

ÉΠΕΟ&ÉΠΩΠ?Í&ÉΝΑΠ?ÇÉÑää?Ç

République Algérienne Démocratique et Populaire

í á áú&É Í Ì&æ ? Çú& á í áú&ÉÑÇ&æ

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

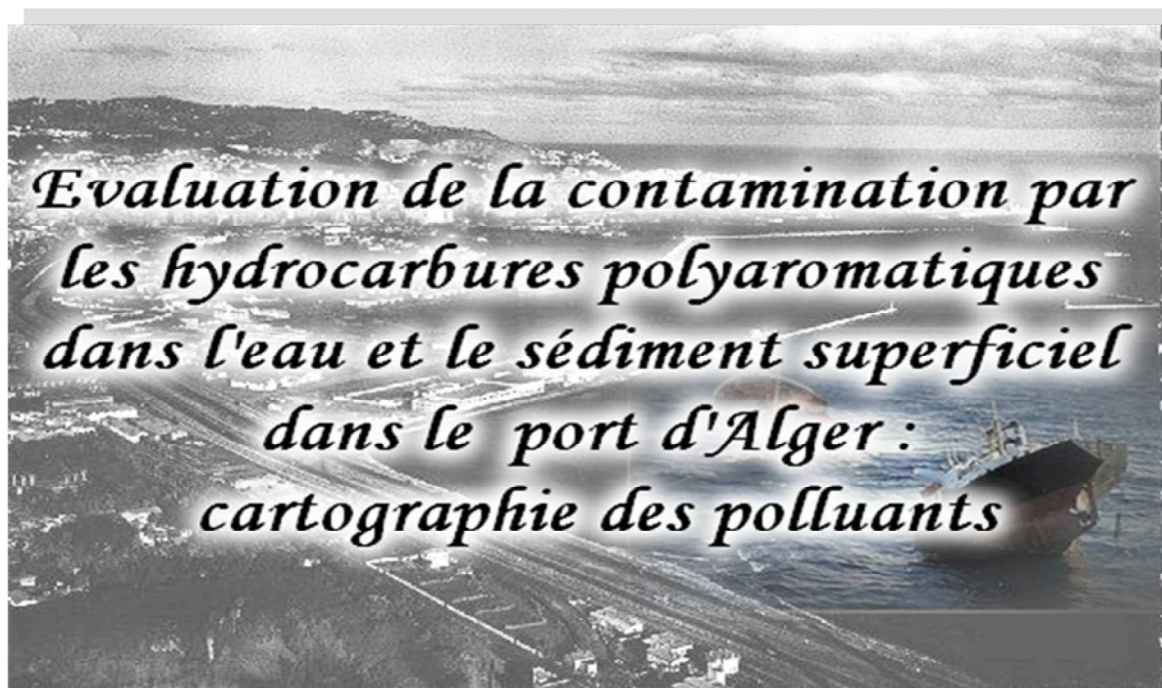
áÍÇ&É&Π æ ÑÍ Ì&æáú&Ç&É&æ&ÉÇΠÍ?Ç

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



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur
en Science de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

Option : Environnement marin



Présenté par : Mr. MECHEKEF Youcef.

Soutenu le 22/07/2009 devant le jury composé de :

Président : Mr. BELKESSA R.....Maître de conférences.

Examinatrice : Mme. HOCINI N.....Chargée de recherches.

Examineur : Mr. HEMDANE Y.....Docteur.

Promotrice : Mme. HOUMA BACHARI F.....Maître de conférences.

Promotion : 2008/2009

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers à mes yeux, pour ma mère qui n'as pas pu réalisée son rêve et à mon père, que le Bon Dieu les protège pour moi.

Je le dédie à toute ma famille en particulier Ikhlās, Yacer, Doaa, Zahira et ma petite sœur Nadjwa.

Mes dédicaces vont aussi à mes oncles et tantes, cousins et cousines en particulier Aami Mourad, Khaled, Mouloud et Nawar.

Je tiens vivement à dédier ce travail à la plus attentionnée et la plus dévouée des copines « K »

Comme je vais le dédier aussi à tous mes amis à savoir Rachid, Farid, Hanafi, Menad, Mohamed, Ahmed, Abd Ennour, Lotfi, Hacem, Bilel, ...et A. Elkader.

A mes amis (es) et à toutes les personnes qui m'ont connu...

MECHEKEF Youcef

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu pour sa clémence et qui m'a donné le courage, la volonté et surtout la santé pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes gratitudes et mes reconnaissances à toutes les personnes ayant contribué, chacune à sa manière, pour le bon déroulement de ma formation, ainsi qu'à la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à remercier vivement Monsieur BELKESSA R. (ENSSMAL) d'avoir accepté de présider ce jury et pour sa disponibilité et surtout sa grande amabilité.

Je remercie Madame Hocini N (CRNA), pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Mes remerciements au Monsieur Hemdane Y (ENSSMAL), qui a bien voulu examiner et corriger ce travail.

Je tiens à remercier Madame HOUMA-BACHARI Fouzia, pour avoir accepté, de diriger et de suivre constamment le progrès de ce travail, par ses suggestions et ses critiques constructives, dont la patience et la sympathie m'ont fait aimer le domaine de l'environnement marin.

Mes vifs remerciements vont aussi aux membres de laboratoire de l'ENSSMAL, Madame EDALIA, Monsieur BOUDJALLAL et surtout Monsieur MATOUK Youcef pour leurs conseils, aides, et temps.

Mes infiniment remerciements vont à ma famille pour tout ce qu'ils ont fait pour moi durant mes études, qui étaient toujours là à mes côtés.

Tous mes sincères remerciements s'adressent aussi au personnel de l'ENSSMAL.

Finalement, je tiens vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Merci pour vous.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Introduction	2
--------------------	---

CHAPITRE I : Généralités.

1. Définition de la pollution	5
2. Les différents types de la pollution des eaux	5
3. Les descripteurs physico-chimiques du milieu marin	6
3.1. Oxygène dissous (OD)	6
3.2. Température (T)	6
3.3. Salinité (S).....	6
3.4. Potentiel d'hydrogène (pH).....	7
3.5. Conductivité (C).....	7
4. Les paramètres indicateurs de la pollution	7
4.1. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	7
4.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	8
4.3. Turbidité (Tu).....	8
4.4. Matière en suspension (MES)	8
4.5. Matière organique (MO)	9
4.6. Carbone organique total (COT).....	9
5. Les hydrocarbures	9
5.1. Définition	9
5.2. Classification.....	10
5.3. Propriétés physiques des hydrocarbures	11
5.4. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin	13
5.5. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	13
5.5.1. Etalement.....	13
5.5.2. Déplacement.....	13
5.5.3. Evaporation	14
5.5.4. Dissolution	14

5.5.5. Emulsion.....	14
5.5.6. Flocculation.....	14
5.5.7. Sédimentation.....	15
5.5.8. Photo-oxydation	15
5.5.9. Biodégradation	15
5.6. Causes de la pollution marine par les hydrocarbures	16
5.6.1. Pollution par des pétroliers.....	16
5.6.2. Pollution par tous types de navires.....	17
5.7. Impact environnemental des hydrocarbures.....	18
5.7.1. Impacts sur les communautés vivantes de la colonne d'eau	18
5.7.2. Impacts sur le milieu benthique	19
5.7.3. Impacts sur les oiseaux et les mammifères	19
5.7.4. Impacts sur la santé humaine	21

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude.

1. Introduction	23
2. Positionnement physique du port d'Alger	23
2.1. Situation géographique.....	23
2.2. Ouvrages de protection.....	24
2.3. Entrée des navires au port	25
2.4. Signalisation Maritime	25
2.5. Les capacités d'entreposage.....	25
2.6. Terminal à conteneurs	25
3. rejets versants dans le port d'Alger	26
4. Paramètres météo-marines	26
4.1. Les données météorologiques	26
4.1.1. Le vent.....	26
4.1.2. Température	27
4.1.3. Pluviométrie	27
4.2. Les données hydrodynamiques	27
4.2.1. La houle.....	27
4.2.2. Les courants.....	28
4.2.3. Circulation des eaux dans le port	28

CHAPITRE III : Matériels et Méthodes.

1. Localisation des stations, prélèvements et échantillonnages.....	30
2. Mesures <i>in situ</i>	31
2.1. Mesure de l'oxygène dissous et de la température.....	31
2.2. Mesure de la salinité et de la conductivité	31
2.3. Mesure du potentiel d'hydrogène.....	32
3. Mesures au laboratoire	32
3.1. Mesure de la matière en suspension (MES).....	32
3.2. Mesure de La matière organique (MO).....	33
3.3. Dosage des hydrocarbures (HPA).....	33
3.3.1 Eau de mer.....	33
3.3.1.1. Extraction	34
3.3.1.2. Concentration	34
3.3.1.3. Purification	34
3.3.2. Conditions ambiantes	36
3.3.3 Sédiment.....	37
3.3.3.1. Extraction	37
3.3.3.2. Concentration	37
3.3.3.3. Traitement au mercure	37
3.3.3.4. Purification et fractionnement.....	38
3.3.4. Analyse par spectrofluométrie ultraviolet (SFUV)	40
3.3.4.1 Principe de la SFUV.....	40
3.3.4.2 Appareillage analytique.....	40
3.3.4.3 Etalonnage et gamme étalon	40
3.3.4.4 Mesure des intensités de fluorescence.....	41
3.3.4.5 Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polyaromatiques.....	42

CHAPITRE IV : Résultats et Discussions.

1. Variation des paramètres physico-chimiques.....	44
1.1. Variation de l'oxygène dissous (mg/l)	45
1.2. Variation du pourcentage de saturation (%)	46
1.3. Variation de la température (°C)	47
1.4. Variation de la conductivité (µs/cm).....	48
1.5. Variation de la salinité (‰).....	49

1.6. Variation du potentiel d'hydrogène	50
2. Variation des paramètres mesurés au laboratoire.....	51
2.1. Variation de la matière en suspension.....	52
2.2. Variation de la matière organique	53
2.3. Résultats d'analyse des hydrocarbures polyaromatiques (HPA)	54
2.3.1 Eau de mer.....	54
2.3.2 Sédiment.....	58
Conclusion générale	60
Références bibliographiques	63
Liste des acronymes	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Annexes	

INTRODUCTION

Introduction

«Avec deux cuillerées à soupe d'huile, je peux recouvrir le lac Léman» avait coutume de dire le physicien et chimiste américain **Irving LANGMUIR**, Prix Nobel de Chimie en **1932**, qui a étudié les couches minces, mono moléculaires, qui portent son nom. Nous avons tous eu l'occasion de le constater un jour ou l'autre, lorsqu'un hydrocarbure léger est répandu sur un liquide, une infime quantité est suffisante pour en recouvrir une grande surface, où commence en mer la pollution par hydrocarbure.

L'exploitation humaine des gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter depuis le début du siècle dernier. 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**).

Près de 30 % des hydrocarbures rejetés en Méditerranée forment de goudron qui se dépose sur les plages. Les différents débris en plastique et les déchets solides provenant des décharges côtières et des navires, peuvent menacer la faune et la flore sauvage du littoral (**Abd Elguerfi, 2002/2003**).

Les hydrocarbures occupent au sein des préoccupations environnementales, une place particulière. Cet intérêt est dû à leur rémanence dans l'environnement et à leur toxicité.

L'Algérie, pays producteur de sources énergétiques fossiles (gaz et pétrole), est fortement soumise aux divers polluants hydrocarbonés qui peuvent nuire le littoral Algérien.

Comme de nombreux pays exportateurs de produits pétroliers, l'Algérie connaît l'installation de plusieurs ports pétroliers ; lesquels participent directement ou indirectement à la pollution des côtes algériennes par les hydrocarbures pétroliers.

Selon un rapport national décrit en **2000**, sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie, environ de **100 000 tonnes** d'hydrocarbures transitent chaque année près des côtes Algériennes alors que **50 millions de tonnes** sont chargées annuellement à partir des ports nationaux. Le rapport évalue à **10 000 tonnes/an** des pertes au cours de ces opérations et à **12 000 tonnes/an** des déversements au large par les gros transporteurs (eaux de cales et de ballasts).

Le port d'Alger demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution par les hydrocarbures. En effet, il est doté de plusieurs unités industrielles (**NAFTAL, SONEGAS, ENCGUPS...**) qui évacuent leurs eaux usées et déchets hydrocarbonés parfois sans aucun traitement préalable vers les différents bassins du port. Ces rejets contribueront certainement à une très grande part du phénomène de pollution d'autant plus que le port est une zone semi fermée, ce qui empêche la dispersion des polluants.

Face à cette situation précaire et pour une bonne préservation du milieu récepteur, nous essayons au cours de ce travail, d'apprécier le degré de pollution de l'eau de mer et de sédiment superficiel des principaux points du port d'Alger par l'analyse de différents paramètres de pollution.

Pour la réalisation de ce travail, nous avons suivi les démarches suivantes :

Chapitre I : un aperçu général sur la pollution et ces différents types, les descripteurs physicochimiques, les indicateurs de la pollution et les hydrocarbures.

Chapitre II : une présentation du site d'étude dans ses différents cadres.

Chapitre III : nous nous attacherons à décrire les protocoles et les méthodes d'analyse aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire.

Chapitre IV : les résultats obtenus et leurs interprétations.

Enfin, le mémoire est finalisé par une conclusion générale succincte sur l'état du port d'Alger du point de vue pollution par hydrocarbures.

GÉNÉRALITÉS

1. Définition de la pollution

Selon la convention de MONTEGO-BAY 1982 des nations unies sur le droit de la mer, Le terme pollution est définis : « *introduction directe ou indirecte par l'homme de substances ou d'énergie dans le milieu marin y compris les estuaires, lorsque elle a ou peut avoir des effets nuisible tels que les dommages aux ressources biologiques à la faune et flore marine, risque pour la santé de l'homme, entrave aux activité maritime y compris la pêche et les autres utilisation légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point du vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément* » (**Revue maritime trimestrielle ; 1861**).

2. Les différents types de la pollution des eaux

On peut distinguer diverses catégories de pollution des eaux selon la nature et les usages des polluants qui sont à l'origine de ces pollutions. Malgré le caractère toujours arbitraire d'une typologie, il est possible de proposer une classification des différentes causes de pollution des eaux fondées sur la nature physicochimique, de leurs agents et les usages ou les activités qui en sont à l'origine (**Tableau 01**).

Tableau 01- Principaux types, natures et sources de pollution des eaux
(Mitchell *in* Ramade, 1998).

Type de pollution	Nature physicochimique	Source ou agent causal
I. Pollution Physique : . Thermique, . Pollution radioactive.	Rejet d'eau chaude et les radio-isotopes.	Centrales électriques et les installations nucléaires.
II. Pollution Chimique . Pollution par les engrais, . Pollution par des éléments toxiques, . Pollution par les pesticides, . Pollution par les détersifs, . Pollution par les hydrocarbures, . Pollution par les composés organochlorés, . Pollution par les divers autres composés organiques de synthèse.	Nitrates, phosphates. Cadmium, Mercure, Plomb. Insecticides, herbicides. Agents tensioactifs. Pétrole brut et ses dérivés. PCB, insecticides, solvants chlorés. Très nombreuses molécules > 120 000.	Agricoles, lessives. Industrie, agriculture, combustions (pluies acides). Agriculture. Effluents domestiques. Industries pétrolières, transports. Industrie, agriculture. Industries, usages dispersifs en particulier domestique pour certains.
III. Matières organiques fermentescibles	Glucides, Lipides, Acides Nucléiques.	Effluents domestiques, agricoles, industries agroalimentaires, industries de bois.
IV. Pollution microbiologique	Bactéries, virus entériques, champignons.	Effluents urbains, élevage, abattoir.

3. Les descripteurs physico-chimiques du milieu marin

3.1. Oxygène dissous (OD)

La mesure de l'oxygène dissous concerne exclusivement l'oxygène moléculaire O_2 en solution. Il intervient dans la plus part des processus biologiques permettant la vie terrestre et marine (Aminot et Kérouel, 2004).

Selon Diaz *et al.* (1995) considèrent que l'oxygène est la variable environnementale qui a le plus évolué au cours des dernières décennies dans les écosystèmes côtiers.

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

- ✓ échanges à l'interface air-eau (gain ou perte),
- ✓ diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau,
- ✓ photo-oxydation (perte),
- ✓ oxydation chimique (perte),
- ✓ respiration des organismes aquatiques, y compris la minéralisation (perte),
- ✓ nitrification (perte),
- ✓ photosynthèse (gain).

En l'absence de processus chimiques et biologiques, la concentration de l'oxygène dans l'eau au contact de l'air n'est qu'en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité (Aminot et Kérouel, 2004).

3.2. Température (T)

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques et influe sur la répartition des espèces. La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres comme la saturation des gaz dissous et la mesure du *pH*. La température est un paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique (Aminot et Kérouel, 2004).

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

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

3.3. Salinité (S)

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

« La salinité est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée ».

Dans les océans, la salinité est voisine de 35 et décroît de l'équateur aux pôles. Toutefois, certaines mers présentent des salinités assez différentes, par exemple la Méditerranée: 38-39, la mer Rouge: 36-47, la Baltique: < 15, la mer Noire : 18-22 (Aminot et Kérouel, 2004).

La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de :

- ✓ connaître la circulation océanique,
- ✓ d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes,
- ✓ de suivre leurs mélanges au large, à la côte ou dans les estuaires (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

3.4. Potentiel d'hydrogène (pH)

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

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

Il est un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes

La mesure du pH aura deux applications à considérer séparément le suivi de la qualité des eaux et les études thermodynamiques des équilibres chimiques (**Aminot et Kérouel, 2004**).

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2, est fixé par la présence des carbonates (CO_3^{2-}). La modification des concentrations en (CO_2) (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en (CO_3^{2-}) entraînera une modification du pH (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

3.5. Conductivité (C)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m) dont : $1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m}$.

La conductivité d'un liquide dépend largement de la température (**Rodier et al, 1996**).

La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous. Du fait de la proportionnalité des concentrations des différents ions, la conductivité permet de déterminer la salinité avec une grande précision (**Aminot et Kérouel, 2004**).

4. Les paramètres indicateurs de la pollution

4.1. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobie de l'eau pour oxyder biologiquement la matière organique polluante pendant 5 jours (**Copin-Montégut, 1996**).

Ce paramètre est un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une résiduaire, il est utilisé soit pour :

- ✓ quantifier la charge polluante organique de l'eau,
- ✓ évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel,
- ✓ évaluer l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet par un procédé biologique.

La DBO constitue une mesure de la pollution des eaux par les matières organiques. Elle s'exprime en milligrammes d'oxygène par jour et par habitat (**Ramade, 2000**).

4.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène désigne la quantité d'oxygène en (mg/l) nécessaire pour oxyder chimiquement la matière organique et inorganique à la fois non biodégradables et biodégradables contenue dans les eaux naturelles ou polluées. Le test de la DCO est particulièrement utile pour l'appréciation du fonctionnement des stations de traitement des eaux usées (**CEAE Québec, 2006**).

Elle se mesure par oxydation de l'échantillon au bichromate de potassium porté entre 140 et 150° pendant deux heures (**Ramade, 2000**).

4.3. Turbidité (Tu)

La transparence intervient sur la quantité de lumière disponible pour le développement des végétaux aquatiques, autrement dit pour la production primaire. La turbidité correspond à cette caractéristique en se référant à l'opacité du milieu (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité (**Rodier et al, 1996**).

La turbidité n'est pas une grandeur physique intrinsèque du milieu car elle décrit son opacité par comparaison à des étalons artificiels. Ce n'est pas une notion absolue ou objective au sens strict puisque sa valeur dépend de la méthode de mesure, en particulier des caractéristiques instrumentales (**Pijanowski, 1999 in Aminot et Kérouel, 2004**).

La norme ISO (International Organisation for Standardization 7027 Afnor, 1999b) définit la turbidité comme : « la réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes ».

4.4. Matière en suspension (MES)

Les MES réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Selon **Ivanoff en 1972** : « *En plus des substances dissoutes, les eaux de mer contiennent des matières en suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature, soit biogénique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons), soit terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, détritiques déversés par l'homme), soit éolienne (particules transportées par les courants atmosphériques et tombant dans la mer), soit enfin météorique* ».

On peut considérer la matière en suspension comme des transporteurs importants des polluants fertilisants, toxiques, biologiques (**Lacaze, 1996**). Elle a de sévères conséquences sur les animaux aquatiques par le colmatage de leurs branchies (**Ramade, 2000**).

4.5. Matière organique (MO)

Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulaire dont les proportions et le devenir varient beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre.

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

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

4.6. Carbone organique total (COT)

Il correspond à la quantité totale de matières organiques présentes en solution et suspension dans une eau. On la mesure par détection infrarouge de la quantité de CO₂ dégagée par gazéification de la matière organique portée à 900°C (Ramade, 2000).

Le carbone organique trouvé dans les eaux est composé en majeure partie de substances humiques, de matériaux végétaux et animaux partiellement dégradés ainsi que de substances organiques à plusieurs états d'oxydation provenant de divers effluents municipaux et industriels, en particulier les usines de pâtes et papiers (CEAE Québec, 2007 in Chaouadi et Hocine)

5. Les hydrocarbures

5.1. Définition

Les hydrocarbures sont composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (C et H). Un atome de carbone a une valence de 4. Il dispose donc de quatre liaisons obligatoires correspondant à quatre électrons. Un atome de carbone peut être relié à quatre atomes d'hydrogène ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples. Dans ces deux derniers cas, les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques.

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

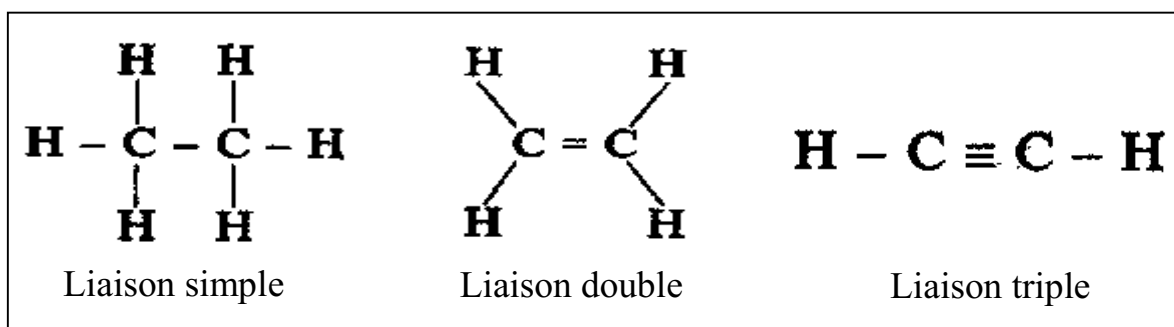


Figure 01- schéma de différentes liaisons des composés d'hydrocarbure.

5.2. Classification

On regroupe les hydrocarbures en différentes classes parmi lesquelles on distingue :

5.2.1. Les alcanes (paraffines)

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés (c'est-à-dire que toutes les liaisons des différents atomes sont utilisées par des atomes d'hydrogène), à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). Le nom aliphatique vient du grec aleiphar qui signifie huile ou graisse (Lefebvre, 1978). Ils sont peu nocifs, ces pétroles ont une biodégradabilité rapide, surtout lorsque les chaînes sont droites.

Ces alcanes représentent environ 30 % du poids des pétroles bruts (Fattal, 2008).

