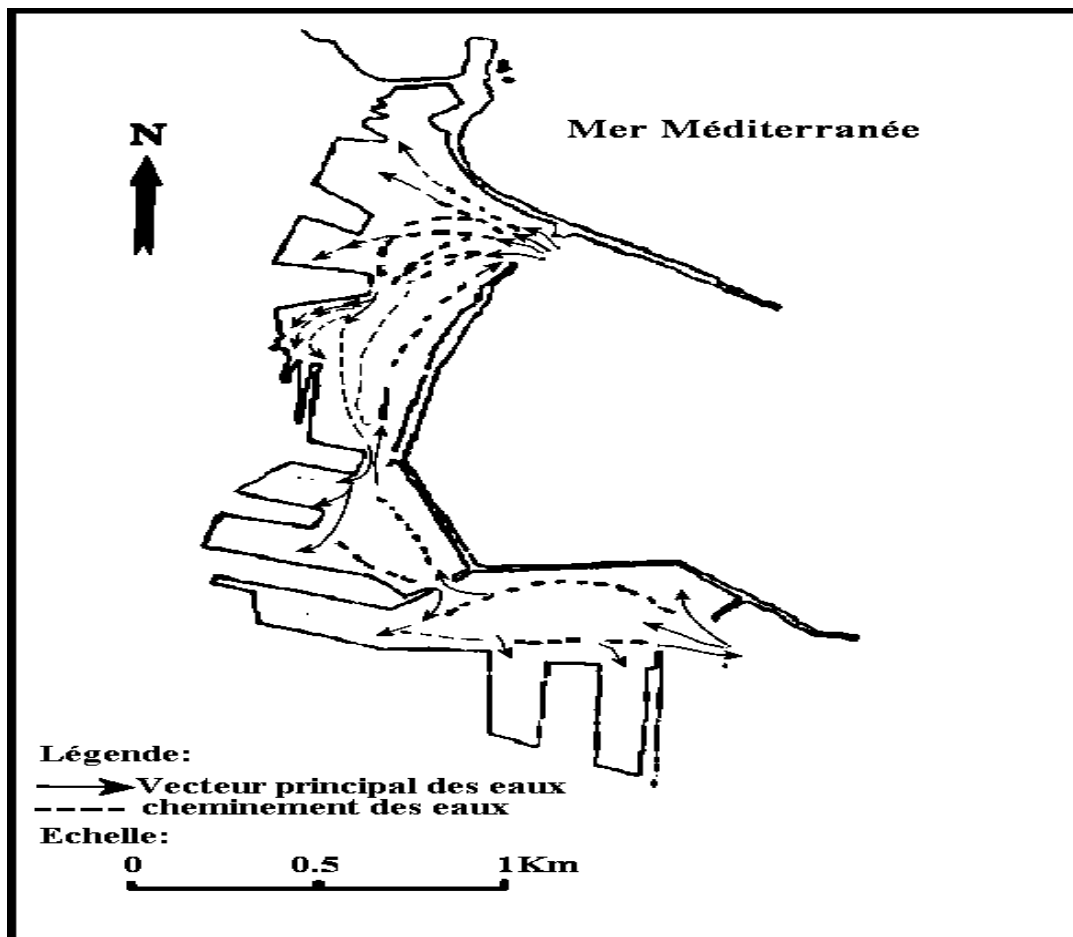


Figure II.4: Circulation des eaux dans le Port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990).

II.5. Caractères bathymétrique et sédimentologiques :

II.5. 1. Bathymétrie :

Bassin du Vieux Port :

Les profondeurs dans ce bassin varient entre 2 m et 19 m, les plus faibles profondeurs sont relevées le long de la jetée du Vieux Port, et au niveau de la capitainerie (2m). Ces profondeurs évoluent suivant un gradient croissant à partir du môle Al-Djefna et môle El-Djazaïr avec une pente relativement douce allant jusqu'à (19 m) au niveau de la passe Nord, qui sert d'accès aux navires à grand tirant d'eau.

La profondeur moyenne du bassin est de 12 m à 17 m.

Bassin de l'Agha :

Les profondeurs varient entre 5 m et 12 m, les plus importantes sont situées à l'intérieur du bassin entre -10m et -12m et diminuent progressivement en allant vers les darses et la jetée Agha jusqu'à 9 m.

Bassin Mustapha :

Les profondeurs dans le bassin Mustapha sont comprises entre -2m et -16m. L'essentiel des profondeurs sont comprises entre 11 et 15 m.

Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de 6 m à 14 m à partir du Brise lame Est jusqu'à la passe Sud, où elles sont plus importantes.

Le long de la jetée Mustapha, les isobathes sont serrées 2 m à 14 m; Quant à l'intérieur du bassin, les profondeurs varient peu 11 m à 15 m.

Notons la présence d'un haut fond à 5,7 m à l'intérieur de la darse 3 ainsi qu'une irrégularité des profondeurs qui est peut être due probablement à plusieurs travaux de dragages entrepris dans cette darse.

Le Port d'Alger est constitué de trois bassins dont la bathymétrie est plus au moins différente avec le maximum de profondeur dans le bassin Vieux Port et le bassin Mustapha. Le bassin Agha est des trois le moins profonds.

II.5. Sédimentologie :

Les travaux de [Leclaire \(1972\)](#), [Maouche \(1987\)](#) et [Rebzani-Zahaf \(1990\)](#) ont permis de mettre en évidence la nature sédimentologique des dépôts superficiels du port d'Alger. En effet, les problèmes d'envasement sont dus essentiellement aux rejets intenses et à la configuration de ces secteurs.

Chapitre II : Zone d'étude

L'analyse de la composition du sédiment du port des précédents auteurs a mis en évidence :

« Du sable fin micacé, composé de quartz, de calcite de plagioclase et de dolomie, accompagné d'une fraction organogène carbonatée (gastropodes, lamellibranches,...). Ces sables se sont constitués par le démantèlement de la bordure rocheuse (grès, calcaire,..), d'une fraction de lutites qui dépasse en majorité les 50% ». La composition en silts grossiers, silts fins et fractions inférieures à 2 microns montre la répartition des différentes sources d'apports dans le port ([Koroghli A., 2010](#)).

Matériels
&
Méthodes

Dans cette partie nous avons analysé les paramètres suivants : Le pH, la matière en suspension (MES), la matière organique particulaire (MO) dans la colonne d'eau de mer et dans le sédiment, la salinité, l'oxygène dissous, les hydrocarbures aliphatiques et les aromatiques polycycliques (HAP).

III.1.Choix et localisation des stations de prélèvement :

Dans le cadre de l'évaluation du degré de la pollution par les hydrocarbures dans le port d'Alger, nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans différentes stations. Les prélèvements ont été effectués à bord de l'annexe du navire océanographique « Mohamed Sedik BENYAHIA » lors de deux sorties qui se sont déroulées les 07 et 09 juin 2015. Un GPS (Global Positioning System) de type garminetrex 10 a servi pour le positionnement des stations de prélèvement (Annexe II).

Lors des deux sorties, nous avons parcouru le bassin Mustapha, en effectuant des prélèvements de 07 échantillons. Concernant le prélèvement du sédiment on a fait deux répliques par station (figure III.1).

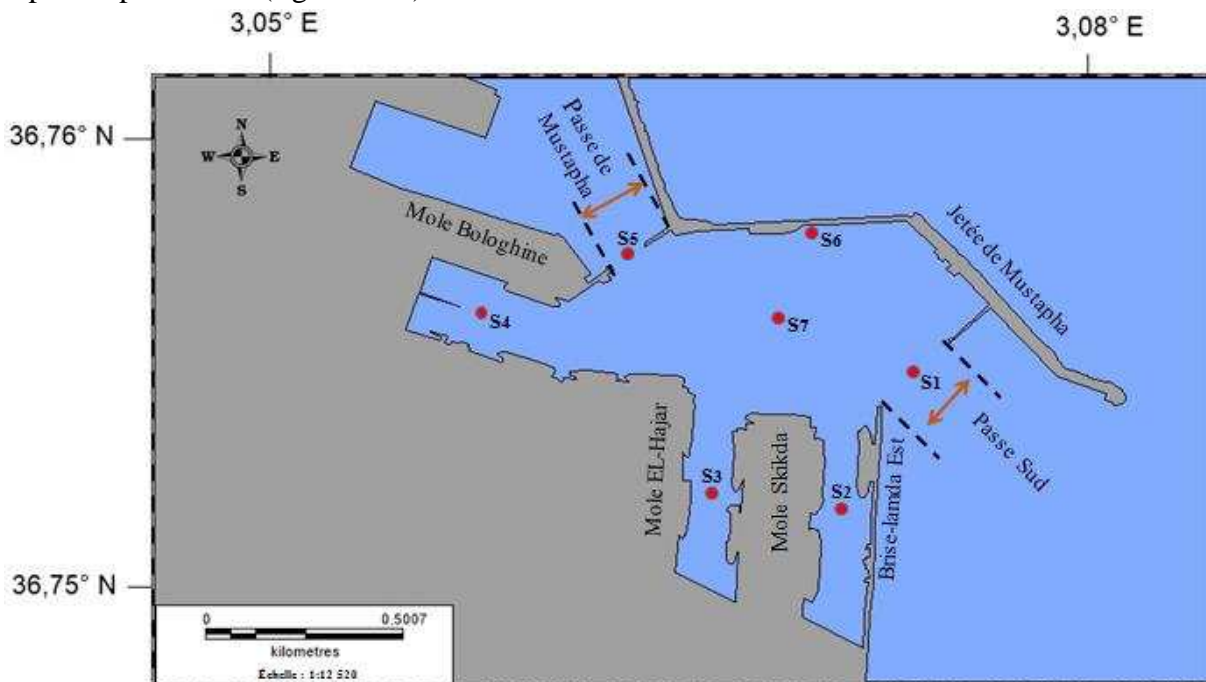


Figure III.1: Positionnement des stations de prélèvement sur le bassin Mustapha au niveau du d'Alger.

Lors des sorties, la mesure des paramètres physico-chimiques (pH, température, oxygène dissous, salinité) a été réalisée in situ à l'aide d'une valise multi-paramètres (HANNA HI9828 Ph/ORP/DO).



Figure III.2 : valises multi-paramètres HANNA HI9828 Ph/ORP/DO.

Les échantillons récoltés sont étiquetés (mentionnant la date, la zone, numéro de la station), ensuite transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire pour être conservés dans un réfrigérateur pour éviter l'évaporation du contaminant.

III.2. Préparation du matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures :

La verrerie utilisée pour l'analyse doit être en verre borosilicaté. Afin d'éviter tout risque et source de contaminations quelconque, le matériel utilisé doit être lavé et conditionné (UNEP, CIO, IAEA, 1997). Les étapes de nettoyage sont résumées comme suit :

- Lavage au détergeant
- Rinçage à l'eau de robinet
- Rinçage à l'eau bi-distillée
- Rinçage avec l'acétone
- Rinçage avec l'hexane
- Mettre à l'étuve à 300°C pendant 24H
- Couvrir avec du papier aluminium préalablement rincé avec l'hexane ou met à l'étuve à 300°C pendant 24H.

