

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Evaluation de la pollution marine par les  
hydrocarbures dans le port d'Alger**

Présenté par : M<sup>r</sup> Talbi Younes

Soutenu le 06/10/2014 devant le jury suivant :

M <sup>me</sup> LOUANCHI .F	Professeur	Présidente
M <sup>me</sup> HOUMA-BACHARI .F	Professeur	Promotrice
M <sup>me</sup> CHERNAI-HAMDI .S	Maitre de conférences A	Examinatrice
M <sup>r</sup> KADA .M	Chercheur	Examineur

Promotion : 2014

## Remerciement

*Je tiens à remercier Madame BACHARI HOUMA pour m'avoir encadrée pendant ce travail. Je la remercie également de m'avoir donné un sujet de dans lequel j'ai pu me réaliser jour après jour malgré toutes les difficultés rencontrées. Je voudrais aussi la remercier pour ses conseils et ses critiques constructifs*

*Je tiens également à remercier très chaleureusement les membres de Jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail :*

*Mademoiselle LOUANCHI qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Et à Madame HAMDI et Monsieur KADA d'avoir accepté d'examiner et juger ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier d'une façon toute particulière mes chers amis (les étudiants de la promo 2014) qui m'ont aidés pendant tout ce travail, je les remercie encore pour ses encouragements et pour le temps précieux qu'ils m'ont consacrés toutes les fois que cela était nécessaire.*

## Dédicace

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes parents :*

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

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

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

*A Darwiche mounir , mon meilleur ami qui est je compte sur lui tous le temps*

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

*Younes*

## Liste des figures

Figure 1: Comportement des hydrocarbures en mer .....	22
Figure 2: Situation géographique du port d'Alger.....	24
Figure 3: Plan de masse du port d'Alger (EPAL, 2007) .....	25
Figure 4: Les rejets du port d'Alger .....	27
Figure 5: Positionnement des stations de prélèvement de l'eau superficielle .....	32
Figure 6: Valises multi paramètres utilisées à bord du bateau pour la mesure des paramètres physico-chimiques.....	33
Figure 7: Dispositif de filtration à bord du navire .....	34
Figure 8: L'appareil sans plus d'analyse des sels nutritifs.....	35
Figure 9:L'appareil Rota-vapeur.....	37
Figure 10:Procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer .....	38
Figure 11: Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995) .....	39
Figure 12: Courbe d'étalonnage pour le dosage des hydrocarbures poly aromatiques ..	41
Figure 13: Distribution spatial de la température dans le port d'Alger.....	43
Figure 14: Distribution spatial de la salinité dans le port d'Alger.....	43
Figure 15: Distribution spatial du PH dans le port d'Alger.....	44
Figure 16: Distribution spatial de l'oxygène dissous dans le port d'Alger.....	44
Figure 17: Distribution spatial des matières en suspensions dans le port d'Alger.....	45
Figure 18: Distribution spatial des matières organiques particulières dans le port d'Alger.....	45
Figure 19: Distribution spatial du nitrate dans le port d'Alger.....	46
Figure 20: Distribution spatial du nitrite dans le port d'Alger.....	46
Figure 21: Distribution spatial de l'ammonium dans le port d'Alger.....	46
Figure 22: Distribution spatial du phosphate dans le port d'Alger.....	46
Figure 23: Distribution spatial des hydrocarbures poly aromatiques dans le port d'Alger.....	47

## **Liste des tableaux**

**Tableau 1: Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution ... 40**

## Liste des abréviations

**API** : American Petroleum Institute.

**C.N.E.XO** : Centre National pour l'Exploitation des Océans.

**C.O.I** : Commission Océanographique Intergouvernementale.

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

**HPA** : Hydrocarbures Poly Aromatiques.

**HC** : Hydrocarbure.

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

**IRS** : Impact Référence System.

**LEM** : Laboratoire d'Etudes Maritimes.

**P.S.U**: Pratical Salinity Unit.

**ST**: Station.

**SFUV** : Spectro Fluorimétrie Ultra-Violet.

**SIR** : Spectrophotomètre Infra Rouge.

**UNEP** : United Nations Environment Programme.

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Les paramètres physico-chimiques du milieu marin</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 La température (T°)</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 La salinité (S)</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH)</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 La matière en suspension (MES)</b> .....	<b>13</b>
<b>1.5 La matière organique (MO)</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Les sels nutritifs</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Les composés azotés</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 L'azote ammoniacal : .....	14
2.1.2 Les nitrites .....	14
2.1.3 Les nitrates .....	15
<b>2.2 Les composés phosphoriques</b> .....	<b>15</b>
<b>3 La pollution marine</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 Différents types de pollution</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 Pollution domestique et microbiologique .....	15
3.1.2 Pollution thermique .....	15
3.1.3 Pollution pétrolière .....	16
3.1.4 Phénomène naturels.....	16
3.1.5 Pollution chimique inorganique .....	16
3.1.6 La pollution marine par les hydrocarbures .....	16
<b>4 Les hydrocarbures</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1 Définition des hydrocarbures</b> .....	<b>16</b>
<b>4.2 Chimie des hydrocarbures</b> .....	<b>16</b>
<b>4.3 Classification des hydrocarbures</b> .....	<b>17</b>
<b>4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin</b> .....	<b>17</b>
<b>4.5 Propriétés physiques des hydrocarbures</b> .....	<b>17</b>
<b>4.6 Comportement et devenir des hydrocarbures en mer</b> .....	<b>19</b>

<b>Zone d'étude .....</b>	<b>24</b>
<b>1 Description du port d'Alger.....</b>	<b>24</b>
<b>2 Pollution dans le port d'Alger .....</b>	<b>26</b>
<b>3 Données météorologiques.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Précipitations .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Températures.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Vents .....</b>	<b>28</b>
<b>4 Caractéristiques hydrodynamiques .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 La houle.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Corrélation entre houles et vents .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Les courants .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4 Circulation des eaux dans le port.....</b>	<b>29</b>
<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>31</b>
<b>1 Travaux effectués en mer.....</b>	<b>31</b>
<b>1.1 Choix et localisation des stations de prélèvement.....</b>	<b>31</b>
<b>1.2 Prélèvement d'eau de mer .....</b>	<b>31</b>
1.2.1 Mesures in situ (Paramètres physico-chimiques).....	31
1.2.2 Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures .....	33
<b>2 Travaux effectués au laboratoire .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 Détermination des paramètres de pollution.....</b>	<b>33</b>
2.1.1 Matière en suspension (MES) .....	33
2.1.2 Détermination de la matière organique particulaire (MOP).....	34
<b>2.2 Dosage des sels nutritifs .....</b>	<b>35</b>
2.2.1 Principe de dosage des sels nutritifs.....	35
2.2.2 Analyse automatique des sels nutritifs .....	36
<b>2.3 Dosage des hydrocarbures poly aromatiques .....</b>	<b>37</b>
2.3.1 Extraction .....	37
2.3.2 Concentration .....	37
2.3.3 Purification .....	37
2.3.4 Analyse des hydrocarbures poly aromatiques .....	39
2.3.5 Mesure des intensités de fluorescence.....	40
2.3.6 Calcul des concentrations finales en hydrocarbures poly aromatiques.....	41

<b>Résultats et discussions .....</b>	<b>43</b>
<b>1 Distribution horizontale des paramètres physicochimiques .....</b>	<b>43</b>
<b>1.1 Distribution de la température.....</b>	<b>43</b>
<b>1.2 Distribution de la salinité (PSU).....</b>	<b>43</b>
<b>1.3 Distribution du potentiel d'hydrogène (pH) .....</b>	<b>43</b>
<b>1.4 Distribution d'Oxygène dissous (mg/l) .....</b>	<b>43</b>
<b>2 Distribution horizontale des paramètres particulières .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1 Distribution des matières en suspension (MES) .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 Distribution de la matière organique particulaire (MOP) .....</b>	<b>44</b>
<b>3 Distribution horizontale des sels nutritifs.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Distribution horizontale des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Distribution horizontale des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Distribution horizontale de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4 Distribution horizontale des phosphates .....</b>	<b>46</b>
<b>4 Distribution horizontale des hydrocarbures poly aromatiques (HPA) .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliographié.....</b>	<b>52</b>

# **Introduction**

### Introduction

Les zones côtières constituent des milieux vulnérables. Elles sont soumises à des facteurs naturels et anthropiques qui sont susceptibles de ralentir ou accélérer leur évolution (Mennad, 2008).

Le port d'Alger n'échappe pas à cette réalité occasionnée par un bassin versant particulièrement industrialisé.

Cette tendance à la dégradation du milieu marin n'est pas le propre du port d'Alger, mais concerne de nombreuses régions côtières Méditerranéennes et a fortiori Algériennes, ou le risque prédominant en terme de contamination est le pétrole, que ce soit du fait de notre caractère producteur/exportateur ou celui de la situation géographique particulière de l'Algérie, qui voit transiter le long de son littoral des tankers de plus en plus nombreux et colossaux.

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

Ce travail rentre dans le cadre du projet MFE portant l'impact de la pollution marine par les hydrocarbures sur la qualité de l'eau et des sédiments superficiels de la Baies d'Alger.

A cet effet, on a utilisé une méthode analytique pour quantifier et caractériser les hydrocarbures présents dans l'eau :

Le spectrofluorimétre ultraviolet (SFUV), appliquée pour l'évaluation de la pollution de l'eau de mer par les hydrocarbures aromatiques (HPA).

Dans ce but, il est nécessaire d'initier ce travail par des généralités sur les hydrocarbures ainsi qu'une présentation de la zone d'étude et des stations d'échantillonnages dans le second chapitre. Le chapitre trois est consacré aux traitements des échantillons, à savoir l'extraction, la purification, la concentration et l'analyse

Une conclusion générale achève ce travail.

# **Généralités**

## Généralités

### 1 Les paramètres physico-chimiques du milieu marin

#### 1.1 La température (T°)

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

#### 1.2 La salinité (S)

La salinité représente le contenu en sels dissous d'une eau. La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de :

- Connaître la circulation océanique.
- D'identifier les masses d'eaux d'origines différentes.
- De suivre leurs mélanges au large, à la cote dans les estuaires (Aminot et chaussepied, 1983).