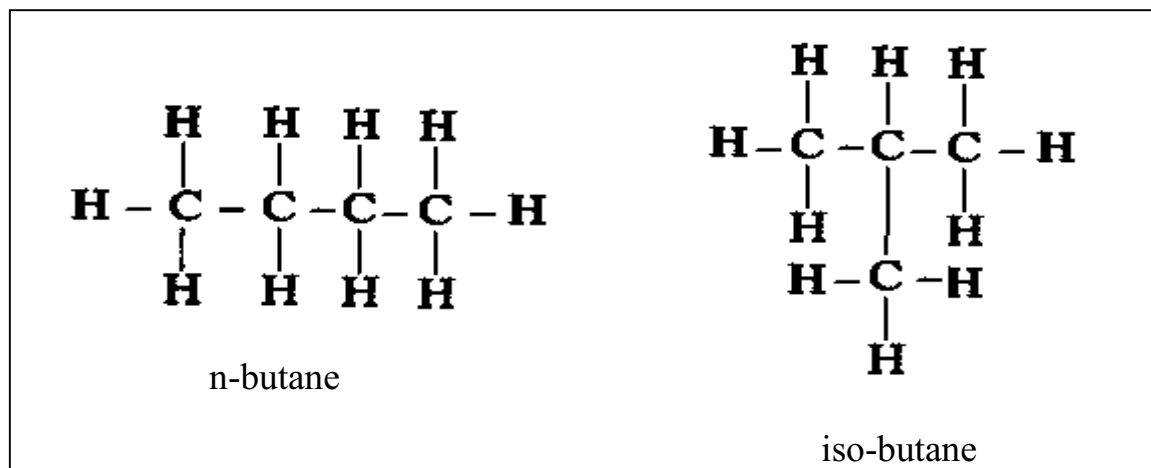


Figure 02- schéma de quelques composés des alcanes.

5.2.2. Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)

Les cycloalcanes sont aussi des hydrocarbures aliphatiques et saturés mais avec des cycles. Ils ont un cycle constitué de six atomes de carbone formant une chaîne carbonée fermée. Ils sont peu toxiques et subsistent plus longtemps que les alcanes dans le milieu (Fattal, 2008).

Les hydrocarbures naphténiques représentent en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts (Marchand et Kantin, 1995 *in* Fattal, 2008).

5.2.3. Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques comprennent des composés qui sont insaturés dont la molécule contient de 1 à 6 cycles benzéniques. Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbone, chacun relié à l'un de ses voisins par une double liaison et un atome d'hydrogène (C₆H₆). Les hydrocarbures aromatiques de base sont le benzène (un cycle aromatique), le naphthalène (deux cycles), l'anthracène (trois cycles), le chrysène et le pyrène (quatre cycles) (Fattal, 2008).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) forment généralement 40 % (entre 15 et 40 %) des pétroles bruts. Ils ont un impact sur la faune et la flore, car ils sont toxiques et persistants. Un des HAP les plus dangereux est le benzo(a)pyrène qui est peu soluble et qui surtout se bio-accumule fortement (Amiard, 2005 in Fattal, 2008).

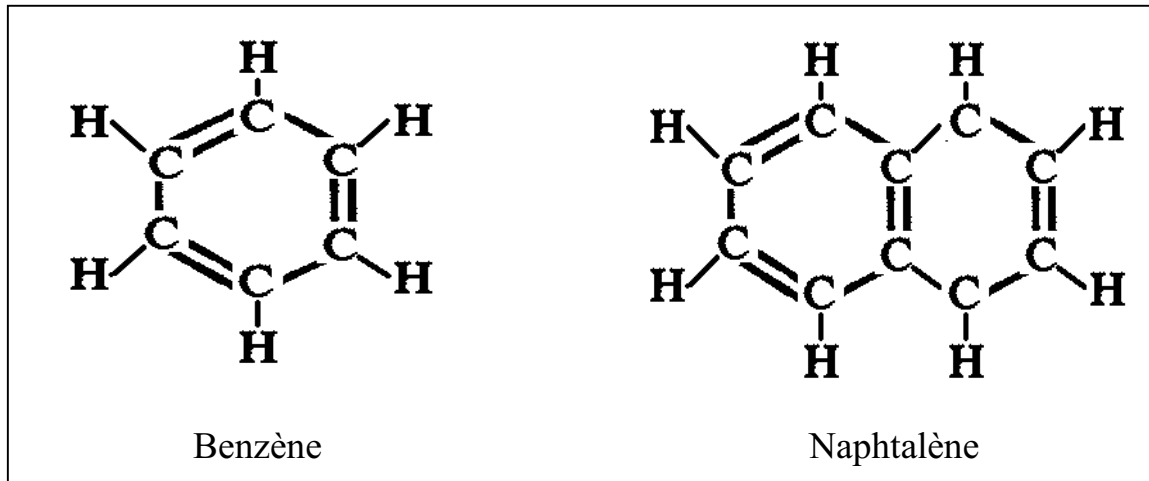


Figure 03- schéma de quelques hydrocarbures aromatiques.

5.2.4. Les asphaltènes et les résines

Les asphaltènes sont des composés stables de très haut poids moléculaire, qui en plus des atomes de carbone et d'hydrogène contiennent des hétéroatomes d'azote, de soufre ou d'oxygène, ainsi que d'autres composants à l'état de trace tels que le nickel et le vanadium (Marchand, 1998 in Fattal, 2008).

En matière de pollution marine, la concentration en asphaltènes détermine les propriétés chimiques du pétrole en influant directement sur la viscosité, l'adhérence ou la mise en émulsion (Fattal, 2008).

Les résines sont des composés à poids moléculaire élevé, sont constituées de molécules hétérocycliques qui confèrent au pétrole un caractère légèrement tensioactif ; ils entrent pour 5 à 25 % dans la construction des pétroles bruts (Marchand et Kantin, 1996).

5.3. Propriétés physiques des hydrocarbures

L'étude des propriétés physiques des hydrocarbures permet de distinguer les différentes composées hydrocarbonurées des pétroles bruts ou raffinés (Fingas et al, 1979, in Owens, 1994, in Fattal, 2008).

5.3.1. La densité

Elle détermine la flottabilité des hydrocarbures. Les paraffiniques ont tendance à rester en surface par contre les naphthènes ou les asphaltènes qui sont plus lourds peuvent couler.

La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par conséquent flottent. Dès que le poids moléculaire augmente (entre 1 et

1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau (**Fattal, 2008**).

Outre le poids moléculaire, la modification et l'augmentation de la densité est en fonction de la température, l'évaporation ou de l'association avec d'autres particules

5.3.2. 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. Elle traduit une mesure de la résistance à l'écoulement et s'exprime en centistokes (cSt – viscosité cinétique) 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, 2008**).

La viscosité diminue lorsque la température augmente et elle s'accroît par évaporation des composés volatils, par l'oxydation photochimique et surtout par formation d'émulsions inverses qui modifient le comportement initial du produit (**Fattal, 2008**).

5.3.3. Le point d'écoulement

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

Il est lié corrélativement à la teneur en alcanes et plus le pourcentage en paraffine augmente, plus la température du point d'écoulement augmente.

Dans le cas de pollution marine, ce point d'écoulement est un facteur important, tant à la côte qu'en mer (**Fattal, 2008**).

5.3.4. 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 dans une chaudière, a un point d'éclair aux alentours de 55 °C (**Fattal, 2008**).

5.3.5. Le point d'ébullition

Chaque fraction d'hydrocarbures a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures basses et inférieures à 20 °C. Avec l'évaporation, les hydrocarbures restant deviennent plus visqueux et plus denses (**Fattal, 2008**).

5.3.6. 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 sont touchées par l'étalement (**Fattal, 2008**).

5.4. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin

5.4.1. Sources naturelles

Représentent toutes les hydrocarbures biogéniques produits par les organismes marins, ainsi que ceux qui proviennent de suintements naturels à partir des fissures du plateau continental et les divers déversements continentaux (végétaux, feu de forêt...)

Ces sources sont la plus grande partie des hydrocarbures qui pénètrent dans la mer de manière relativement discrète, dispersés sur de vastes étendues par les fleuves et les rivières ou par voie atmosphériques (**Lacaze, 1980**).

5.4.2. Sources anthropogéniques

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

Parmi ces sources on trouve :

- ✓ les fuites lors de forages offshore ;
- ✓ les naufrages des pétroliers ;
- ✓ la part due au transport maritime (chargement, déchargement, déballastage...);
- ✓ les accidents de navires pétroliers (52 accidents) (**Bertrand, 2000**).
- ✓ les activités industrielles ;
- ✓ les rejets d'eaux chargées en hydrocarbures résiduels.

5.5. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

Dès que les hydrocarbures se déversent dans le milieu ils vieillissent et sont soumis à des processus d'altération et de modification de leurs propriétés physico-chimiques initiales. Les facteurs de la dégradation dépendent de la nature du pétrole, de la température et de l'énergie mécanique des vagues (**Fattal, 2008**).

5.5.1. Etalement

Une fois déversé, le pétrole a tendance à s'étaler à la surface de l'eau sous l'action conjuguée des forces de gravité, de viscosité et de tension superficielle (**Lacaze, 1980**).

Les hydrocarbures répandus sur l'eau forment une fine couche à l'aspect de lentille avec l'intérieur plus épais que les bords. Ce processus peut se poursuivre jusqu'à l'obtention d'une couche monomoléculaire de 0.5 μm d'épaisseur donnant des reflets argentés en surface.

Le taux et le degré de s'étendre sont affectés par l'épaisseur de la nappe, la vitesse du vent, et les vagues (**Lee et Brenda, 2005**)

5.5.2. Déplacement

La vitesse de déplacement de la nappe induite par le vent est estimée à environ 3% de la vitesse moyenne du vent. En présence de courants de surface, cette vitesse est modifiée selon la direction, le sens et la vitesse du courant (**Louchami, 2006**).

5.5.3. Evaporation

Le passage d'un hydrocarbure fluide à sa forme gazeuse est plus ou moins long. Il dépend de :

- ✓ la nature du pétrole ;
- ✓ des conditions climatiques (vent et température) ;
- ✓ l'épaisseur de la nappe ;
- ✓ l'agitation de l'eau.

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

5.5.4. Dissolution

La dissolution est un processus de dissociation des molécules du pétrole dans l'eau de mer et il est généralement réduit. En effet, les hydrocarbures sont faiblement solubles et seules les fractions aromatiques légères se dissolvent au contact de l'eau (**Fattal, 2008**).

Cette dissolution qui disperse le polluant est en fonction de :

- ✓ la viscosité ;
- ✓ taux de solubilité de l'hydrocarbure ;
- ✓ la température ;
- ✓ l'agitation de l'eau.

5.5.5. Emulsion

Elle dépend du type d'hydrocarbure et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures. Si celui-ci devenait trop important, les émulsions ne seraient pas stables et on assisterait à une dispersion (**Chalansonner et Joyeux, 2005 in Fattal, 2008**). On peut distinguer deux processus inverses :

- ✓ **Emulsion de l'huile dans l'eau (émulsion directe)** : concerne les pétroles légers et moyens. Elle se manifeste par la fragmentation de la nappe en gouttelettes de pétrole, qui s'intègrent à la colonne d'eau.
- ✓ **Emulsion de l'eau dans l'huile (émulsion inverse avec « mousse »)** : favorisée par le brassage, elle intègre des microgouttelettes d'eau à la nappe d'hydrocarbures. Alors que ce processus entraîne une augmentation du volume et de la viscosité. Le produit final est stable, épais et plus volumineux.

5.5.6. Flocculation

La flocculation résulte de l'agrégation des fines, contenues dans l'eau de mer, sur les micro-gouttelettes de pétrole. Grâce aux charges électriques des ions contenus dans l'eau de mer, les fines peuvent se fixer au pétrole. Ce « *clay-oil-flocculation* », observé au moment de la catastrophe de l'*Exxon Valdez*, ne se réalise que si le pétrole est peu visqueux et qu'il y a un brassage suffisant pour favoriser l'agglomération (**Page-Jones, 1996 in Fattal, 2008**).

5.5.7. Sédimentation

La sédimentation de la surface vers le fond se réalise lorsque la densité de l'hydrocarbure dépasse celle de l'eau. Les facteurs qui facilitent le collage du pétrole sont :

- ✓ L'adsorption (floculation) et des dégradations physico-chimiques du polluant ;
- ✓ L'évaporation et la solubilisation des composés de faible masse moléculaire.

Ce processus associé à d'autres (dégradation par oxydation) favorise la formation de boulettes de goudrons qui flottent dans un premier temps puis en fin et à mesure que leur densité augmente, finissent par couler (**Fattal, 2008**).

5.5.8. Photo-oxydation

L'oxydation intéresse les films minces d'hydrocarbures frais ou les couches superficielles d'une nappe épaisse (**Marchand, 1998 in Fattal, 2008**). Un des facteurs de ce processus est l'insolation car elle casse les liaisons moléculaires, entraînant la formation de molécules oxygénées de radical carbonyle (CO) et/ou de radical hydroxyle (OH). L'oxydation est dite primaire lorsqu'elle a supprimé un atome de carbone, et secondaire lorsqu'elle en a supprimé deux. Des essais en laboratoire ont montré qu'un film de pétrole de 2,5 µm d'épaisseur se dégrade sur sa face supérieure en une centaine d'heure (**Lacaze, 1980 in Fattal, 2008**).

5.5.9. Biodégradation

Ce processus peut être plus efficace que la photo-oxydation et elle résulte de la somme de deux biodégradations totale (transformation chimique des hydrocarbures en (CO₂) et en (H₂O) et primaire (transformation encore incomplète) (**Page-Jones, 1996 in Fattal, 2008**).

La biodégradation des hydrocarbures se fait dans des milieux aérobies et anaérobies grâce à des microorganismes (bactéries et/ou des champignons) qui puisent leur alimentation dans le pétrole (**Berné, 1982 in Fattal, 2008**).

On distingue plusieurs facteurs qui participent à la biodégradation lente dans la colonne d'eau et au fond :

- ✓ La température de l'air et de l'eau : la biodégradation est proportionnelle à ce paramètre.
- ✓ La surface de nappe exposée : plus la nappe est étalée et/ou dispersée plus la dégradation est facile.
- ✓ Le type de microorganismes : en fait toute la micro-biocénose participe à la dégradation. L'activité bactérienne est favorisée, d'une part par la présence de MES sur lesquelles se fixent les microorganismes (**Owens, 1994 in Fattal, 2008**) et d'autre part par la présence d'éléments nutritifs (nitrates et phosphates) dans un milieu oxygéné (**Chalansonner et Joyeux, 2005 in Fattal, 2008**).
- ✓ La nature d'hydrocarbures : la composition des hydrocarbures est importante car elle conditionne une vitesse de biodégradabilité.

On admet aujourd'hui que presque tous les constituants des pétroles sont biodégradables, mais que la vitesse de dégradation est très variable et peu connue dans les conditions naturelles (Lacaze, 1980). Cette vitesse décroît ainsi :

n -alcane > iso-alcane > cyclo-alcane > aromatiques

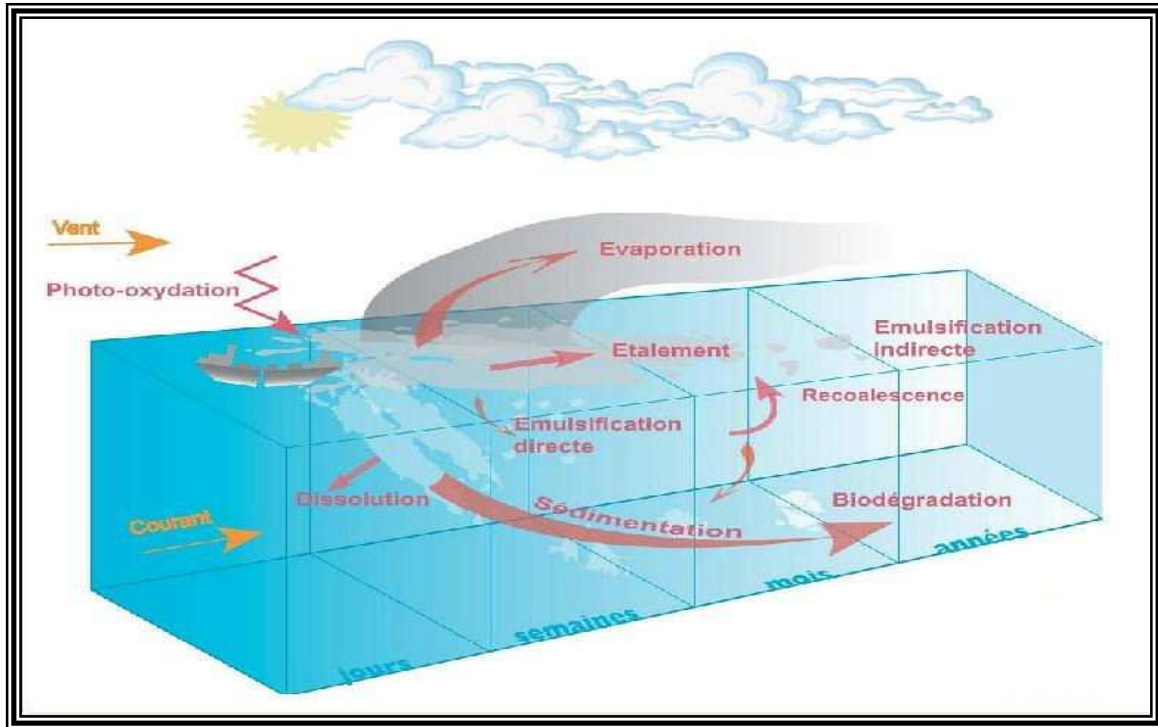


Figure 04- Comportement et devenir des hydrocarbures en mer.

5.6. Causes de la pollution marine par les hydrocarbures

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

5.6.1. Pollution par des pétroliers

Ce type de pollution comprend en fait plusieurs types de rejets ou de mélanges d'hydrocarbures produits à bord des navires pétroliers au cours de leur opération de routine. On distingue les eaux de ballast, les résidus de lavage des citernes, les boues et les eaux de cale. Cette pollution se nomme « *slops* » (Fattal, 2008).

a. déballastage

Le déballastage est loin d'être négligeable et ces actes délibérés ont été pendant longtemps, la principale (notamment pour la période 1973-1981) cause des déversements d'hydrocarbures dans les mers et océans.

Les eaux de ballast servent à alourdir les pétroliers qui rentrent chez eux, à vide, après qu'ils aient déchargé leur cargaison.

Sur les navires anciens (avant 1983), l'eau de mer était entreposée dans les citernes vidées de leur pétrole. Ces navires ont l'autorisation de rejeter en mer, moins de 15 ppm (parties pour mille) de pétrole à condition que cette opération se déroule en dehors des zones qui relèvent des réglementations nationales ou internationales ainsi qu'en dehors des zones de protection ou spéciales.

La convention **MARPOL 73/78** a limité le volume des rejets d'hydrocarbures des eaux de ballast et exigé qu'il y ait des installations à terre qui puissent recevoir ces eaux de ballast.

b. Lavage des citernes

Les résidus de lavage sont produits par le nettoyage des parois des citernes avant un nouveau rechargement de cargaison. Ce nettoyage est effectué d'abord à l'eau de mer, puis il a été remplacé par un lavage au pétrole brut plus efficace (**COW « Crude Oil Washing »**). La convention **MARPOL 73/78** a d'ailleurs rendu obligatoire ce dernier lavage au pétrole brut.

Une dernière phase consiste à rincer les citernes à l'eau. Les résidus de lavage sont théoriquement entreposés à bord et ils devront être déchargés à terre, dans des lieux équipés d'installations de réception de ces résidus.

c. Les boues

Les boues sont issues des carburants utilisés pour les machines de pétroliers. Elles représentent à peu près 1 à 5 % du volume et elles doivent être séparées du carburant. Selon la convention **MARPOL 73/78**, ces boues ne peuvent être déversées en mer malgré qu'elles aient traitées à bord ou déchargées à terre dans des installations de traitement.

Cette interdiction n'est pas toujours respectée et toutes les boulettes qui s'échouent régulièrement sur les plages sont dues aux rejets illicites de ces boues.

c. Les eaux de cale

Les eaux de cale proviennent de fuites de carburant ou de lubrifiant issues de la salle des machines, qui s'accumulent dans les cales des navires. Ces eaux de cale ne peuvent être aussi rejetées directement en mer (**MARPOL 73/78**).

5.6.2. Pollution par tous types de navires

Les pétroliers ne sont pas les seules responsables et les déversements de boues et d'eaux de cale peuvent être effectués par tous types de navires. On appelle ce type de pollution « *sludges* ». En l'an 2000, les pollutions dues aux non pétroliers ont pris le pas sur les autres types de déversements.

Les résidus proviennent des cargos, des bateaux de pêche et d'agrément ou encore des navires de guerre qui déversent dans le milieu 280 000 tonnes annuelles de polluant (**Nas, 2002 in Fattal, 2008**).

5.7. Impact environnemental des hydrocarbures

Plusieurs facteurs déterminent l'importance d'une pollution par les hydrocarbures sur les biocénoses qui sont :

- ✓ les types d'habitats ;
- ✓ le type et la quantité d'hydrocarbures (les hydrocarbures raffinés sont plus volatils et plus toxique que les hydrocarbures lourds) ;
- ✓ les espèces atteintes directement ou indirectement ;
- ✓ la période du déversement (saison et stade d'évolution des espèces) ;
- ✓ les conditions hydrométéorologiques ;
- ✓ le climat ;
- ✓ la fréquence et la durée d'exposition aux hydrocarbures ;
- ✓ l'efficacité des mesures d'intervention.

Le pétrole déversé dans la mer a de nombreux impacts sur l'environnement, parmi ces derniers on trouve :

5.7.1. Impacts sur les communautés vivantes de la colonne d'eau

Lorsqu'une pollution survient, les hydrocarbures s'évaporent, se dispersent et se dissolvent. Ces deux derniers processus sont ceux qui affectent la colonne d'eau. Plus la hauteur d'eau est faible, plus les risques qui pèsent sur les communautés sont importants, car il y a une grande concentration.

5.7.1.1. Impacts sur le phytoplancton

Les nappes commencent par réduire la photosynthèse et donc la croissance. Par contre, en faible quantité et selon certains types d'hydrocarbures, l'effet peut être stimulant (**Hsiao, 1978 in Fattal, 2008**).

Les premiers effets d'un déversement par hydrocarbures sont le piégeage et engluement des organismes situés dans les premiers centimètres d'eau par les nappes. Les organismes concernés par cet impact sont les œufs, les larves de poisson et le plancton temporaire (**Peterson et al, 2003 in Fattal, 2008**).

L'engluement et la toxicité provoquent des mortalités qui dépendent de la sensibilité des espèces et de leur stade de développement. Les organismes pélagiques adultes n'ont été que peu touchés par la pollution (**Lejeune, 2005 in Fattal, 2008**).

5.7.1.2. Impacts sur les bactéries

Certaines espèces peuvent proliférer à la faveur d'autres, inhibées par la présence des hydrocarbures. Celles qui se développent sont les bactéries qui puisent dans les hydrocarbures le carbone et l'énergie. Dans quelque cas les bactéries comme *Flavobacterium* ou *Vibrio alginoliticus* ont des capacités de dégradation du polluant (**Buckley, 1980 in Lejeune, 2005 in Fattal, 2008**).

5.7.1.3. Impacts sur le zooplancton

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

Par exemple, un an après la catastrophe de l'*Amaco Cadiz* et malgré le fort taux de renouvellement du zooplancton, celui-ci a continué à connaître des perturbations dans les zones côtières (**CEDRE, 2000 in Fattal, 2008**).

5.7.2. Impacts sur le milieu benthique

5.7.2.1. Impacts sur le phytobenthos

Les algues benthiques ont un faible, sensibilité aux hydrocarbures. Les effets à court terme, spectaculaire, se traduisent par l'engluage ou la brûlure des tissus dans le cas d'un contact direct avec le pétrole. Les conséquences économiques sont alors importantes pour les espèces exploitées. Les effets à long terme sont peu importants, en générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (**Bodennec et al, 1983 in Sallali, 1996**)

5.7.2.2. Impacts sur le zoobenthos

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

En raison de piégeage des hydrocarbures dans les sédiments, les mortalités sont plus fortes pour la macrofaune des substrats meubles que pour celle des milieux rocheux. A plus long terme, les mortalités sont probables mais difficile à évaluer. Tout fois une pollution des peuplements macrobenthiques, due à l'inégale vulnérabilité spécifique, se traduit par l'apparition d'espèces opportunistes et indicatrices de pollution.