III.3. Prélèvement et échantillonnage :

III.3.1. Pour la mesure des paramètres physicochimiques :

Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés à l'aide d'une bouteille de prélèvement de type NISKIN (de capacité de 5 L) qui est constituée d'un cylindre, ouvert aux deux extrémités et que l'on ferme à distance. La bouteille est placée sur le câble hydrographique et sa fermeture s'obtient par déclenchement d'un mécanisme sous le choc du *messenger*, masselotte métallique que l'on laisse coulisser le long du câble (figure III.3).



Figure III.3 : bouteille de prélèvement de type NISKIN.

III.3.2. L'extraction des hydrocarbures :

Le prélèvement de sédiment superficiel est réalisé à l'aide d'une benne du type « Van Veen » (figure III.4). La benne descend jusqu'à le fond de la mer au bout d'une corde, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le ressort qui maintient les mâchoires ouvertes est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiment.

Dès que la benne arrive au bord du navire, elle est placée sur du papier aluminium pour éviter lors de son ouverture tout risque de contamination. Le sédiment est collecté à l'aide d'une spatule en métal inoxydable en évitant tout contact avec les parois de la benne. L'échantillon collecté est tout de suite mis dans une boîte de pétri en verre puis fermé avec son couvercle. Toutes les boîtes sont étiquetées et bien fermées à l'aide du scotch (figure III.5).

Les échantillons de sédiments marins superficiels, dans l'attente d'être traités au laboratoire, sont congelés 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 les pertes d'éléments volatils.



Figure III.4 : benne « Van Veen ».



Figure III.5 : les boîtes des échantillons.

III.3.3. Mesure des paramètres physicochimiques :

Les mesures des paramètres physicochimiques (température, salinité, et de l'oxygène dissous) ont été effectuées *in situ* pour chaque station de prélèvement à l'aide d'une valise multi paramètre HANNA HI9828 pH/ORP/DO. Cet appareil est muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans le bêcher de prélèvement

- les valeurs de l'oxygène dissous s'affichent par unité de mg /l avec une exactitude de $\pm 1.5\%$ à $\pm 3\%$.
- les valeurs de la température s'affichent par unité de $^{\circ}\text{C}$ avec une exactitude $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$.
- les valeurs de la salinité s'affichent par unité de PSU avec une exactitude $\pm 2\%$.

La calibration de l'appareil sert à corriger les valeurs, elle était effectuée par une solution unique (HI 9828 – 25).



Figure III.6: valise multi-paramètre HANNA HI9828 pH /ORP/ DO.

III.4. Analyses au laboratoire :

D'autres mesures ont été effectuées au laboratoire pour chaque prélèvement. Il s'agit du pH, la matière en suspension (MES), la matière organique particulaire (MO) dans la colonne d'eau de mer et dans le sédiment, les hydrocarbures aliphatiques et les aromatiques polycycliques (HAP).

III.4.1. Mesure du pH :

L'échantillonnage du pH a été fait après celui de l'oxygène, dans des petits flacons en plastique, et immédiatement fixé avec le chlorure de mercure saturé (HgCl_2), en pipetant 100 μl dans les flacons.

Le pH est mesuré directement après retour au laboratoire, les flacons de pH sont mis dans un bain thermostaté avec le tampon TRIS.

III.4.1.1. Appareillage :

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type WTW (**Figure III.7**), muni d'une électrode de pH combinée, d'une précision de 0.001 unité de pH, et 0.1mV de potentiel, et une précision sur la température de 0.1°C.



Figure III.7: pH-mètre Seven Compact (METTLER TOLEDO).

III.4.1.2. Étalonnage de l'appareil :

Avant chaque mesure de pH, il est nécessaire de faire un étalonnage de l'appareil, (puisque la réponse de l'électrode de verre ne suit pas toujours rigoureusement la loi de Nernst (pente : $\Delta E/\Delta pH = 2,303 RT/F$), pour cela il est nécessaire d'effectuer un contrôle avec deux solutions étalons à pH connu. pH=4 et pH=7.

Mais la difficulté de la mesure du pH en milieu marin consiste dans le fait que l'eau de mer a une force ionique (environ 0,7), et il en résulte une variation du potentiel de jonction lorsque l'on passe d'un électrolyte dilué, à un concentré comme l'eau de mer.

Les mesures de pH ne sont donc correctes que si la solution de pH inconnu ne diffère pas trop de la solution étalon, en particulier du point de vue ionique. Pour cela un étalonnage secondaire doit être fait à l'aide d'une solution étalon TRIS à salinité connue et proche de celle des échantillons (Annexe III).

Le TRIS sert à corriger les valeurs du pH mesurées par l'électrode. Son pH varie selon la température et sa salinité.

Le pH du TRIS est calculé par la formule proposée par Dickson (1994) :

$$pH = \frac{[11997 + (3,7669 * S) + (0,00178 * S^2)]}{T} - 381,3088 - 0,011634 * S + 67,63163 \ln T - 0,121538 T - \log(1 - 0,00106 * S)$$

pH(s) : pH du TRIS préparé.

S : salinité en g/kg du tampon.

T : température en degré Kelvin.

(Éq 1)

III.4.1.3. Mesure du pH :

les échantillons et le TRIS doivent être à la même température, et ce par le biais d'un bain thermostaté. Comme cela a été mentionné auparavant, le pH-mètre doit être calibré avant chaque série de mesure.

La calibration se fait comme suit :

- Plonger l'électrode de pH dans la solution étalon à pH=4 puis pH=7, tout en rinçant et essuyant l'électrode. (bien vérifier la pente donnée par le pH-mètre).
- Plonger l'électrode dans le TRIS, en mentionnant la valeur du pH, la différence de potentiel ainsi que la température.
- Sans la rincer, (juste en essuyant), on introduit l'électrode de pH dans les échantillons, et on mentionne ainsi la valeur du pH, la différence de potentiel, et la température.

Vérifier toujours que le TRIS et les échantillons soient à la même température.

La valeur de pH des échantillons est calculée par rapport au TRIS d'après la formule de Dickson (1993) :

$$pH(x) = pH(s) + \frac{E_S + E_X}{R * T * \ln 10 / F} \quad (\text{Éq 2})$$

pH (x) : pH mesuré de l'échantillons.

pH (s) : pH du tampon TRIS calculé à la température de mesure.

ES : Différence de potentiel mesuré pour le tampon en (V).

Ex: Différence de potentiel mesuré pour l'échantillon de l'eau de mer en (V).

R : Constante des gaz parfait. $R=8.3143 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

T : Température en Kelvin.

F : Constante de Faraday ($96\,487 \text{ C.mol}^{-1}$).

III.4.2. Mesure de la matière en suspension et la matière organique particulaire :

Conditionnement des filtres (GFF) :

Le conditionnement des filtres a été réalisé selon les étapes suivantes :

- Rinçage avec de l'eau acidulée.
- Rinçage à l'eau bi-distillée.
- passage à l'étuve à 50°C pendant 24 heures.
- Dessiccateur

III.4.2.1. Mesure de la matière en suspension :

Il s'agit là de la méthode la plus courante et à partir de laquelle la notion de matériel particulaire a été définie (Latouche C. et Moyers J. 1977)

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur des membranes filtrantes afin de retenir les particules de taille supérieure à 0.45µm. La membrane est séchée et pesée avant et après

filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant (Aminot et Chaussepied, 1983).

Mode opératoire :

Un volume d'échantillon (250 ml) est filtré sur un filtre Whattman de porosité 0,45µm. Le poids des matières retenues est déterminé par pesée différentielle du filtre après passage à l'étuve à 105°C pendant 2 heures. Pour cette mesure nous avons utilisé :

- Un dispositif de filtration (Diaphragm Vacuum Pump model GM-0.5).
- Des membranes filtrantes Whattman (GF/F) (Ø= 0.45µm).
- Une balance de précision 10⁻⁵
- Une étuve de marque NEMMERT.

La détermination de la concentration de la matière en suspension est donnée par l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (P_2 - P_1) / V \quad (\text{Éq 3})$$

P₁ : Poids initial du filtre (mg).

P₂ : Poids du filtre après la filtration (mg).

V : Volume d'eau filtrée (L).



Figure III.8 : Rompe de filtration



Figure III.9 : Balance de précision 10⁻⁵

III.4.2.2. La matière organique dans l'eau de mer :

Les filtres GF/F de 0.4 µm de diamètre de pores, ont été préparés de la même façon que pour la matière en suspension. Ils sont alors pesés avec précision dans des creusets en porcelaine, soit P₁. Après les avoir passés au four à moufle à 600°C pendant deux heures, les creusets et filtres sont à nouveau pesés, soit P₂. La différence de ces deux poids (P₁, P₂) nous donne celui de la matière organique brûlée :

$$\boxed{M.O \text{ (mg)} = P_1 - P_2} \quad (\text{Éq 4})$$

Avec :

P₁ : poids du creuset et du filtre avant séchage

P₂ : poids du creuset et du filtre après séchage



Figure III.10: Four à moufle (WiseTherm).

III.4.3. Détermination du taux de la matière organique dans le sédiment :

L'une des méthodes d'évaluation de la teneur de la matière organique dans le sédiment, est la perte au feu (Rodier J., 1996).

- Décongélation du sédiment.
- Mettre le sédiment dans des creusets et à l'étuve à 70°C pendant 24 heures (séchage).
- Pesée des échantillons avec une balance de précision, on obtient alors le poids (P₁).
- Mise des échantillons au four à moufle à 600°C pendant 2 heures.
- Laisser refroidir.
- On effectue une deuxième pesée (P₂) qui est le poids du sédiment calciné.
- La différence du poids entre P₁ et P₂ représente le poids de la matière organique contenu dans le sédiment.

III.4.4. Analyse des hydrocarbures :

Matériels utilisés pour l'analyse des hydrocarbures :

- Lyophilisateur.
- Mortier en porcelaine.
- Ballon en verre de 250ml, avec ses bouchons en verre.
- Système Soxhlet
- Evaporateur rotatif.
- Jet d'azote (N₂).

- Eprouvette gradué (1l, 50ml), Bêchers, Spatule en métal inoxydable, Tubes à essai.
- Burette de 50ml.

III.4.4.1. Préparation des produits d'analyse :

Les produits d'analyse solides et liquides utilisés pour l'analyse des HAP dans le sédiment sont répertoriés dans les tableaux suivants.

Produits solides

Tableau III.1 : Référence et utilisation des produits chimiques solides dans le traitement des hydrocarbures dans le sédiment.

Produits solides	Références	Marque	Etape d'utilisation
Gel de silice(SiO₂)	70-230 mesh	fluka	Purification des hydrocarbures en chromatographie sur colonne ouverte
Alumine ou oxyde d'alumine Al₂O₃	70-230 mesh	BIOCHEM	
La laine de verre	Fibres courts	LABOSI	
Sulfate de sodium anhydre Na₂ SO₄		SIGMA-ALORICH	Pouvoir déshydratant (utilisé dans toutes les étapes).