#### 1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH)

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

$$PH = - \log_{10} [H_3O^+] \dots \dots \dots (1)$$

Il est un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes (Aminot et Kerouel, 2004).  
L'oxygène dissous (OD)

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

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

#### 1.4 La matière en suspension (MES)

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

La matière en suspension peut provenir de plusieurs origines :

- **Terrigène** : apport continentaux et produit d'érosion.

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

Les teneurs élevés en matière en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière diminuent l'oxygène dissous et limitent le développement de la vie aquatique, l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies et souvent la conséquence d'une teneur élevée en matière en suspension. (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

### 1.5 La matière organique (MO)

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

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

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

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

## 2 Les sels nutritifs

### 2.1 Les composés azotés

On considère un rejet moyen de 13 à 15 g par jour de l'azote par équivalent d'habitant sous forme d'urée et acide urique. La demande en oxygène est très élevée pour transformer l'azote organique en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) qui peut conduire à l'eutrophisation des ressources. On distingue 3 formes de l'azote dans les eaux usées.

#### 2.1.1 L'azote ammoniacal :

L'azote ammoniacal est représenté sous deux formes : l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). L'ammoniaque provient de la décomposition des déchets azotés (urées, azotes organiques...), des engrais et de l'industrie textile. La présence des ions ammoniacales dans l'eau est un indicateur de pollution.

#### 2.1.2 Les nitrites

Les ions nitrites sont des intermédiaires entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates  $\text{NO}_2^-$ . Ils résultent soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal par les bactéries nitreuses (nitrosomonas), soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes. La concentration des nitrates varie selon que l'eau est naturelle, douce, saumâtre ou marine et elle va de zéro à quelque moles/ l de nitrites.

### 2.1.3 Les nitrates

L'oxydation des nitrites par les bactéries (nitrobacter) donne les nitrates  $\text{NO}_3^-$ . Cette forme d'azote est très stable.

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

## 2.2 Les composés phosphoriques

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

Parmi les composés phosphorés on trouve les formes suivantes :  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , et  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  qui sont des orthophosphates. Ces composés se répartissent en fonction du pH, pour les eaux usées de pH moyen on ne trouve que les formes  $\text{HPO}_4^{2-}$  et  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . (RODIER, 1984).

## 3 La pollution marine

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

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

### 3.1 Différents types de pollution

#### 3.1.1 Pollution domestique et microbiologique

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

#### 3.1.2 Pollution thermique

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

### 3.1.3 Pollution pétrolière

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

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

### 3.1.4 Phénomène naturels

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

### 3.1.5 Pollution chimique inorganique

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

### 3.1.6 La pollution marine par les hydrocarbures

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

## 4 Les hydrocarbures

### 4.1 Définition des hydrocarbures

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

### 4.2 Chimie des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Un atome de carbone a une valence de 4. Il peut être relié à quatre atomes d'hydrogènes ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples. Les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres composants minoritaires qui sont complexes (résines et asphaltènes) qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (**Fattal, 2008**).

Ces corps sont appelés aussi carbures d'hydrogène. En effet, pour  $n < 5$ , ces corps sont gazeux ; liquides si  $n$  est compris entre 5-12 ; et solides pour  $n > 12$ .

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

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

**b. Les hydrocarbures insaturés :** dans lesquels une ou plusieurs liaisons C-C sont des liaisons multiples, résultant de la mise en commun de quatre ou de six électrons, ils peuvent fixer certains éléments grâce aux électrons supplémentaires de leurs liaisons multiples ([Lefebvre, 1978](#)).

### 4.3 Classification des hydrocarbures

Il existe plusieurs familles

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

### 4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin

#### 4.4.1 Sources naturelles

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

#### 4.4.2 Sources anthropogéniques

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

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

### 4.5 Propriétés physiques des hydrocarbures

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

#### 4.5.1 État naturel

Dans la nature, les hydrocarbures se présentent le plus souvent sous la forme d'un liquide que l'on appelle le pétrole brut. Il existe cependant des gisements d'hydrocarbures gazeux, et

plus exceptionnellement des gisements d'hydrocarbures solides sous forme de sables ou de schistes bitumeux (Lescole, 2002).

#### 4.5.2 La densité

C'est un facteur qui détermine la flottabilité, elle est déterminée par les grosses molécules de carbone qui y sont présentes et elle se mesure en Kilogramme par mètre cube ou en degré sur l'échelle d'American Petroleum Institut (API) (Ait Abbas et Lauani, 2002). Les paraffiniques ont tendance à rester en surface, alors que les naphènes ou les asphaltènes, plus lourds, peuvent couler. La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par en voie de conséquence flottent. Dès que le poids moléculaire augmente (entre 1 et 1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau. Plusieurs facteurs contribuent à modifier la densité comme le poids moléculaire, la température, l'évaporation, ou l'association avec d'autres particules (Fattal, 2008).

#### 4.5.3 La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Elle est représentée par la résistance à l'écoulement et elle est exprimée en centistokes (cSt- viscosité cinétique) pour une température donnée. La vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbures puis le degré de pénétration dans les sédiments lors qu'elle arrive à la cote est régit par cette propriété. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (Owens, 1994 in Fattal, 2008). La viscosité diminue lorsque la température augmente et elle s'accroit par évaporation des composés volatils, par l'oxydation photochimique et surtout par formation d'émulsions inverses qui modifient le comportement initial du produit (Fattal, 2008).

#### 4.5.4 Le point d'écoulement

Température au-dessous de laquelle le produit ne s'écoule plus. La majorité des hydrocarbures a un point d'écoulement inférieur à 0°C. En dessous de ce seuil de température, l'hydrocarbure se fige.

Le point d'écoulement est lié corrélativement à la teneur en alcanes (paraffine) et plus le pourcentage en paraffine augmente, plus la température du point d'écoulement augmente (<5% pour des températures <5°C ; <15% pour des températures > 20°C).

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

#### 4.5.5 Le point éclair

Le point éclair est la plus basse température à laquelle les fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumises à une étincelle (Fattal, 2008).

#### 4.5.6 Le point d'ébullition

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

Cette température augmente avec leur nombre d'atome de carbone. Ceci résulte de l'augmentation des attractions entre molécules, lorsque la longueur de la chaîne augmente. L'introduction de ramifications sur la chaîne principale diminue cette température ([Belabes, 1999](#)).

#### 4.5.7 La tension superficielle

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

#### 4.5.8 Tension de vapeur

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

#### 4.5.9 Solubilité

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

### 4.6 Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

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

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

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

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

#### A. Evaporation

Ce phénomène touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température,...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone, qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux

d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (Soltani, 2004).

### B. Sédimentation

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

### C. Solubilisation

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau de mer est très faible. Elle augmente dans l'eau avec la polarité des composés, donc quand sa masse moléculaire est faible (Hamlili, 2005).

### D. Émulsification

Deux types d'émulsions peuvent se former : eau-dans-huile appelée "mousse chocolat" et huile-dans-eau. Elle dépend de type d'hydrocarbures et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures mais, si celui-ci devient trop important on assisterait à une dispersion parce que les émulsions deviennent instables (Abderrahmani, 2011)

### E. Dispersion

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

### F. Photo-oxydation

Elle est observée au niveau de la surface de l'eau où l'air (oxygène) et la lumière (radiations solaires) sont présents pour la transformation des hydrocarbures (Payne et Philips, 1985). Un des facteurs de ce processus est l'insolation car elle casse les liaisons moléculaires, entraînant la formation de molécules oxygénées de radical carbonyle (CO) et /ou de radical hydroxyle (OH) (Fattal, 2008).

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

### g. La biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement marin. Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries. La biodégradation des hydrocarbures par les microorganismes appelés hydrocarbonoclastes a été mise en évidence dès 1946 par Zobell. Depuis cette date le nombre d'espèces bactériennes

identifiées possédant cette propriété n'a cessé d'augmenter. En se basant sur la fréquence d'isolement, les genres bactériens prédominants sont *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligènes*, *Vibro*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Corynebacteria*, et *Nocardia*.