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

5.7.3. Impacts sur les oiseaux et les mammifères

5.7.3.1. Les oiseaux

Les oiseaux comptent parmi les êtres les plus sensibles au contact avec le pétrole. Les plumes de l'oiseau absorbent facilement cette substance. Lorsque cette situation survient, l'isolation au froid, l'imperméabilité et la flottabilité de l'oiseau diminuent. Il suffit d'une goutte de pétrole de très petite taille sur ses plumes pour neutraliser les propriétés isolantes et imperméables de son plumage. Une telle goutte a le même effet qu'un trou minuscule dans la combinaison étanche d'un plongeur; le corps de l'oiseau, qui est à 40 °C, est rapidement refroidi par l'eau, qui est à peine au dessus de 0 °C. L'oiseau se fait aussi empoisonner par le pétrole lorsqu'il se lave, ce qui le porte inévitablement à mourir d'hypothermie, d'empoisonnement ou de faim.

Les rejets opérationnels chroniques tuent en moyenne près de 300 000 oiseaux tous les ans (**Environnement de Canada, 2004 in Fattal, 2008**).

La vulnérabilité des oiseaux dépend de plusieurs variables comme :

- ✓ le type d'espèce ;
- ✓ le type d'hydrocarbures ;
- ✓ l'étendue de la nappe ;
- ✓ le lieu de la pollution ;
- ✓ la période où l'accident s'est produit.

5.7.3.1. Les mammifères

L'impact sur les mammifères dépend des types d'espèces, de leur mode de vie, la durée d'exposition, la surface du corps mazouté, l'ingestion des hydrocarbures et l'inhalation. Ces deux derniers facteurs sont responsables d'irritations diverses, l'inflammation des muqueuses, d'ulcérations gastro-intestinales et d'obstruction des poumons.

Tableau 02- Effets à court et long terme d'une pollution par hydrocarbures sur les organismes et peuplements (**CEDRE, 1990 in Fattal, 2008**).

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

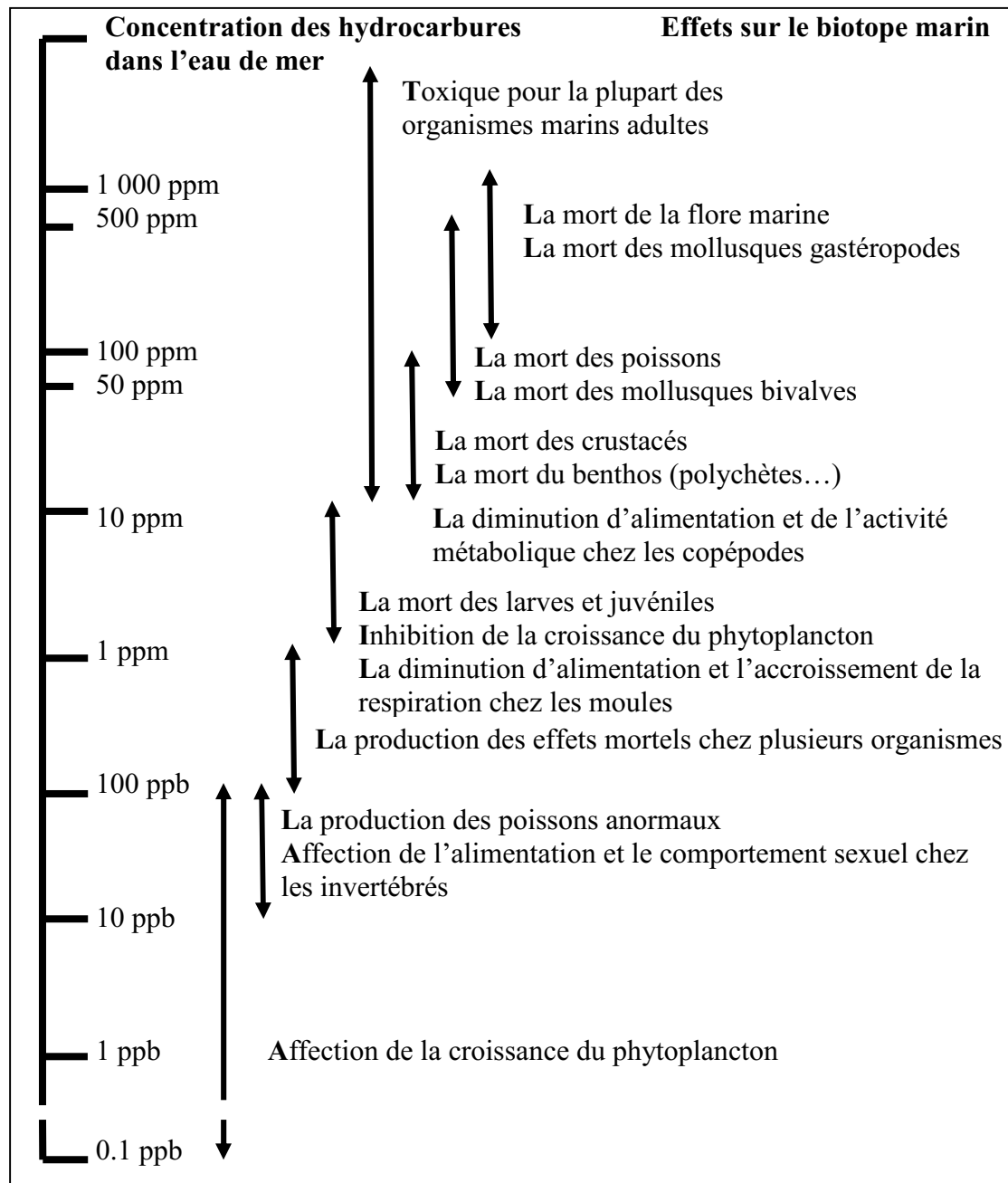


Figure 05- La description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations (en particulier les hydrocarbures aromatiques soluble) (O'Sullivan et Jacques, 2001 in Bocard, 2008).

5.7.4. Impacts sur la santé humaine

Le contact « permanent » de l'homme avec les hydrocarbures lourds, contenant des HAP, provoque sur le long terme des troubles neurologiques et neurophysiologiques (Baars, 2002 in Fattal, 2008).

L'impact sur la santé dépend aussi du temps d'inhalation, du contact cutané (baignade) avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés (poissons, huître, moules) (Fattal, 2008).

**PRÉSENTATION
DE LA ZONE
D'ÉTUDE**

1. Introduction

Le port d'Alger véritable plate-forme de développement économique des échanges extérieurs, il n'a pas dérogé à son rôle d'instrument de régulation commerciale et de système d'évaluation de l'économie nationale. Le trafic marchandise ayant transité au niveau de l'enceinte portuaire représente environ le tiers des échanges commerciaux nationaux.

Le port d'Alger s'est attelé à promouvoir une nouvelle dynamique de fonctionnement de ses multiples activités; cette situation a, largement, contribué à engendrer des résultats positifs et laisse entrevoir des perspectives encourageantes pour les années à venir.

Afin de muter le port d'Alger vers un stade structurellement supérieur, un plan de développement et de modernisation s'étalant jusqu'à 2015 initié par l'entreprise est en cours de mise en oeuvre.

2. Positionnement physique du port d'Alger

Sa situation géographique le port d'Alger dessert plusieurs wilayas et assure des prestations de service pour toutes les catégories de marchandises: vrac solides et liquides, conteneurs, véhicules et engins lourds, passagers et véhicules légers (gare maritime).

Aussi pour répondre à une demande de plus en plus exigeante des usagers et clients en matière de qualité de service, l'EPAL consacre une part importante de son Chiffre d'Affaires aux opérations d'investissements dans le souci de moderniser ses infrastructures et équipements.

2.1. Situation géographique

Le port d'Alger construit à l'Ouest de la baie d'Alger, est protégé des houles Nord-Ouest et Ouest par le cap Caxine et le mont de Bouzaréah. Il ayant comme coordonnées :

- ✓ Longitude Est : 03°03'44" et 03°04'66"
- ✓ Latitude Nord : 36°45'44" et 36°47'43"

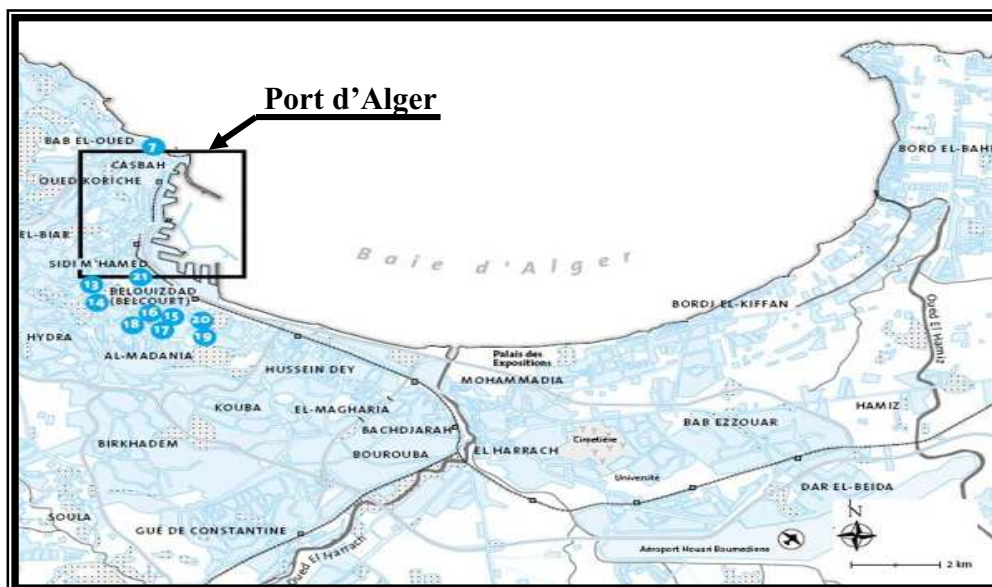


Figure 06- La situation géographique du port d'Alger (Google Maps, 2009 modifié).

2.2. Ouvrages de protection

Les ouvrages de protection sont constitués de 05 digues artificielles d'une longueur totale de 6 Km construites sur des fonds sablonneux dont (02) prennent racine perpendiculairement à la côte et 03 disposées en ligne brisée formant un brise-lame de 2,6 Km parallèle à la côte.

Elles sont fondées en moyenne à des profondeurs de 20 m à l'exception de la jetée Kheir-eddine où les fonds peuvent atteindre 36m vers le musoir.

- ✓ Au Nord : La jetée Kheir-eddine de 200 ml;
- ✓ Au Nord-est : La jetée Nord enracinée dans l'îlot de la marine de 700 ml, prolongée par une jetée de 600 ml;
- ✓ A l'Est : La jetée de l'Agha de 600 ml;
- ✓ Au Sud-Est : La jetée Mustapha de 1.300 ml;
- ✓ Au Sud : La brise lame Est de Mustapha de 1.000 ml.

Le plan d'eau abrité par ces ouvrages est de 184 hectares divisé en 03 bassins successifs:

- ✓ Bassin du vieux port 75 ha;
- ✓ Bassin de l'agha 35 ha;
- ✓ Bassin de Mustapha 74 ha.

Les quais d'accostage au nombre de 36, construits suivant des môles successifs allant d'Ouest en Est dont la profondeur varie de 5 m à 12 m. Le linéaire total de ces quais est de 8.609 m.



Figure 07- Le plan général du port d'Alger (EPAL, modifié).

2.3. Entrée des navires au port

La passe Nord : Permet l'accès au vieux port, située entre la jetée Nord et l'épi Sud de la jetée Agha avec 176 m de largeur et 22 m de profondeur.

La passe Sud : Permet l'accès au bassin Mustapha, située entre l'épi transversal de la jetée Mustapha et le brise-lame Est avec 240 m de largeur et 16 m de profondeur.

2.4. Signalisation Maritime

Phare de cap Caxine (mis en service en 1905) : portée 200 miles

36°48'54" Nord

02°57'20" Est (rythmes des émissions toutes les 6 minutes)

Phare de Tamentfoust (mise en service en 1896) : Portée 30 miles

36°48'49" Nord

03°14'56" Est (rythmes des émissions toutes les 4 minutes)

Phare d'Alger : Portée 20 miles

Coordonnées radiophare : 36°46'50" Nord et 03°04'26" Est

Vibrateur : 36°46'47" Nord et 03°04'35" Est

2.5. Les capacités d'entreposage

Le port d'Alger dispose d'une surface totale d'entreposage de 282.000 m², représentant 24% de la surface totale uniformément répartie entre les 3 zones géographiques du port et accueillant diverses marchandises:

- ✓ Terre pleins de 232.000 m²
- ✓ 16 magasins de 50.000 m²

Cette capacité permet l'entreposage de 120.000 tonnes de marchandises, alors que le volume moyen débarqué mensuellement aujourd'hui est de 800.000 tonnes.

2.6. Terminal à conteneurs

Réceptionné en 1998, le Terminal à conteneurs s'étend sur une surface de 17 hectares. Il dispose de quatre (04) postes à quai de 600 ml avec un tirant d'eau de 9.00 à 11.00 mètres.

Il dispose de:

- ✓ 01 Centre empotage et dépotage 4.800 m² ;
- ✓ 01 atelier de maintenance 2.000 m² ;
- ✓ 01 parc à engins 1.000 m² ;
- ✓ 01 bâtiment administratif 2.400 m² ;
- ✓ 01 poste de contrôle.

3. rejets versants dans le port d'Alger

Les points de rejets d'eaux usées (urbaines et industrielles) sont au nombre de 25, les plus importants sont :

- ✓ Emissaire pour les déchets NAFTAL et SONALGAZ au quai 26 ;
- ✓ Rejets de déchets des hydrocarbures et l'usine huilière et savonnerie (ENCGUPS) au niveau de quai 3.

Le reste des exutoires rejettent surtout les eaux usées d'origine urbaine (ville d'Alger et infrastructure portuaire).

La présence de tous ces rejets au niveau des bassins contribuera certainement à une très grande part du phénomène de pollution d'autant plus que le port est une zone semi fermée, ce qui empêche la dispersion des polluants.

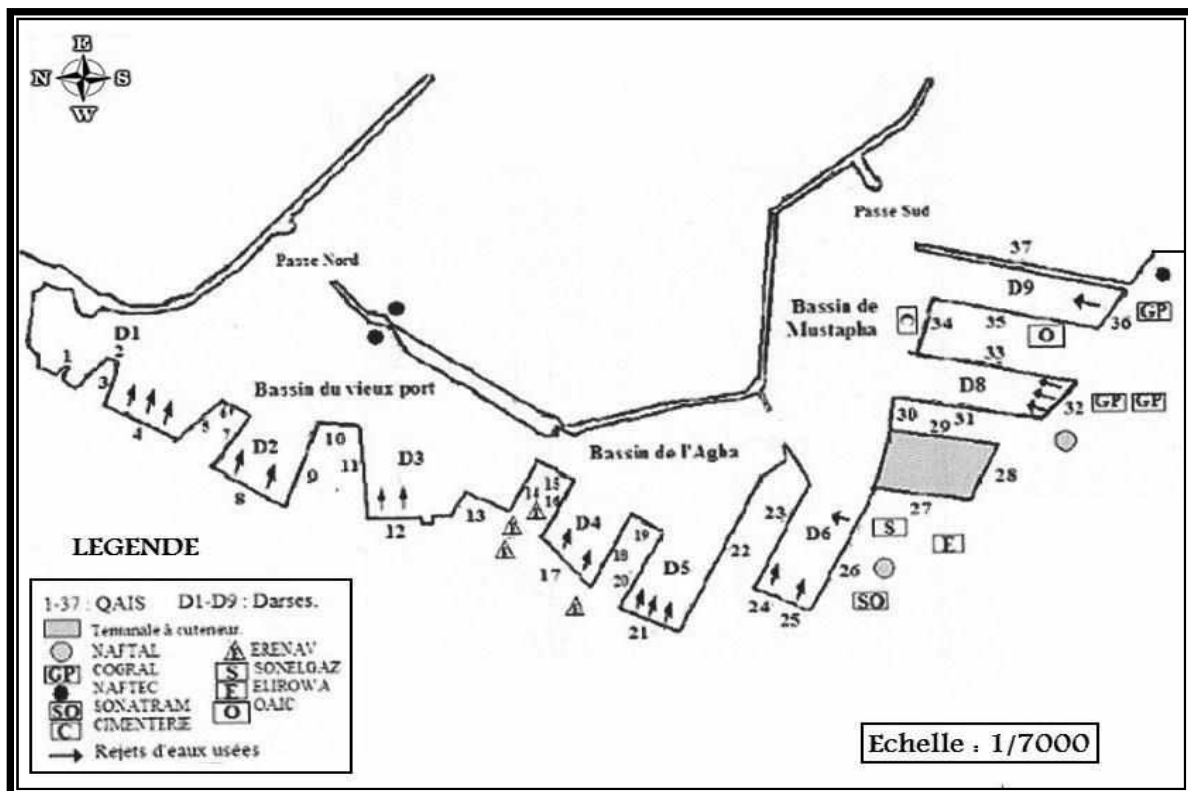


Figure 08- Localisation des unités industrielles et rejets du port d'Alger (EPAL, modifié).

4. Paramètres météo-marines

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.

4.1.1. Le vent

Le Port d'Alger se situe au pied du massif de Bouzaréah, les vents de direction « NW », « W » et « SW » ne l'affectent pas ; quant aux vents de direction « 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 direction « W », « NE » et « E » sont les plus fréquents (25 %, 16,9 % et 14,6 %), tandis que les vents des autres secteurs ont des fréquences d'apparition inférieure à 10,50 %. Les périodes de calme représentent 7 %.

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.

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

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.

4.2. Les données hydrodynamiques

4.2.1. La houle

Les houles se présentent comme une oscillation simplifiée et périodique du plan d'eau, elles résultent de la propagation du champ de vagues.

Dans le littoral Algérois, les houles ont un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclair, 1972).

Le port d'Alger étant situé dans le secteur occidental de la baie, est protégé des houles venant de l'Ouest par le massif de bouzaréah qui diffracte la houle et atténue son énergie. Par ailleurs les houles de direction Nord et Nord-Est arrivent au port sans aucune modification.

Tableau 03- Directions et caractéristiques de la houle dans la baie d'Alger (Belkessa, 2005).

Direction	Fréquence d'apparition annuelle (%)	Amplitude (m)	Période (s)			Longueur d'onde (m)
			Min.	Moy.	Max.	
Nord	8.5	□ 3.25	6 à 7	8 à 9	13	130 à 150
Nord-Est	18.3					
Ouest	25.1					

4.2.2. Les courants

La circulation des eaux marines sur les côtes algériennes résulte du passage des eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar. Cette circulation crée un courant d'Ouest nommé « le courant algérien » qui à chaque baie ou golfe rencontré change de direction et devient Est-Ouest.

Deux autres types de courants affectent le port :

- ✓ Le courant de dérive littoral : les houles à incidences obliques sont les génératrices de ce courant, mais il n'affecte le port que si les houles sont de direction Nord ou Nord-Est.
- ✓ Le courant de retour : il est induit par les houles à incidence frontale. Par sa grande énergie, ce courant cause d'énormes dommages à la côte et aux jetées portuaires en arrachant les sédiments pour les transporter vers le large.

Le port d'Alger est généralement affecté par le phénomène des seiches qui sont des oscillations de longues périodes pouvant atteindre 3 mn. Ces seiches sont le résultat du groupement des houles hors de leur propagation du large jusqu'au musoir du port (**Chapon, 1984**).

4.2.3. Circulation des eaux dans le port

L'étude des travaux de Rebzani Zahaf (1990) a prouvé l'existence d'une circulation des eaux dans le port d'Alger par les deux passes Nord et Sud.

Les eaux circulent dans le bassin du Nord au Sud et du Sud au Nord, la circulation est plus intense dans le bassin du vieux port contrairement aux deux autres bassins Mustapha et Agha (**Ben Aissa et al, 2006**).

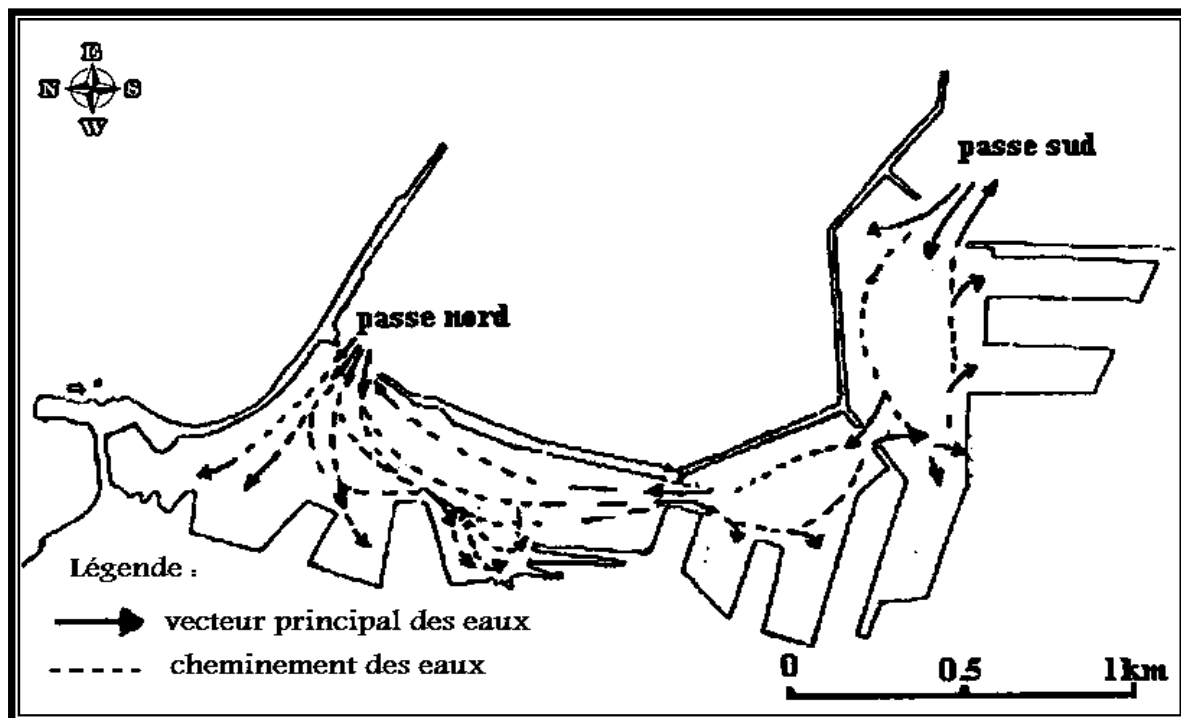


Figure 09- Circulation des eaux dans le port d'Alger (REBZANI-ZAHAF, 1990 modifié).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Localisation des stations, prélèvements et échantillonnages

Au but d'être au courant plus en plus sur la variation des descripteurs physico-chimiques et l'état de la pollution de l'eau de mer au niveau du port d'Alger, nous avons choisi 10 stations le long du port à partir du passe Nord jusqu'au passe Sud. Ces stations ont été choisies selon l'importance de la pollution. La localisation des stations est faite à l'aide du logiciel *Mapinfo Professional version 7.8*.