Préparation des adsorbants :

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

- les produits solides (alumine, gel de silice et sulfate de sodium) ainsi que la laine de verre, les cartouches en cellulose font l'objet d'une extraction à blanc, Cette étape intermédiaire permet leur nettoyage avec de l'hexane pur dans le dispositif Soxhlet pendant 4 heures.
- Une quantité d'adsorbant pesée est mise à l'étuve à 140°C pendant 24 heures.
- L'adsorbant est ensuite désactivé partiellement par addition de 5% d'eau distillée.

Les produits liquides :

Tableau III.2 : Référence et utilisation des produits chimiques liquides dans le traitement des hydrocarbures dans le sédiment.

Produits liquides	Références	Marque	Etape d'utilisation
n-Hexane (C₆H₁₄)	Pour analyser des résidus de pesticides	Fluka	-conditionnement des matériels utilisés -Extraction - Purification - Fractionnement
Dichlorométhane (C₂H₂Cl₂)	Stabiliser à éthanol-	CARLO ERBA	- Extraction -Purification -Fractionnement
Acétone (C₃H₆O)	Pour analyser des résidus de pesticides. -Eau < 1% -Pour U.V spectroscopie.	BIOCHEM	Rinçage de la verrerie

III.4.4.2.Traitement du sédiment superficiel marin pour l'analyse des hydrocarbures :

Le sédiment prélevé est ensuite conservé à basse température afin de bloquer les processus d'évaporation et de dégradation microbienne qui peuvent altérer les composants organiques du sédiment parmi lesquels les hydrocarbures. En effet, les échantillons sont transportés rapidement dans une glacière et mis au congélateur à -18°C au laboratoire.

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

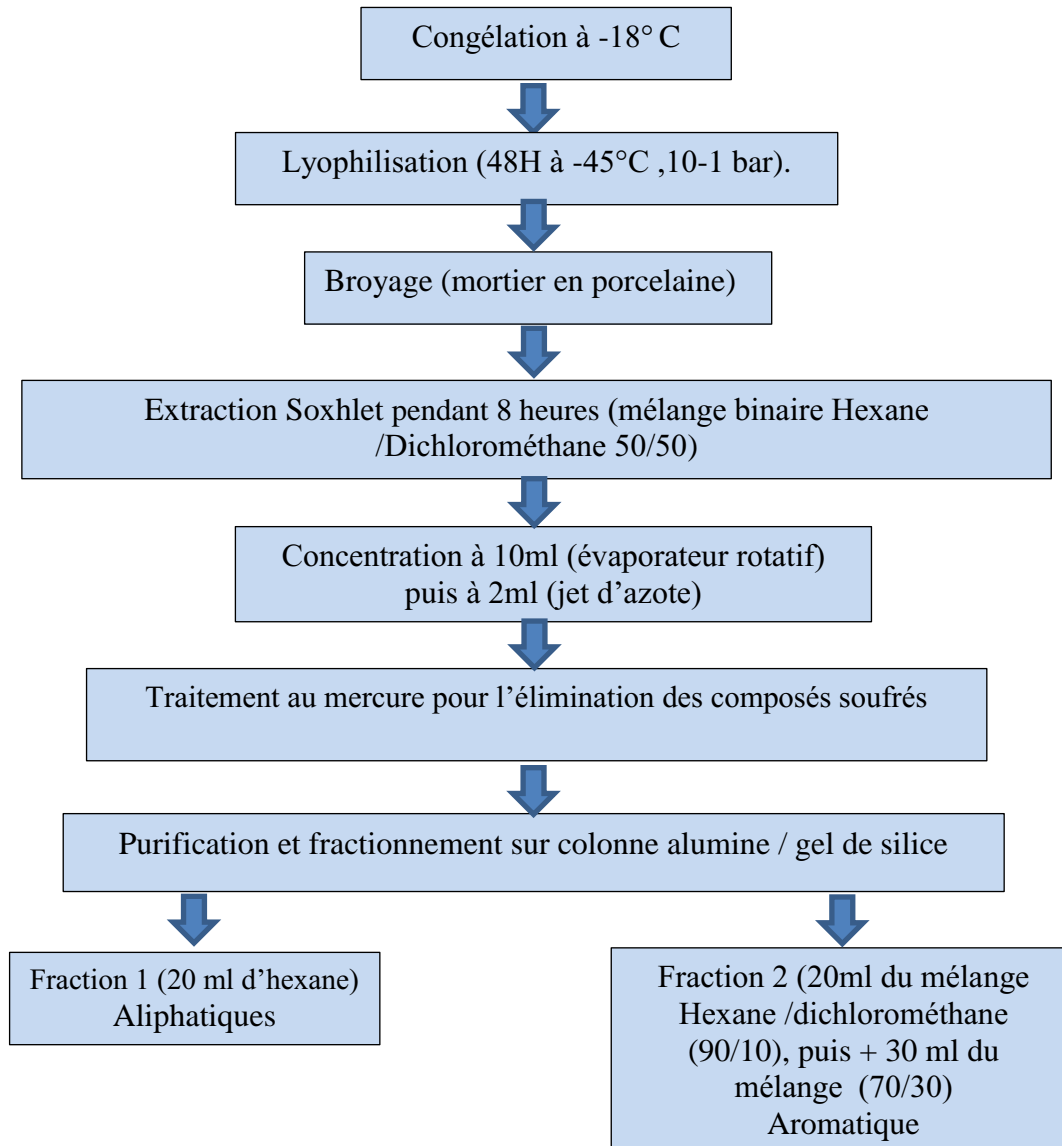


Figure III.11: Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dans le sédiment superficiel marin.

Protocole d'extraction des hydrocarbures dans le sédiment :

1. Lyophilisation :

La lyophilisation est le procédé de déshydratation par sublimation c'est-à-dire que l'eau contenue dans l'échantillon passe directement de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide, cette étape permet de dessécher ou de déshydrater l'échantillon à froid ce qui permet à l'échantillon de maintenir sa composition chimique initiale. Les échantillons congelés sont immédiatement introduits dans le lyophilisateur à -40°C et sous vide (10^{-1} bar) pendant 48 heures. (Lyophilisateur modèle CHRIST BETTA 1-8). (**Figure III.12**).



Figure III.13: Lyophilisateur (CHRIST BETTA 1-8).

2. Le broyage :

Les sédiments lyophilisés (les lyophilisats) sont ensuite broyés en poudre fine dans un mortier en porcelaine (**Figure III.14**) préalablement conditionné comme suit (le conditionnement se fait pour chaque utilisation) :

- Lavé avec le détergent.
- rincé avec l'eau de robinet.
- rincé avec l'eau bi distillée.
- séché à l'étuve à 120°C.
- conditionné avec l'hexane.

Le broyage a pour but d'homogénéiser l'échantillon



Figure III.14: Le broyage à l'aide d'un mortier en porcelaine.

3. Extraction des hydrocarbures :

L'extraction est réalisée à l'aide d'un extracteur Soxhlet. Cette opération permet d'extraire par lessivage tous les hydrocarbures contenus dans le sédiment avec un mélange binaire de solvants d'hexane et de dichlorométhane (200ml) dans des proportions égales en volumes introduit dans le ballon assure l'extraction des hydrocarbures. Quelques grains de « BOILING CHIPS » sont ajoutés dans le mélange (**Figure III.15**).

L'extraction dure 8 heures.

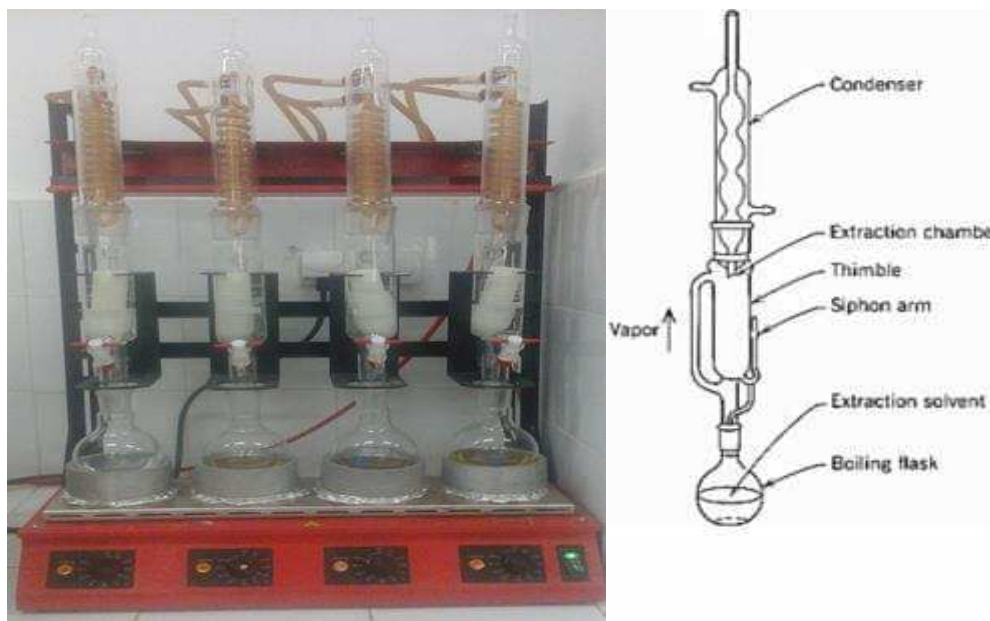


Figure III.15: L'extraction des hydrocarbures à l'aide d'un extracteur Soxhlet.

4. Concentration des extraits :

Environ 200 ml de l'extrait récupéré est concentré à un volume de 10ml à l'évaporateur rotatif (Température : 40°C, Pression : 1,5 bar) (**Figure III.16**).

Cette étape permet d'éliminer le solvant d'extraction, ce qui va augmenter la concentration des produits à analyser.

Puis jusqu'à un volume de 2ml sous jet d'azote (**Figure III.17**).



Figure III.16: Concentration par l'évaporateur rotatif.



Figure III.17: Concentration sous jet d'azote.

5. Traitement au mercure pour l'élimination des composés soufrés :

Les sédiments marins soumis à des apports anthropiques sont essentiellement riches en matière organique qui par leur oxydation dans des milieux anaérobies entraînent un enrichissement du sédiment en composés soufrés.

Cette étape est primordiale lors de l'analyse des hydrocarbures par chromatographie en phase gazeuse (CPG) parce que les composés soufrés interfèrent lors de l'analyse. En effet deux gouttes de mercure sont ajoutées dans chaque extrait d'échantillon suivi de l'agitation du tube pendant 3 mn. Le mercure en piégeant les composés soufrés noircit.

L'opération est répétée autant de fois que nécessaire et cela jusqu'à ce que le mercure garde sa couleur d'origine (gris argenté) ; Puis on récupère l'échantillon dans un tube à essai.

6. Purification et fractionnement :

La phase de purification est réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte remplie de deux adsorbants : gel de silice et l'alumine pour se débarrasser des composés organiques polaires tels que les lipides, les acides gras ainsi que toute impureté, qui peuvent causer des interférences au moment des analyses avec les hydrocarbures.

