

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

Option : Environnement Marin

**Impact de la pollution marine par les hydrocarbures sur  
la qualité de l'eau et des sédiments de la baie d'Alger**

Présenté par:

- BACHIR BEY Nassim

- AYACHE Mohamed

Soutenu le 28/06/2011 devant le jury suivant :

M<sup>r</sup> .BELKESSA.R (Maître de conférences A)

Président

M<sup>lle</sup> AMROUCHE.L (Maître assistant)

Examinatrice

M<sup>me</sup> BENCHIKOU.L (Maître assistant)

Examinatrice

M<sup>me</sup> BACHARI HOUMA (Maître de conférences A)

Promotrice

Promotion : (2011)

# *Remerciements*

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

Nous tenons à exprimer nos reconnaissances à :

Mr. BELKESSA. R Maître de conférences à l'ENSSMAL pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de notre soutenance.

Nous remercions les membres de jury :

Mlle. AMROUCHE. L Maître assistante à l'ENSSMAL .

Mme. BENCHIKOU. L Maître assistante à l'ENSSMAL .

Nous tenons à remercier Mme BACHARI HOUMA Maître de Conférences à l'ENSSMAL pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de nous encadrer ainsi que pour sa disponibilité pour toute épreuve.

Toutes nos reconnaissances à Mr BOUDJELLAL du laboratoire de Sidi Fredj et du personnel du laboratoire de la raffinerie de SKIKDA pour avoir accepté de faire les analyses chromatographiques de ce travail.

## Liste des figures

---

- Figure I.1** : Les différentes sources pétrolières responsables de la pollution de l'environnement marin (**National Research Council, 2002**).
- Figure I.2** : Processus physico-chimiques et biologiques intervenant dans l'évolution d'une nappe de pétrole en milieu marin (**Bertrand et Mille, 1989**).
- Figure I.3**: Description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations (en particulier les hydrocarbures aromatiques solubles) (**O'Sullivan et Jacques, 2001 in Bocard, 2008**).
- Figure II .1**: La délimitation de la baie d'Alger (**JICA, 2006 ; modifiée**)
- Figure II.2** : Situation géographique du port d'Alger.
- Figure II.3**: Ouvrages du port d'Alger (**Rebzani-Zahaf, 1990**).
- Figure II.4**: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (**Houma-Bachari, 2007**).
- Figure II.5**: Bathymétrie du Port d'Alger (**Belkessa, 2005**).
- Figure II.6**: Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (**LEM, 1998**)
- Figure II.7** : La circulation de l'eau dans le bassin algérien (**Millot, 1989**).
- Figure II.8**: Nature du fond de la baie d'Alger. (**Maouche, 1987**).
- Figure II.9**: Carte sédimentologique de la baie d'Alger (**Maouche, 1987**).
- Figure II.10**: Le réseau hydrographique de la baie d'Alger (**LEM, 1998**)
- Figure II.11**: Assainissement et relation entre zones industrielles et rejets des eaux usées dans la baie d'Alger (**LEM, 1998**).
- Figure III.1** : une bouteille à clapet (type NISKIN).
- Figure III.2**: une benne preneuse métallique de 5 kg.
- Figure III.3**: Conductimètre de type 3L5 (*wissenschaftlich technische werkstätten*)
- Figure III.4**: Bouteille en verre teintée d'une capacité de 2.5
- Figure III.5**: Benne preneuse inoxydable ouverte « Van Veen ».
- Figure III.6** : Dispositif de filtration (bouteille de filtration, pompe sous vide).
- Figure III.7** : Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures. (**UNEP, 1995**).
- Figure III.8** : Evaporateur rotatif (LABOROTA 4000-efficient Heidolph).
- Figure III.9** : Une colonne Purification et séparation.
- Figure III.10** : Lyophilisateur.
- Figure III.11** : Broyage à mortier.
- Figure III.12** : Schéma d'un extracteur Soxhlet.
- Figure III.13**: Un extracteur Soxhlet à six postes.
- Figure III.14** : Traitement des sédiments au mercure.
- Figure III.15** : Spectrofluorimétrie U.V de marque *Hitachi* modèle 650 S.
- Figure III.16**: Fonctionnement du spectre fluorimètre U.V
- Figure III.17**: Droite d'étalonnage à 360nm.
- Figure III.18**: Pic chromatographique ou courbe Gaussienne et des caractéristiques.
- Figure III.19**: Procédure analytique des hydrocarbures dans l'eau de mer
- Figure IV.1**: Histogramme de variation de la température dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).