#### **- Les capacités de dégradation en milieu marin**

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

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

#### **- Pénétration des hydrocarbures dans la chaîne alimentaire**

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

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

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

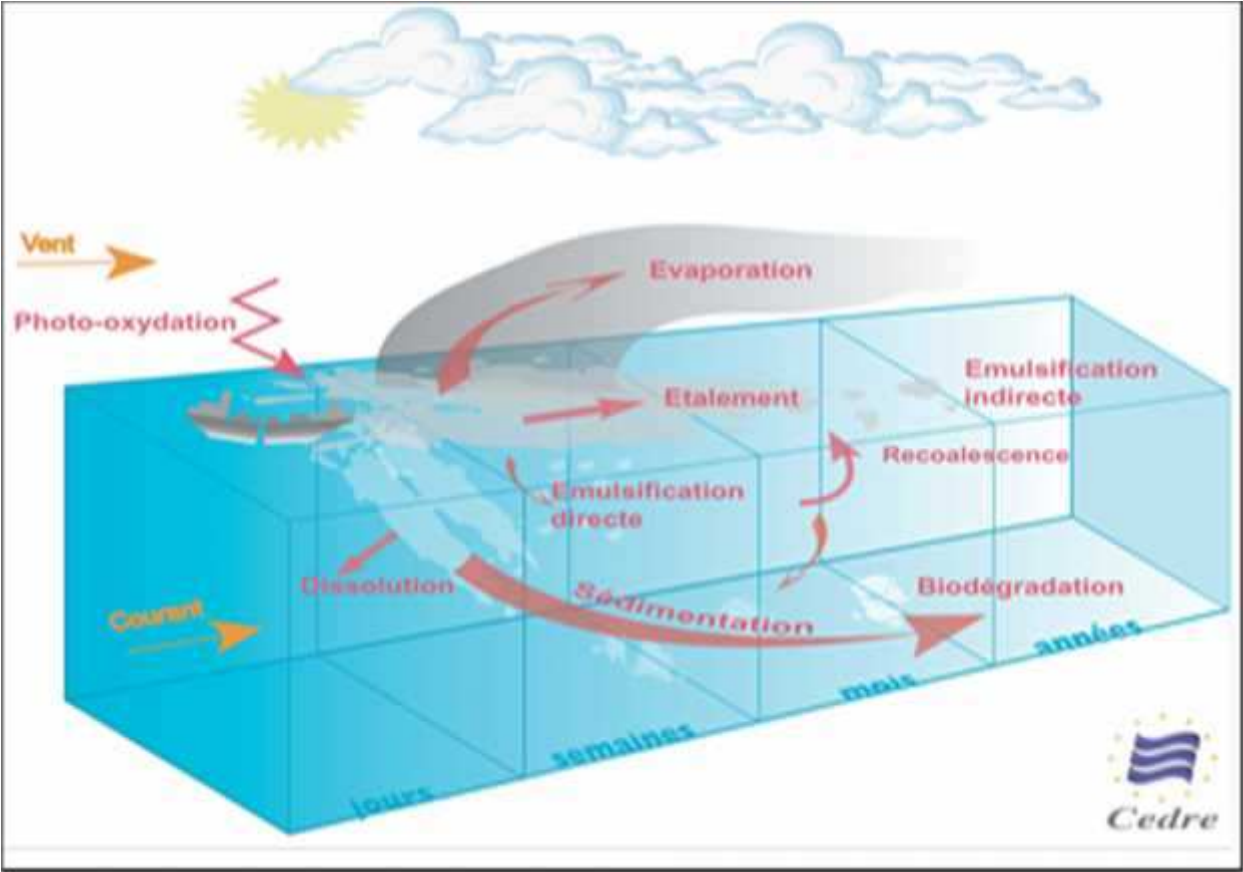


Figure 2: Comportement des hydrocarbures en mer

# **Zone d'étude**

## Zone d'étude

### 1 Description du port d'Alger

Le port d'Alger est situé à l'Ouest de la baie d'Alger ayant comme coordonnées : 03°02' de longitude Est et 36°50' de latitude Nord (**Figure 2**).

Le port d'Alger couvre un plan d'eau de 179 ha pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de 11m (**Figure 3**). L'accès au port s'effectue par 2 entrées, **la passe Nord est large** de 176m avec une profondeur de 22m, **la passe Sud** de 240 m de largeur et une profondeur de 16m.



Figure 3: Situation géographique du port d'Alger

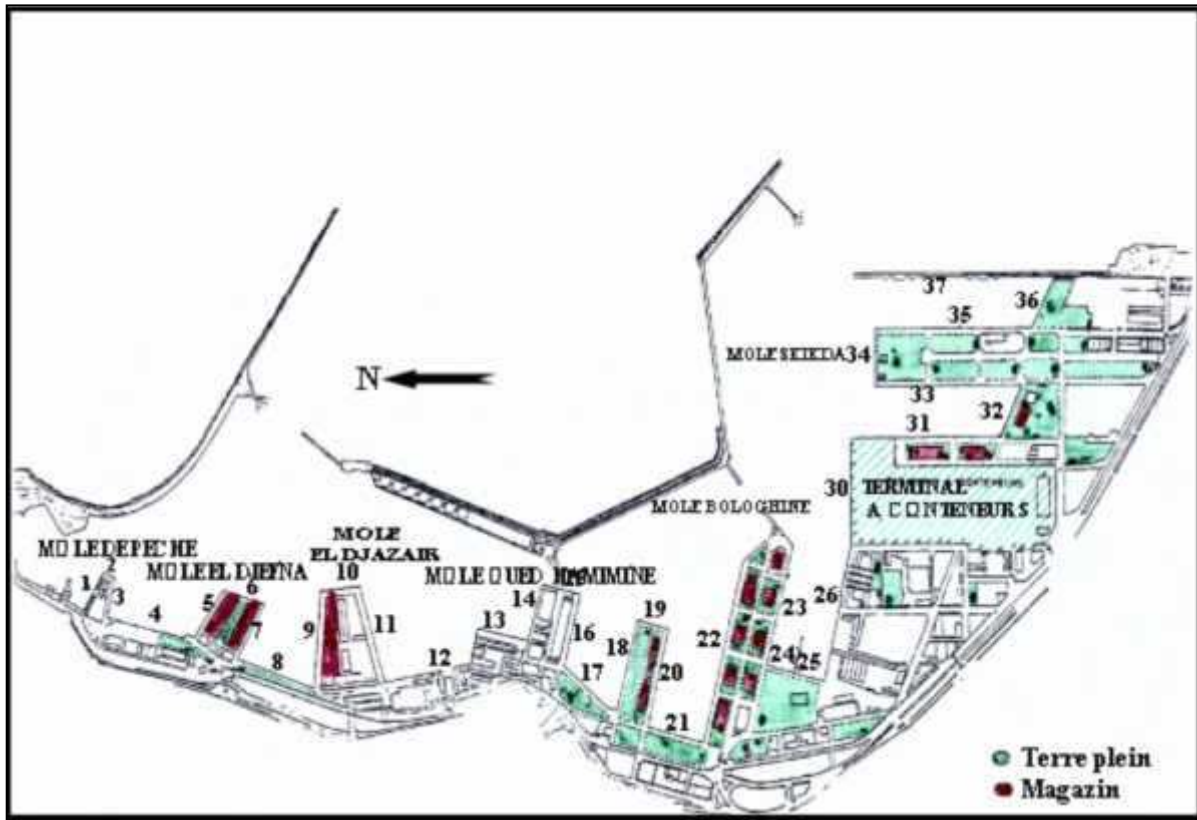


Figure 4: Plan de masse du port d'Alger (EPAL, 2007)

### 1.1 Ouvrages du port

Le port est constitué de 3 trois grands bassins avec des profondeurs allant de 7m à 20m :

**Bassin du Vieux Port :** communique avec le large par une passe dite passe Nord. Il est délimité par la jetée du Vieux Port au Nord et la jetée Kheir-Eddine à l'Est. Il comporte quatre (04) môles et trois (03) quais (sur 300 m).

**Bassin de l'Agha :** situé entre le bassin de Mustapha et du Vieux Port, il est protégé par la jetée du même nom. Il communique avec le bassin du Vieux Port par la passe du Vieux Port et représente la partie centrale du port avec trois môles (3, 4 et 5), il est destiné aux navires marchands avec des entrepôts couverts ou non couverts de quai (2700 m de quai).

**Bassin de Mustapha :** communique avec le large par une passe dite « passe Sud » et avec le bassin de l'Agha par la passe Mustapha ; il est délimité par la jetée de Mustapha et le brise lames-Est. Il possède deux môles (6 et 7) ainsi qu'un port pétrolier au quai 37 et l'implantation d'importantes unités industrielles et aussi une intense activité portuaire.

La longueur totale des jetées est de 4000m avec la jetée Khereddine 1290 m, Mustapha 700m, vieux port 900m, Agha 600m et Butavano 600m. Les quais occupent une linaire de 9655 m où sont implantés 8 môles avec 37 postes.

### 1.2 Bathymétrie

#### ▪ Bassin du vieux port

Les profondeurs dans ce bassin varient entre -2m et -19m, les plus faibles d'entre elles sont relevées le long de la jetée du vieux port, et au niveau de la capitainerie (-2m). Ces

profondeurs évoluent suivant un gradient croissant à partir du môle Al Djefna et du môle El Djazaïr avec une pente relativement douce allant jusqu'à (-19m) au niveau de la passe Nord, qui sert d'accès aux navires à grand tirant d'eau.

Les profondeurs moyennes varient de -12m à -17m.

#### ▪ Bassin Agha

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

#### ▪ Bassin Mustapha

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

Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de -6m à -14m à partir du brise-lames Est jusqu'à la passe Sud, où elles sont plus importantes (-16m au niveau du chenal de navigation).

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

Notons la présence d'un haut fond à -5.7m à l'intérieur de la darse III ainsi qu'une irrégularité des profondeurs qui est probablement due aux plusieurs travaux de dragages entrepris dans cette darse.

Le port d'Alger est constitué de trois bassins dont la bathymétrie est plus au moins différente avec un maximum de profondeur dans le bassin du vieux port et le bassin Mustapha. Le bassin Agha est le moins profond.

## 2 Pollution dans le port d'Alger

Les ports, milieux semi fermés, constituent un réceptacle naturel des eaux usées des villes et agglomérations côtières attenantes. Les ports de la côte algérienne n'échappent pas à cette règle; le port d'Alger reçoit une grande partie des eaux usées de la ville d'Alger, également les eaux usées découlant des activités propres à un port et les eaux usées de la zone industrielle portuaire. Ces apports d'eaux usées générant des perturbations en milieu marin, font du port d'Alger un milieu perturbé.

Le port d'Alger est un vaste complexe portuaire en communication avec les eaux de la baie d'Alger grâce à deux passes: la passe Nord et la passe Sud. Ces passes permettent une certaine circulation des eaux entre le port et la baie, et de ce fait un renouvellement des masses d'eaux portuaires.

Le port d'Alger se compose de trois bassins :

- le bassin du Vieux Port, en relation avec la baie par la passe Nord. Il abrite toutes les activités de pêche et certaines activités commerciales;
- le bassin de l'Agha, le plus petit, comporte deux darses. Il est en communication avec les bassins du Vieux Port et de Mustapha. Ce bassin est essentiellement à vocation commerciale, à signaler également la présence d'un chantier naval important au niveau de ce bassin;

- le bassin de Mustapha, le plus vaste, se compose de quatre darses. Il communique avec la baie par la passe Sud. Outre les activités spécifiques à un port, le bassin de Mustapha possède un certain nombre d'unités industrielles principalement: une centrale thermique, trois unités de production de corps gras (huilerie, savonnerie), unité de production et un dépôt de bitume, un dépôt de produits pétroliers, une unité de chargement et déchargement des hydrocarbures, des silos à blé, une unité de cimenterie flottante (Figure 4).

La grande majorité des eaux usées de la ville d'Alger et les eaux usées des industries portuaires sont rejetées directement dans le port. Les eaux usées industrielles portuaires renferment des déchets provenant de l'industrie des corps gras et des silos à blé, des hydrocarbures résultant de l'activité des unités de transformation, transport et stockage des hydrocarbures, des produits chimiques divers (peintures, métaux lourds, produits anti-fouling) provenant de différentes industries (chantier naval, aires de stockage, centrale thermique).