Le matériel nécessaire :

Pour cette étape, le matériel nécessaire est le suivant :

- Une burette de 50ml de contenance, 10mm de diamètre interne et munie d'un robinet en téflon + Support à burette.
- 2 paires de pinces en acier inoxydable.
- Laine de verre extraite.
- Longue tige de verre d'environ 7.5mm de diamètre.
- Becher d'environ 200ml, 50ml.
- Entonnoir à liquide d'environ 4cm de diamètre supérieur.
- Papier aluminium, Spatule, Balance ; Hexane.
- Gel de Silice fraîchement conditionnée.
- Alumine fraîchement conditionnée.
- Na_2SO_4 fraîchement conditionnée

Les étapes à suivre pour la purification :

- Rincer à l'hexane, l'intérieur et l'embout d'une colonne pour chromatographie.
- Découper suffisamment de laine de verre extraite pour mettre dans le bas de la colonne, à l'aide de deux paires de pinces préalablement rincées à l'hexane.
- A l'aide d'une longue tige de verre rincée à l'hexane, tasser la laine de verre dans le bas de la colonne.
- Rincer à l'hexane un entonnoir et la colonne.
- Vider complètement la colonne.

- Remplir la colonne à moitié avec l'hexane, couvrir avec une feuille de papier aluminium traité
- Mettre 5 g de gel de silice mélangé avec l'hexane dans la colonne.
- Frapper sur la colonne pour que la silice soit bien tassée.
- Laisser descendre le niveau d'hexane sans assécher la colonne.
- Mettre 5 g d'alumine mélangé avec l'hexane en procédant de la même façon qu'avec la silice.
- Frapper celle-ci sur la colonne pour tasser l'alumine au maximum.
- Laisser descendre le niveau d'hexane sans assécher la colonne.
- Ajouter 0,5 g de Na_2SO_4 en tête de la colonne pour l'absorption des gouttelettes d'eau si elles existent encore.

a)-Purification de la fraction aliphatique

- Verser l'échantillon après l'avoir agité.
- Ajouter 20ml d'hexane puis récupérer la fraction **1** aliphatique dans un tube à essai conditionné auparavant.
- Fermer avec du téflon puis conserver au frais.

b)-Purification de la fraction aromatique

- Ajouter 20 ml du mélange hexane-dichlorométhane dans des proportions (90/10) + 30 ml du mélange hexane-dichlorométhane dans les proportions (70/30) puis récupérer la fraction **2** aromatique.
- Faire une deuxième concentration à l'évaporateur rotatif (Température : 40°C, Pression : 1,5 bars).
- Conserver au frais.



Figure III.18 : préparation de la colonne pour chromatographie



Figure III.19 : Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte

III.5. Technique d'analyse des hydrocarbures :

III.5.1. La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) :

La CPG est une technique de séparation pour substances volatiles réalisée sur une colonne spéciale (Gitting R. in Browning D.R., 1971), qui s'applique aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. Elle permet ainsi l'analyse des mélanges éventuellement très complexes de natures et de volatilités très diverses. Ainsi la méthode s'applique à l'analyse des gaz de l'atmosphère ou du pétrole ou à des mélanges de liquides volatiles (Arpino P et al., 1995).

III.5.2. Principe de CPG :

En principe les molécules à séparer sont volatilisées et mélangées à un gaz. Ce gaz dit « gaz vecteur » constitue « la phase mobile », il véhicule les analytes à l'intérieur d'une colonne analytique dont la paroi interne est recouverte d'un film chimique (ou « phase stationnaire »). Les molécules se séparent dans le temps car elles migrent dans la colonne avec des vitesses différentes, le temps de parcours de chaque analyte étant fonction de sa volatilité et des interactions qui s'exercent entre la molécule et le film chimique (Bouchonnet S., 2009). A la sortie de la colonne, est placé un détecteur qui permet d'enregistrer en continu la variation de la concentration du soluté en fonction du temps cet enregistrement est le chromatogramme (Taleb-Bendiab S-A., 1975) (Figure III.20).

Le temps écoulé entre l'injection du soluté et le sommet du pic du soluté s'appelle le temps de rétention, soit t_r . Le temps écoulé entre le sommet du pic de l'air et celui du soluté est appelé le temps de rétention corrigé du temps de l'air.

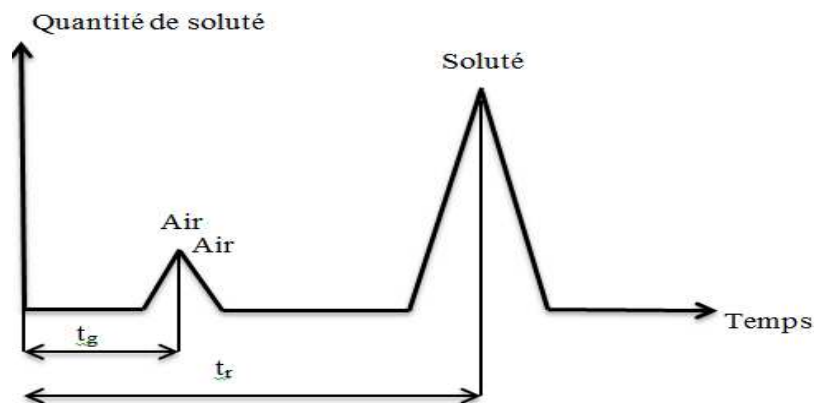


Figure III.20: Chromatogramme (Taleb-Bendiab S-A., 1975).

Chaque molécule est caractérisée par un temps de rétention qui correspond au temps écoulé entre l'injection de l'analyte et l'instant de son arrivée au détecteur. En terme de volatilité, le principe de séparation est simple : un composé migre d'autant plus vite dans la colonne que son point d'ébullition est faible (Bouchonnet S., 2009).

Un appareil de CPG comprend différents modules : une source de gaz, une chambre d'injection, un four dans lequel est placée une colonne, un détecteur et un système d'acquisition des données (Jacob V., 2010).

Le chromatographe en phase gazeuse utilisé est un appareil Clarus 580 de numéro de série **N651000A** équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (constitué d'air et d'hydrogène). Qui sert à analyser l'indice d'hydrocarbures par chromatographie en phase gazeuse dans les eaux de surfaces, les eaux résiduaires et les eaux des stations d'épuration. Il utilise à cet effet les lignes directrices selon la norme *ISO 9377-2*. Il est composé des éléments suivants :

- Caractéristiques et dimensions de la colonne:

- Colonne capillaire en silice fondue (Rxi ©-1ms)
- Composition: phase apolaire, Crossbond[®] 100% diméthyle polysiloxane)
- Stabilité du polymère: 300 °C.
- Longueur: 30 m.
- Diamètre intérieur: 0.53 mm.
- Epaisseur du film: 1.5 µm.
- Gaz vecteur: mélange d'Azote et d'Hélium à une pression de 5 bar.

- Type et température de l'injecteur: injecteur split/splitless utilisé en mode splitless avec Une vanne de fuite, couramment réglée entre 50 et 100 ml/min et la température à 300°C, les plus petits volumes qu'il est possible de prélever avec une micro-seringue (0,1 ml).

- type et température du détecteur: détecteur à ionisation de flamme (FID) chauffé à 150°C.

- Passeur d'échantillons (Auto sampler).

- Un ordinateur muni du Logiciel de pilotage et traitement de données : TotalChrom.

- Générateur d'hydrogène Cinel AD 260

Débit d'hydrogène de 45 ml/min, pureté>99.9995%, pression réglable de 5 bars

- Générateur d'air zéro avec compresseur Intégré Peak ZA035A

Débit d'air : 450 ml/min à 5 bar.

- Bouteille d'Hélium comme gaz vecteur : pression à 5 bar.

- Nombre maximum d'échantillons : 108 positions.

- Les chromatogrammes ont été réalisés en programmation linéaire de température, de 40 à 300 °C avec un gradient de 10 °C par minute.



Figure III.21 : Chromatographe de marque Clarus 580 (PerkinElmer).

II.5.3. Etalonnage :

L'étalonnage du chromatographe consiste à préparer une série des solutions étalons (5 solutions) dont la composition est proche de la solution inconnue, à partir d'une solution mère de 5000 µg/ml du cyclohexane (Standard Mixture Stock Solution marque RESTEK).

III.5.3.1. Préparation du solvant d'extraction :

Solution mère du solvant d'extraction :

Dissoudre 20 mg de n-tétracontane dans l'hexane, puis ajouter 20µl de n-décane et diluer avec l'hexane jusqu'à 1000ml, la conserver hermétiquement fermée dans un réfrigérateur (4°C à 8°C) pendant six mois au maximum.

Solution étalon fille du solvant d'extraction :

Diluer la solution mère avec dix fois l'hexane.

III.5.3.2. Mélanges d'étalonnage :

- Étalonner le GC/FID à l'aide des cinq solutions d'étalonnage suivantes: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 et 1.0 mg/ml.

- Pipeter 20, 40, 60, 80 et 100µl du mélange étalon dans 5 flacons jaugés de 1 ml respectivement. Ajuster au trait avec la solution fille du solvant d'extraction.

- Les solutions sont conservées à 4 °C dans des récipients hermétiquement fermés. Les solutions sont stables 6 semaines.

- Un minimum de trois points d'étalonnage doit être utilisé. À noter que les points utilisés pour la construction de ces courbes doivent être le plus près de celle-ci. La courbe d'étalonnage est considérée comme acceptable si le facteur de corrélation est supérieur ou égal à 0,995.

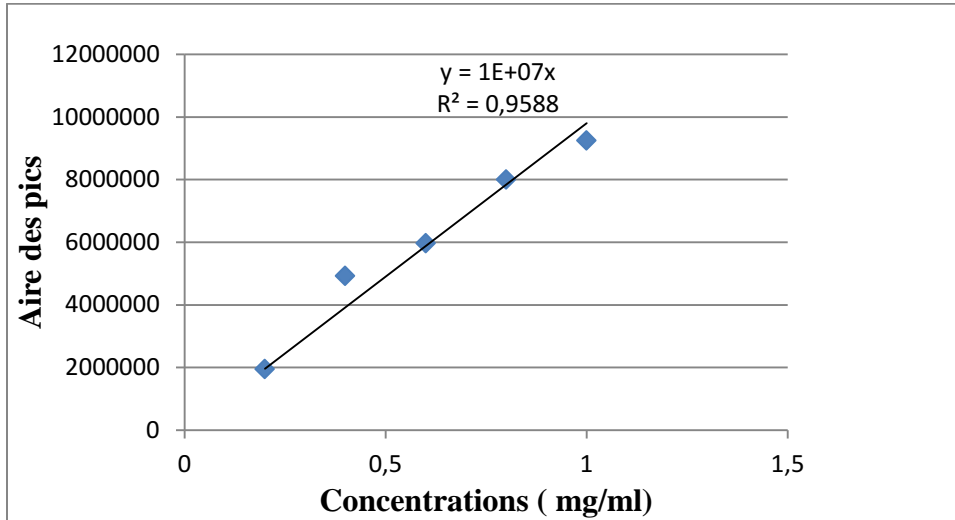


Figure III.22 : courbe d'étalonnage.