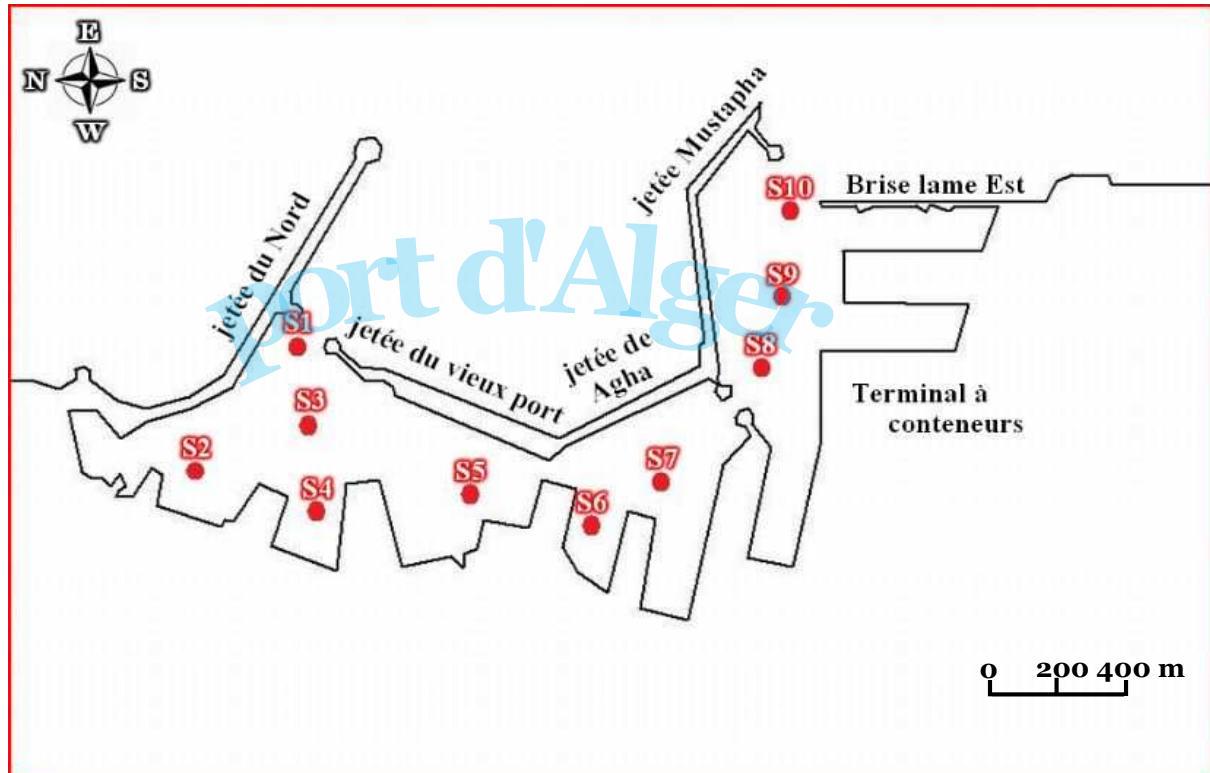


Figure 10- localisation de différentes stations dans le port d'Alger.

Les prélèvements des échantillons (Eau de mer et sédiment) ont été effectués lors de notre sortie en mer à bord du navire de Mohamed Assedic Ben Yahia le mardi 14 Avril 2009.

Pour les prélèvements d'eau de mer à la surface, nous avons utilisés une bouteille à clapet qu'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 11).

Pour les prélèvements du sédiment, on a utilisé une benne métallique de 5 kg environ qu'est constituée de deux éléments articulés formant mâchoires qui pénètrent dans le sédiment par gravité en position ouvert. Sa fermeture est provoquée par le déclenchement de ressorts ou par la traction du câble à la remontée (figure 12).

A partir de ces échantillons, nous avons mesurés les différents paramètres physico-chimiques *in situ*, tels que la température, le potentiel d'hydrogène, l'oxygène dissous, le pourcentage d'oxygène, la conductivité et la salinité.

Les hydrocarbures, la matière en suspension et la matière organique ont été mesurés au laboratoire de l'ENSSMAL et Sidi Fredj.

Les échantillons pour la mesure au laboratoire ont suivis un protocole de l'échantillonnage et de conservation (**Annexe 02**).

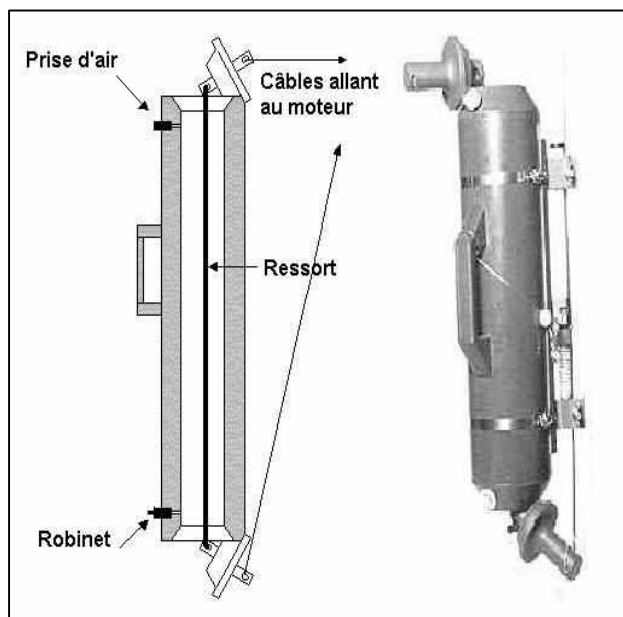


Figure 11- Schéma d'une bouteille à clapet.



Figure 12- Schéma d'une benne métallique.

2. Mesures *in situ*

2.1. Mesure de l'oxygène dissous et de la température

On a utilisé l'oxymètre de type OXI 330/SET *Wissenschaftlich Technische Werkstätten* (WTW) pour mesurer l'oxygène dissous et la température. Cet appareil est muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans le bécquet de prélèvement. Les valeurs de l'oxygène dissous et la température s'affichent par une unité de (mg/l) et (°C) successivement avec une précision de $\pm 0,5$ % lecture.

L'oxymètre peut même nous donner la valeur de pourcentage de saturation d'oxygène dissous avec une unité de pourcentage (%).

2.2. Mesure de la salinité et de la conductivité

La mesure de la salinité et de la conductivité est effectuée à l'aide d'un conductimètre de type 3L5 (WTW) d'une précision de $\pm 0,5$ % lecture. La sonde de conductimètre est plongée dans l'échantillon, la valeur indiquée sur l'afficheur est notée. Les valeurs de la salinité et de la conductivité s'affichent par une unité de (‰) et de ($\mu\text{s}/\text{cm}$) respectivement.

2. 3. Mesure du potentiel d'hydrogène

Nous avons mesurés ce paramètre in situ par un pH mètre de terrain de type 315/SET (WTW) d'une précision de $\pm 0,01$ pH.

Après calibrage au laboratoire, on procède à la mesure du pH pour chaque échantillon d'eau de mer prélevé. Le pH mètre est muni d'une électrode en verre à compensation de la température.

3. Mesures au laboratoire

3.1. Mesure de la matière en suspension (M.E.S)

La charge en matières en suspension (MES) est mesurée par pesée après filtration de l'eau.

3.1.1. Description générale de la méthode

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à $0,5 \mu\text{m}$ environ. La membrane est rincée, séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids entre les deux pesées (P1, P2) permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant.

3.1.2. Matériels utilisés

- ✓ Des membranes filtrantes de type Whattman GF/F ($\text{Ø} = 0.45 \mu\text{m}$) ;
- ✓ Boîtes à filtre (boîtes individuelles avec couvercle, en verre ou en plastique) ;
- ✓ Un dispositif de filtration sous vide de marque Sartorius ;
- ✓ Une balance de précision 10^{-4} de marque Denver Instruments M-220D ;
- ✓ Une étuve de marque NEMMERT.

3.1.3. Mode opératoire

- ✓ Mettre les filtres au four à $450-500^{\circ}\text{C}$ pendant 1 heure, pour renforcer la rigidité et la solidité des membranes ;
- ✓ Laver les filtres par l'eau distillée sous un très léger vide ;
- ✓ Déposer les filtres dans des boites avec couvercles numérotés selon les stations de prélèvements, et les placer à l'étuve de marque NEMMERT à 70°C pendant 2 heures ;
- ✓ Peser les filtres vide (P1 en mg) ;
- ✓ Homogénéiser l'échantillon ;
- ✓ Placer les filtres dans le dispositif de filtration ;
- ✓ Verser 250ml de l'échantillon et appliquer le vide ;
- ✓ Enlever les filtres et les mettre dans l'étuve (70°C pendant 2 h) pour le séchage ;
- ✓ Peser les filtres après filtration (P2 en mg).

3.1.4. Calcul et expression des résultats

La concentration des MES est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (\text{P}_2 - \text{P}_1)/\text{V}$$

[MES] : Concentration de la matière en suspension (mg/l).

P₁ : Poids du filtre sec avant filtration (mg).

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

V : Volume d'eau filtré (l).

3.2. Mesure de La matière organique

Les filtres utilisés pour la détermination de la matière en suspension dans l'eau de mer sont mis dans des creusets, et pesés avec précision, soit P₁ ce poids.

Après les avoir passé au four à moufle à 450°C pendant deux heures, les creusets et les filtres sont à nouveau peser, soit P₂ ce poids. La différence de ces deux poids (P₁, P₂) nous donne le poids de la matière organique brûlée.

$$[\text{MO}] \text{ (mg)} = \text{P}_1 - \text{P}_2$$

Avec :

P₁ : Poids du creuset et du filtre avant séchage.

P₂ : Poids du creuset et du filtre après séchage.

3.3. Dosage des hydrocarbures polyaromatiques

3.3.1 Eau de mer

Les prélèvements d'eau à la surface sont réalisés grâce à un dispositif d'échantillonnage constitué d'une bouteille en verre teintée d'une capacité de 2.5 litres et d'un support lesté. Pour éviter tout risque de contamination des échantillons par les rejets du bateau, les prélèvements sont effectués à l'avant.

Les bouteilles sont refermées avec des bouchons en Téflon et pour plus de sécurité avec du papier aluminium.

Pour chaque échantillon d'eau il faut ajouter «in situ» 50 ml de l'hexane et agiter pendant 3 minutes. L'échantillon est conservé au frais et à l'abri de la lumière.

Avant d'être analysés, les hydrocarbures doivent être subir un prétraitement :

3.3.1.1. Extraction

Immédiatement après le prélèvement, environ 100 ml sont rejetés de la bouteille d'échantillonnage pour ajouter 50 ml de l'hexane.

Ce dernier est un solvant organique plus léger que l'eau, au moment de l'agitation, il permet la dispersion du solvant dans l'eau de mer et la formation d'une phase organique non miscible à la phase aqueuse, piégeant ainsi les hydrocarbures présents dans l'eau de mer.

En ajoutant 50 ml de l'hexane, on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter pendant une durée de 20 mn environ. A la fin de chaque agitation, on laisse l'eau de mer se décanter pour un quart d'heure.

Après décantation, la phase organique supérieure de l'ampoule est récupérée dans un erlenmeyer à col rodé où l'on ajoute du sodium anhydre (Na_2SO_4) afin d'éliminer toute trace d'eau (Smail et Mazouz, 1996).

3.3.1.2. Concentration

Cette opération est réalisée dans le but d'éliminer le solvant d'extraction à l'aide d'un évaporateur rotatif. Pour éviter l'évaporation des hydrocarbures aromatiques à point d'ébullition bas, on concentre nos échantillons jusqu'à un volume de 15 ml. Pour minimiser cette perte, on maintient le bain-marie à une température de 40 °C ; il suit ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 ml.

3.3.1.3. Purification

La purification est généralement réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte de 10 mm de diamètre pour la rétention des composés polaires (les lipides). Cette purification est nécessaire lors de l'utilisation du tétrachlorure de carbone (CCL_4) comme solvant d'extraction.

Les différentes étapes de prétraitements et de traitements sont résumées dans le diagramme suivant :

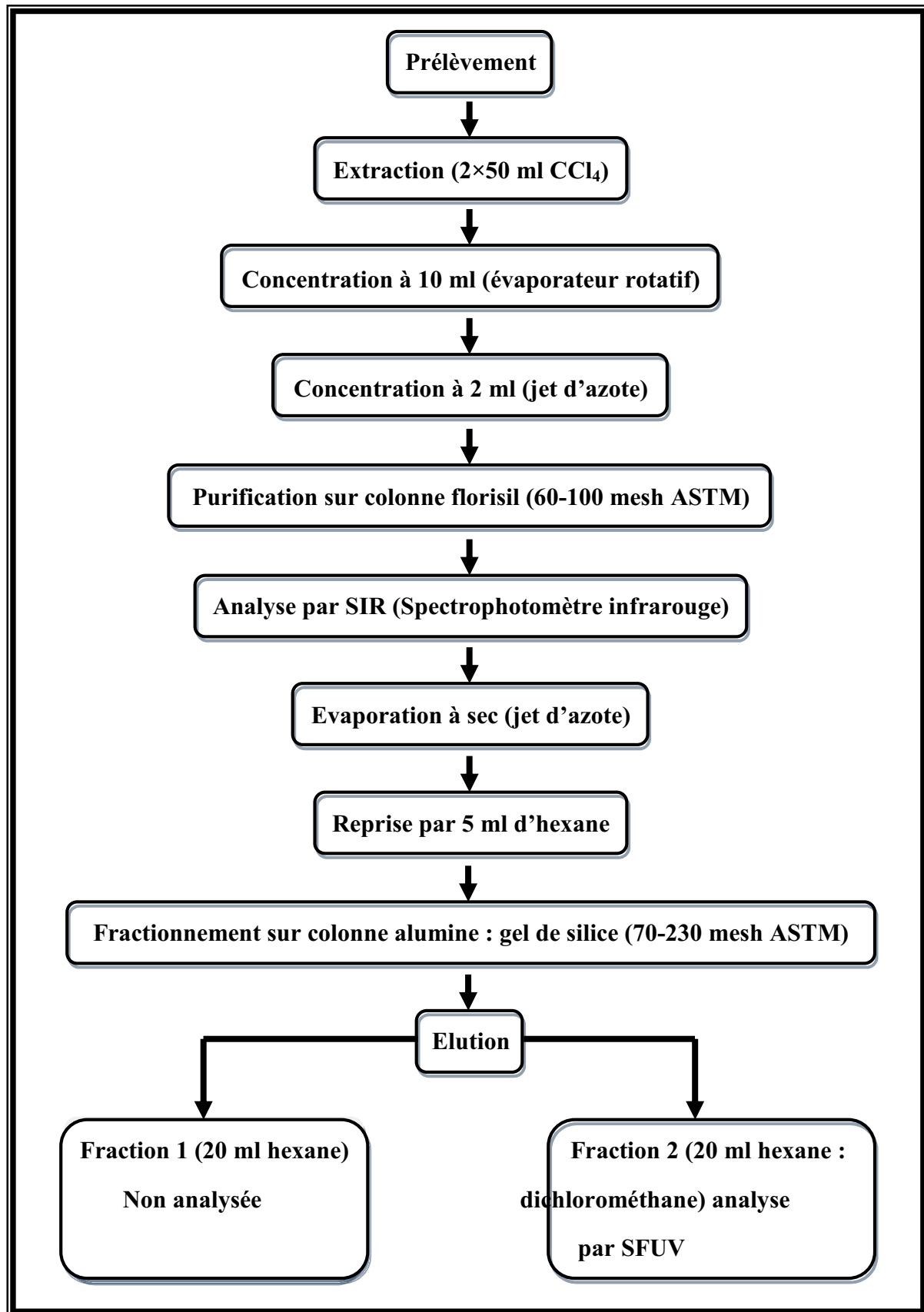


Figure 13- Diagramme des étapes de la procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer.

3.3.2. Conditions ambiantes

Pour l'analyse des polluants étudiés, une contamination infime ou une mauvaise conservation peut provoquer la modification des échantillons. De ce fait, les mesures d'hygiène doivent scrupuleusement être respectées.

Pour éviter toute source de contamination, un très grand soin est pris lors de lavage des accessoires de manipulation touchant directement ou indirectement nos échantillons.

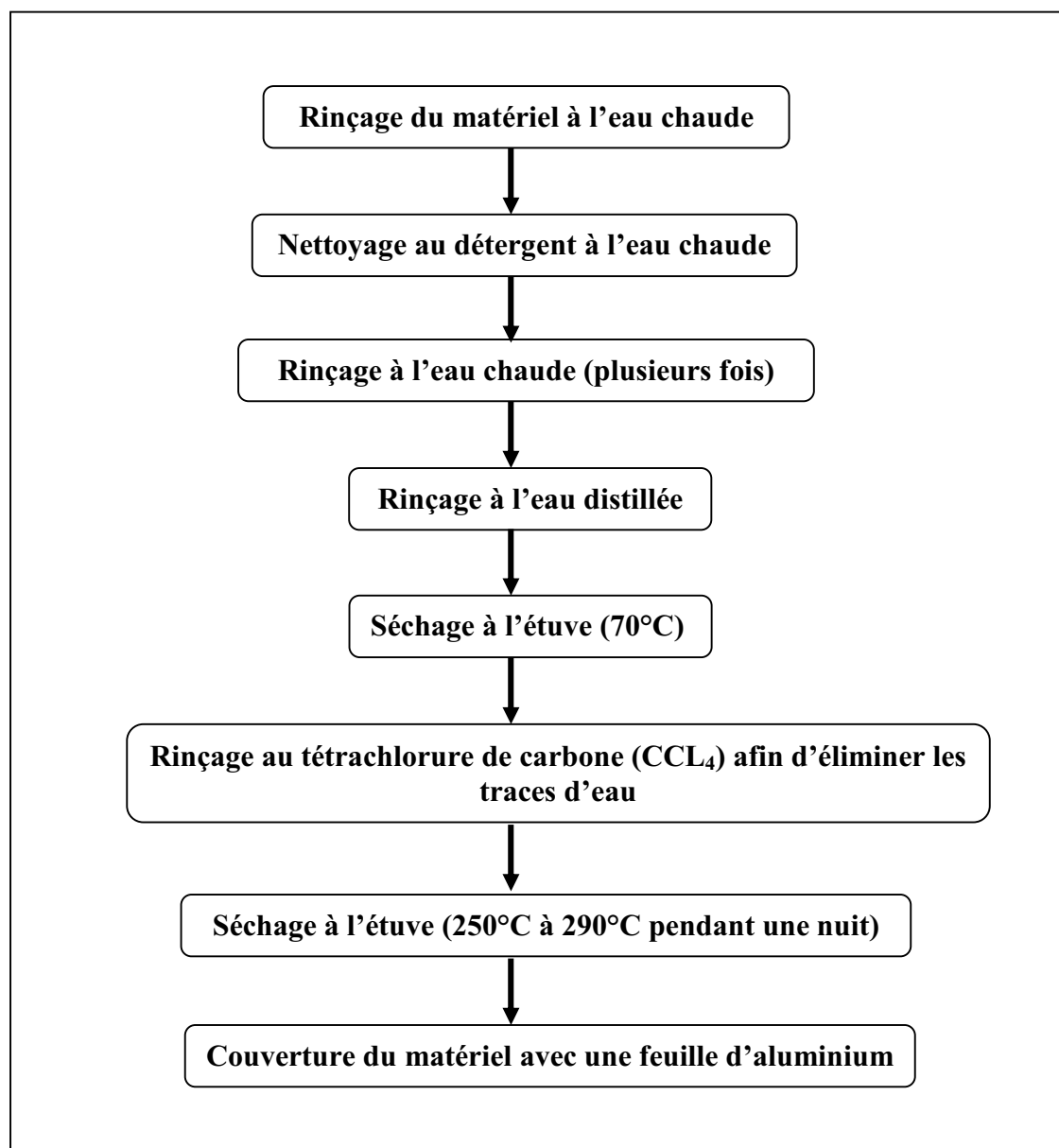


Figure 14- Diagramme de processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995)

3.3.3 Sédiment

3.3.3.1. Extraction

Sécher environ 300 g de sédiment à l'étuve à 60 °C. Si le sédiment contient beaucoup d'eau, faire une centrifugation préalable, recueillir cette eau et l'analyser comme l'eau de mer.

Broyer le sédiment sec pour le réduire en poudre fine et l'homogénéiser.

Mélanger environ 100 g de la poudre obtenue avec 20 g de sulfate de sodium anhydre et placer le tout dans un extracteur Soxhlet dont la cartouche aura été soigneusement nettoyée par une opération à vide avec du tétrachlorure de carbone.

Laisser l'extraction se poursuivre pendant 8 h par le tétrachlorure de carbone : le volume de tétrachlorure dépend de la capacité de l'extracteur.

Récupérer, à la fin de l'opération, le volume d'extrait recueilli, et le déshydrater, comme l'extrait d'eau de mer, sur sulfate de sodium anhydre.

3.3.3.2. Concentration

Cette opération est réalisée à l'aide d'un évaporateur rotatif. L'enceinte est mise sous vide, l'échantillon est placé dans un bain-marie à 40°C ce qui accélère le passage du liquide à l'état de vapeurs; ces vapeurs se condensent sur la paroi et tombent dans un ballon qui recueille ainsi le solvant d'extraction (**Smail et Mazouz, 1996**).

Le passage à l'état de vapeur et la régularisation de l'ébullition qui apparaît sous vide sont améliorés par la rotation de l'erlenmeyer à col rodé contenant l'extrait jusqu'à un volume moyen de 10 ml, l'extrait subit une deuxième concentration sous jet d'azote pur à faible débit pour éviter les pertes (jusqu'à obtenir un volume de 2 ml).

3.3.3.3. Traitement au mercure

Les sédiments marins, principalement ceux qui sont riches en carbone organique, contiennent le plus souvent du soufre résultant de l'oxydation chimique et microbiologique de l'ion sulfure.

Ce dernier est le résultat d'une reminéralisation anoxique de la matière organique par les micro-organismes qui, en absence d'oxygène libre, utilise l'ion sulfate comme accepteur final d'électrons.

Il est indispensable d'éliminer le soufre des échantillons, car leur présence interfère lors d'analyse des hydrocarbures par chromatographie en phase gazeuse.

L'élimination de ces composés est réalisée par leur piégeage dans du mercure.

3.3.3.4. Purification et fractionnement

La purification est réalisée en même temps que le fractionnement. Cette opération par chromatographie liquide sur colonne ouverte permet d'éliminer les composés polaires (lipides) mais aussi toute autre impureté. Elle permet aussi la division de l'échantillon extrait (soluté) en deux fractions:

- ✓ F1 pour les hydrocarbures aliphatiques ;
- ✓ F2 pour les hydrocarbures aromatiques.

Pour cela, une colonne chromatographique en verre, de contenance de 30 ml, ayant un diamètre interne de 10 mm, préalablement nettoyée à l'hexane est remplie dans l'ordre suivant:

- ✓ un tampon de coton de verre ;
- ✓ 5 g d'alumine (Al_2O_3) : 70-230 MESH ASTM ;
- ✓ 5 g de gel de silice : 70-230 MESH ASTM ;
- ✓ 1 g de sulfate de sodium (Na_2SO_4).

Les agents adsorbants préconisés pour la purification sont : l'alumine et le gel de silice. Ces produits ont été activés à 120°C pendant une nuit puis désactivés par addition de 5 % du poids des adsorbants en eau bidistillée avant utilisation.

Opération d'élution :

- ✓ Verser le soluté (l'échantillon extrait) dans la colonne ;
- ✓ Opérer une élution avec 20 ml d'hexane et récupérer la fraction aliphatique (F1) ;
- ✓ Opérer une deuxième élution avec 30 ml d'un mélange d'hexane/dichlorométhane aux proportions (70/30, VIV) et récupérer la fraction aromatique (F2).

Stocker les fractions ainsi obtenues, dans le réfrigérateur, jusqu'à l'analyse.