Le nombre des rejets d'eaux usées dans le port d'Alger est de 26, inégalement répartis selon les bassins. Dans le bassin du Vieux Port débouchent six émissaires principaux qui drainent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement; à ces rejets, il faut rajouter les huit rejets d'eaux usées domestiques de très moindre importance localisés au niveau de la darse de l'Amirauté. Cinq rejets d'eaux usées domestiques et d'eaux pluviales se déversent dans le bassin de l'Agha. C'est dans le bassin de Mustapha que le nombre des rejets est maximal, quinze au total. Ces rejets sont par le volume des eaux usées drainées, les plus importants du port d'Alger. Les eaux usées rejetées sont de nature diverse: eaux usées domestiques, eaux usées industrielles eaux pluviales.

Les eaux usées industrielles proviennent des savonneries et des huileries (unités des corps gras), des industries ou des activités pétrolières (produits raffinés, pétrole brut, goudron, bitume), des aires de stockage (hydrocarbures, bitumes, blé); la centrale thermique rejette dans le milieu portuaire des eaux usées chaudes et chlorées c'est à dire de l'eau de mer ayant servie comme eau de refroidissement. Ainsi le bassin de Mustapha est celui où le volume des eaux usées et la charge polluante de ces eaux sont au maximum.

Le port d'Alger, milieu semi fermé, reçoit des quantités importantes d'eaux usées domestiques et industrielles, estimées entre 500.000 et 700.000 m<sup>3</sup>/jour. Ces eaux usées sont en général très riches en matières organiques. Le port d'Alger se présente comme un écosystème enrichi artificiellement en matières organiques, d'où une hypertrophisation du milieu. Cet enrichissement en matières organiques dégradables de la colonne d'eau et du sédiment génère des perturbations ayant pour conséquence la modification des facteurs physico-chimiques des masses d'eau, des caractéristiques des sédiments et de l'interface eau-sédiment (PAC, 2006).



Figure 5: Les rejets du port d'Alger

### 3 Données météorologiques

La région d'Alger est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche avec une saison relativement pluvieuse, froide et humide.

L'étude climatique (précipitations, régime saisonnier et température), a concerné des données climatiques des sept stations météorologiques.

#### 3.1 Précipitations

La région d'Alger est bien arrosée où la moyenne annuelle des précipitations est de 732,83 mm à Bouzaréah observatoire, 769,63 mm à El Biar, 725,90 mm à Alger université, 738,90 mm à Birmouradrais, 772,90 mm à Bouzaréah sémaphore, 585,6 mm à Alger port et 621,54mm à Dar El Beida.

Les chiffres montrent une irrégularité des pluies moyennes mensuelles, où nous remarquons une période pluvieuse s'étalant généralement d'octobre à Avril, dont le maximum de pluies se situe au mois de décembre et novembre. Par ailleurs, la période de faible pluviosité s'étale de juin à août avec un minimum enregistré au mois de juillet.

#### 3.2 Températures

L'analyse des données de **l'Office National de Météorologie (ONM)** des températures de l'air pendant 10 ans (1995 à 2004) pour la station de Dar El Beida et pendant trois ans pour la station du port d'Alger enregistrent les moyennes mensuelles et annuelles enregistrent dans La température moyenne maximale (26 à 27°C), pour les deux stations est enregistrée durant la période estivale (mois d'août) et la température moyenne minimale (11 à 14°C) est relevée au mois de Février.

#### 3.3 Vents

Le vent est la composante horizontale du déplacement d'une masse d'air par rapport au sol.

Le port se situant au pied du massif de Bouzaréah, les vents de direction Nord-Ouest, Ouest et Sud-Ouest ne l'affecteront pas ; quant aux vents de direction Nord, Nord-Est et Est, ils arrivent sans atténuation sur les ouvrages portuaires.

En absence de mesures de vent au niveau du site d'étude, nous avons utilisé les mesures relevées par **l'U.S Naval Weather Service (USNWS)** au large d'Alger sur la période de 1963 à 1970.

Nous relevons annuellement quatre directions qui dominent : Ouest, Est, Nord-Est et Sud-Ouest.

### 4 Caractéristiques hydrodynamiques

#### 4.1 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.

La houle a été définie par **Guilscher en 1979** comme un système de vagues plus ou moins régulier, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

Ce phénomène des houles s'observe pendant la période hivernale où un déferlement continu est entraîné par les tempêtes qui engendre des érosions importantes.

Les données de houle ont été déduites à partir de 23.000 observations faites au large de la baie d'Alger par l'**Institut Météorologique Royal Néerlandais (I.M.R.N.)** sur une période allant de 1961 à 1970 et de 1971 à 1980.

45.000 autres observations ont été enregistrées durant la période de 1963 à 1970 pour l'**U.S Naval Weather Command (U.S.N.W.C.)**

L'analyse de ces données montre que les houles de direction Ouest et Nord-Est sont les plus fréquentes avec 25,1% et 18,3% respectivement.

Les périodes ont des valeurs moyennes qui varient de 8 à 9 S, allant jusqu'à 13 S lors des grandes tempêtes. Les longueurs d'ondes sont respectivement de 70 à 150 m (amplitude moyenne de 0,5 à 1 m) (**Le Claire, 1972**).

#### 4.2 Corrélation entre houles et vents

La corrélation entre houles et vents établie par **Ferrag et Heddad (1993)** a permis de mettre en valeur les vents générant le maximum de houles ; pour la station d'Alger, la tranche de vitesse de vent comprise entre 4 et 21 nœuds génère un maximum de houles.

#### 4.3 Les courants

La circulation des eaux marines sur les côtes algériennes résulte du passage des eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar. Ces eaux atlantiques modifiées sont introduites dans la baie par le courant algérien décrit par **Millot (1985)** ; c'est un écoulement lent le long des côtes et orienté Ouest-Est, induisant des contres courants au niveau de chaque baie et golf rencontré.

Dans la baie existe d'autres courants qui atteignent le port, ce sont :

**4.3.1 Le courant de dérive littorale :** Les houles à incidences obliques sont les génératrices de ce courant, mais ils n'affectent le port que si les houles sont de direction Nord ou Nord-Est.

**4.3.2 Le courant de retour :** Résulte d'un écoulement des eaux superficielles poussées par le fond. Ce courant est induit par des houles d'incidences frontales ; leurs vitesses sont suffisantes pour éroder le fond et transporter les particules mises en suspension dans l'eau, vers le large. Il est ainsi responsable d'une grande partie de l'érosion côtière, et de l'amaigrissement des jetées portuaires.

Le port d'Alger est également 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.

#### 4.4 Circulation des eaux dans le port

La circulation des eaux portuaires a été établie par **Rebzani-Zahaf (1990)**, il apparaît sur le schéma des circulations, des entrées d'eaux dans l'enceinte portuaire qui viennent de la baie, et se localisent au niveau des passes Nord et Sud du port. Les eaux circulent dans les bassins du Nord vers le Sud et vice-versa, mais une circulation plus intense se présente dans les bassins du Vieux port, contrairement aux deux autres bassins (Mustapha et Agha).

# Matériels et méthodes

## Matériels et méthodes

### 1 Travaux effectués en mer

#### 1.1 Choix et localisation des stations de prélèvement

Dans le cadre de l'évaluation du degré de contamination du port d'Alger par les hydrocarbures poly aromatiques, nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans différentes stations. Les analyses ont aussi concerné les différents paramètres physico-chimiques et les indicateurs de la pollution.

Les prélèvements ont été effectués à travers de deux missions en mer à bord du navire Scientifique M. S BENYAHIA, équipé d'un échosondeur Furuno type FCV 120 et d'un G.P.S (GLOBAL POSITION SYSTEM), permettant d'avoir la profondeur maximale du fond et les coordonnées géographiques exactes des stations de prélèvement.

Lors de ces deux missions, nous avons couvert la totalité du port d'Alger. 17 échantillons ont été prélevés pour l'étude de la pollution de l'eau du port d'Alger.

Du 10 au 25 Mars 2011, où nous avons effectué un total de 17 prélèvements d'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures et les différents paramètres physico-chimiques. Les stations de prélèvement sont réparties sur l'ensemble des bassins du port afin de couvrir et de représenter la totalité de la zone d'étude (**Figure 5**).

#### 1.2 Prélèvement d'eau de mer

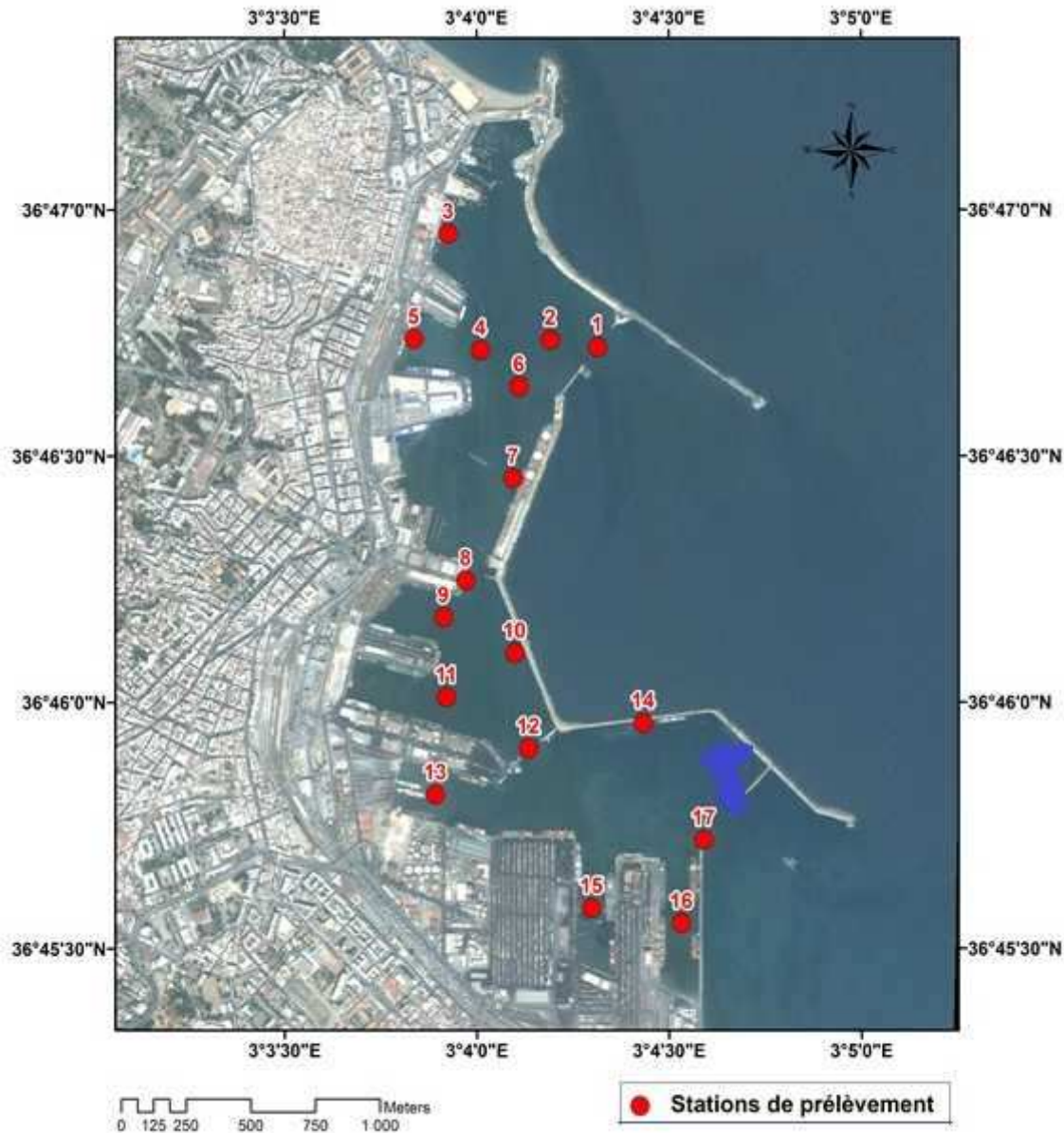
Pour la mesure des paramètres physico-chimiques, les sels nutritifs, des échantillons d'eau de mer sont prélevés au moyen des bouteilles en verre stérilisées.