Calculs et expressions des concentrations :

$$[C]_f = ([C]_m - [C]_b) \times V/P \quad (\text{Éq 5})$$

$[C]_f$: Concentration finale des hydrocarbures dans le sédiment sec (mg/g sec).

$[C]_m$: Concentration des hydrocarbures mesuré par CPG (mg/l).

$[C]_b$: Concentration du blanc correspondant (mg/l).

V : volume d'extrait purifié (ml).

P : poids sec du sédiment analysé (g).

Résultats
&
Discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

Dans ce chapitre, Nous étudierons Les résultats obtenus concernant les hydrocarbures et les paramètres physiques et chimiques des prélèvements réalisés au niveau du port d'Alger.

IV. Variation des paramètres physico-chimiques :

Le tableau suivant (**Tableau IV.1**) représente tous les résultats des paramètres physico-chimiques :

Tableau IV.1: Les paramètres physico-chimiques enregistrés au niveau du port d'Alger.

Stations	T (°C)	S (PSU)	O.D (mg/l)	pH	MES (mg/l)	M.O.P (%)	M.O _{sed} (%)
ST1	21,87	31,64	07,53	7,91	31,80	12,58	16,50
ST2	20,83	31,60	05,70	7,84	37,40	10,70	17,78
ST3	22,88	31,40	07,20	7,85	17,28	23,15	18,78
ST4	21,71	32,84	06,73	7,86	16,36	24,45	19,24
ST5	22,97	32,43	09,35	8,07	10,84	36,90	17,27
ST6	20,98	31,50	06,11	7,84	15,32	26,11	19,21
ST7	23,61	32,35	11,28	8,15	15,60	22,31	17,41
Moy	22,12	31,96	07,70	7,93	20,65	22,31	18,03
Ecart-type	01,05	00,56	01,82	0,12	09,87	08,78	01,06

Avec : **minimum**, **maximum**

IV.1.La température :

Au niveau du port d'Alger les températures de l'eau de surface se situaient entre un minimum de 20,83 °C au niveau de la station 02 et un maximum de 23,61°C au niveau de station 07 avec une moyenne de 22,12°C ce qui représente une variation d' environ 3°C. La température de l'air quant à elle était de 22°C le 07 Juin 2015 et de **24.0** °C le 09 juin 2015 ce qui représente une légère variation de 2°C.

Les fluctuations de la température seraient dues probablement à l'influence des facteurs météorologiques et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles (Chebli, 1980; Chouikhi, 1993 in Bachari Houma F., 2009). De façon générale les températures mesurées reflètent les périodes saisonnières (estivale) en relation avec les conditions météorologiques (Boulaïdid M et al., 2005) .

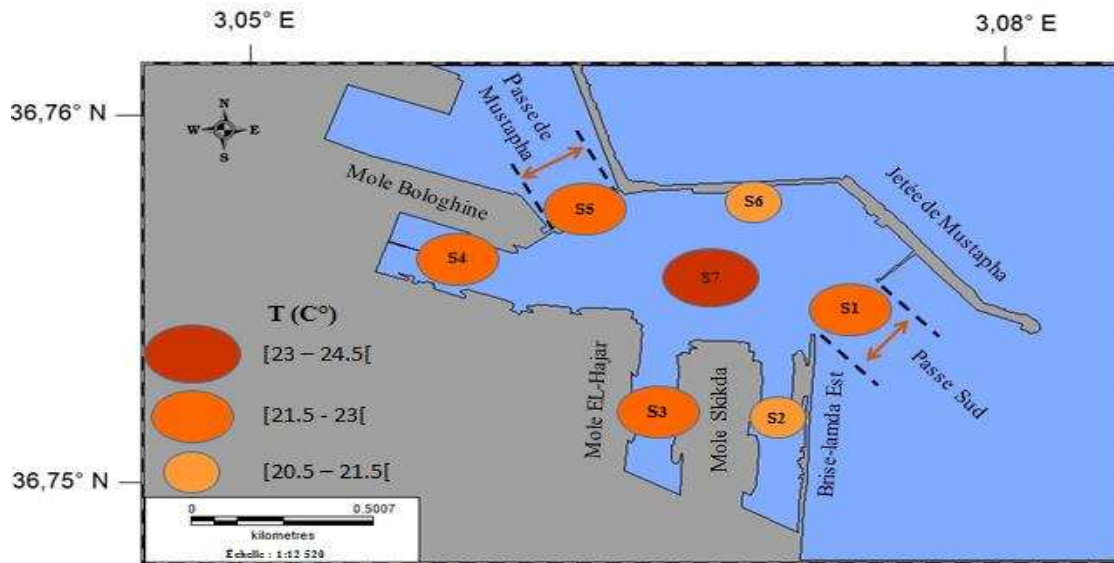


Figure IV.1: Variation de la température dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

IV.2. La salinité :

Les valeurs de salinité au niveau de notre zone d'étude, sont comprises entre 32,84 PSU et 31,4 PSU avec une moyenne de 31,96 PSU et un écart type de 0,56 PSU. Le minimum de salinité se trouve à la station 3, et le maximum à la station 4.

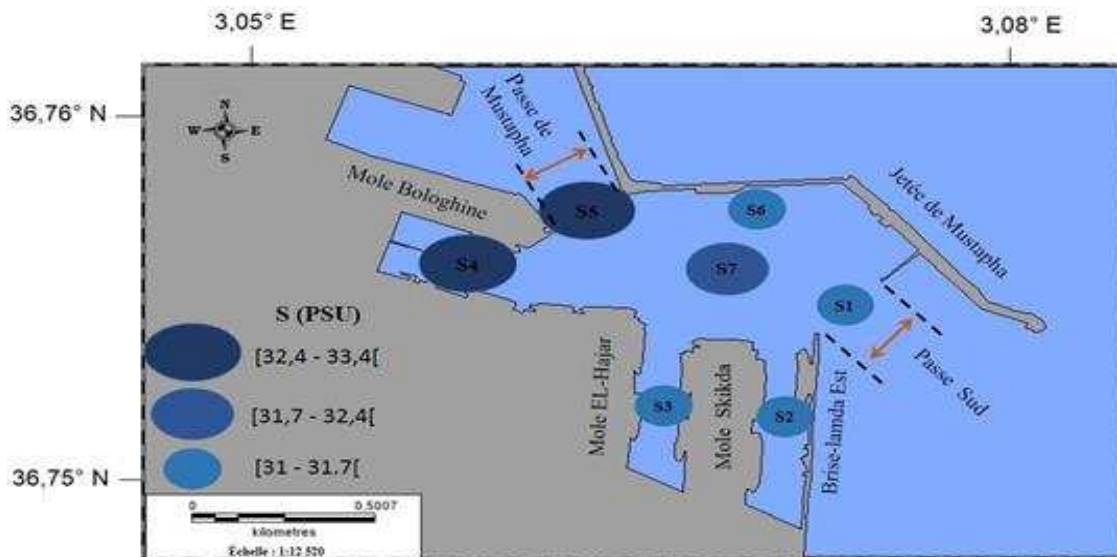


Figure IV.2: Variation de la Salinité dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

D'après [Rebzani-Zahaf C., et al. 1996](#), Les valeurs de salinité de surface sur le bassin Mustapha se varient entre un maximum de 36,7 et un minimum 30 PSU.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Au niveau du bassin Mustapha du port d'Alger, de nombreuses entreprises implantées, des rejets intenses et de différentes natures le caractérisent, et expliquent les valeurs hétérogènes de ce paramètre (Bachouche S., 2010).

IV.3. L'oxygène dissous :

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles du bassin Mustapha varient entre 5,7 mg/l, et 11,28 mg/l, avec une moyenne de 7,7mg/l et un écart type de 1,82. La plus faible valeur est observée à la station 2. Tandis que la teneur la plus élevée est signalée à la station 7.

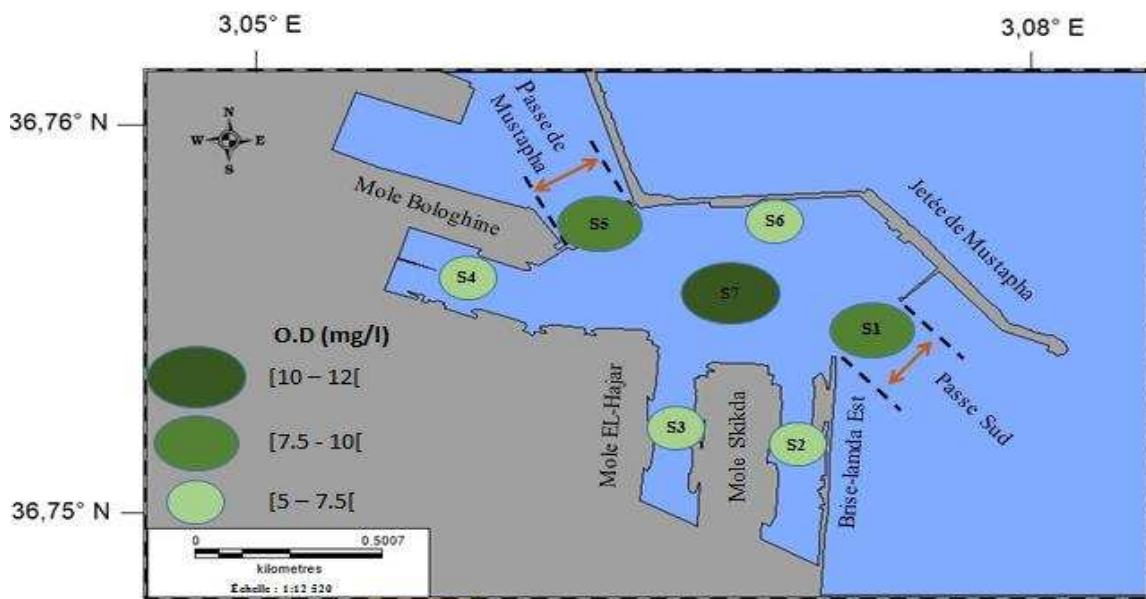


Figure IV.3: Variation de l'oxygène dissous dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

D'après ces données on remarque que les concentrations d'oxygène dissous ont connues une augmentation ces dernières années. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des passes d'entrées et au centre du bassin (stations 1, 5 et 7). Nous pourrions bien expliquer que les variations d'oxygène sont plutôt dues à la turbulence des eaux, que génère l'intensité du trafic portuaire.

Par contre les plus faibles concentrations sont celles des stations 2, 3, 4, et 6 qui se trouvent au près des quais et les darses où l'apport des rejets d'eaux usées est intense. D'après Bakalem *et al.* (1986). la majorité des darses étant des milieux azoïques. Cet état d'anoxie s'explique par la consommation de l'oxygène par les processus d'oxydations bactériennes et autres. Les concentrations minimales d'oxygène dissous retrouvées pourraient être expliquées

Chapitre IV : Résultats et discussions

par la présence de fortes teneurs des matières en suspension en surface et des déchets des matières organiques solides et liquides rejetés essentiellement par des unités industrielles (Ivanoff 1972 in Koroghli A., 2010).

IV.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Les valeurs de pH au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha) varient en général dans l'intervalle [7,84 et 8,15] avec une moyenne de 7,93 et un écart type de 0,12.