## Liste des figures

---

- Figure IV.2:** Histogramme de variation de la salinité dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).
- Figure IV.3:** Histogramme de variation du pH dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).
- Figure IV.4:** Histogramme de variation L'oxygène dissous dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).
- Figure IV.5:** Histogramme de variation de la conductivité dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).
- Figure IV.6:** Histogramme de variation de la matière en suspension dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie)
- Figure IV.7:** Distribution spatiale de la température de surface dans le port d'Alger.
- IV.8:** Distribution spatiale de la salinité des eaux de surface du port d'Alger.
- Figure IV.8 :** Distribution spatiale de la concentration en oxygène dissous dans les eaux de surface du Port d'Alger.
- Figure IV.9 :** Distribution spatiale de la matière en Suspension dans les eaux de surface du Port et la baie d'Alger.
- Figure IV.10 :** Les concentrations des polyaromatiques dans l'eau (HPA) mesures par SFUV.
- Figure IV.11:** Les concentrations des aromatiques dans les sédiments mesures par SFUV.

## Liste des tableaux

---

**Tableau 01** : Accidents pétroliers les plus importants de 1967 à 2002 (Kennish, 2001 modifié).

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

**Tableau 03** : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM ,1998) .

**Tableau 04** : les différents standards préparés à partir de cette solution.

**Tableau 05** : Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimiques

## Liste des annexes

---

**Tableau 1 :** Localisation et caractéristiques des stations de prélèvement.

**Tableau 2 :** Moyennes mensuelles des précipitations (P) en mm et de Températures (T) en ° C (Période 1993 2003) (in **Bachouche, 2003**).

**Figure 1 :** Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°3.

**Figure 2 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon n°3.

**Figure 3 :** Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°5.

**Figure 4 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°5.

**Figure 5:** Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°6.

**Figure 6:** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°6.

**Figure 7:** Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°9.

**Figure 8 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°9.

**Figure 9 :** Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°10.

**Figure 10 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°10.

**Figure 11 :** Localisation des stations de prélèvements au niveau du port d'Alger.

**Figure 12 :** Localisation des stations de prélèvements au niveau de la baie d'Alger.

## Liste des abréviations

---

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

**.LEM :** Laboratoire d'Etude Maritime.

**ONM :** Office National de Météorologique.

**U.A:** Unité Arbitraire.

## Chapitre I : Généralités

<b>I .La pollution marine</b>	<b>1</b>
I.1.Définition	1
I .2.Les principaux types de pollution	1
a) Pollution chimique	1
b) Pollution physique	2
b) Pollution microbiologique	2
I.3. Les origines de la pollution	3
a) La pollution domestique	3
b) La pollution industrielle	3
c) La pollution agricole	3
<b>II. Les paramètres physico-chimiques de l'eau</b>	<b>3</b>
II.1.Température (T°C)	3
II.2. Salinité (PSU) (Practical Salinity Unit)	4
II.3. Oxygène dissous (O.D)	4
II.4. Potentiel d'hydrogène (pH)	5
II.5. Conductivité (C)	5
II.6. Turbidité (Tu)	5
<b>III. Paramètres indicateurs de la pollution</b>	<b>6</b>
III.1. Matière en suspension (MES : mg/l)	6
III.2. Matière organique (MO)	6
<b>IV. La pollution par les hydrocarbures</b>	<b>7</b>
IV.1. Définition	7
IV.2.classification	7
a) les alcanes : (paraffines	7
b) les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)	8
c) Les hydrocarbures aromatiques	8
d) Les asphaltées et les résines	8
IV.3. propriétés physiques des hydrocarbures	9
IV.3.1.la densité	9
IV.3.2. La viscosité	9
IV.3.3. Le point d'écoulement	9
IV.3.4. Le point éclair	10
IV3.5. Le point d'ébullition	10
IV.3.6. La tension superficielle	10
<b>V. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin</b>	<b>10</b>
V.1. Sources naturelles	11
V.2. Sources anthropogéniques	11
<b>VI. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer</b>	<b>12</b>
VI.1. Etalement	12
VI.2. Déplacement	13