Pour chaque station, un flacon de 125 ml est rempli pour l'analyse de sels nutritifs, un flacon de 250 ml pour la matière en suspension (MES). Tous les flacons de prélèvement sont ensuite conservés pour une ultérieure analyse au laboratoire. Un étiquetage précis est élaboré pour toutes les stations étudiées.

##### 1.2.1 Mesures in situ (Paramètres physico-chimiques)

###### A. Mesure de la salinité

La mesure de la salinité est effectuée à l'aide d'un conductimètre marque Wissenschaftlich technische werkstätten (WTW 315 i /Set.). La sonde de conductimètre est plongée dans l'échantillon, la valeur indiquée sur l'afficheur est notée. La salinité s'affiche par une unité de (‰) et de ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) respectivement.



**Figure 6: Positionnement des stations de prélèvement de l'eau superficielle**

### B. Mesure du potentiel d'hydrogène

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque « WTW type pH 315 i/Set ». L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalon à pH de 4 ; 7 et 9. L'électrode en verre, rincée à chaque fois à l'eau distillée et légèrement essuyée, est immédiatement plongée dans le flacon d'échantillon.

### C. Mesure d'oxygène dissous et saturation en oxygène

La mesure de la température, de l'oxygène dissous et de la saturation en oxygène a été effectuée in situ par la méthode électrochimique. L'appareil utilisé est un oxymètre de type valise multi paramètre multiline WTW à calibration et compensation automatiques, muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans l'eau de mer prélevée. La valeur de

l'oxygène dissous s'affiche en mg/l avec une précision de  $\pm 0.1$  %. L'appareil donne directement la conversion en pourcentage de saturation en oxygène.

#### D. Mesure de la température

Pour la température, tous les appareils de mesures utilisés (conductimètre, oxymètre et pH-mètre) donnent la température en °C. Nous avons noté qu'il n'y avait pas de différence entre les résultats des différents appareils.



**Figure 7: Valises multi paramètres utilisées à bord du bateau pour la mesure des paramètres physico-chimiques**

#### 1.2.2 Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures

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.

## 2 Travaux effectués au laboratoire

### 2.1 Détermination des paramètres de pollution

#### 2.1.1 Matière en suspension (MES)

Un volume d'échantillon (250 ml) est filtré sur un filtre Wattman de porosité  $0,45\mu\text{m}$  (Figure 7). Le poids des matières retenues est déterminé par pesée différentielle du filtre après passage à l'étuve à  $105^\circ\text{C}$  pendant 2 heures.

Pour cette mesure nous avons utilisé :

- Dispositif de filtration de type MILLIPORE® (bouteille de filtration, pompe sous vide).
- Membranes filtrantes Wattman ( $\varnothing = 0.45\mu\text{m}$ ).
- Etuve de type WTB BINDER, à 65 °C.
- Balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au 1/10000 g).

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

$$[\text{MES}] (\text{mg/l}) = (\text{P1}-\text{P2}) \times 1000 / \text{V}_F \dots\dots\dots (3.1)$$

**P1** : Poids du filtre avant filtration (g).

**P2** : Poids du filtre après la filtration (g).

**V<sub>F</sub>** : Volume d'eau filtrée en litres (l).



**Figure 8: Dispositif de filtration à bord du navire**

### 2.1.2 Détermination de la matière organique particulaire (MOP)

#### A. Principe

Cette mesure consiste à calciner les filtres déjà utilisés pour la mesure de la concentration des matières en suspension. La teneur en matière inorganique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusés avant et après calcination, ainsi la différence de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire.

#### B. Matériel utilisé

Four à moufle de CARBOLITE de type CWF 1200, Creusés en porcelaine et un balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au 1/10000 g).

#### C. Mode opératoire

Les filtres issus de la mesure de la concentration en matière en suspension, sont conservés afin de déterminer la charge des eaux en matière organique particulière dans un dessiccateur, dans le but d'éviter qu'ils absorbent l'humidité de l'air. Les filtres sont alors pesés avec

précision dans des creusets (**P3**). Ensuite les creusets avec filtres sont passés au four à moufle à 600°C pendant 2 heures. Les creusets et filtres sont à nouveau pesés (**P4**). La différence de ces deux poids obtenus P4 et P3 nous donne le poids de la matière organique brûlée.

**D. Calculs et expression des résultats**

Le calcul de la concentration en MIP s’est fait avec la formule suivante :

$$[M.I.P](mg/l) = (P3 - P4) \times 1000 \dots\dots\dots (3.2)$$

**P3** : Poids du creusé avec le filtre avant calcination (g).

**P4** : Poids du creusé avec le filtre après calcination (g).

Et la concentration de matière organique particulière est donnée par l’expression suivante :

$$[M.O.P](mg/l) = MES - MIP \dots\dots\dots (3.3)$$

**2.2 Dosage des sels nutritifs**

**2.2.1 Principe de dosage des sels nutritifs**

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, ortho phosphates) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d’onde ( ).

L’absorption de l’énergie lumineuse dépend de l’intensité de la coloration, de même, cette dernière est d’autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé 5 (**Figure 8**)



**Figure 9: L'appareil San plus d'analyse des sels nutritifs**

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), obéit à la loi de BEER-LAMBERT qui est exprimée par la relation suivante :

$$A = D.O. = \log (I_0/I) = \epsilon .l.C \dots\dots\dots (3.4)$$

$I_0$  et  $I$  : sont respectivement les intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant.

$\epsilon$  : le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde.

$l$  : la longueur du milieu traversé exprimé en cm.

$C$  : concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

$A$  : absorbance de la solution.

**D.O** : densité optique de la solution.

### 2.2.2 Analyse automatique des sels nutritifs

#### A. Dosage des nitrites

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide  $\text{pH} < 2$ . Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (**Benschneider et Robinson, 1952**).

#### B. Dosage des nitrates

La méthode est basée sur la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (**Wood et al, 1967**).

Les nitrites (en réalité  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Il suffira alors d'en déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier et al. 1996**).

#### C. Dosage de l'Azote ammoniacal

Le constructeur SKALAR a adapté la procédure automatisé par Thé pour la détermination de l'ammonium pour l'analyse de l'eau de mer, qui est basé sur la réaction de **Berthelot (1859)** modifiée par Thé. Elle s'applique à des concentrations allant de 2 à 100 ppb N. En milieu alcalin ( $8 < \text{pH} < 11,5$ ), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu indophénol. Après oxydation un composé coloré vert est formé. La réaction de Thé est catalysée par le nitroprusside de sodium. Le composé formé dans un maximum d'absorption qui se fait à une longueur d'onde de 630 nm.

#### D. Dosage des ortho phosphates

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40° C (bain-marie), les ions ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

#### ✓ Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser.

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

### 2.3 Dosage des hydrocarbures poly aromatiques

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

#### 2.3.1 Extraction

La procédure d'extraction est celle décrit par [Roussel, \(1983\)](#). C'est une extraction liquide-liquide réalisée par 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, piégeant ainsi les hydrocarbures présents dans l'eau.

En ajoutant 50 ml de l'hexane, on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter de 2 l, 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 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) afin d'éliminer toute trace d'eau ([Smail et Mazouz, 1996](#)).

#### 2.3.2 Concentration

La concentration de l'extrait d'eau de mer est réalisée dans le but d'éliminer le solvant d'extraction à l'aide d'un évaporateur rotatif (LABOROTA 4000-efficient Heidolph). 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 60°C et la pression d'aspiration est maintenue à 1,5 bar. Il subit ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 ml.



Figure 10:L'appareil Rota-vapeur

#### 2.3.3 Purification

La purification de l'extrait d'eau de mer 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 généralement nécessaire lors de l'utilisation du tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ) comme solvant de l'extraction.