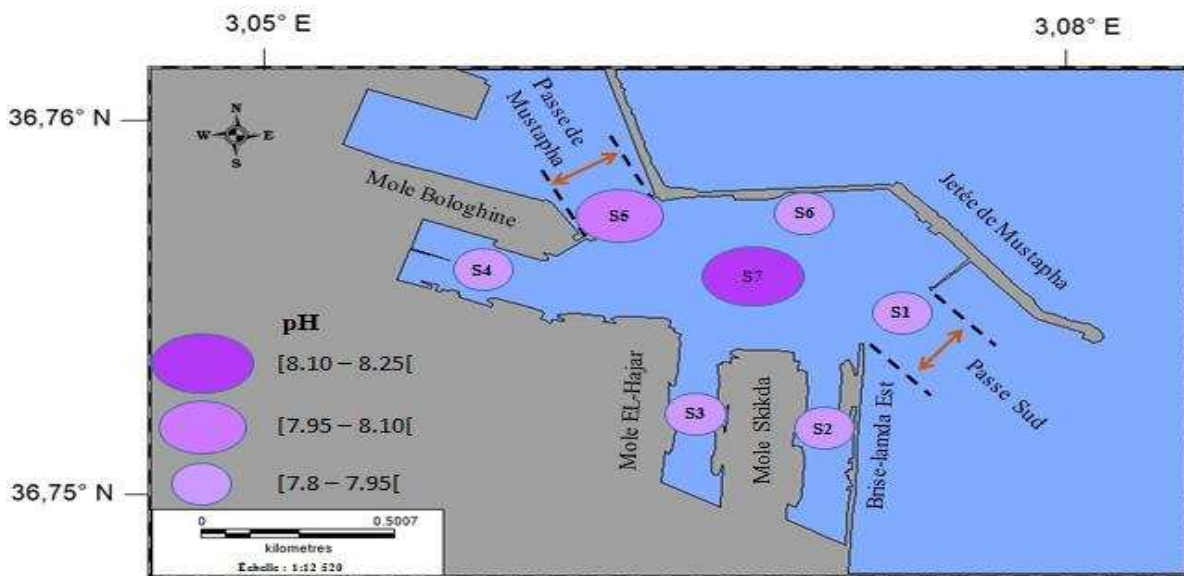


Figure IV.4: Variation de pH dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

le pH moyen de l'eau de mer est voisin de 8,2 (Aminot *et* Chaussepied,1983), et d'après Barnabe *et al.* (1997), le pH de l'eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones.

Le pH est un indicateur d'acidité qui lorsqu'il est réduit ou élevé peut affecter le processus de biodégradation (Mesbaiah F-Z. *et* Badis A., 2013). Les faibles valeurs observées dans le port d'Alger dans le bassin de Mustapha, peut être expliquée par les rejets d'eaux usées et par une acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique (Bachouche S., 2010).

IV.5. Matières en suspension:

Les valeurs de MES au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha) varient en général dans l'intervalle [37,4 et 10,84 (mg/l)] avec une moyenne de 20,65 mg/l et un écart type de 9,87.

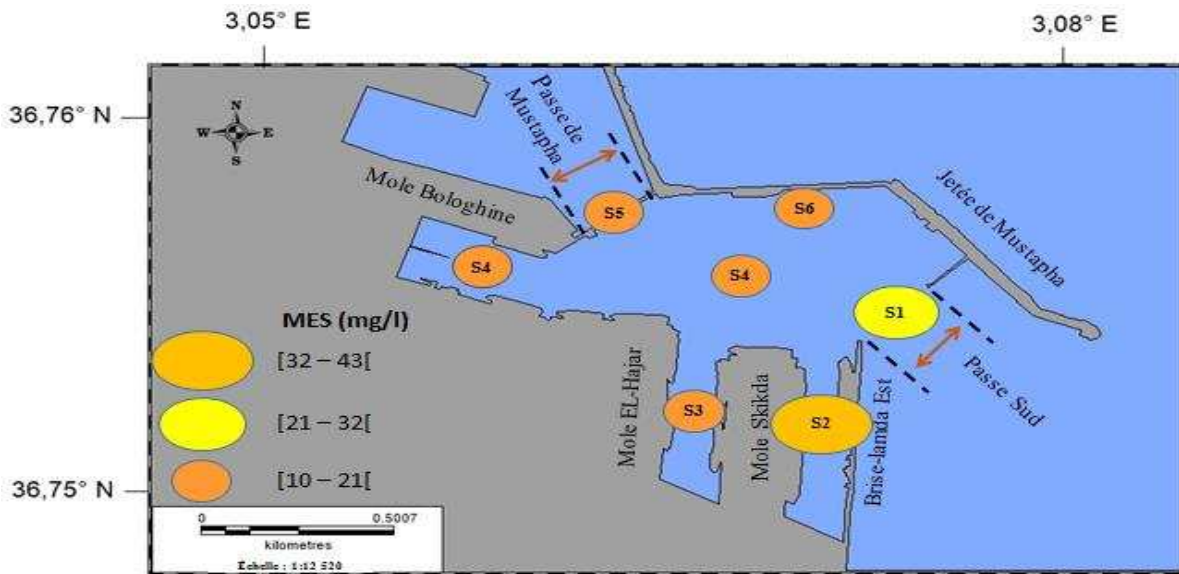


Figure IV.5: Variation de la matière en suspension dans le bassin Mustapha du port d'Alger.

Les valeurs minimales observées au niveau du bassin sont dues probablement à la période de prélèvement où les eaux des bassins étaient très calmes.

IV.6. Matière organique particulaire :

Les pourcentages de M.O.P dans l'eau au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha) varient en général dans l'intervalle [10,70 % et 36,90 (%)] avec une moyenne de 22,31 % et un écart type de 08,78 %.

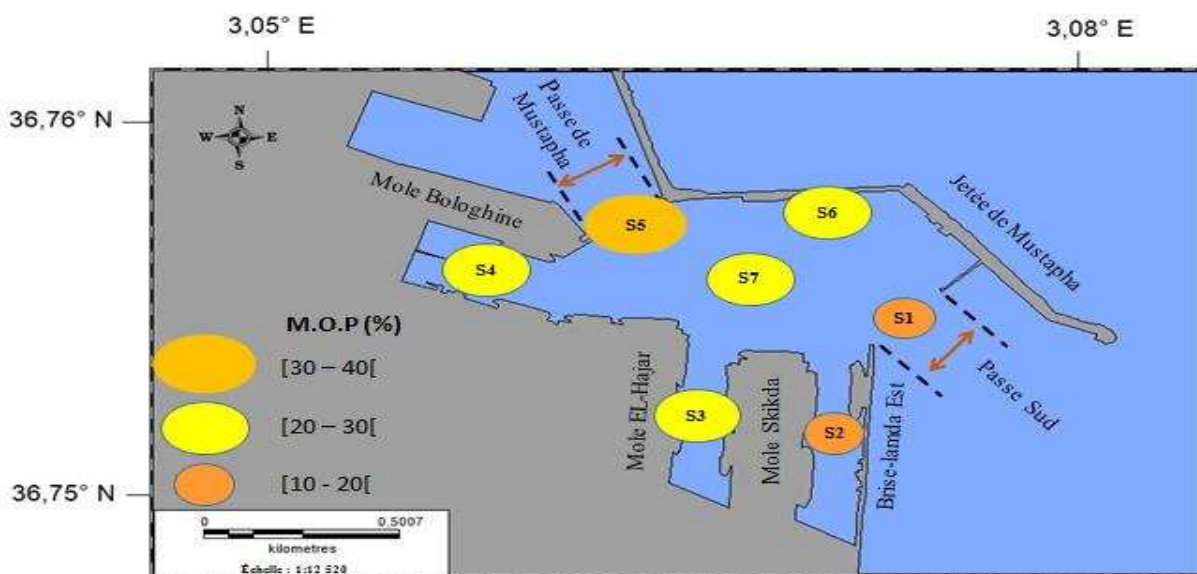


Figure IV.6: Variation de M.O.P dans l'eau du bassin Mustapha du port d'Alger.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Les taux élevés de MOP au niveau du bassin peut être expliqué par la présence des débris organiques provenant des rejets des eaux usées urbains ou industrielles. La valeur la plus élevée est observée au niveau de la passe de Mustapha (ST05), le point de contact et d'échange avec le bassin d'Agha. Tandis que la valeur minimale se trouve au niveau de la passe sud, le point d'échange avec les eaux de la baie d'Alger

IV.7. Matière organique dans le sédiment :

Les pourcentages de M.O dans le sédiment au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha) varient en général dans l'intervalle [19,24 % et 16,50 %] avec une moyenne de 18,03 % et un écart type de 1,06.

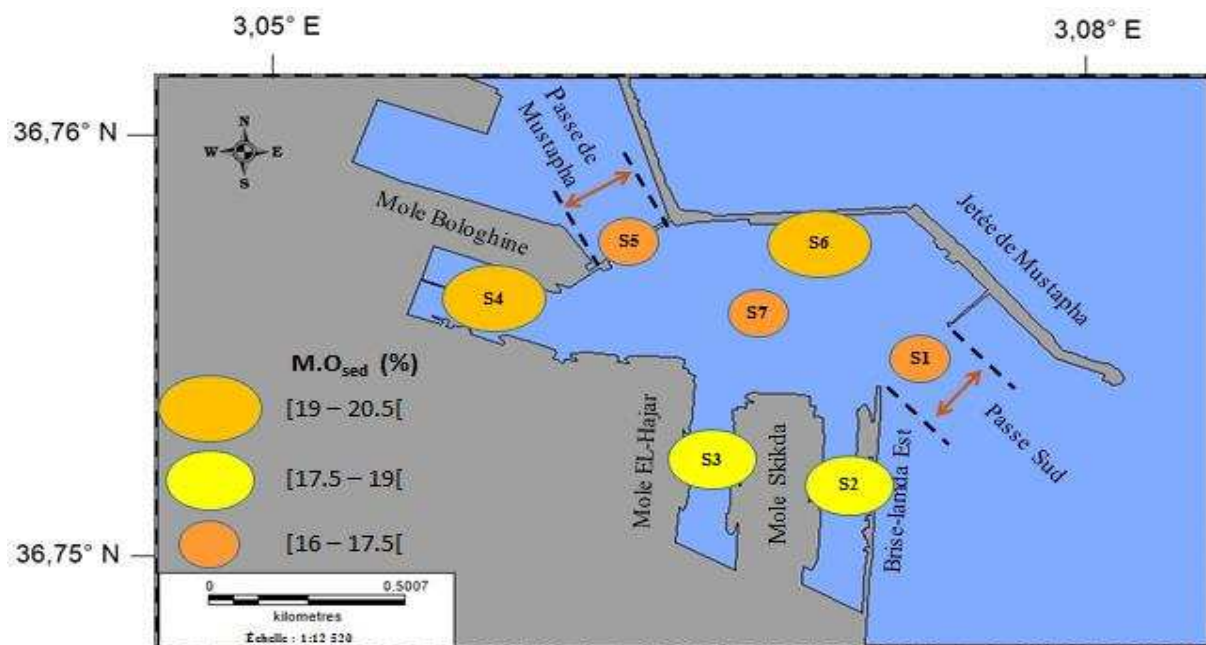


Figure IV.7: Variation de la matière organique dans le sédiment du bassin Mustapha du port d'Alger.