# Sommaire

---

VI.3. Evaporation	13
VI.4. Dissolution	13
VI.5. Emulsion	13
VI.6. Flocculation	14
VI.7. Sédimentation	14
VI.8. Photo-oxydation	14
VI.9. Biodégradation	14
<b>VII. Causes de la pollution marine par les hydrocarbures</b>	<b>16</b>
VII.1. Pollution par des pétroliers	16
a) Déballastage	16
b) Lavage des citernes	16
c) Les boues	16
d) Les eaux de cale	17
VII.2. Pollution par tous types de navires	17
<b>VIII. Impact environnemental des hydrocarbures</b>	<b>17</b>
VIII.1. Impacts sur les communautés vivantes de la colonne d'eau	18
VIII.1.1. Impacts sur le phytoplancton	18
VIII.1.2. Impacts sur les bactéries	18
VIII.1.3. Impacts sur le zooplancton	18
VIII.2. Impacts sur le milieu benthique	18
VIII.2.1. Impacts sur le phytobentos	18
VIII.2.2 Impacts sur le Zoobenthos	19
VIII.3. Impact sur les oiseaux et les mammifères	19
VIII.3.1. Les oiseaux	19
VIII.3.2. Les mammifères	19

## Chapitre II : zone d'étude

<b>I. situation géographique de la baie d'Alger</b>	<b>22</b>
I.1 .1. Port d'Alger	22
I.1.2 : Ouvrages de protection	23
I.1.3 Entrée des navires au port	25
I.1.4 Batymétrie	25
<b>II.Paramètres météo-océanologiques</b>	<b>26</b>
a)Le vent	26
b) Les températures de l'aire et les précipitations	27
<b>III. Facteurs hydrodynamiques</b>	<b>28</b>
III.1.La houle	28
III.2. Les courants	29
III.3. Circulation des eaux dans le port	31
III.4. Marée et variation du plan d'eau	31
<b>IV. Nature de fond – Couverture sédimentaire</b>	<b>32</b>

# Sommaire

---

<b>V. réseaux hydrographique</b>	<b>33</b>
V.1.Oued El Harrach	34
V.2.Oued El Hamiz	34
<b>VI. Etat de la pollution</b>	<b>35</b>

## **Chapitre III : Matériel et méthodes**

<b>I. Travaux effectués en mer</b>	<b>37</b>
I.1. Choix et localisation des stations de prélèvement	37
I.2.Matériels de prélèvement	37
I.2.1.Prélèvement d'eau de mer pour la mesure des paramètres de pollution	38
I.2.2.Mesures in situ (Paramètres physicochimiques)	38
a) Mesure de la salinité et de la conductivité	38
b) Mesure de l'oxygène dissous et de la température	39
c) Mesure du potentiel d'hydrogène	39
I.2.3.Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures	39
I.2.4.Prélèvement des sédiments superficiels	40
I.3.Conservation des échantillons	40
<b>II. Travaux effectués au laboratoire</b>	<b>41</b>
II.1.Détermination des paramètres de pollution	41
II.1.1.Matière en suspension (MES)	41
a) Principe	41
b) Matériel utilisé	41
c) Mode opératoire	41
1) Préparation du filtre au laboratoire	41
2) Filtration de l'eau de mer (réaliser a bord du navire	41
3) Séchage et pesés des filtres :	42
4) Calcule et expression des résultats	42
II.1.2.Détermination de la matière organique particulaire (MOP)	42
a) Principe :	43
b) Séparation sur colonne	43
c) Calculs et expression des résultats	43
<b>III. Dosage des hydrocarbures (aliphatiques et polyaromatiques)</b>	<b>44</b>
III.1. Conditions ambiantes	44
III.2. Eau de mer	45
III.2.1. Prélèvement et Echantillonnage	45
III.2.2. Extraction	45
III.2.3. Concentration	45
III.2.4. Purification et séparation	46
a) Conditionnement de la silice et de l'alumine déjà extraite	46
b) Conditionnement du Sulfate de sodium	47
b) Préparation de la colonne	47
d) Les étapes à suivre pour la purification	48
e) Séparation sur colonne	49