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

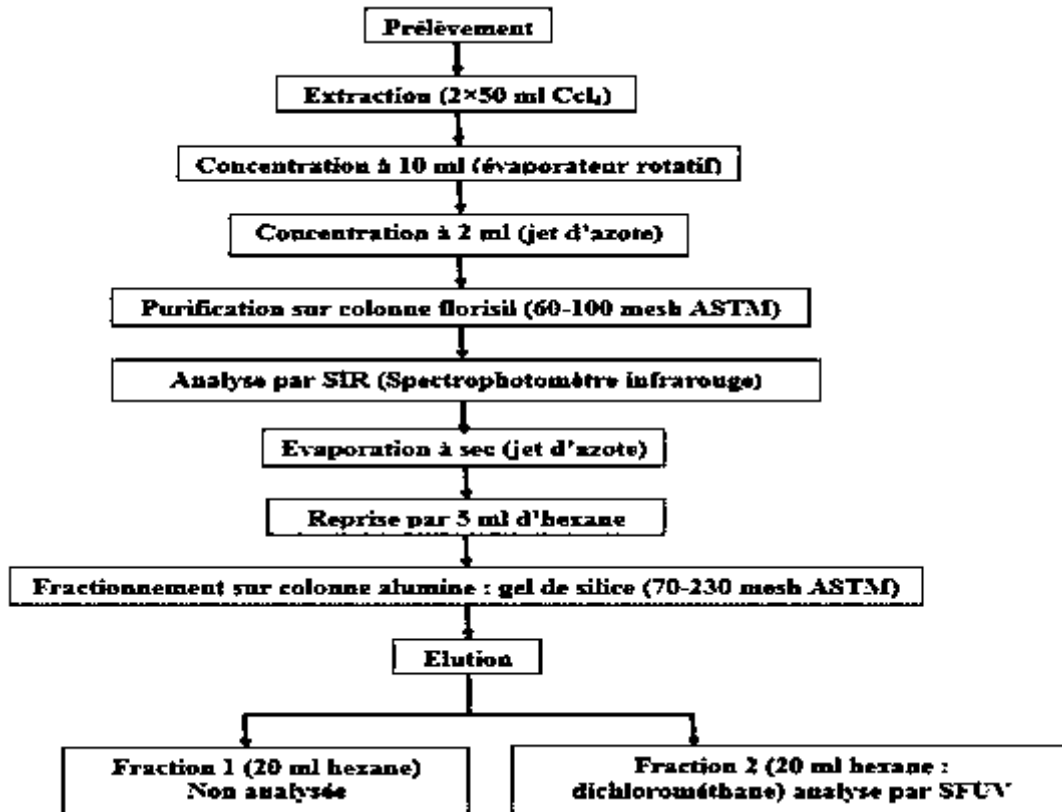


Figure 11: Procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer

- **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.

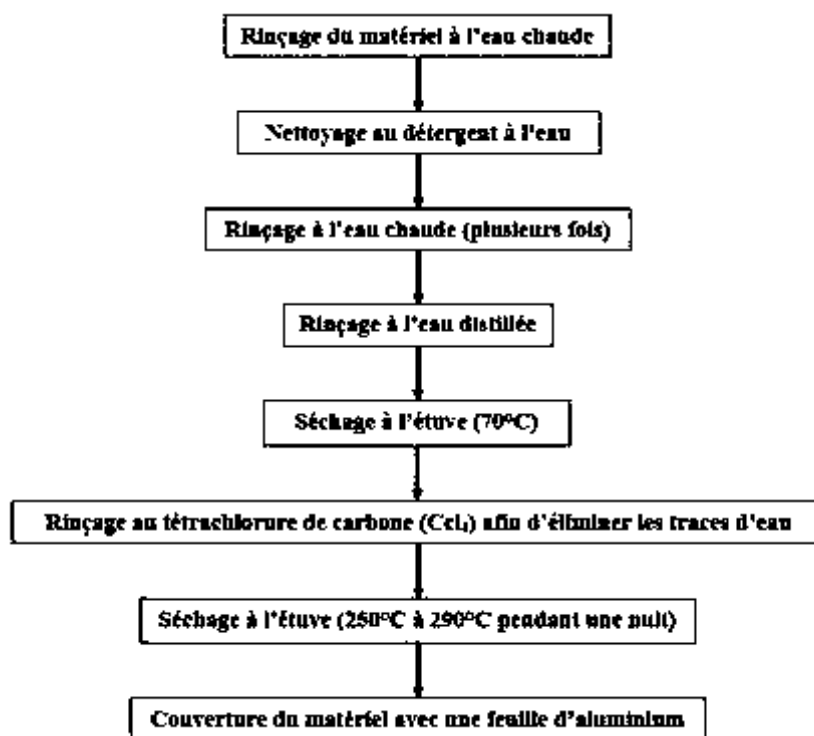


Figure 12: Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995)

### 2.3.4 Analyse des hydrocarbures poly aromatiques

#### A. Appareillage analytique

Les hydrocarbures poly aromatiques sont analysés avec un Spectro fluorimètre ultra-violet (SFUV) : HITACHI modèle 650-10 high sensitivity, équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1,5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm.

#### B. Etalonnage préparation des standards

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

La gamme étalon se compose de 2 (mg) de chrysène dissous dans 10 (ml) d'hexane soit de 10mg/50ml ou bien de 200µg/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 µg/ml. A partir de cette seconde solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles ou gamme étalon présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 1: Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère**

<b>Code standard</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
<b>Concentration en µg/ml</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1.00</b>

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

### **Le blanc de procédure**

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

#### **2.3.5 Mesure des intensités de fluorescence**

Les concentrations des hydrocarbures poly aromatiques sont déterminées à partir de courbe étalon. Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes :

- L'analyse de l'échantillon nécessite une longueur d'onde d'excitation 310 nm.
- L'émission de fluorescence est mesurée entre 310 et 500nm pour des longueurs d'ondes d'émission fixées à 360 nm, 380nm et 410 nm avec un pic d'absorption maximale à 360 nm pour les hydrocarbures aromatiques polynucléaires.
- L'ouverture des fentes d'excitation et d'émission est respectivement égale à 2 nm et 5 nm.

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

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

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$\mathbf{IF = a C + b \dots\dots\dots (3.5)}$$

**IF** : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

**C** : concentration en hydrocarbures poly aromatiques HPA (en µg/ml)

**a** : pente de la droite

**b** : ordonnée à l'origine.

Les meilleures réponses sont obtenues pour 360 nm. Les calculs sont effectués en fonction de cette réponse.

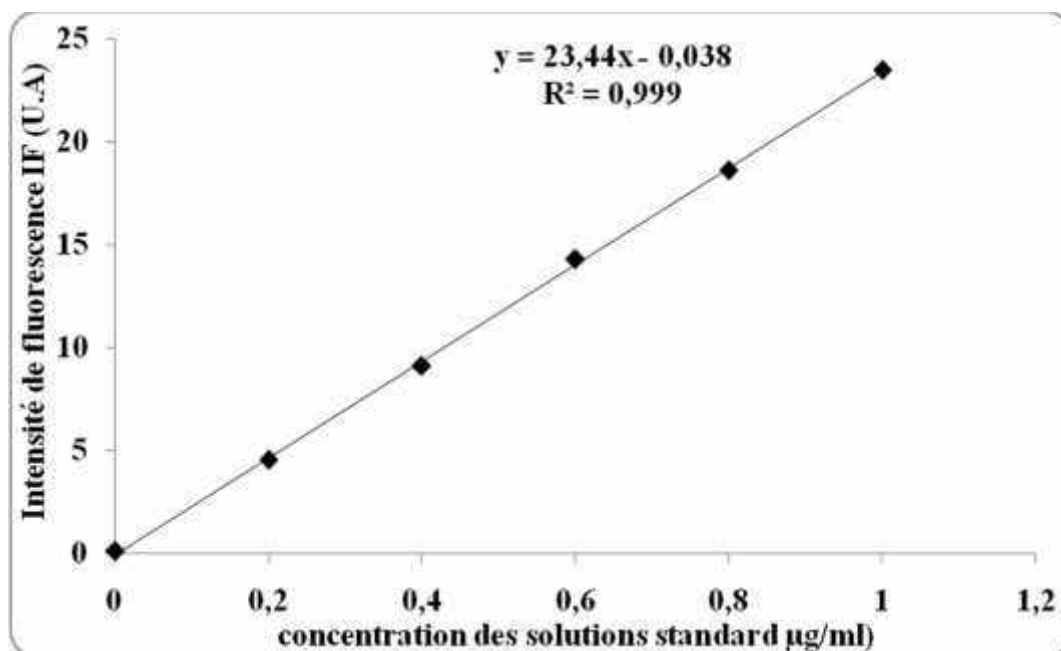


Figure 13: Courbe d'étalonnage pour le dosage des hydrocarbures poly aromatiques  
Par SFUV

Les concentrations des hydrocarbures poly aromatiques sont déterminées à partir de ce courbe étalon.

### 2.3.6 Calcul des concentrations finales en hydrocarbures poly aromatiques

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

$$[\text{HPA}] \text{ é. finale} = ([\text{C}]_{\text{éch}} - [\text{C}]_{\text{blanc}}) f \times (v/V) \dots\dots\dots (3.6)$$

$[\text{HPA}] \text{ e. finale}$  : concentration des hydrocarbures poly aromatiques dans l'échantillon d'eau de mer ( $\mu\text{g/l}$ ).

En équivalent Chrysène.

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

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

$v$  : volume de l'extrait pour l'eau : ( $v = 5 \text{ ml}$ ).

$V$  : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (2.5 l).

$f$  : facteur de dilution.

## Résultats et discussions

## Résultats et discussions

### 1 Distribution horizontale des paramètres physicochimiques

#### 1.1 Distribution de la température

La distribution horizontale de la température dans les eaux du port, montre d'une manière générale un gradient thermique croissant de la passe Nord vers la passe Sud (**Figure 13**). En effet, les températures les plus élevées ( $> 16,8^{\circ}\text{C}$ ) se localisent au niveau des darses du Bassin Mustapha notamment en face de la centrale thermique SONELGAZ.

#### 1.2 Distribution de la salinité (PSU)

Pendant la période post hivernale, d'une manière générale, la configuration des isohalins permet de constater une décroissance systématique du radient halin des valeurs les plus faibles (35,40 PSU) à la darse 8 vers les valeurs les plus élevées ( $> 36,75$  PSU) au passe Nord.

#### 1.3 Distribution du potentiel d'hydrogène (pH)

La distribution horizontale du pH dans les eaux du port d'Alger (**Figure 15**) montre que les fortes valeurs se localisent dans le bassin du vieux port, et les faibles valeurs sont remarquées au niveau du bassin Mustapha.

#### 1.4 Distribution d'Oxygène dissous (mg/l)

Les distributions horizontales de l'oxygéné dissous dans le port d'Alger (**Figure 16**) montrent que les concentrations maximales sont observées dans le bassin du vieux port, ces fortes valeurs peuvent être expliquées par l'activité photosynthétique importante qui produit de l'oxygène.