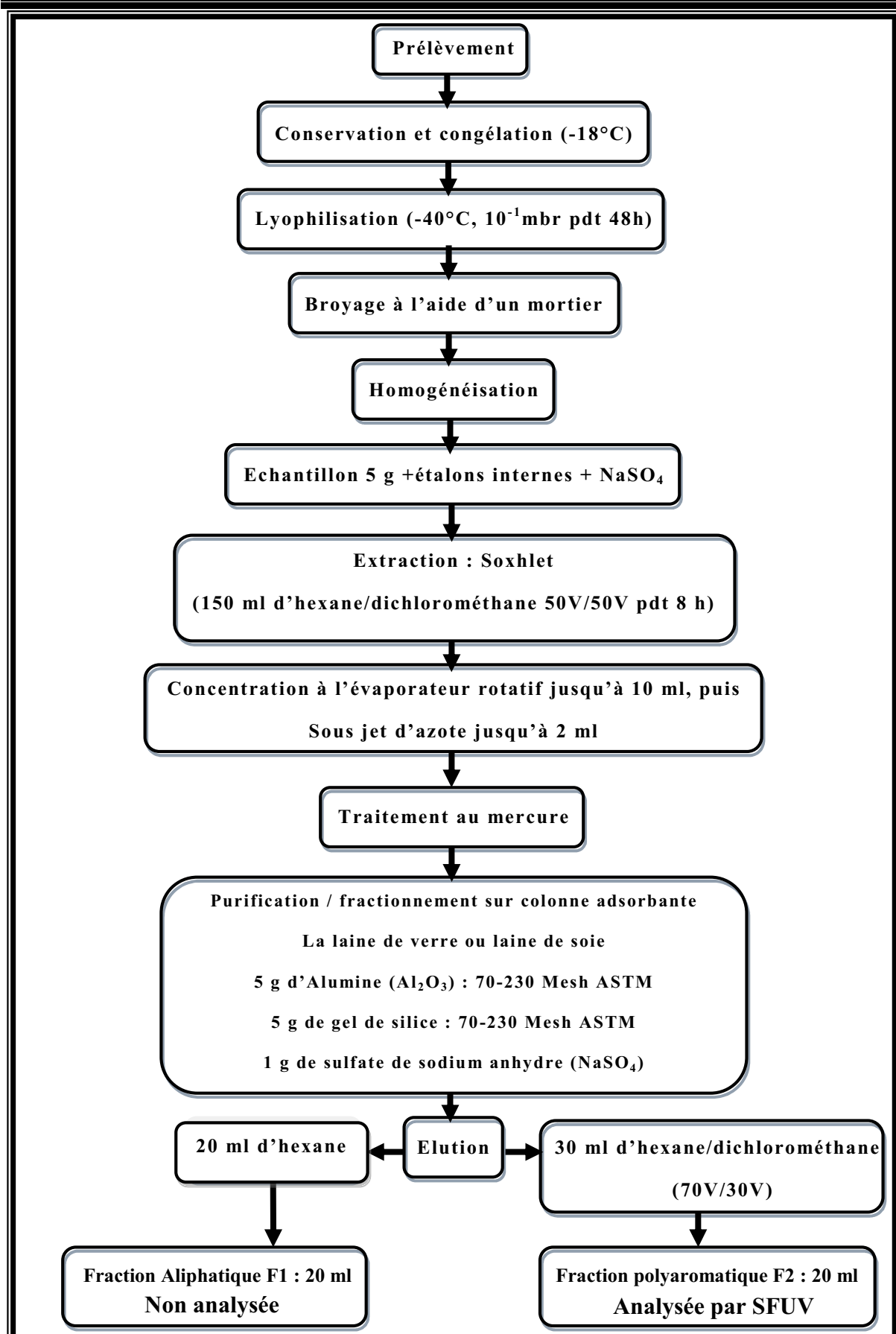


Figure 15- Traitement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures.

3.3.4. Analyse par spectrofluométrie ultraviolet (SFUV)

Nous avons choisi la SFUV, du fait de sa sensibilité, sa rapidité, sa globalité au niveau des hydrocarbures polyaromatiques (HAP) et surtout parcequ'elle est peu sujette aux interférences et fournit un excellent indice de pollution du milieu marin

La spectrofluométrie est une technique d'analyse appliquée et préconisée par la Commission Océanographique Internationale de l'**U.N.E.S.C.O (1977)** pour la surveillance de la pollution par les hydrocarbures en mer.

La limite de cette méthode est de l'ordre de 0,1 ($\mu\text{g/l}$) pou l'eau de mer (**I.C.O, 1982**)

3.3.4.1 Principe de la SFUV

Cette méthode permet de mesurer la fluorescence émise par des molécules soumises à des rayonnements d'excitations ultraviolettes. Elle est très utilisée pour le dosage direct de substances fort diverses comportant un noyau aromatique ou hétérocycle. De ce fait la réponse de fluorescence fournit un bon indice de pollution pétrolière du fait de très faible teneur des hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin (**Marchand, 1983**).

3.3.4.2 Appareillage analytique

Nous avons utilisés pour cette analyse un spectrofluomètre de type HITACHI 650-10s High sensitivity, équipé d'une lampe à xénon d'un balayage allant de 220 à 830 nm et de cellules en quartz d'un centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces.

3.3.4.3 Etalonnage et gamme étalon

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

La gamme étalon se compose de 2 (mg) de chrysène dissous dans 10 (ml) d'hexane soit de 10mg/50ml ou bien de 200 $\mu\text{g/ml}$. Cette préparation est la solution mère ou solution initiale.

Un volume de 1 (ml) est prélevé de cette dernière et dilué dans 25 (ml) d'eau distillée afin d'obtenir une solution intermédiaire de 8 ($\mu\text{g/ml}$). A partir de cette seconde solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles ou gamme & talon présentées dans le tableau suivant :

Tableau 04- Concentration des solutions filles en équivalent chrysène (**C.O.I, 1984**)

Etalons standards	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration ($\mu\text{g/ml}$)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00

3.3.4.4 Mesure des intensités de fluorescence

Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes :

- ✓ Longueur d'onde d'excitation 310 nm ;
- ✓ Longueurs d'onde d'émission 360 nm, 380 nm et 410 nm ;
- ✓ Les fentes d'excitation et d'émission sont respectivement fixées à 2 nm et 5 nm.

On note qu'à chaque série d'échantillon un blanc de procédure est analysé au préalable ainsi que la série de solution standard.

L'intensité de fluorescence (IF) est proportionnelle à la concentration [C] de l'échantillon. Elle permet d'établir le tracé d'une droite d'étalonnage pour chaque longueur d'onde d'émission $\lambda = 360$ nm, $\lambda = 380$ nm et $\lambda = 410$ nm à partir des données de lecture correspondant aux 3 longueurs d'ondes précisées.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$IF = a C + b$$

Avec : IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire (U.A) ;

C : concentration en hydrocarbures polyaromatiques ($\mu\text{g/ml}$).

a : pente de droite.

b : ordonnée à l'origine.

Les meilleures réponses sont obtenues pour la longueur d'onde de 360 nm. Les calculs sont effectués en fonction de cette réponse.

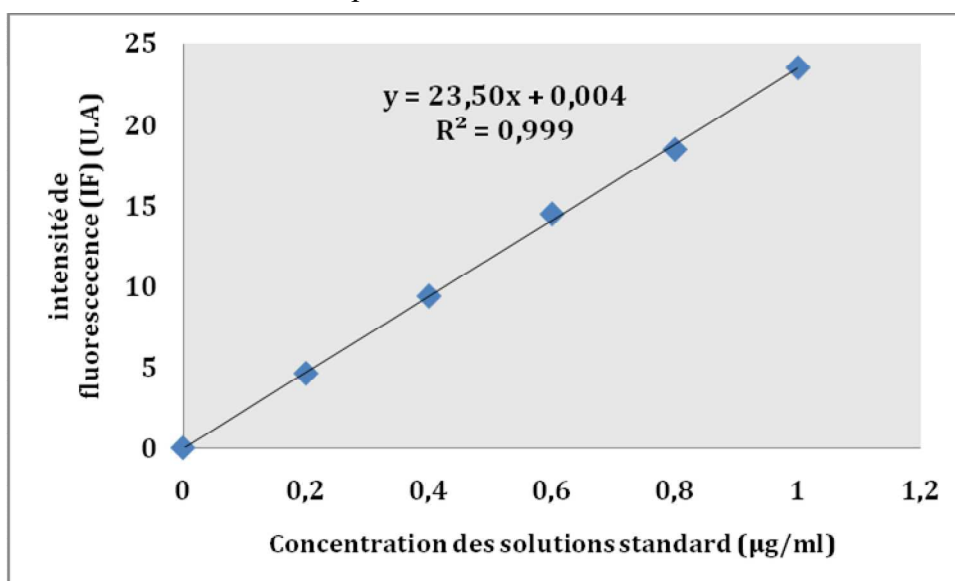


Figure 16- Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV.

Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques sont déterminées à partir de cette courbe étalon.

3.3.4.5 Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polyaromatiques

Les concentrations finales en HPA dans l'eau sont calculées comme suit :

$$[\text{HPA}]_{\text{é.finale}} = ([\text{C}]_{\text{éch}} - [\text{C}]_{\text{blanc}}) f \times (v/V)$$

[HPA]_{é.finale} : concentration des HPA dans l'échantillon d'eau de mer ($\mu\text{g/l}$) en équivalent chrysène.

[C]_{éch} : concentration des HPA dans l'extrait « courbe d'étalonnage » ($\mu\text{g/l}$)

[C]_{blanc} : concentration du blanc ($\mu\text{g/l}$).

f : facteur de dilution.

v : volume de l'extrait pour l'eau.

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

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats exposés dans ce chapitre ont été réalisés au niveau du laboratoire de :

- ✓ ENSSMAL (labo. Chimie marine), pour les MES et la MOP ;
- ✓ Sidi Fredj (labo. Chimie marine), pour les hydrocarbures.

Pour les autres paramètres physico-chimiques, tout ont été valorisés au bord du navire de Mohamed Assedic Ben Yahia.

1. Variation des paramètres physico-chimiques

Le tableau suivant représente tous les résultats des paramètres physico-chimiques :

Tableau 05- Les résultats des paramètres mesurés in situ.

P. Ph Stations	O₂ (mg/l)	O₂ (%)	T (°C)	C (µs/cm)	S (‰)	pH
S₁	7,8	86	16,9	47	36,75	8
S₂	8,34	83,3	16,5	46,5	36,7	8,13
S₃	8,54	83,3	16,6	46,6	36,8	8,1
S₄	8,6	87,5	16,6	46,6	36,7	8,19
S₅	8,45	81,8	16,4	40,7	37	8,21
S₆	7,4	74,1	16,3	46,3	36,7	8,22
S₇	7,33	72,9	16,8	46,7	36,6	8,18
S₈	6,45	62,8	17	46	35,8	8,15
S₉	6,63	66,8	16,9	46,1	35,9	8,14
S₁₀	7,57	75,6	16,6	46,2	36,3	8,13
Moyenne	7,71	77,41	16,66	45,87	36,51	8,14
Ecart-type	0,778	8,332	0,232	1,842	0,374	0,063

P. Ph : paramètres physico-chimiques. : valeur minimale. : valeur maximale.

Ces résultats des différents descripteurs physico-chimiques sont tous représentés sous forme des diagrammes accompagnant de leurs interprétations.

1.1. Variation de l'oxygène dissous O₂ (mg/l)

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles du port d'Alger varient entre 7,33 (mg/l) (valeur minimale), et 8,6 (mg/l) (teneur maximale), avec une moyenne de 7,71 (mg/l) et un écart type de 0,778.

La plus faible valeur est observée à la station 8 au voisinage du môle d'El Hadjar (Terminal à conteneurs) qui s'explique par le fait que c'est un quai de remorquage des huiles et des savons. Tandis que la teneur la plus élevée est signalée à la station 4 entre les deux môles El Defna et El Djazair.

Ces valeurs varient très peu entre les stations et reste dans les normes puisque d'après **Rodier (1984)** l'eau saturée d'air, à 20°C et sous une pression normale contient 9,1 (mg/l) d'oxygène.

La consommation de l'oxygène est essentiellement provoquée par les processus de reminéralisation de la matière provenant des rejets urbains et des petites usines implantées dans la région, des organismes et des germes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphérique à l'interface sol atmosphère (présence des graisses, d'hydrocarbures, de détergent...)

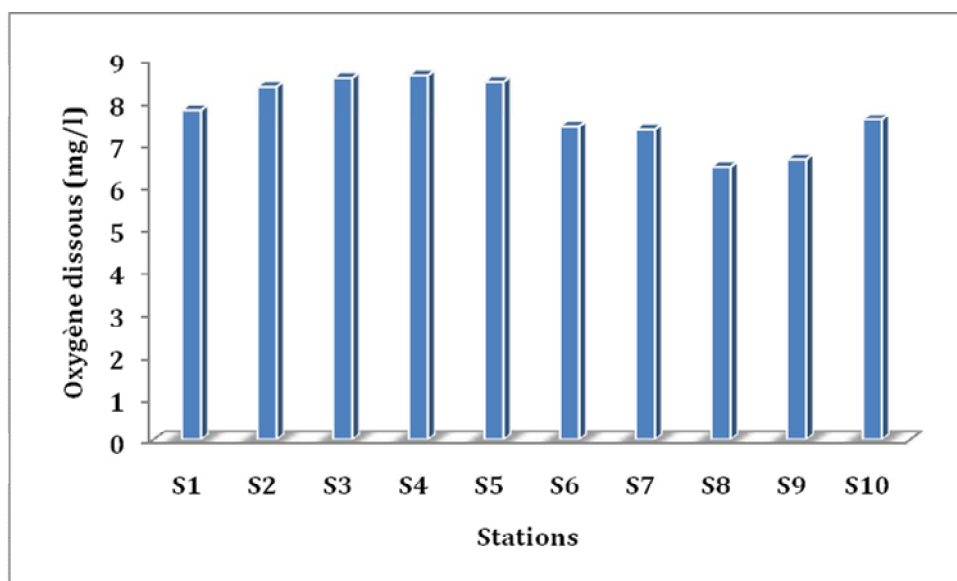


Figure 17- Variation de la concentration de l'oxygène dissous.

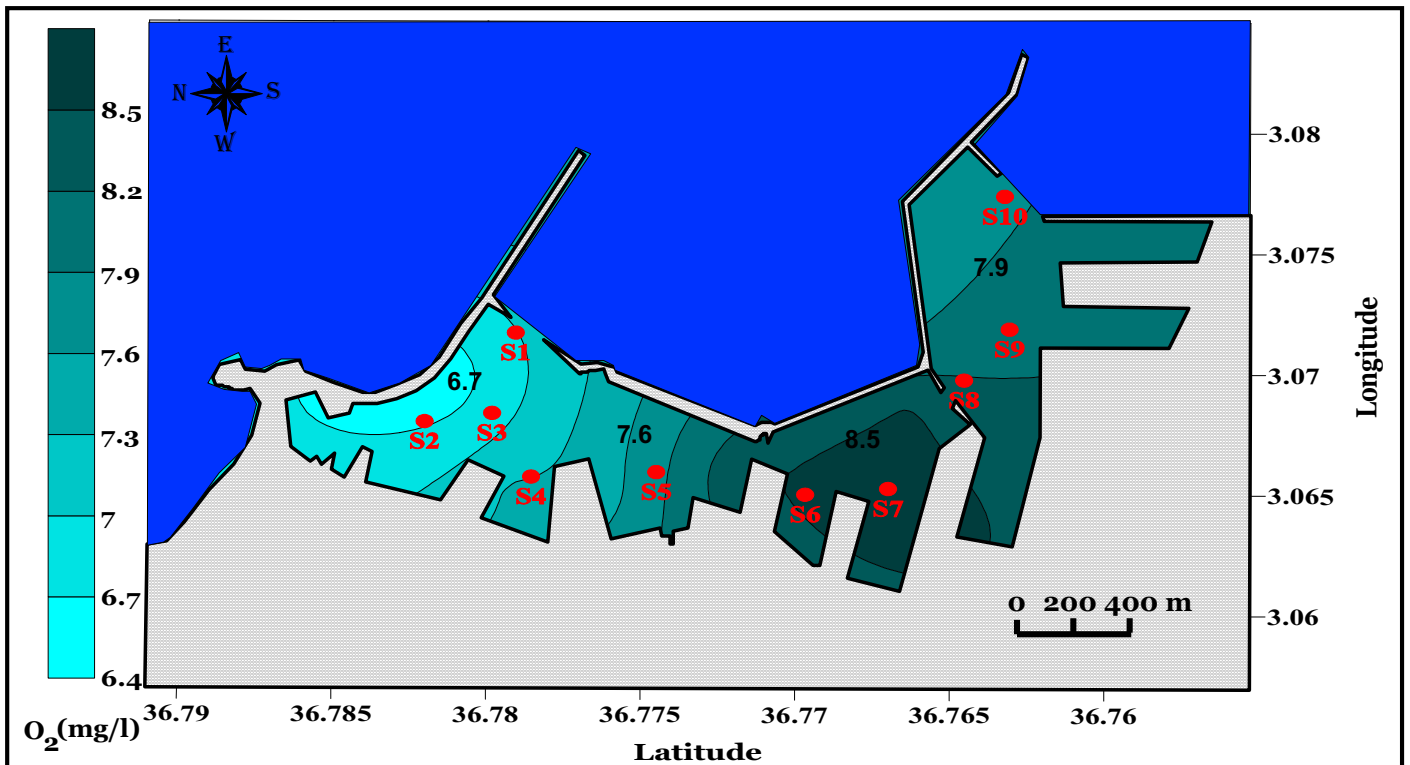


Figure 18- Répartition spatiale de l'oxygène dissous dans le port d'Algier.

1.2. Variation du pourcentage de saturation O₂ (%)

Le pourcentage de saturation de l'oxygène dissous dans les stations de prélèvement varie entre 62,8% et 87,5%, avec une moyenne de 77,41% et un écart type de 8,332%.

Les valeurs maximales sont enregistrées dans les cinq premières stations (S1, S2, S3, S4 et S5) ce qui donne une idée sur l'état de pollution dans ces zones.

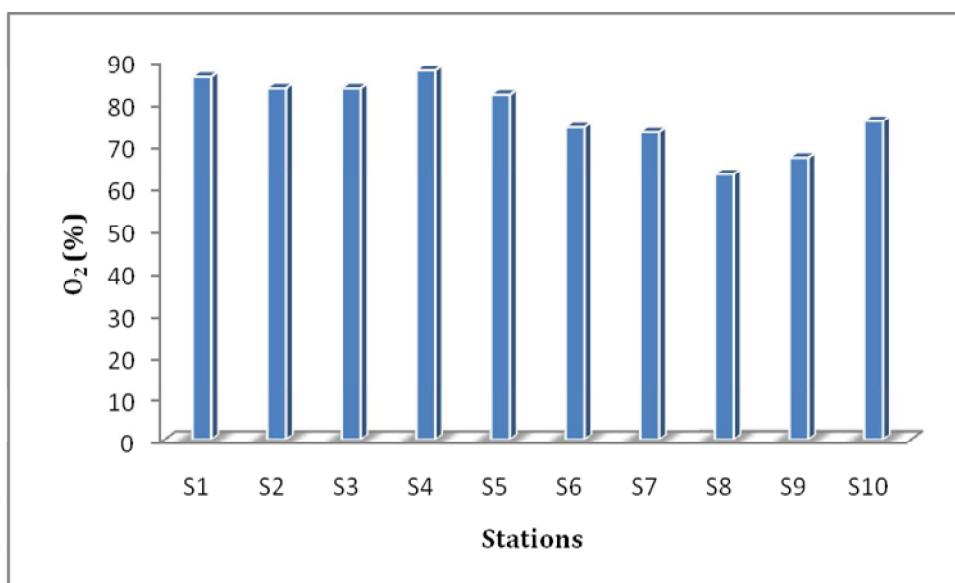


Figure 19- Variation du pourcentage de l'oxygène dissous.

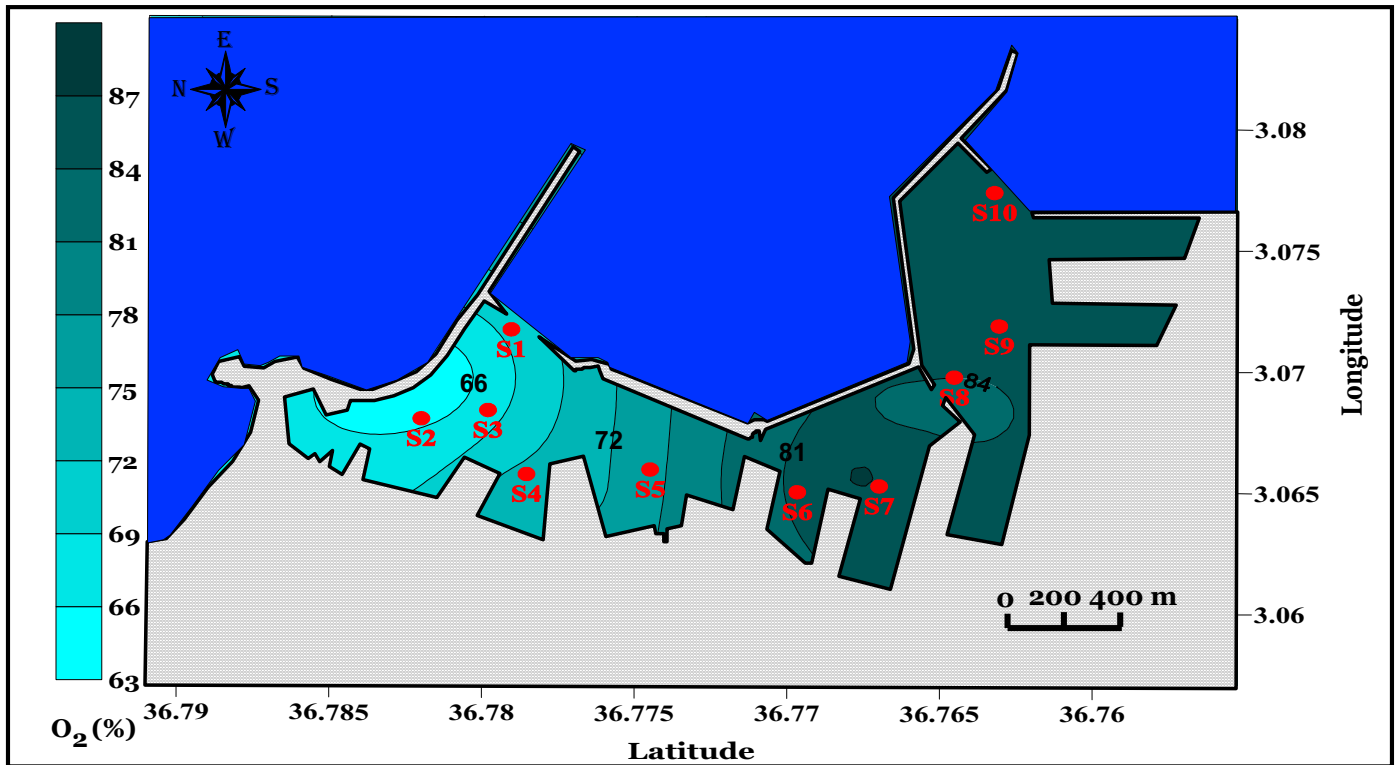


Figure 20- Répartition spatiale du pourcentage de saturation dans le port d'Alger.

1.3. Variation de la température T (°C)

Les valeurs relatives de la température au niveau du port et durant la période d'étude sont incluses dans l'intervalle de (16,3 –17°C) avec une moyenne de 16,66 (°C) et un écart type de 0,232.