D'après **Chamley 1987**, les teneurs dépassant 1% sont considérées pour la mer Méditerranée comme très élevées.

IV.8. Résultats des analyses des hydrocarbures :

Les résultats des mesures des hydrocarbures dans le sédiment du bassin Mustapha sont calculés (en fusant la moyenne des deux répliques) et regroupés dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau VI.2 : Les concentrations des hydrocarbures enregistrés au niveau du port d'Alger (bassin Mustapha).

stations	St 01	St 02	St 03	St 04	St 05	St 06	St 07	Moy	Ecart-type
[aliphatiques] (10^{-3} mg/g sec)	1,48	4,34	2,54	5,04	1,85	2,06	1,94	2,75	1,38
[aromatiques] (10^{-3} mg/g sec)	0,06	0,23	0,19	0,69	0,17	0,35	0,17	0,27	0,20

Maximum, minimum.

L'analyse de sédiment du bassin Mustapha du port d'Alger par la méthode CPG nous informe sur la concentration des hydrocarbures aliphatiques (**Figure IV.8**), et les hydrocarbures aromatiques dans ces sédiments (**Figure IV.9**).

Les teneurs des hydrocarbures aliphatiques, varient entre un minimum de $1,48 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec et un maximum de $5,04 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec, avec une moyenne de $2,75 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec et un écart-type de $1,38 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec. Pour les hydrocarbures aromatiques, les teneurs varient entre un minimum de $0,06 \cdot 10^{-3}$ mg/g et un maximum de $0,69 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec, avec une moyenne de $0,27 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec et un écart-type de $0,20 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec.

La station (ST01) située au niveau de la passe sud reflète la valeur la plus faible qui est de $1,48 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec pour les hydrocarbures aliphatiques, et $0,06 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec pour hydrocarbures aromatiques. Tandis que la valeur maximale est enregistrée au niveau de la station (ST04) à côté du môle de Bologhine caractérisé par la présence d'une centrale électrique (SONALGAZ) et la société nationale de travaux maritimes (SONATRAM), avec une teneur de $5,04 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec pour les hydrocarbures aliphatiques, et $0,69 \cdot 10^{-3}$ mg/g sec pour hydrocarbures aromatiques.

En remarque que pour les deux fractions des hydrocarbures que les teneurs les plus faibles (en station 01) correspondent au minimum de pourcentage de MO dans le sédiment, et ainsi pour les teneurs maximales, se localisent au niveau de la station 04 correspondant au maximum de MO. D'après [Loizeau, V. \(1994\)](#), la matière organique du sédiment peut être considérée comme un solvant organique qui entre en compétition avec les lipides des organismes vivants pour stocker les contaminants organiques neutres qui sont présents.

La granulométrie du sédiment influence l'adsorption des contaminants organiques. Quand la taille des particules diminue, la surface de ces particules par unité de masse augmente. L'augmentation de la surface des particules entraîne également un accroissement du nombre de sites de fixation pour les polluants organiques ([Loizeau, V., 1994](#)).

Chapitre IV : Résultats et discussions

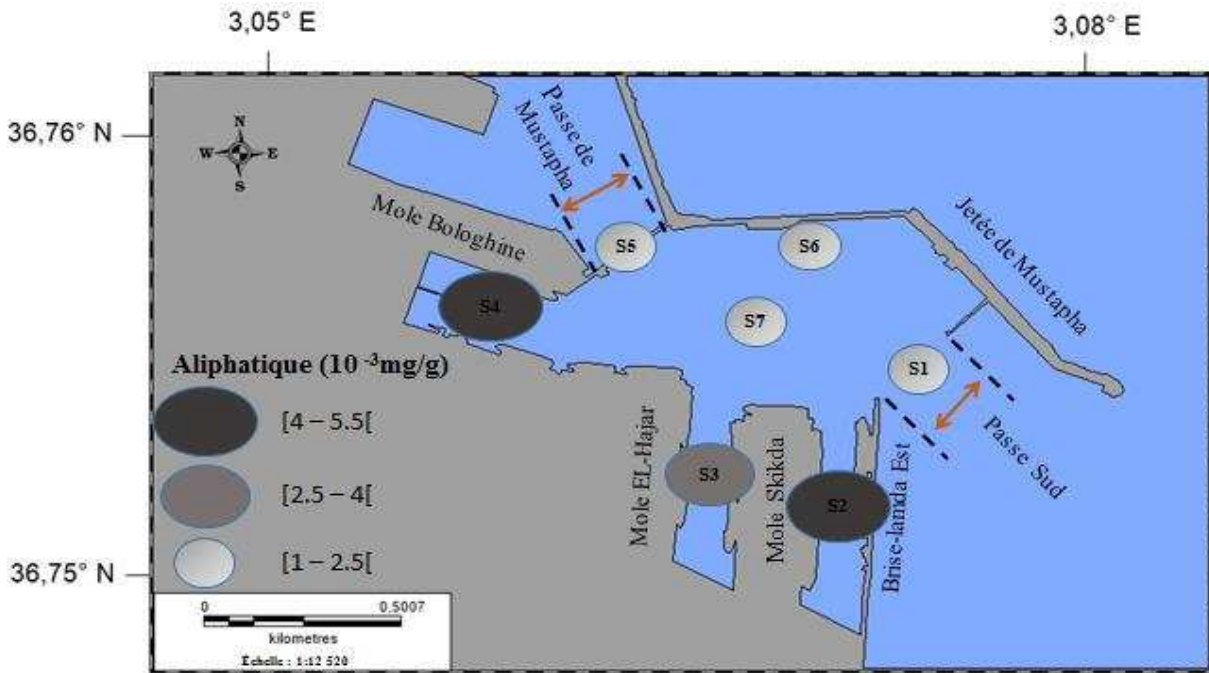


Figure IV.8: Variation des concentrations des hydrocarbures aliphatiques dans le sédiment du bassin Mustapha du port d'Alger.

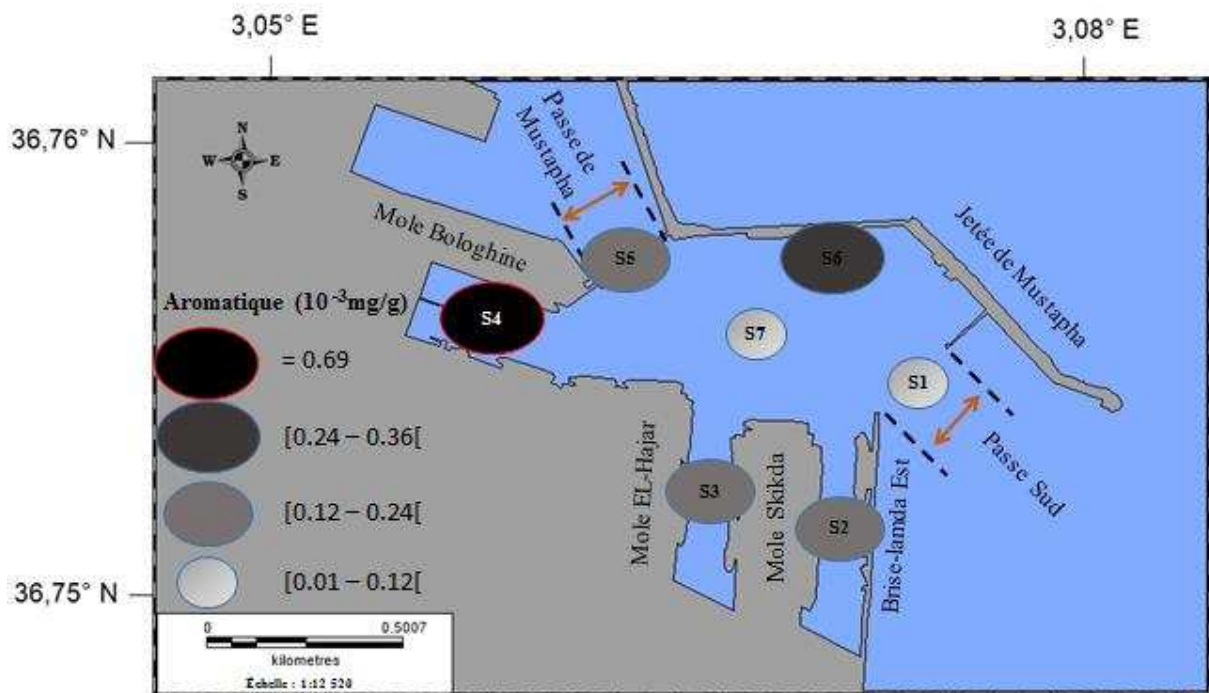


Figure IV.9: Variation des concentrations des hydrocarbures aromatiques dans le sédiment du bassin Mustapha du port d'Alger.

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de notre étude, consiste à évaluer taux de pollution par les hydrocarbures dans le sédiment superficiel du bassin Mustapha du port d'Alger. Notre bassin est le siège de nombreuses sources de pollutions (Rejets de déchets d'hydrocarbures et l'usine huilière et la savonnerie, rejets urbains, rejets de la SEMPAC (silos à grains), un bateau usine de traitement de ciment, rejets d'eaux chaudes chlorées de la centrale électrique).

A cet effet quatre-vingt-sept échantillons d'eau et de sédiment ont été analysés pour la détermination des concentrations des hydrocarbures et la mesure des différents paramètres physico-chimiques.

La méthode analytique utilisée révèle complémentaire (CPG) et nous a permis de préciser les niveaux de concentrations des hydrocarbures rechercher dans la matrice sédimentaire.

A la lumière des résultats obtenus il a été constaté que :

- L'importance des apports anthropiques qui ont une grande influence sur la distribution des teneurs des contaminants.

- A faute des moyens et du temps la mesure d'oxygène était effectuée in situ, nous a donner des résultats qui semble moins pertinents et qui peut être dues aussi à l'importance de trafic portuaire.

- Des valeurs faibles de pH ont été observées dans la zone d'étude ($7,93 \pm 0,12$).

- Les résultats d'analyse du taux de la matière organique dans les sédiments superficiels indiquent la richesse relative de la zone d'étude (de 19,24 % à 16,50 %), cette richesse est due en grande partie à la contribution des apports anthropiques.

- Pour le sédiment superficiel, les résultats montrent que pour les deux fractions d'hydrocarbures analysés les concentrations les plus élevées se localisent au niveau des darses notamment la darse à côté du mole de Bologhine caractérisé par la présence d'une centrale électrique (SONALGAZ) et la société nationale de travaux maritimes (SONATRAM).

A l'avenir, pour l'approfondissement de ce travail, nous recommandons :

Une étude sur la nature géochimique du bassin, s'avère importante afin de connaître la composition chimique et minéralogique des sédiments contaminés.

Il est nécessaire de faire un inventaire du fond du port d'Alger, pour évaluer l'impact des activités humaines sur la faune et la flore.