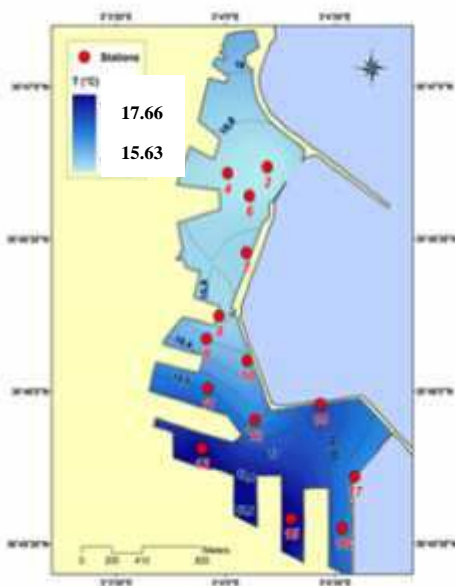


Figure 14: Distribution spatiale de la la température dans le port d'Alger

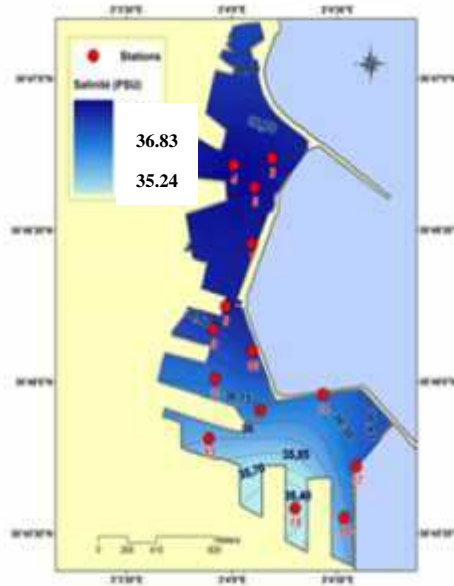


Figure 15: Distribution spatiale de la salinité dans le port d'Alger

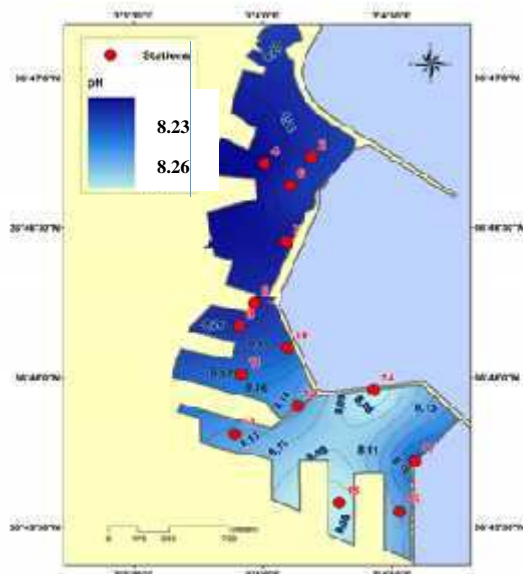


Figure 15 : Distribution spatiale du pH dans le port d'Alger

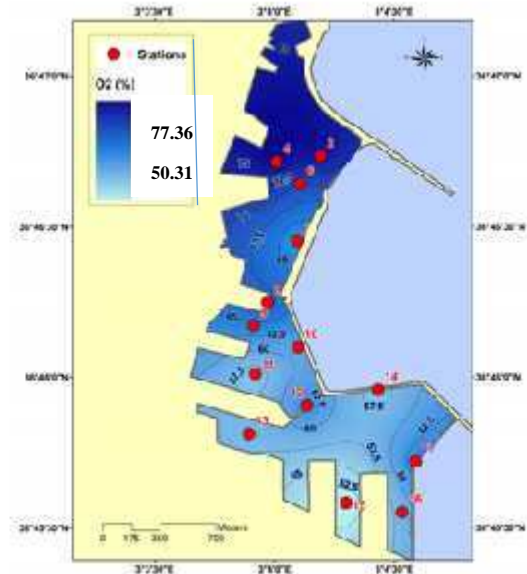


Figure 16 : Distribution spatiale de l'oxygène dissous dans le port d'Alger

## 2 Distribution horizontale des paramètres particuliers

### 2.1 Distribution des matières en suspension (MES)

La répartition des MES dans la mer dépend des propriétés physico-chimiques et des hydrodynamiques. La concentration des particules solides en suspension des eaux du port d'Alger varie entre les deux périodes d'échantillonnage

En période post hivernale les iso concentrations des eaux de surface en charge solides varient entre 8,8 et 28 mg/l avec un maximum au niveau de la station 14 (**Figure 17**)

### 2.2 Distribution de la matière organique particulaire (MOP)

La répartition des MOP lors de période post hivernale (**Figure 18**) enregistrent des teneurs maximales qui sont situées au niveau de bassin du vieux port et au niveau des darses 8 et 9.

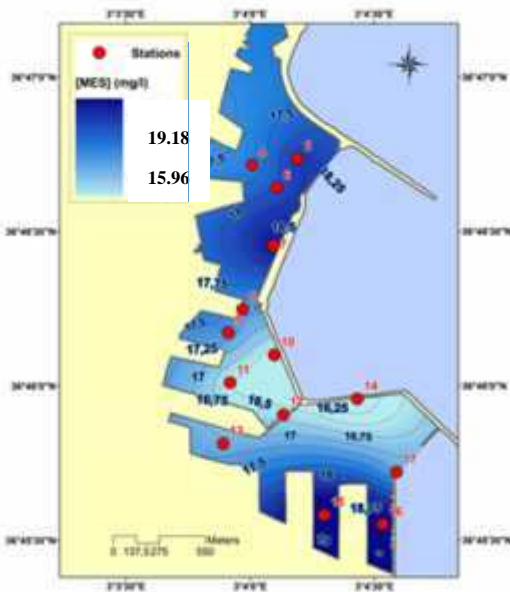


Figure 17 : Distribution spatiale de MES dans le port d'Alger

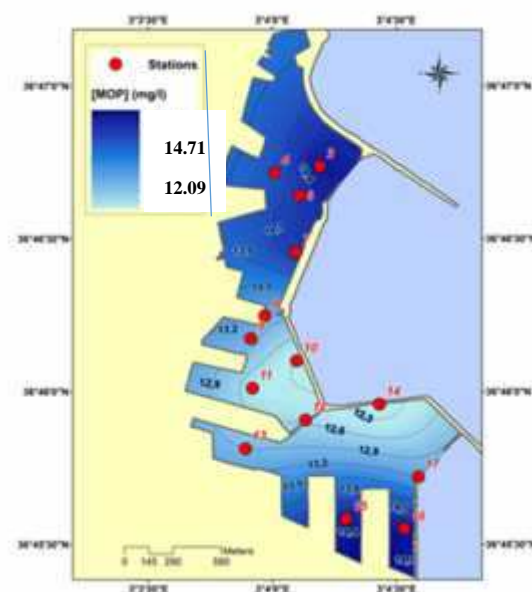


Figure 18 : Distribution spatiale de MOP dans le port d'Alger

### 3 Distribution horizontale des sels nutritifs

Dans le port d'Alger, le comportement des sels nutritifs ne peut être expliqué que par l'influence des paramètres suivants : les apports continentaux et l'activité biologique (recouvrant à la fois la consommation par le phytoplancton et la régénération par les microorganismes qui est responsables de la dégradation de la matière organique. (Margalef *et al.*, 1979; Aminot *et al.*, 1997; Bonnet *et al.*, 2008).

#### 3.1 Distribution horizontale des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

La distribution horizontale des nitrates dans les eaux du port d'Alger montre des concentrations sont faibles au niveau des stations étudiées. Ceci peut être expliqué par l'importance de l'activité photosynthétique. Les fortes valeurs de l'oxygène dissous aux mêmes endroits peuvent supporter cette hypothèse. Les concentrations les plus faibles sont enregistrées au niveau des stations 6 e 4 (Figure 19).

#### 3.2 Distribution horizontale des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les concentrations des nitrites sur toute la surface du port d'Alger montrent des teneurs plus ou moins significatives, certainement originaires de la dégradation d'une manière importante de la matière organique où se déversent des rejets d'eau usée urbaine (Figure 20).

#### 3.3 Distribution horizontale de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

De fortes concentrations en  $\text{NH}_4^+$  sont enregistrées dans le port d'Alger et peuvent être dues aux différents rejets déversés au niveau des bassins du port ainsi qu'au large de la baie. La répartition spatiale lors de la période hivernale montre une croissance de la concentration de  $\text{NH}_4^+$  du passe Nord vers la passe Sud (Figure 21).

3.4 Distribution horizontale des phosphates

Les phosphates se comportent comme traceur des apports continentaux (Aminot *et al.* 1977) enrichis en Phosphore par les lessives ménagères (Héral *et al.* 1983) mais également le phosphore peut être issu du recyclage de la matière organique par minéralisation et les différents processus biologiques (Figure 22)