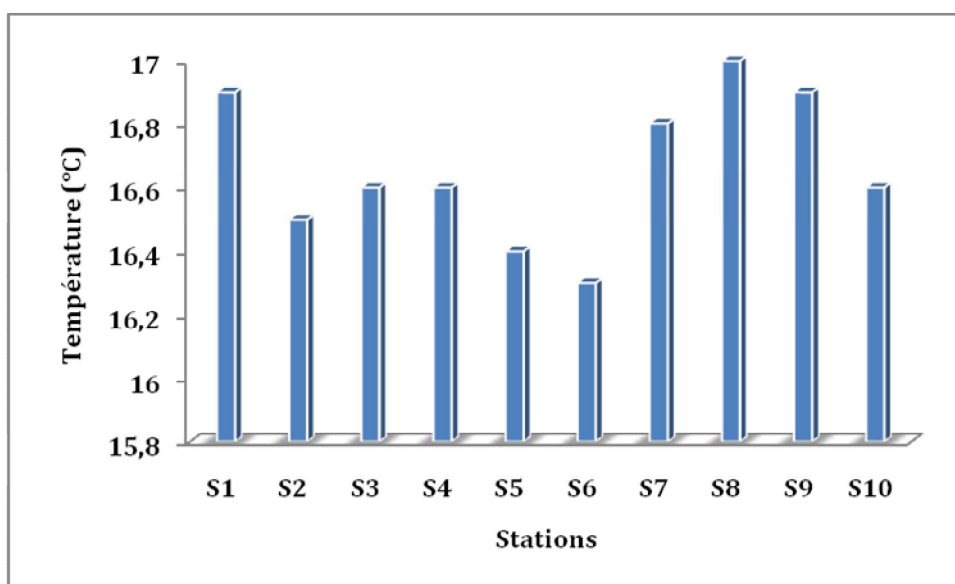


Figure 21- Variation de la température (T) en °C.

La valeur maximale est enregistrée dans le bassin Mustapha à la station S8, au voisinage du terminal à conteneur et la station S6 qui est plutôt entre le môle de Ghar Djebilet et Oued Hamimine, relève la valeur minimale avec 16,3 (°C).

Pour toutes les stations, les températures varient très peu et sont de niveau saisonnier comme le remarque Hamzaoui (1990).

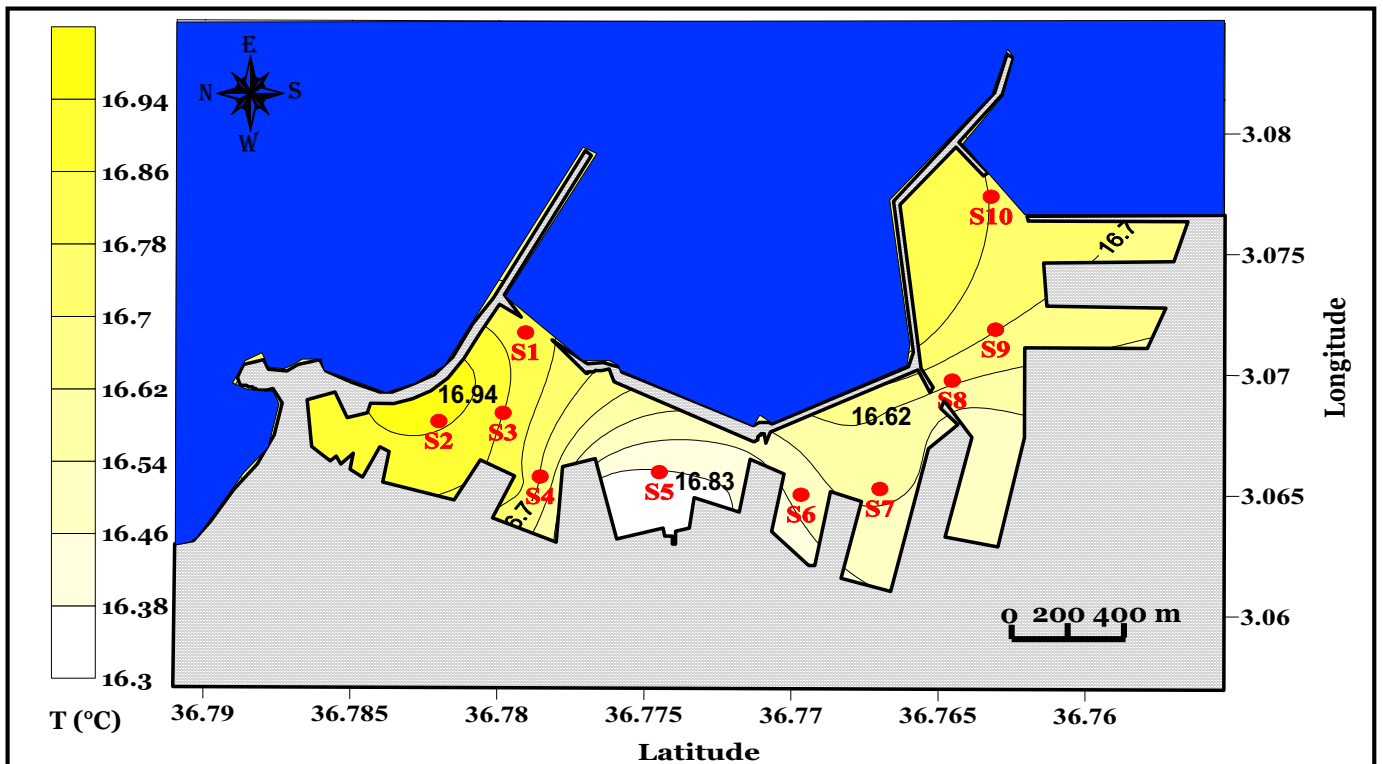


Figure 22- Répartition spatiale de la température dans le port d’Alger.

1.4. Variation de la conductivité C (µs/cm)

Les valeurs de la conductivité sont comprises entre une valeur maximale de 47 (µs/cm) et l’autre minimale 40,7 (µs/cm), avec une moyenne de 45,87 (µs/cm) et un écart type 1,842.

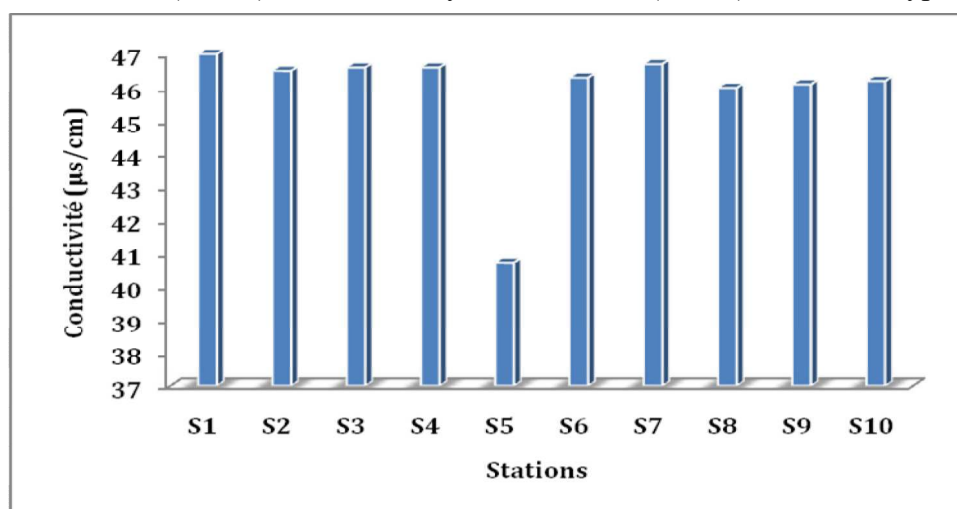


Figure 23- Variation de la conductivité dans le port d’Alger.

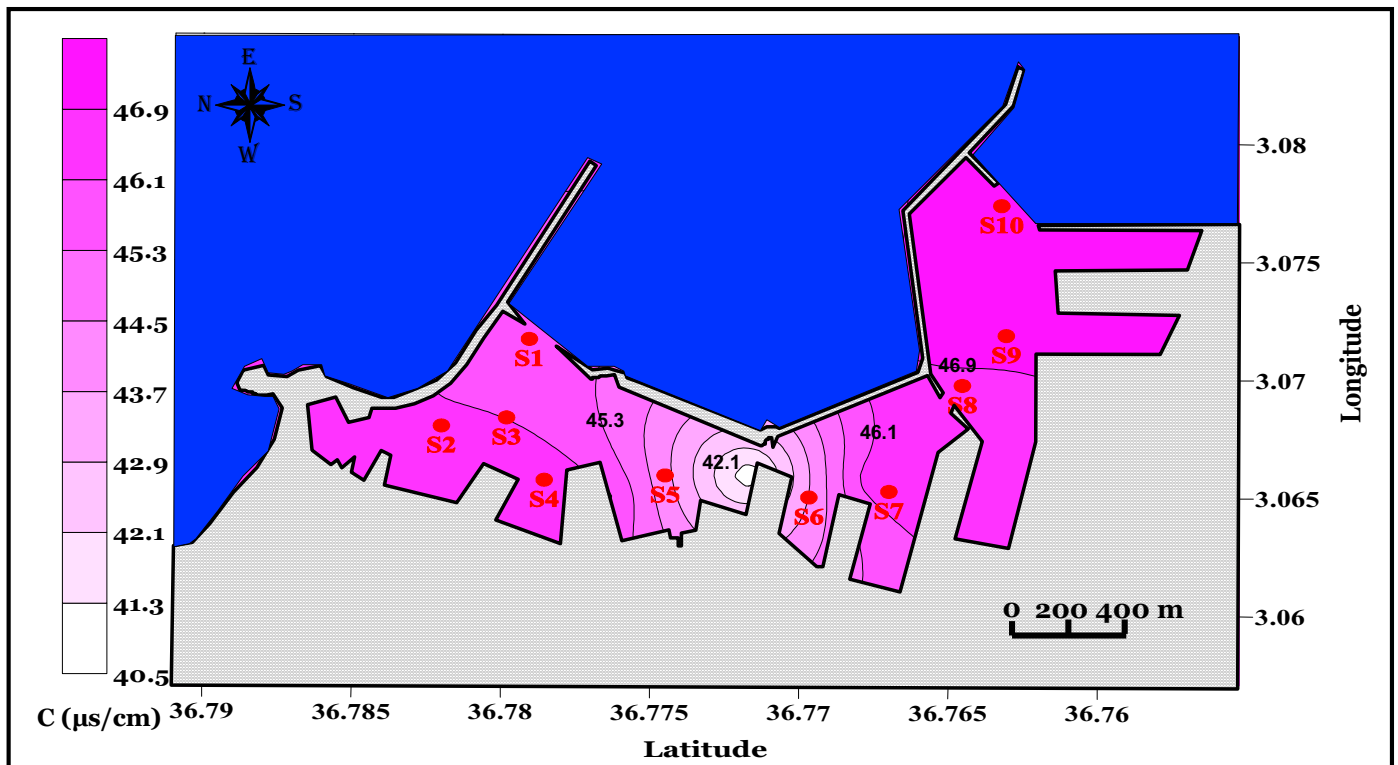


Figure 24- Répartition spatiale de la conductivité dans le port d’Alger.

1.5. Variation de la salinité S (‰)

Les valeurs de la salinité varient entre une valeur maximale de 37 (‰) et une valeur minimale de 35,8 (‰), avec une moyenne de 36,51 (‰) et un écart type de 0,374.

La cinquième station relève salinité maximale et la valeur minimale est enregistrée au niveau de la station S8.

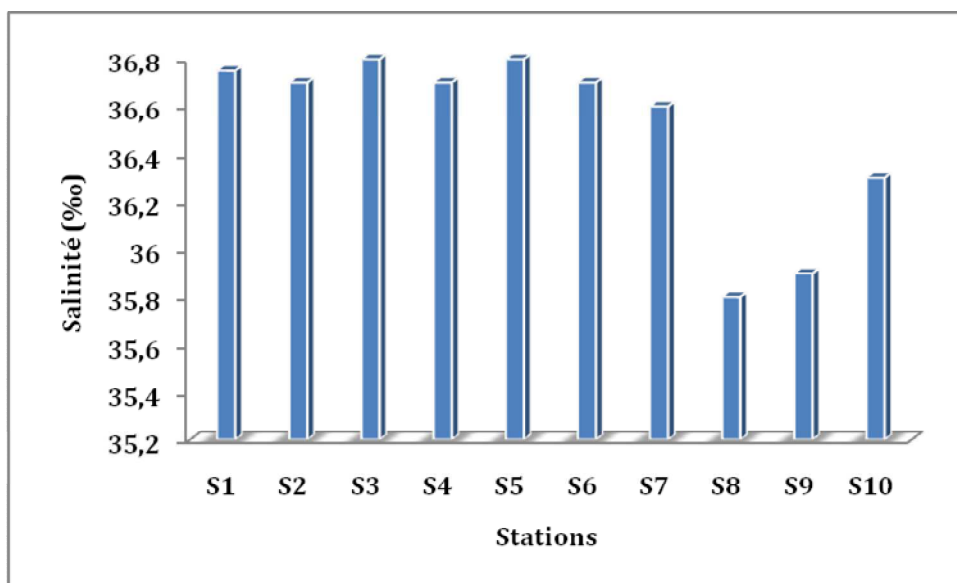


Figure 25- Variation de la salinité dans le port d’Alger.

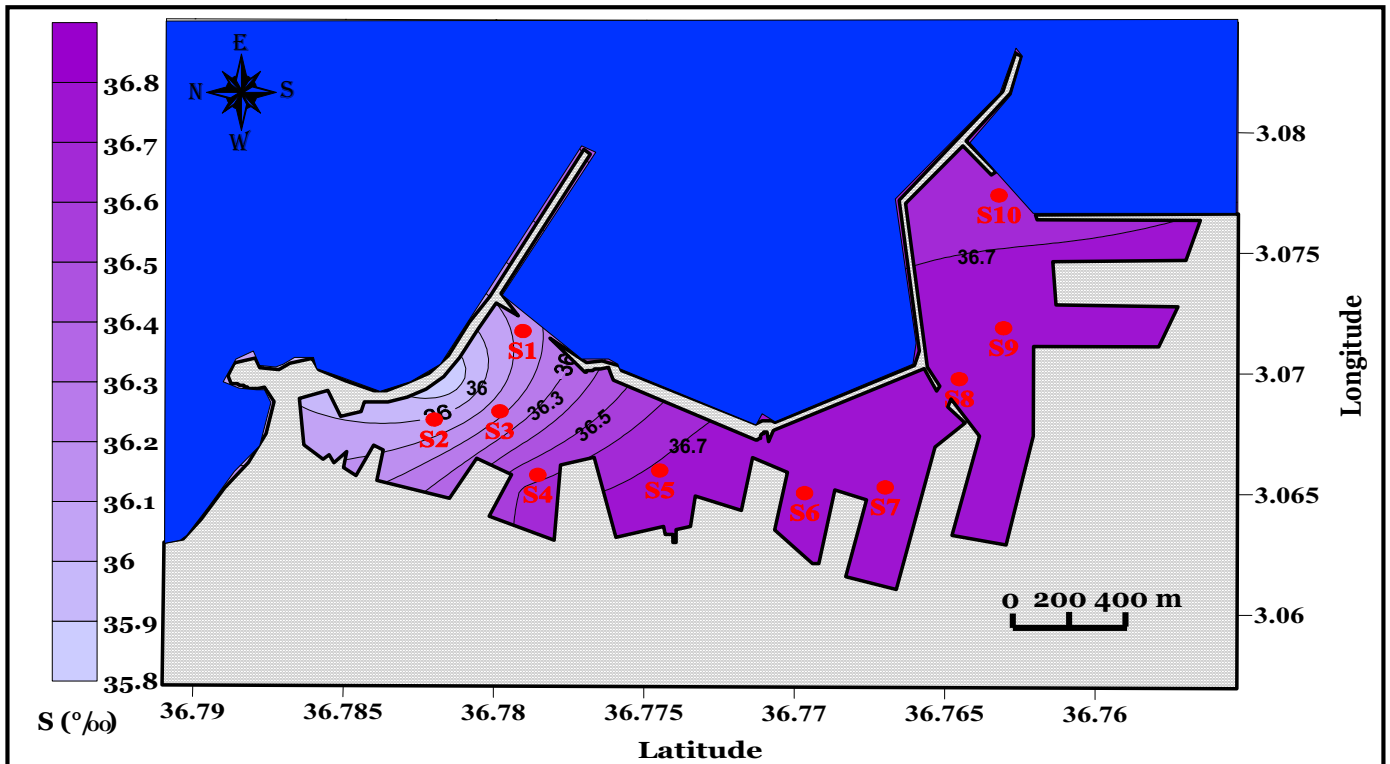


Figure 26- Répartition spatiale de la salinité dans le port d'Alger.

1.6. Variation du potentiel d'hydrogène pH

Les valeurs du potentiel d'hydrogène sont comprises entre une valeur maximale de 8,22 et l'autre minimale 8, avec une moyenne de 8,14 et un écart type 0,063.

Le pH de l'eau de mer du port d'Alger, voisin de 8,2, indique que les zones sont conformes aux normes algériennes 2006, limitées entre 6 à 8,5. (Voir annexe 03).

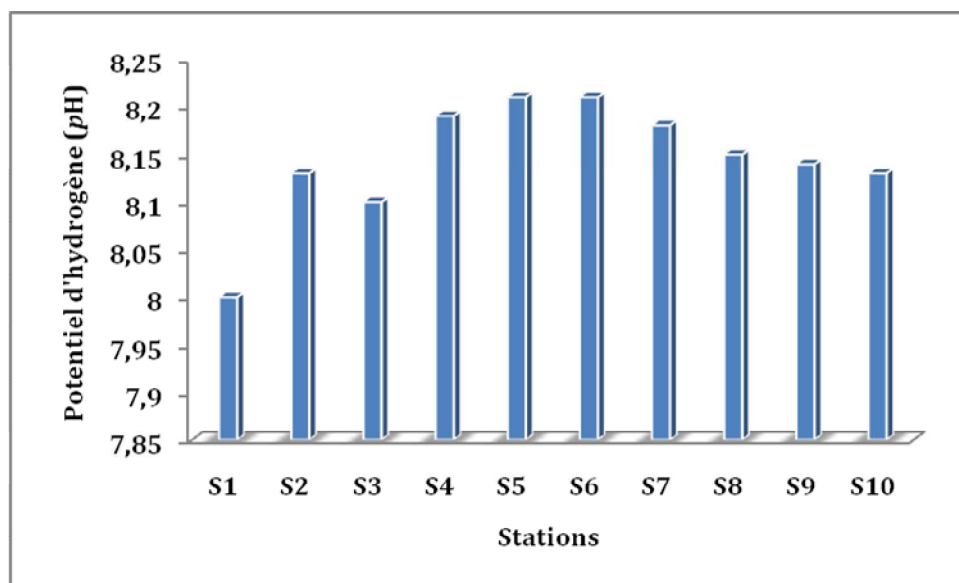


Figure 27- Variation du potentiel d'hydrogène.

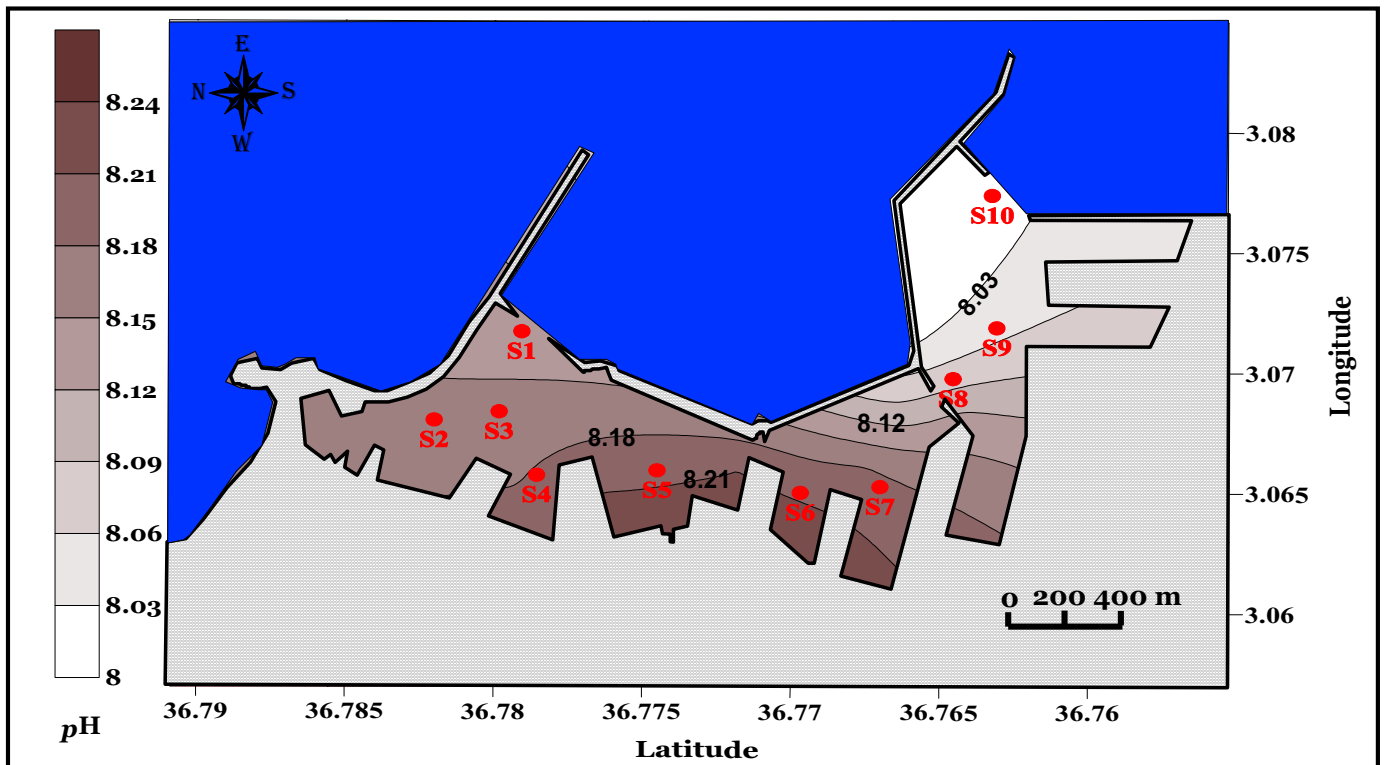


Figure 28- Répartition spatiale du potentiel d’hydrogène dans le port d’Alger.

2. Variation des paramètres mesurés au laboratoire

A partir des échantillons prélevés, transportés à l’aide d’une glacière isotherme, congelés au laboratoire de Sidi Feredj, nous avons effectué l’analyse des hydrocarbures, selon les protocoles décrits par **Aminot et Chaussepied ; 1983**, la mesure de la matière en suspension et la matière organique.

Les résultats sont présentés graphiquement et sous forme des figures déterminant la répartition spatiale des paramètres en fonction des stations de prélèvement.

Tableau 06- Les résultats des paramètres mesurés au laboratoire.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	Moyenne	Ecart-type
MES (mg/l)	47,27	90,91	69,09	112,73	54,55	83,64	72,73	50,53	50,51	65,45	69,82	20,98
MO (mg/l)	11	4	10	8	5	7	9	3	6	2	6,6	3,17

: valeur minimale. : valeur maximale.

2.1. Variation de la matière en suspension

Les valeurs de la matière en suspension sont comprises entre 112,73 et 47,27 (mg/l) avec une valeur moyenne de 69,82 (mg/l) et un écart type de 20,98.

La plus forte teneur est enregistrée au niveau de la quatrième station (112,73 mg/l), qui est largement supérieures aux normes algériennes 2006 (35 mg/l), par contre la faible valeur est enregistrée au niveau de la première station au niveau du passe Nord.