Nous suggérons aussi de faire la mesure de l'oxygène dissous par la méthode de Winkler, qui révèle plus précise et plus pertinente.

Conclusion

De réaliser les prélèvements du sédiment en utilisant un carottier au lieu des bennes, ce qui permettra donner un profil vertical de distribution des hydrocarbures.

Enfin, nous suggérons un suivi spatio-temporel, pour surveiller l'évolution de l'état du port d'Alger.

Bibliographie

Bibliographie

- **ALBAKJAJI, M. (2011).** La pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures liée au trafic maritime. Thèse de docteur. Université de PARIS-EST, 298p.
- **ALMULSI, E. (2011).** Contamination par les hydrocarbures d'un poisson osseux: la Sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792), pêchée dans les baies d'Oran et de Béni-Saf. Mémoire Magister. Université d'Oran, 97 p.
- **AMINOT, A. et CHAUSSEPIED, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Paris: CNEXO, 395 p.
- **AMINOT, A. et KEROUEL, R., (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France : Ifremer, 336 p.
- **ARPINO, P. et al. (1995).** Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse. Paris : Masson, 700 p.
- **BACHARI, H.-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.
- **BACHOUCHE, S. (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun: étude 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.
- **BEN AISSA, N. CHIBANE, H. et MESSAR, K. (2006).** Etude bathymétrique et sédimentologique du port d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral. ISMAL. 54 p.
- **BERTRAND, A. (2000).** Transport maritime et pollution accidentelle par le pétrole : Faits et chiffres (1951-1999). Paris : Technip, 146 p.
- **BOUCHONNET, S. (2009).** La spectrométrie de masse en couplage avec la chromatographie en phase gazeuse. Paris : Tec & doc., 195 p.
- **BOURCEREAU, L. et al. (2008).** Accumulation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les sédiments de la rivière Doubs, Rapport Final. Université de France comité, 55 p.
- **BROWNING, D.R. (1971).** Chromatographie. Paris : MASSON, 164 p.
- **CHAANSONNET, S. et JOYEUX, G. (2005).** Comportement des hydrocarbures, BASTIEN-VENTURA C et GIRIN M., Marées noires et environnement. Institut océanographique, 408 p.
- **CHAMLEY, H., 1987.** La sédimentologie. Paris : Dunod, 175 p.
- **DJELTI, F. (2012).** Contribution à l'étude des propriétés des asphaltènes. thèse magistère. Université Abou-Beker Belkaid-Tlemcen, 122 p.
- **DOE. (1994).** Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbondioxide system in sea water; version 2, A. G. Dickson & C. Goyet, eds. ORNL/CDIAC-74
- **C.O.I (1982).** La détermination des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments. Manuels et guides, 11, Commission Océanographique intergouvernementale de l'Unesco, 31 p.
- **C.O.I (1984).** Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Procédures

Bibliographie

- applicables à la composante pétrolière du système de surveillance de la pollution marine de la COI, 13. Commission Océanographique intergouvernementale de l'Unesco, 35 p.
- **Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, (1999).** Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique — hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999. Winnipeg : le Conseil, 17 p.
 - **GAUJOUS, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Paris : Tec et doc, 220 p.
 - **Fattal, P. (2008).** Pollution des côtes par les hydrocarbures. France: Presse universitaire de RENNES, 395 p.
 - **GEFFARD, O. (2001).** Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés: évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires. Thèse Doctorat. France : Université BORDEAUX I, 376 p.
 - **HAMLILI, N. (2005).** Traitement biologique des eaux contaminées par les hydrocarbures dans un bioréacteur à lit fluidisé tri-phasique. Thèse Magistère. Alger : USTHB, 145 p.
 - **INERIS. (2005).** Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Guide méthodologique. Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transfert dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'étude N°66244 DESP-R01, 85 p.
 - **ITOPF. (2012).** Devenir des déversements des hydrocarbures en mer. Devenir des déversements des hydrocarbures en mer 2. Royaume-Uni : Impact PR& Design Limited Canterbury, 12 p.
 - **JACOB, V. (2010).** La chromatographie phase gazeuse, salle de TP génie analytique. Grenoble : IUT de chimie, 61 p.
 - **KANKOU, M. (2004).** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de docteur. France : Université de Limoges, 159 p.
 - **KOROGHLI, A. (2010).** Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse Magister. USTHB, 150 p.
 - **LACAZE, J.C. (1996).** Eutrophisation des eaux marines et continentales. Paris : Ellipses, 191 p.
 - **LACAZE, J.C. (1996).** La pollution des mers. France : Flammarion, 128 p.
 - **LACAZE, J.C. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. Masson, p.118-119
 - **LATOUCHE, C. et MOYERS, J. (1977).** Méthodologie d'études des pollutions dans les sédiments, Définition des critères de qualité sédimentologiques, Contrat CNEXO - 1. G. B. A. n° 76/1438. Université BORDEAUX I, 64 p.
 - **LEFEVRE, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures. Paris : Technip, 284 p.
 - **LEROY, J-B. (1986).** La pollution des eaux. Paris : Presses Universitaires de France, 128 p.

Bibliographie

- **LESCOLE, C. (2002).** Les feux d'hydrocarbures. Centre de Secours de Divonne-les-Bains (consulté le 29 juin 2015). Disponible sur Site Web (<http://www.csdivonne.fr.st>).
- **LOIZEAU, V. (1994).** Port autonome, synthèse des connaissances sur l'estuaire de la seine-contamination chimique, deuxième volet. Ifremer, 91 p.
- **MAZEAS, O. (2004).** Evaluation de l'exposition des organismes aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le milieu marin par le dosage des métabolites de HAP. Thèse Doctorat. Université BORDEAUX I, 470 p.
- **MESBAIAH, F-Z. et BADIS, A. (2013).** Traitement biologique des milieux aquatiques contaminés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Revue scientifique et technique. LJEE N°21 et 22. p.48-55.
- **NEFF, J.M. (1979).** Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment : source, fat and biological effect. Applied Science. England : Essex, 262 p.
- **O.N.M. (2003).** Office National de la Météorologie. Relève météorologique 1993-2004.
- **RAMADE, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France : EDISCIENCE INTERNATIONAL, 690 p.
- **REBZANI-ZAHAF, C. (1990).** Les peuplements macrobenthiques du port d'Alger, Evolution spatiotemporelle, Impact de la pollution. Thèse de Magistère. ISN/USTHB, 199 p.
- **REBZANI-ZAHAF, C. et al. (1996).** Cycle annuel du peuplement macro benthique du port d'Alger. OCEANOLOGICA ACTA-VOL. 20-No 2. p.461-477.
- **REBZANI-ZAHAF, C. (2003).** Les peuplements macrobenthiques des milieux portuaires de la côte algérienne (Alger, Bejaia et Skikda), Evolution spatio-temporelle, Impact de la pollution. Thèse d'Etat. ISN/USTHB, 199 p.
- **Revue Maritime, (1861).** Revue trimestrielle. Convention des Nations unies sur le droit de la mer dite de Montego bay (1982). Institut Français de la Mer ,151p.
- **RINGUET, J. (2012).** Dérivés oxygénés et nitrés des hydrocarbures aromatiques polycycliques (OHAP/NHAP) en phase particulaire : granulométrie et devenir dans l'atmosphère (formation/dégradation). Thèse Doctorat. Université BORDEAUX I, 270 p.
- **RODIER, J. et al. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Paris : 8ème édition Dunod, 1384 p.
- **BOULAHIDJ, M. et al. (2005).** Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia. Contrat ISMAL-APPL, 74 p.
- **ROUIDI, S. (2014).** Evaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien), Analyse statistiques. Annaba: Université Badji Mokhtar, 69 p.
- **SELLALI, B. (1996).** La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée Sud-Occidentale « contamination de l'eau et des sédiments superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse de magistère. ISMAL, 118 p.

Bibliographie

- **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. France : Université PARIS 6, 284p.
- **TALEB-BENDIAB S-A. (1975).** Etude de la rétention des solutés en chromatographie en phase gazeuse études avec un polymère comme solvant. Thèse de docteur de troisième cycle. Alger : Faculté des sciences université d'Alger, 91p.

Annexes

Annexes

Annexe I :

Tableau 1: Effets des hydrocarbures sur certaines populations marines (OMI/PNUE, 2002).

Population	Sensibilité	Effets à court terme	Effets a long terme "Rétablissementy "
Algues	faible	Revêtements et brulures des tissus, s'il y a contact directe avec le produit	Généralement bon rétablissement
Marais salantes ou flore estuarienne	Variable, selon le stade de développement des plantes et la période de l'année	Le revêtement des parties exposées va causer la suffocation	Rétablissement relativement rapide (2 à 3 ans) s'il y a un renouvellement de l'eau. Rétablissement plus lent si rien n'est entrepris pour le faciliter
Mollusques dans les zones intertidales	Généralement élevée	Suffocation et intoxication	Accumulations par les organismes filtreurs. Même un faible pourcentage d'hydrocarbures résiduels dans les sédiments va rendre les espèces commerciales impropres à la consommation. La possibilité d'une purification dans de l'eau propre va dépendre de du durée du contact avec le polluant.diminution de la reproduction.
Faune fixée sur les roches	Généralement élevée	Suffocation et intoxication.	Dépendent de la durée de contact avec le polluant. Dans les Zones exposées. La sensibilité est moins prononcée grâce au renouvellement rapide de l'eau et l'effet de nettoyage.
Poissons	Faible pour les adultes. Elevée pour les larves et	Par le contact direct avec les hydrocarbures : suffocation causée par le	blessures sur les poissons qui fouillent dans le sédiment même

Annexes

	les juvéniles	mazoutage et les effets tensioactifs sur les branchies	légèrement pollués (par exemple les poissons plats)
Oiseaux	Variables (élevée pour les oiseaux plongeurs)	engluage du plumage , empoisonnement par ingestion	Evacuation des zones polluées

Annexe II :

Tableau 2 : coordonnées géographiques des stations de prélèvement (système géodésique WGS84).

Station	Latitude	Longitude
S1	36°45'46.07"N	3° 4'33.58"E
S2	36°45'33.90"N	3° 4'28.89"E
S3	36°45'36.48"N	3° 4'15.23"E
S4	36°45'49.20"N	3° 3'51.23"E
S5	36°45'54.51"N	3° 4'4.96"E
S6	36°45'56.62"N	3° 4'27.92"E
S7	36°45'50.15"N	3° 4'20.18"E

Annexe III :

PH DE TRIS

Préparation du TRIS :

Le TRIS est une solution tampon préparée à base d'eau de mer artificielle à une salinité de 35g/kg décrit par Dickson (1994).

Tableau 3 : Composition de la solution tampon pH (TRIS) dans l'eau de mer artificielle de salinité 35 selon Dickson 1994 :

Constituant	moles	Masse (g)
NaCl	0,38762	22,6446 (98 %)
KCl	0,01058	0,7884 (99,5 %)
MgCl₂	0,05474	5,2118 (98 %)
HCl	0,04000	-
2-amino-2-Hydroxymethyl-1, 3-propanediol	0,08000	9,6837 (99 à100 %)