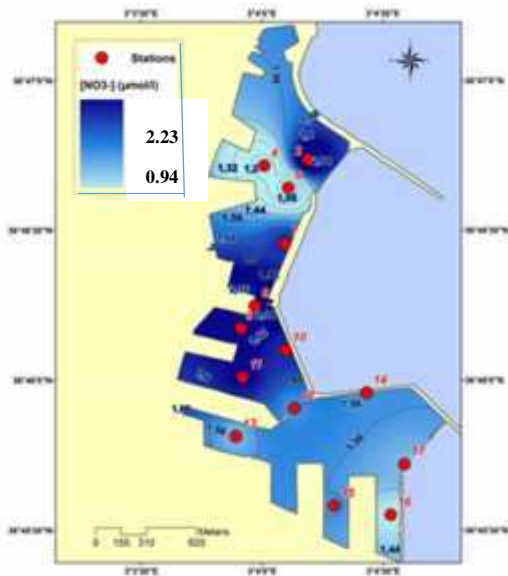


Figure 19 : Distribution spatiale du nitrate dans le port d'Alger

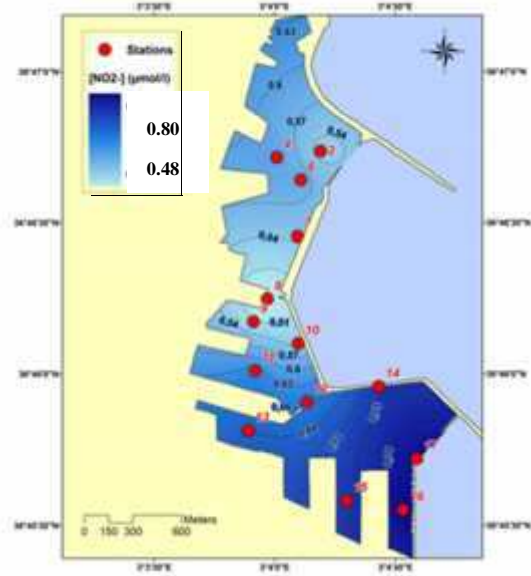


Figure 20 : Distribution spatiale du nitrite dans le port d'Alger

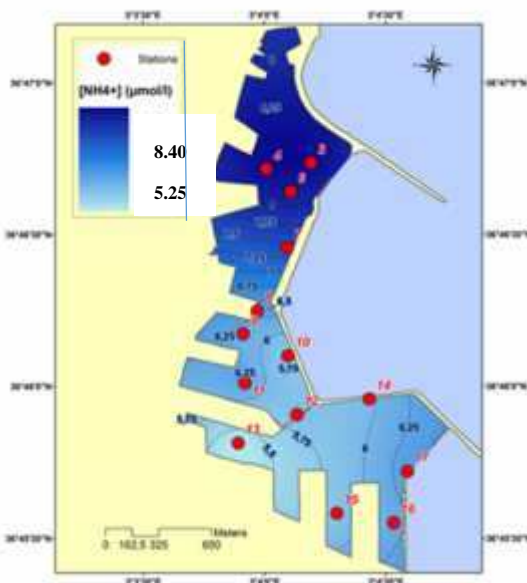


Figure 21 : Distribution spatiale de l'ammonium dans le port d'Alger

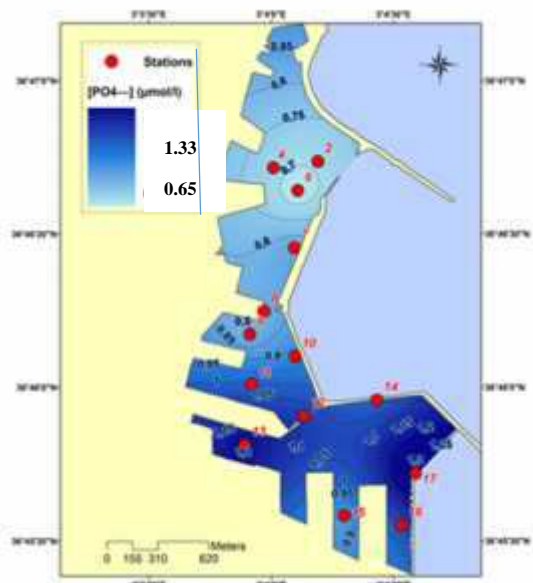
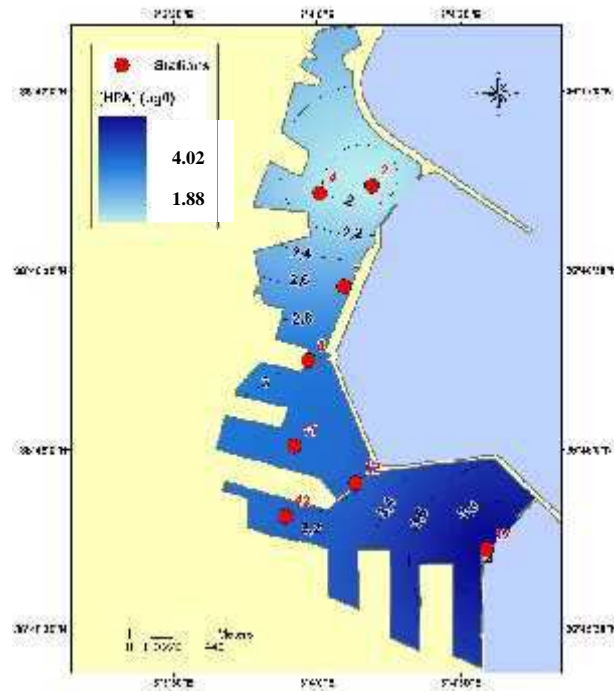


Figure 22 : Distribution spatiale du phosphate dans le port d'Alger

#### 4 Distribution horizontale des hydrocarbures poly aromatiques (HPA)

Nous remarquons que les concentrations des hydrocarbures poly aromatiques augmentent en allant de la passe Nord vers la passe Sud, dont les teneurs les plus élevées sont observées au niveau du bassin Mustapha, car ce secteur connaît un développement industriel qui l'expose à une pollution selon le sens de la circulation des eaux dans le port d'Alger (**Figure 23**).



**Figure 23 : Distribution spatiale des hydrocarbures poly aromatiques dans l'eau de mer du port d'Alger**

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

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

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

La variabilité des concentrations en hydrocarbures poly aromatiques dans l'eau de mer semble étroitement liée à l'hydrodynamisme de la région. Cependant, le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants (**Lacaze, 1980**).

En effet, les vents dominants pendant la période des prélèvements (vents de saison) étaient de direction Est à Nord-Est. Ces vents peuvent ramener en surface, des hydrocarbures, rejetés par les navires d'où l'implication directe du trafic maritime dans la contamination de l'eau de mer du port d'Alger.

Le non fonctionnement de la station de déballastage favorise des contaminations de tous genres, particulièrement la pollution par les hydrocarbures. Dans ce cas, les eaux de nettoyage des soutes, de vidange et de déballastage sont directement rejetées dans cette

région. La variation des concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port.

Selon **Berné et Cordonnier (1991)**, les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent de 25% à 33% de la capacité utile.

# Conclusion

# Conclusion

---

## Conclusion

Le présent travail consiste d'une part, à maîtriser les techniques particulièrement l'analyse des hydrocarbures poly aromatiques (HPA) et d'autre part, d'évaluer la pollution par ceux-ci au niveau du port d'Alger.

Les paramètres physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous et potentiel d'hydrogène) déterminés dans les eaux du port d'Alger, d'une manière générale, comparables aux valeurs retrouvés au niveau de la côte algérienne et les températures sont conformes à la période de prélèvement.

Ce travail a également 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.

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) qui est de 1,2 µg/l. Rappelant que le port d'Alger est classé 4ème en transport d'hydrocarbures après le port d'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.

# **Bibliographie**

### Bibliographié

- ABDERRAHMANI, k. (2011).** Les hydrocarbures polyaromatiques dans la baie de Bou Ismail : Surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur. Thèse, Magister, ENSSMAL.103 p.
- AIT ABBAS, D., LAUANI, S. (2002).** Contribution à la détermination du degré de pollution par les hydrocarbures totaux au niveau port pétrolier de Bejaia. Mémoire DEUA, Université Abderahmane Mira, Bejaia.89 p.
- AMINOT, A., CHAUSSEPIED. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu Marin. Paris : CNEXO.13 p.
- AMINOT A., KEROUEL R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et Analyses. Paris : Ifremer.336 p.
- BELABES. (1999).** Biodégradation des hydrocarbures pétroliers. Mémoire DES, Université Abderahmane Mira, Bejaia.67 p.
- BENSCHNEIDER, K., ROBINSON RJ. (1952).** A new spectrophotometric method. *FAO* Fisheries Technical Paper. pp. 137-238.
- FATTAL, P. (2008).** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de rennes, France.pp.395.
- FINGAS. (1979).**Review of oil spill Remote Sensing in proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Environmental Reaserch Institute of Michingan, Ann Arbor,Michingan. pp .1211-1218.
- GAUJOUS, D. (1995).**La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, technique et Documentation.217 p.
- HAMLILI, N. (2005).** Traitement biologique des eaux contaminées par les hydrocarbures dans un bioréacteur a lit fluidise tri-phasique. Thèse Magistère, USTHB.145 p.
- HOCINI N. (1998).** Méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment superficiel : résultats préliminaires à l'embouchure de l'oued Mazafran (Baie de Bou-Ismaïl) et le lac El-Mellah (El-Kala). Mémoire TS, ISMAL. 85 p.
- KOROGHLI, A. (2010).** Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments Superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse Magister, USTHB. L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE.150 p.
- LACAZE, JC. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. Edt Masson .pp.118-119
- LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro -Baléares (pré continent algériens). Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle. Nouvelle série C. Science de la Terre, Tome XXIV. 391 p.
- LEFEBVRE, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures. Paris : TCHNIP.284 p.
- LESCOLE, C. (2002).** Les feux d'hydrocarbures. Centre de Secours de Divonne-les-Bains.
- MURPHY, J., RILEY, JP. (1962).** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27.pp. 31-36.
- (PAC) Programme d'aménagement côtier "zone côtière algéroise". (2006).** Rapport final intégré. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Alger. 190 p.

## Bibliographie

---

- PAYNE, JR., PHILIPPS, CR. (1985).** Photochemistry of petroleum in water: Photo oxidation causes changes in oil and enhances dissolution of its oxidized products. *Environmental Science and Technology* 19.pp. 569-559.
- RAMADE, F. (1995).** Précis d'éco toxicologie. Paris.
- REBZANI-ZAHAF, C. (1990).** Les peuplements macro benthiques du port d'Alger. Evolution spatio-temporelle. Impact de la pollution. *Thèse de Magistère*, ISN/USTHB, Alger. 199 p.
- RNO. (1974-2004).** "Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement."
- RODIER, J. (1996).** L'analyse de l'eau [8<sup>m</sup>e édition] eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Paris : DUNOT. pp.385- 401.
- SMAIL, MB., 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.
- SOLTANI, M. (2004).** Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, Université Paris 6. L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE. 284 p.
- UNEP. (1995).** Guidelines for integrated Management of Coastal and Marine Areas. Rapport Technique. PAC/CAR (PAM-PNUE). 748 p.
- VANDECASTEELE, JP. (2005).** Microbiologie pétrolière. Paris: TECHNIP, Volume. 795 p.
- WOOD, EP., ARMSTRONG, FA ., AND RICHARDS, FA. (1967).** Determination of nitrate in seawater by cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **47**. pp. 23-31.