# Sommaire

---

III.3. sédiment	51
III.3.1 Prélèvement et Echantillonnage	51
III.3.2.Lyophilisation et broyage des sédiments	51
III.3.3.Extraction et Concentration	52
III.3.4. Avantages et inconvénients de l'utilisation d'un soxhlet	53
III.3.5 Traitement en mercure	54
III.3.6.Purification et fractionnement	55
<b>IV. Analyse des échantillons</b>	<b>55</b>
IV.1.La spectrofluorimétrie Ultra Violet (S.F.U.V)	55
IV.1.1 principe de la SFUV	56
a) Appareillage	56
b) Etalonnage	57
c) Préparation des standards	57
d) Mode de calcul des concentrations	57
e) Mesure des intensités de fluorescences	58
IV.2. La chromatographie en phase Gazeuse (CPG)	59
IV.2.1.introduction et historique	59
IV.2.2. champs d'application de la chromatographie en phase gazeuse	60
IV.2.3.Principe de la chromatographie en phase gazeuse	60
IV.2.4. Eléments de base en chromatographie gazeuse	61
a) Temps de rétention	61
b) Limites de détection	61
IV.2.5. Le système chromatographique	62
1) Le gaz vecteur et leur pureté	62
2) l'injecteur	62
3) le four	64
4) la colonne capillaire	64
5) Le détecteur	65
6) Enregistreur :	66
7) quantitatives et qualitatives :	66
IV.2.5Mode opératoire d'analyse chromatographique utilisé	67

## Chapitre IV : Résultats et discussion

<b>I. Analyse paramétrique</b>	<b>68</b>
I.1. variation des paramètres physico-chimique	68
I.1.1. La température	68
I.1.2. La salinité	69
I.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (PH)	69
I.1.5. La conductivité	70
I.1.4. L'oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%)	71
I.2. Variation des paramètres particuliers	72
I.2.1. La matière en suspension (MES)	72
<b>II. Analyse de la distribution horizontale</b>	<b>73</b>

# Sommaire

---

II.1 Distribution de la température	73
II.2. Distribution de la salinité (PSU)	73
II.3. Distribution de la conductivité (as/cm)	74
II.4. Distribution du potentiel d'hydrogène (pH)	74
II.5. Distribution d'Oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%)	74
II.6. Distribution des matières en suspension (MES)	75
<b>III. les hydrocarbures</b>	<b>76</b>
III.1. Hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau (HPA)	76
III.2. Les aromatiques dans les sédiments mesurés par SFUV	79
III.3. Analyse des hydrocarbures présents dans le sédiment par CPG	80

# Introduction

---

Les zones côtières constituent des milieux vulnérables. Elles sont soumises à des facteurs naturels et anthropiques qui sont susceptibles de ralentir ou d'accélérer leur évolution.

La baie 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 de la baie d'Alger, mais concerne de nombreuses régions côtières Méditerranéennes et a fortiori Algériennes, où 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.

À 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 'Impact de la pollution marine par les hydrocarbures sur la qualité de l'eau et des sédiments superficiels de la Baie d'Alger'

À cet effet, on a utilisé deux méthodes analytiques pour quantifier et caractériser les hydrocarbures présents dans l'eau et le sédiment superficiel :

- La spectrofluorimétrie ultra violet (**SFUV**), appliquée pour l'évaluation de la pollution de l'eau de mer par les hydrocarbures aromatiques (**HPA**)
- la chromatographie en phase gazeuse (**CPG**), utilisée pour l'identification et l'évaluation quantitative d'une partie des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (**UNA, HPA**), contenus dans le sédiment superficiel marin.

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.



# Chapitre I : Généralités

# Chapitre I : Généralités

---

## I .La pollution marine :

La pollution marine est malheureusement, aujourd'hui un fait solidement établi qui concerne l'ensemble des mers et des océans du globe (*Alzieu in salomon, 2003*).

### I.1 .Définition :

La définition de la pollution est donnée par le premier rapport de conseil sur la qualité de l'environnement de la Maison Blanche (1965), étant « ... *une modification défavorable du milieu naturel ... , comme un sous produit de l'action humain ...* » (*Ramade, 2000*).

Ainsi La pollution marine a été définie par la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO comme étant « *l'introduction par l'homme directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que les nuisances envers les ressources biologique, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer de point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément* ».

Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de :

- Du type de pollution :
  - Pollution chimique.
  - Pollution microbiologique.
  - Pollution physique.
- De la capacité d'autoépuration de milieu récepteur
- Et du niveau de persistance et de la réactivité de la substance polluante.

### I .2.Les principaux types de pollution :

Les pollutions engendrées sont très diverses, une classification basée sur leur nature physico-chimique prédominante de la pollution et les usages de l'eau qui sont à l'origine des pollutions est établie (*Ramade 2000*).