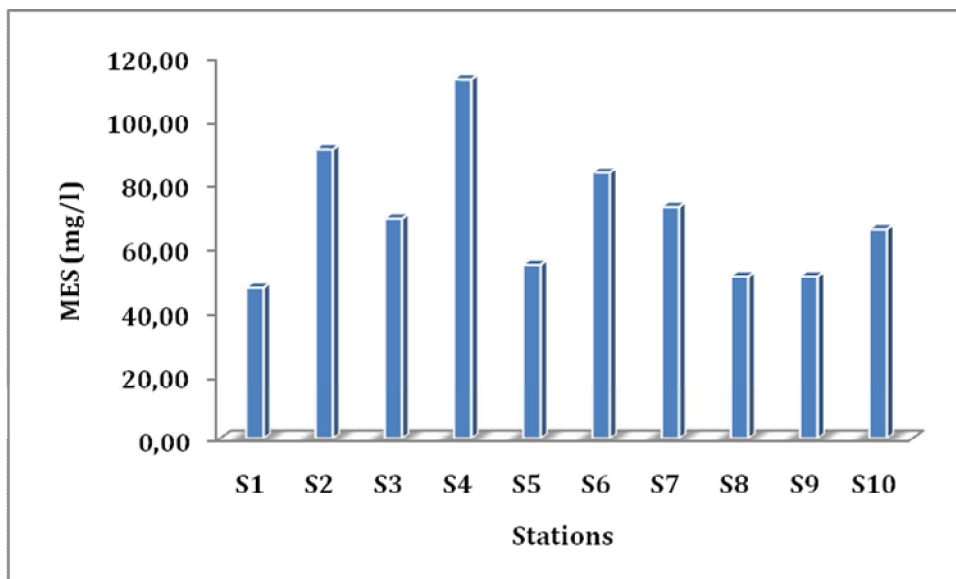


Figure 29- Variation de la matière en suspension dans le port d'Alger.

Selon la grille normative utilisée pour estimer la qualité de l'eau (**annexe 04**), ces zones font partie de la deuxième, la troisième et la quatrième catégorie :

Catégorie 2 : présentée par les stations S2, S3, S5, S7, S8, S9, S10, caractérisée par une eau de qualité moyenne, utilisable après traitement simple.

Catégorie 3 : les deux stations S2 et S6 font partie de cette catégorie qui est caractérisée par une eau polluée, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé.

Catégorie 4 : présentée par la station S4 et caractérisée par une eau très polluée, ne peut être utilisée qu'après un traitement spécifique et onéreux.

Ces teneurs sont influencées par l'état de la mer (calme, agitée), les courants, l'oxygène dissous, la sédimentation qui est soumise à l'effet de l'agitation.

La matière en suspension réduit aussi bien la transparence de l'eau que la production primaire photosynthétique, mais elle peut être considérée comme une source de nourriture non négligeable pour la faune lorsque elle est dans les normes.

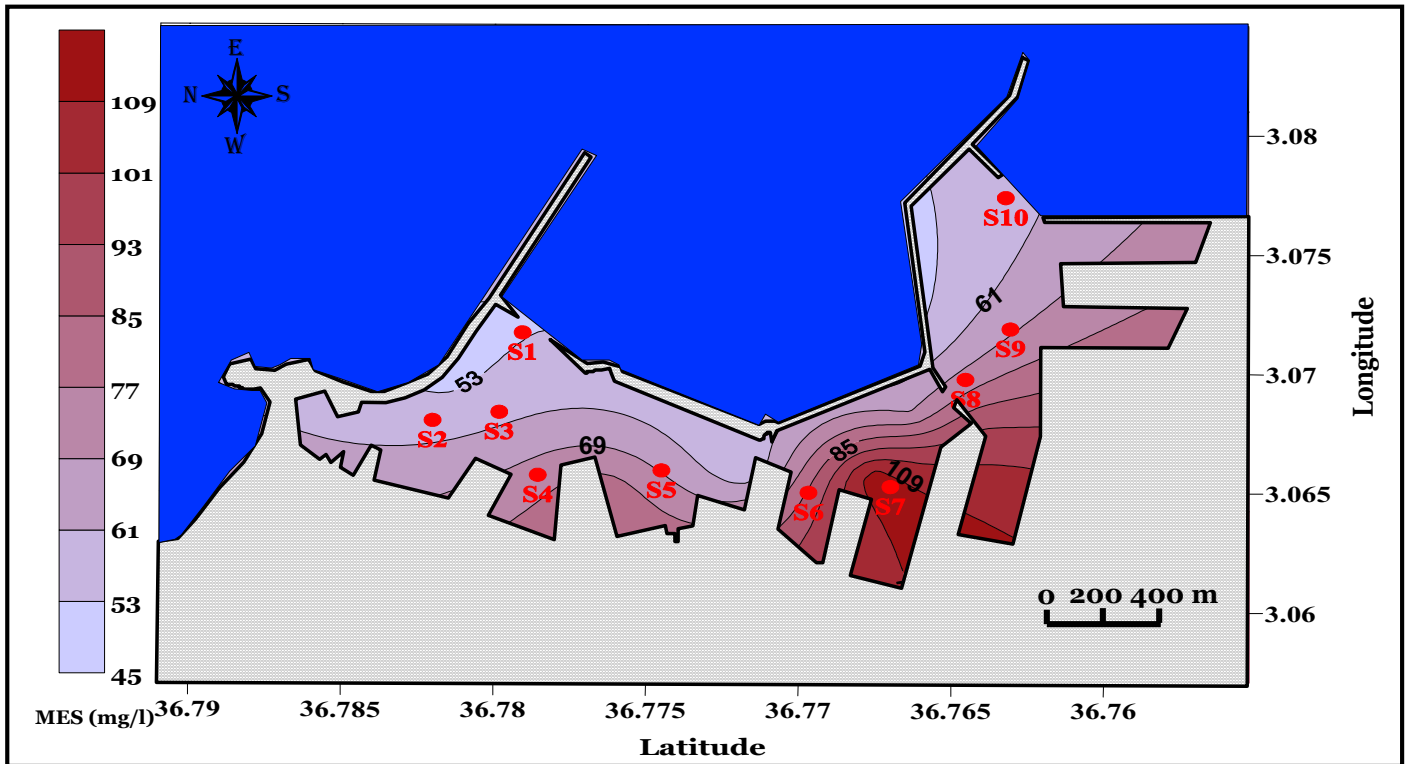


Figure 30- Répartition spatiale des MES dans le port d’Alger.

2.2. Variation de la matière organique

La matière organique mesurée au niveau du port d’Alger varie entre 2 (mg/l) et 11 (mg/l) avec une moyenne et un écart type respectivement de 6,6 (mg/l) et 3,17.

La teneur la plus faible est enregistrée au niveau de la dixième station avec une valeur de 2 (mg/l). La première station présente la valeur la plus élevée, 11(mg/l).

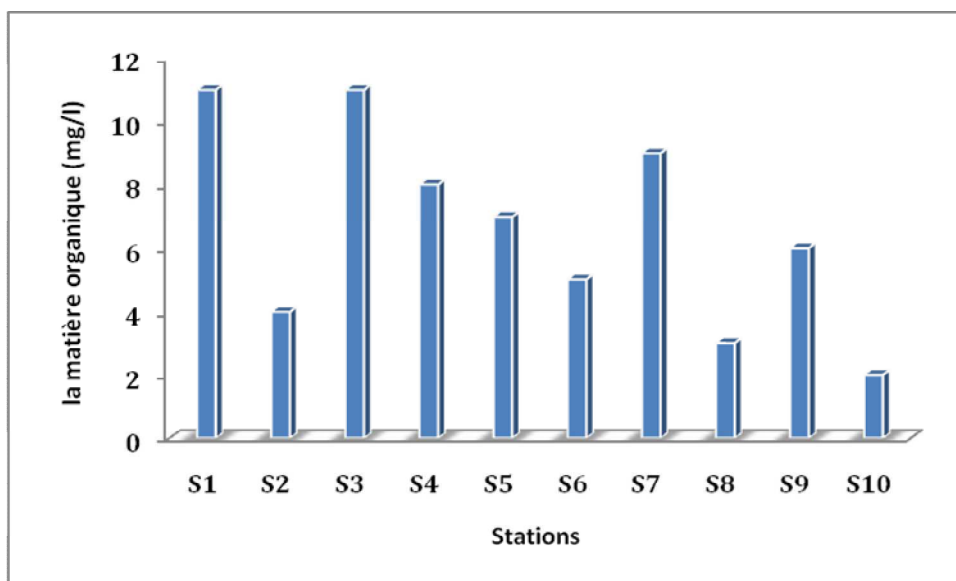


Figure 31- Variation de la matière organique dans le port d’Alger.

Selon la grille normative utilisée pour estimer la qualité de l'eau (annexe 04), ces zones font partie de la première, la deuxième et la troisième catégorie.

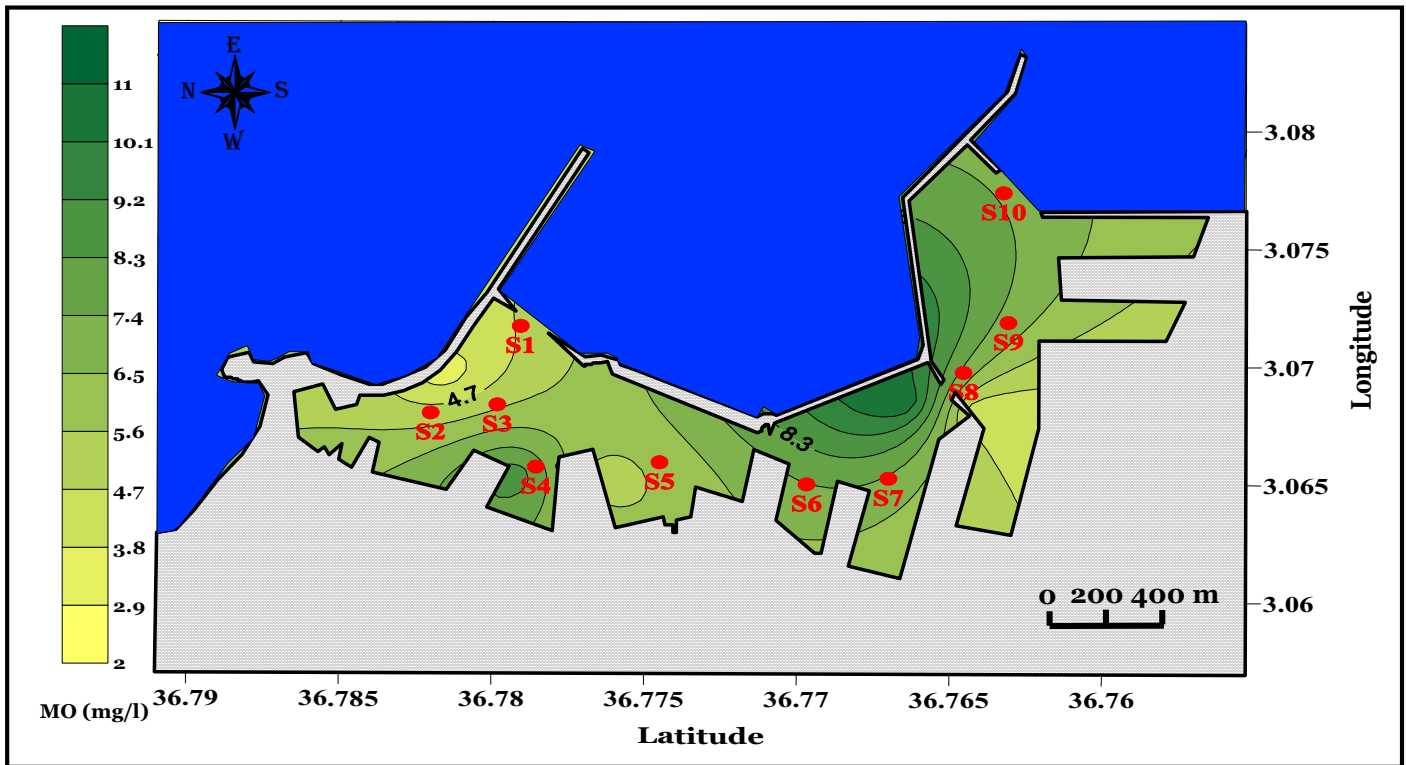


Figure 32- Répartition spatiale de la matière organique dans le port d’Alger.

2.3. Résultats d’analyse des hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

Les hydrocarbures aromatiques sont les plus toxiques suivis dans l’ordre par les séries « oléfiniques », « naphéniques » et « paraffiniques ». Les moins toxiques sont les composés monoaromatiques.

En effet, la toxicité augmente avec le poids moléculaire ; elle est maximale avec des composés possédant 4 à 5 cycles, par ailleurs, l’alkylation du noyau aromatique augmente la toxicité des composés à la fois pour les séries du « benzène » et du « naphthalène ».

2.3.1 Eau de mer

L’analyse des échantillons de l’eau de mer du port d’Alger pour les hydrocarbures par la SFUV présente des concentrations comprises entre 1,7 (µg/l) et 5,3 (µg/l) avec une valeur moyenne de 2,5 (µg/l) et un écart type de 1.

Tableau 07- Concentrations des HPA dans l’eau de mer du port d’Alger.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	Moyenne	Ecart-type
HPA (µg/l)	1,7	2,6	1,9	2,3	1,9	2,1	2,1	5,3	2,8	1,8	2,5	1

: valeur minimale. : valeur maximale.

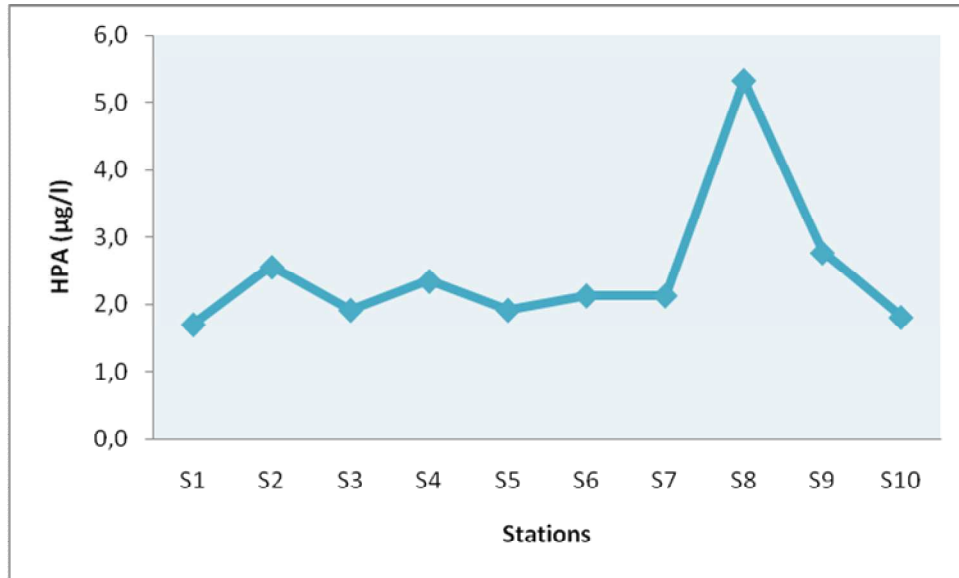


Figure 33- Courbe de la variation des HPA dans l'eau de mer du port d'Alger.

La première station S1 située au niveau du passe Nord relève la valeur la plus faible (1,7 µg/l). Tandis qu'à partir de la courbe, un pic est nettement distinct, et qui représente la forte valeur localisée au S8 à côté du Terminal à conteneur (5,3 µg/l). On distingue aussi un pic moyen avec une teneur de 2,6 (µg/l) de la station S2 située à la proximité du môle de Pêche.

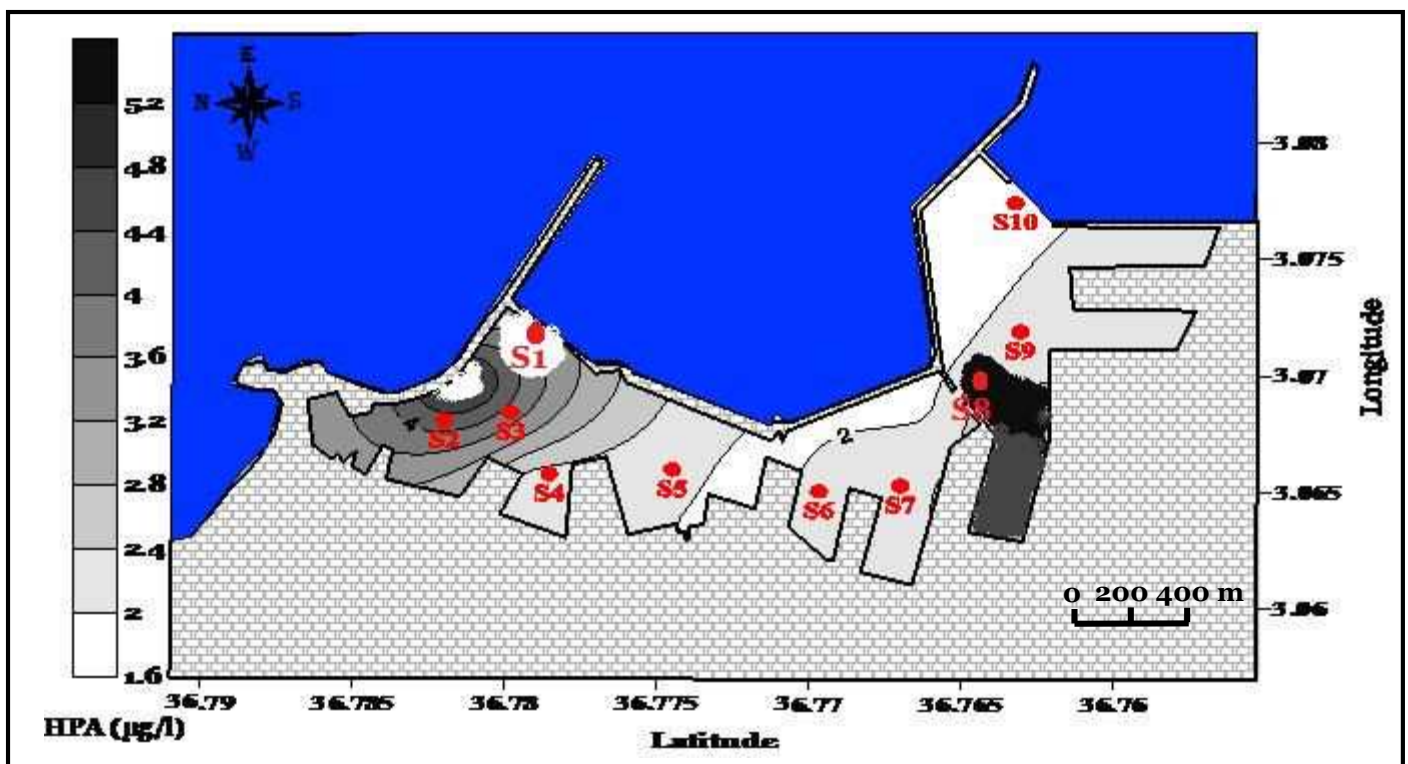


Figure 34- Répartition spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer du port d'Alger.

Plusieurs études pour l'identification de la concentration des HPA dans l'eau de mer ont été réalisées dans divers sites de la côte algérienne dont :

- ✓ **Kemmoum (1989)** sur la pollution des hydrocarbures dans la baie d'Alger [**0,35-5,74 µg/l**] et le golf d'Arzew.
- ✓ **Tounsi (1989)** dans les mêmes régions, avec [**3-6 µg/l**].
- ✓ **Hocini (1991)** sur les méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'embouchure de l'oued *Mazafran* [**0,86-2,64 µg/l**] et le lac d'*El Mellah*.
- ✓ **Smail et Mazouz (1996)** sur l'étude de la pollution marine par les hydrocarbures sur le site de *Tamentfoust*, avec [**0,3-15 µg/l**].
- ✓ **Louchami (2006)** sur l'évaluation de la pollution marine par les hydrocarbures totaux et pyréniques : Application au port d'Alger, avec [**1,513-5,145 µg/l**].

Ces résultats confirment la fiabilité des nôtres, tout en tenant compte de la diversité des standards utilisés pour le calibrage dans ces travaux.

Les valeurs les plus élevées se situent à la proximité de Terminal à conteneur, respectivement aux stations S8 et S9. Les lignes isoconcentrations élevées forment une zone précise, ponctuelle et peu étendue non loin de la rade réservée aux bateaux de commerce. Les pétroliers mouillent face au môle de *Skikda*, à l'Est du port d'Alger.

Les faibles valeurs sont enregistrées dans le bassin du vieux port ; la station S1 avec **1,7 (µg/l)** et la station S3 et S5 avec **1,9 (µg/l)**.

Celles-ci soulignent l'importance du trafic maritime, en particulier les pétroliers, et le séjour en rade des navires. En effet, les navires essences, les butaniers et les huiliers demeurent en rade entre **16 et 36 jours (annuaire statistique, 1994 in Louchami)**. Les valeurs élevées rencontrées dans cette partie du port sont à cause de cette période prolongée dans la zone de mouillage qui augmente la pollution du milieu marin par les hydrocarbures.

En plus, des HPA d'origine biogène peuvent être l'un des principales causes de ces grandes concentrations dans le milieu marin (**U.N.E.P/I.O.C/I.A.E.A, 1995**).

Le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants (**Lacaze, 1980**). Ce qui expliquerait, en partie, les fortes teneurs aux centres de plusieurs darses (à proximité de darse **6 et 8**, darse **4 et 5**) et celles faibles rencontrées au du passe Nord.

Ainsi, dans les eaux superficielles, des mouvements turbulents peuvent apporter du matériel sédimentaire en suspension qui s'adhère aux particules de pétrole provoquant le coulage de la masse pétrole-sédiment. La sédimentation des **HPA** est aussi favorisée par l'élévation de la densité qui dépend à son tour, du vieillissement de ces derniers.

En effets, l'atmosphère joue un rôle prépondérant dans l'apport des **HPA** à la mer. Ces composés sont, en premier lieu, émis sous forme gazeuse. Cette étape est suivi par une condensation sur des particules submicroscopiques (**Sicre et al., 1987 in louchami**). Par la suite, les **HPA** rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau.

Les **HPA** ne sont pas en équilibre entre les phases particulaire et dissoute, la phase particulaire est enrichie (**Bouloubasi et Saliot, 1995**). Cette sédimentation des **HPA** particulaire réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau de mer. Les **HPA** prélevés seraient en majorité dissous et en petite quantité. Le non fonctionnement de la station d'épuration de la zone industrielle favorise l'enrichissement du milieu marin en **HPA** puisque les eaux industrielles sont évacuées sans aucun traitement dans l'oued *El-Harrach* ($1\text{m}^3/\text{s}$) et à la côte qui reçoit aussi les eaux usées urbaines des camps d'habitation (**ANRH, 1998 in Louchami, 2006**).

Selon **Fattal (2008)**, des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des **HPA** à la surface de l'eau de mer. En somme, quelle que soit l'origine de cette dégradation, elle conduit toujours à des composés plus simples et plus solubles qui diffuseraient ainsi dans l'eau de mer sous-jacente.

Cependant, une fois en mer, les processus tels que la répartition à l'équilibre entre l'eau et les particules en suspension, la photooxydation, les différents processus biologiques tels que la bioaccumulation, la dégradation microbiologique, modifient considérablement les concentrations et la composition des hydrocarbures introduits dans l'océan superficiel (**Saliot et al, 1992**).

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

2.3.2 Sédiment

L'étude des teneurs en hydrocarbures polycycliques dans le sédiment superficiel du port d'Alger nous présente des concentrations comprises entre 2,990 ($\mu\text{g/g}$) et 10,711 ($\mu\text{g/g}$) avec une valeur moyenne de 5,597 ($\mu\text{g/g}$) et un écart type de 2,326.

Tableau 08- Concentrations des HPA dans le sédiment superficiel du port d'Alger.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	Moyenne	Ecart-type
HPA ($\mu\text{g/g}$)	5,709	10,711	4,548	7,980	5,096	6,621	4,828	3,424	4,068	2,990	5,597	2,326

: valeur minimale. : valeur maximale.

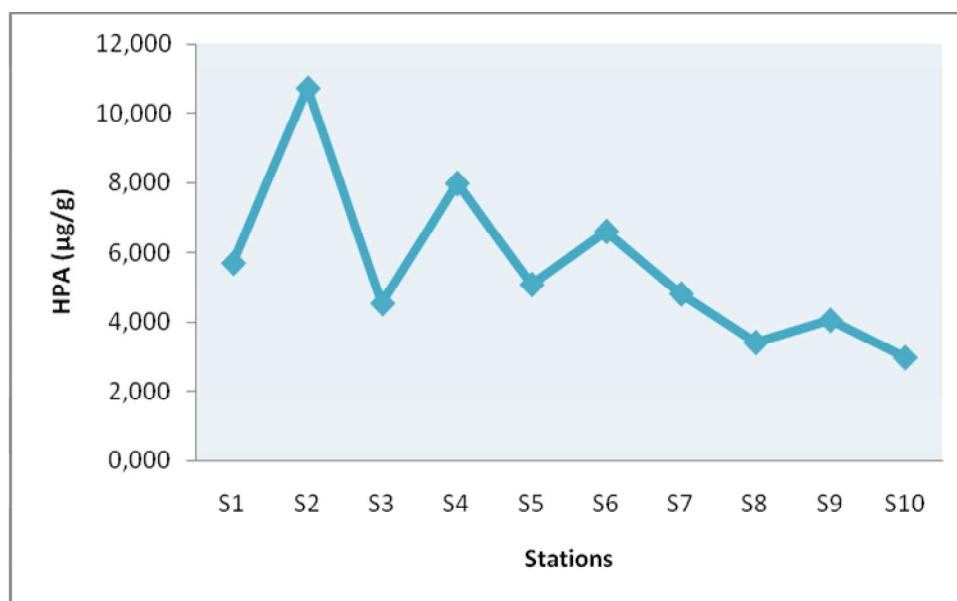


Figure 35- Courbe de la variation des HPA dans le sédiment superficiel du port d'Alger.

Trois pics sont nettement distincts sur la courbe, et qui représentent les fortes valeurs localisées respectivement aux stations, S2 à la proximité du môle de pêche avec une valeur de 10,711 ($\mu\text{g/g}$) suivi de la station S4 située entre le môle d'El Defna et le môle d'El Djazair avec une teneur de 7,980 ($\mu\text{g/g}$), et enfin la station S6 avec 6,621 ($\mu\text{g/g}$) au niveau de darse n°4.

Ces trois stations (S2, S4, S6) représentent des faibles concentrations en HPA dans l'eau de mer (voir Figure 34) par contre les valeurs maximales dans le sédiment superficiel sont enregistrées au niveau de ces stations, ceci peut s'expliquer par la sédimentation des hydrocarbures au niveau de ces zones, due principalement à la densité de l'hydrocarbure qui dépasse celle de l'eau de mer.

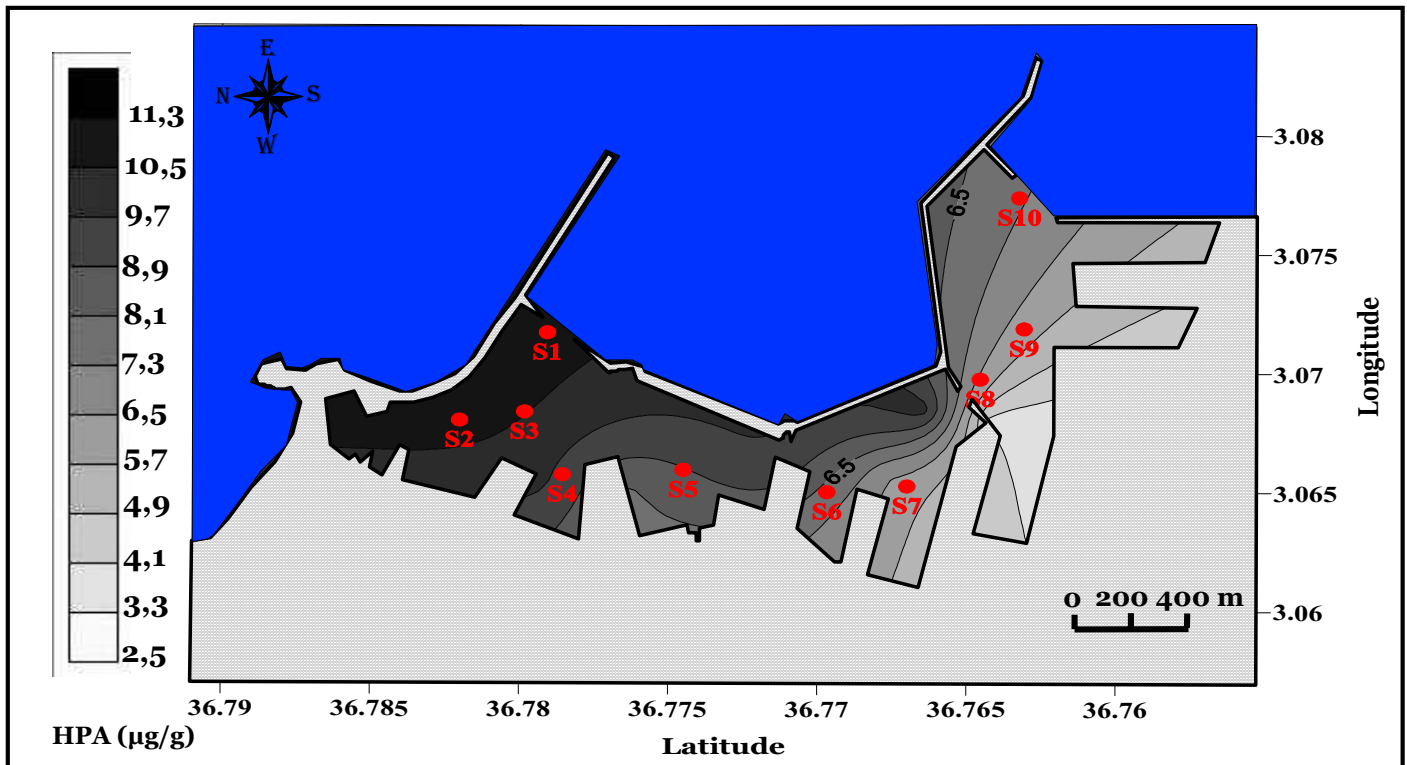


Figure 36- Répartition spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans le sédiment superficiel du port d'Alger.

En 1994, **Balci** a signalé des teneurs de 8,73 ($\mu\text{g/g}$) et 5,67 ($\mu\text{g/g}$) à proximité respectivement, d'un complexe pétrochimique et d'une raffinerie (en Turquie). Ces concentrations sont assez proches de celles enregistrées dans la station S2 (10,711 $\mu\text{g/g}$). L'échantillon d'intercalibration provient de la lagune de Venise qui est l'un des sites les plus pollués au monde vu l'intensité de son trafic plaisancier et sa concentration urbaine.

La comparaison de sa teneur en HPA avec celle de la station du port montre un écart limité, ce qui signifie que le niveau de pollution du port n'est pas très différent de celui d'un site fortement contaminé ce qui nous incite à tirer la sonnette d'alarme afin de mettre un terme à la dégradation de notre littoral.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Ce travail a essentiellement été consacré à l'étude des contaminants (hydrocarbures polyaromatiques) et de leur niveau de contamination dans le milieu marin, par démarcation des secteurs les plus exposés à cette pollution dans le port d'Alger.

Cependant, la diversité des composés d'hydrocarbures et des différents facteurs modifiants et altérants ces molécules, d'autant plus dans le milieu marin, font que les recherches dans cet axe emploient différents protocoles et techniques dans diverses modèles et à travers les saisons.

Par ailleurs, l'analyse de l'eau de mer et du sédiment superficiel du port d'Alger par la Spectrofluométrie à UltraViolet donne un résultat instantané de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques.

L'utilisation de cette technique d'analyse (Spectrofluométrie à UltraViolet) nous a permis de cerner une pollution de l'eau de mer dans le port d'Alger avec une teneur maximale de **5,3 ($\mu\text{g/l}$)**, au niveau du môle d'El Hadjar (Terminal à conteneur) où s'effectuent les différents remorquages des huiles et des savons et divers rejets des eaux usées qui jouent un rôle capital dans l'apport en hydrocarbures polyaromatiques anthropiques et biogènes dans le port.

On a obtenu aussi des résultats des concentrations en hydrocarbures dans le sédiment superficiel plus élevées que celle dans l'eau de mer avec une valeur maximale de **10,711 ($\mu\text{g/g}$)** et une teneur minimale de **2,990 ($\mu\text{g/g}$)**, ce qu'explique une forte pollution du sédiment par rapport à l'eau de mer.

Ce résultat souligne la présence d'une pollution, si l'on se réfère aux normes de qualité environnementale dans l'eau, proposés par le Réseau National d'Observation (**RNO, 2002 in Louchami, 2006**) qui est de **1,2 ($\mu\text{g/l}$)**.

Les deux valeurs trouvées dans les stations **S8 (5,3 $\mu\text{g/l}$)** et **S1 (1,7 $\mu\text{g/l}$)** sont plus importantes que celles observées au port de *Bejaïa* (**4,280-0,858 $\mu\text{g/l}$)** et plus ou moins de celles du port de *Skikda* (**19,965-0,876 $\mu\text{g/l}$)**. Rappelant que le port d'Alger est classé 4^{ème} en transport d'hydrocarbures après ces *Arzew*, *Skikda* et *Bejaïa*

L'extension des analyses à la spectrométrie de masse et l'utilisation de bioindicateurs contribueront à mieux cerner et à maîtriser les apports des hydrocarbures évacués dans le milieu marin.

Enfin, compte tenu de l'état actuel du port d'Alger, nous recommandons des perspectives d'avenir pour diminuer la pollution et la sauvegarde du patrimoine marin :

- ✓ L'emploi et le respect d'une réglementation rigoureuse et la sensibilisation de la population sur la qualité des eaux rejetées par les industries polluantes.
- ✓ L'implantation des stations d'épuration des eaux usées des différentes unités industrielles de la région.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie



ABD ELGUERFI A., 2002/2003. Bilan des expertises sur « Menaces pesant sur la diversité biologique ». MATE-GEF/PNUD-Projet. ALG 97/G31 : 256.

AMINOT A., et CHAUSSEPIED M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEXO, Brest.* 395 p.

AMINOT A. et KEROUEL R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. *Edt Ifremer.* 336 p.

BALCI A., 1994. Hydrocarbon contamination of surface sediments of Candarli bay, Eastern Aegean. *Chimica Acta, n°22.* 157-160 p.

BELKESSA R., 2005. Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. *Thèse de doctorat Université de Constantine.* 412 p.

BEN AISSA N., CHIBANE H., et MESSAR K., 2006. Etude bathymétrique et sédimentologique du port d'Alger. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL.* 54 p.

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

BOCARD C., 2008. Marine oil spills and soils contaminated by hydrocarbons: Environmental Stakes and Treatment of pollutions. *Edts TECHNIP.* 285 p.

BOUCHEZ M., BLANCHET D., HAESLER F., et VANDECASTEELE J.P., (1996). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement : propriétés, origines, devenir. *Revue de l'institut français du pétrole.* Vol 51. N° 3.

BOULOUBASI I., et SALIOT A., 1995. Dissolved particulates and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal environment : geochemical significance. *Marine chemistry.* 127-143 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 des plages, procédures applicables à la composante

pétrolière du système de la pollution marine de la C.O.I Marpolmon. P. Manuels et guides, n°13. 35 p.

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (CEAE Québec), 2006. Détermination de la demande chimique en oxygène dans les effluents : méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium, MA. 135 – DCO 1.0, Rév. 4, Ministère de Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec. 12 p.

CHAOUADI S., et HOCINE Y., 2008. Suivi et contrôle de la pollution de la baie de Bou-Ismaïl en utilisant les données multi-sources des capteurs satellites. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL*. 59 p.

COPIN-MONTEGUT G., 1996. Chimie de l'eau de mer. *Collection "synthèses" Institut océanographique, Paris*, 319 p.

FATTAL P., 2008. Pollution des côtes par les hydrocarbures. *Collection « Espace et Territoires », Presses universitaires de Rennes*. 395 p.

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

HAMZAOUI Z., 1990. Etude perspective de la pollution marine de la baie d'Alger. *Mémoire DEUA ISMAL*. 10-15 p.

HOCINI N., 1991. Méthode d'analyse des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment superficiel: résultats préliminaires à l'embouchure de l'Oued Mazafran (baie de Bou-Ismaïl) et le lac El Mellah (El Kala). *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL*. 85 p.

I.C.O , 1982. The determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Manuals and guides, CNEXO, n° 11. 96 p.

IVANOFF A., 1972. Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Edt Librairie Vuibert*. Tome I.208 p.

K. LEE LERNER, et BRENDA WILMOTH LERNER, 2005. Encyclopedia of Water Science. Volume 3. *Edt Thomson Gale*. 510 p.

LA REVUE MARITIME , 1861. Revue trimestrielle. Convention des Nations unies sur le droit de la mer dite de Montego bay (1982). *Publiée par l'Institut Français de la Mer* .151p.

- LACAZE J-C., 1980.** La pollution pétrolière en milieu marin. *Edt Masson.* 118-119 p.
- LACAZE J-C., 1996.** La pollution des mers. *Edt Flammarion.* 118 p.
- LECLAIRE L., 1972.** La sédimentation halogène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. *Edts du MUSEUM.* 391 p.
- LEFEBVRE G., 1978.** Chimie des hydrocarbures. *Edts TECHNIP.* 284 p.
- LOUCHAMI M., 2006.** Evaluation de la pollution par les hydrocarbures totaux et polyaromatiques : Application au port d'Alger. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL.* 61 p.
- MARCHAND M., 1983.** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par SFUV, *in* manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEXO, Brest.* 329-336 p.
- MARCHAND M., et KANTIN R., 1996.** Contaminants chimiques en milieux aquatiques : aspects généraux ; nature, origine, effets et analyses. *Edt Institut Océanographique.* 430 p.
- RAMADE F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. *Edt Ediscience international.* 487 p.
- RAMADE F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. *Edt Ediscience international.* 690-691 p.
- RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J., CHAMBO P., CHAMPSAUR H., et RODI L., 1996.** L'analyse de l'eau ; eau naturelle, eaux résiduelles, eau de mer. 8^{ème} édition. *Edt Dunod, Paris.* 1383 p.
- ROUSSEL J.C., 1983.** Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrométrie infrarouge, *in* manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEXO, Brest.* 321-327 p.
- SALIOT A., BOULOUBASI I., et LIPIATOU E., 1992.** Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. *Hydroécol. Appl., tome4, Vol.2.* 9-21 p.
- SALLALI B., 1996.** La pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée Sud occidentale, contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales centre et l'Ouest de l'Algérie. *Thèse du Magistère ISMAL.* 118 p.

SAMARI N., 2008. Qualité physico-chimique, sels nutritifs et Bactériologique dans la baie de Bou-Ismaïl et le port de Bou-Haroun. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL*. 79 p.

SMAIL M. B., et MAZOUZ M., 1996. Etude de la pollution marine par les hydrocarbures sur le site côtier de Tamentfoust. *Mémoire d'ingénieur d'état USTHB*. 180 p.

TOUNSI R., 1989. Contribution à l'étude de la pollution de l'eau de mer par les hydrocarbures en Baie d'Alger et dans le Golf d'Arzew. *Mémoire DEUA ISMAL*. 60 p.

U.N.E.S.C.O , 1977. Manuel de surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures en mer et sur les plages. COI/OMS/PNUE, in Marchand, in manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEOXO, Brest*. 329 p.

U.N.E.P , 1995. Reagent and laboratory- ware clean-up procedures for low-level contaminant monitoring. Reference methods for marine pollution studies, n° 65, 35 p.

Liste des acronymes

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique.

CCL₄ : Tétrachlorure de carbone.

Na₂SO₄ : Sodium anhydre.

CEAE : Centre D'Expertise en Analyse Environnemental.

COW : Crude Oil Washing.

CEDRE : Centre de Documentation de Recherche et d'Expérimentation sur les Pollutions Accidentelles des Eaux.

EPAL : Entreprise Portuaire d'Alger.

USNWS: United States Naval Weather Service.

ONM: Office National de la Météorologie.

ISO : International Organisation for Standardization

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

UNEP : United Nations Environment Programme.

C.O.I (I.C.O) : Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO.

CNEXO : Centre National pour l'Exploitation des Océans.

SFUV : Spectrofluomètre à Ultra-Violet.

UNESCO : United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

Liste des tableaux

Tableau 01- Principaux types, natures et sources de pollution des eaux 5

Tableau 02- Effets à court et long terme d'une pollution par hydrocarbures sur les organismes et peuplements..... 20

Tableau 03- Directions et caractéristiques de la houle dans la baie d'Alger 27

Tableau 04- Concentration des solutions filles en équivalent chrysène 40

Tableau 05- Les résultats des paramètres mesurés in situ..... 44

Tableau 06- Les résultats des paramètres mesurés au laboratoire 51

Tableau 07- Concentration des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer du port d'Alger 54

Tableau 08- Concentrations des HPA dans le sédiment superficiel du port d'Alger..... 58

Liste des figures

Figure 01- schéma de différentes liaisons des composés d'hydrocarbure	9
Figure 02- schéma de quelques composés des alcanes	10
Figure 03- schéma de quelques hydrocarbures aromatiques.....	11
Figure 04- Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	16
Figure 05- La description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations	21
Figure 06- La situation géographique du port d'Alger.....	23
Figure 07- Le plan général du port d'Alger.....	24
Figure 08- Localisation des unités industrielles et rejets du port d'Alger.....	26
Figure 09- Circulation des eaux dans le port d'Alger	28
Figure 10- localisation de différentes stations dans le port d'Alger.....	30
Figure 11- Schéma d'une bouteille à clapet	31
Figure 12- Schéma d'une benne métallique	31
Figure 13- Diagramme des étapes de la procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer	35
Figure 14- Diagramme de processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures	36
Figure 15- Traitement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures	39
Figure 16- Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV	41
Figure 17- Variation de la concentration de l'oxygène dissous	45
Figure 18- Répartition spatiale de l'oxygène dissous dans le port d'Alger	46
Figure 19- Variation du pourcentage de l'oxygène dissous	46
Figure 20- Répartition spatiale du pourcentage de saturation dans le port d'Alger.....	47
Figure 21- Variation de la température (T) en °C	47
Figure 22- Répartition spatiale de la température dans le port d'Alger	48
Figure 23- Variation de la conductivité dans le port d'Alger.....	48

Figure 24- Répartition spatiale de la conductivité dans le port d'Alger.....	49
Figure 25- Variation de la salinité dans le port d'Alger.....	49
Figure 26- Répartition spatiale de la salinité dans le port d'Alger.....	50
Figure 27- Variation du potentiel d'hydrogène.....	50
Figure 28- Répartition spatiale du potentiel d'hydrogène dans le port d'Alger.....	51
Figure 29- Variation de la matière en suspension dans le port d'Alger.....	52
Figure 30- Répartition spatiale des MES dans le port d'Alger.....	53
Figure 31- Variation de la matière organique dans le port d'Alger.....	53
Figure 32- Répartition spatiale de la matière organique dans le port d'Alger.....	54
Figure 33- Courbe de la variation des HPA dans l'eau de mer du port d'Alger.....	55
Figure 34- Répartition spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer du port d'Alger.....	55
Figure 35- Courbe de la variation des HPA dans le sédiment superficiel du port d'Alger.....	58
Figure 36- Répartition spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans le sédiment superficiel du port d'Alger.....	59

ANNEXES

Annexe 01- Tableau de positionnement et l'heure de prélèvement des échantillons.

Stations	Latitude	Longitude	heure	Profondeur
S ₁	36°46.729	3°04.235	10:20	20
S ₂	36°46.820	3°04.047	10:36	16
S ₃	36°46.789	3°04.101	10:28	18
S ₄	36°46.713	3°03.943	10:42	15
S ₅	36°46.470	3°03.955	10:52	13
S ₆	36°46.182	3°03.950	11:03	12
S ₇	36°46.085	3°03.915	11:08	11
S ₈	36°45.836	3°04.133	11:16	11
S ₉	36°45.785	3°04.312	11:24	13
S ₁₀	36°45.818	3°04.532	11:31	15

Annexe 02- Les conditions appropriées pour les échantillons de l'eau de mer (Rodier, 1996).

Caractéristique ou élément analysé	Réceptier	Conservateur à utiliser	Volume minimum du prélèvement (ml)	Température de conservation (°C)	Effectuer la mesure avant...
Conductivité	P ou V	Mesure <i>in situ</i> de préférence	100	4	48 h (obsc.)
DBO	P ou V	0	1000	4	24 h
DCO	P ou V	Acide sulfurique	100	4	24 h (obs.)
Huiles et graisses	V	Acide chlorhydrique	1000	4	15 jours
Hydrocarbures (indice)	V	Tétrachlorure de carbone (10 ml)	800	4	6 jours (obs.)
Hydrocarbures polycycliques	V	Hexane (10 ml)	1000	4	6 jours (obs.)
Oxygène dissous	Vb	Mesure <i>in situ</i> de préférence	300	4	24 h (obs.)
pH	P ou V	Mesure <i>in situ</i> de préférence	-	4	24 h (obs.)

P : Polyéthylène / V : Verre / Vb : Verre borosilicaté généralement bouché émeri / obsc. : obscurité

Annexe 03- Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (**journal officiel de la république algérienne N°26 : 24Rabie Elaouel 427 23avril 2006**).

paramètres	unité	valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
température	°C	30	30
pH	-	6 ,5à 8,5	6 ,5à 8,5
MES	Mg/l	35	40
DCO		120	130
DBO5		35	40
Substances toxiques bioaccumulables		0,005	0,01
Indice de phénols		0,3	0,5
Hydrocarbures totaux		10	15
Huiles et graisses		20	30
Composés organiques chlorés		5	7

Annexes 04- Les normes utilisées pour l'estimation de la qualité de l'eau superficielle et souterraine en fonction d'un certain nombre de paramètres (**Samari, 2008**).

Les eaux sont classées en quatre catégories de qualité :

Catégorie 1 : Eau de bonne qualité, utilisable sans exigence particulière.

Catégorie 2 : Eau de qualité moyenne, utilisable après traitement simple.

Catégorie 3 : Eau polluée, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé.

Catégorie 4 : Eau très polluée, ne peut être utilisée qu'après un traitement spécifique et onéreux.

paramètres	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
O₂ dissous	> 100	100-50	50-30	< 30
DBO₅ (mg/l)	5	4-10	10-15	> 15
DCO (mg/l)	20	20-40	40-50	> 50
MO	5	5-10	10-15	> 15
NH₄⁺ (mg/l)	0-0,1	0,01-0,1	0,1-3	> 3
NO₂⁻ (mg/l)	0-10	10-20	20-40	> 40
NO₃⁻ (mg/l)	0-10	10-20	20-40	> 40
PO₄³⁻	0-0,01	0,01-0,1	0,1-3	> 3
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	<6,5>-8,5	<5,5>-8,5
MES (mg/l)	0-30	30-75	75-100	> 100
T (°C)	25	25-30	30-35	> 35
Odeur, goût	sans	sans	sans	sans