A partir de la nature prédominante de la pollution nous distinguons plusieurs catégories :

#### a)Pollution chimique :

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau de mer (*KanKou, 2004*). Ces éléments peuvent être des composés minéraux (engrais, métaux toxique...), organique (hydrocarbures, molécules de synthèse...) ou des composés organochlorés tel que les amines et les phénols... (*Ramade, 2000*).

Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

## Chapitre I : Généralités

---

- Les paramètres globaux : ils résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps ; exemple : le PH, la turbidité, la demande chimique en oxygène (DCO)
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent des composés de même propriété chimique (*KanKou, 2004*).

Ce type de pollution peut être directement ou indirectement toxique pour les organismes aquatiques.

Le danger de ces polluants dépend de leur nature biochimique. Certains sont hydrosolubles, facilement dilués et donc leur action est minime. D'autres sont liposolubles avec un pouvoir de se concentrer au niveau des lipides et par conséquent, ils vont emprunter la chaîne trophique.

### **b) Pollution physique :**

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

Les apports des eaux chaudes diminuent la stabilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans les métabolismes phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse.

C'est une pollution due aux agents physique qui sont essentiellement d'origine industrielle et domestique .on peut distinguer trois types :

\* **Pollution mécanique** : due aux décharges des déchets et particules solides, qui a pour origine les eaux de ruissellement et les eaux d'égouts. Elle englobe aussi les opérations de dragage, de l'érosion et les rejets solides dans le milieu aquatique.

\* **Pollution thermique**: entraine un réchauffement de l'eau de mer, due à l'eau chaude rejetée par les usines après leur utilisation pour le refroidissement des condenseurs des centrales de productions d'énergie électrique.

\* **Pollution atomique** : due aux centrales nucléaires et des usines de traitement des combustibles irradiés.

### **c)Pollution microbiologique :**

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ces agents causals, nous citons :

- Les microorganismes pathogènes tels que les bactéries et les virus : ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer.

# Chapitre I : Généralités

---

- Les proliférations non pathogènes de micro algues causent des déséquilibres de milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctonique est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riche en phosphate et nitrate.

Cette pollution a des répercussions sur la qualité sanitaire des produits de la mer (conchylicole, pisciculture...) et sur les différentes activités de la mer (tourisme par la qualité des eaux de baignade).

## I.3. Les origines de la pollution

Suivant l'origine des substances polluantes, on distinguera :

### a) La pollution domestique :

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par :

- ↳ Des germes fécaux ;
- ↳ De fortes teneurs en matières organiques ;
- ↳ Des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- ↳ De détergents. (**Gaujous, 1995**).

### b) La pollution industrielle :

Provenant des usines, elle constitue la principale source de pollution des eaux. La majorité des industries utilisent l'eau en quantité variable dans différents processus de fabrication. Les principaux facteurs polluants sont le pétrole. Le charbon, les industries chimique, de papeterie, de textile et autres.

### c) La pollution agricole :

Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant ; des engrais, des purins et lisiers (élevage) ;
- La présence de produit chimique de traitement (pesticides, herbicides...). (**Gaujous, 1995**).

## II. Les paramètres physico-chimiques de l'eau :

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. (**Gaujous, 1995**). Ces paramètres physico-chimiques caractérisent l'eau ils sont des descripteurs d'hydrologie marine (**Aminot et al, 1997**). Leur variation est en fonctions de plusieurs facteurs tels que la situation géographique, les processus physiques (l'hydrologie, upwelling, déversement des effluents terrigènes...)

Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif recherché.

## II.1. Température (T°C)

La température est un descripteur pour la connaissance du milieu marin, elle influe sur l'activité biologique et sur la répartition des espèces, la mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que : la saturation des gaz dissous, la mesure du pH (**Aminot et al 2004**).

Dans les océans, la température décroît de la surface vers le fond .Elle varie en fonction des autres descripteurs physico-chimiques (tel que la pression).Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La température influe sur la densité de l'eau et joue donc un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des lacs et mers (thermocline). (**Gaujous, 1995**).

Dans le cas d'une élévation de température, le milieu peut être perturbé, même peut induire une pollution thermique (**Gaujous, 1995**).

## II.2. Salinité (PSU) (Practical Salinity Unit) :

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (**Aminot et Kérouel, 2004**), elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**Rodier et al. 2005**).

Après la première définition de la salinité et de la chlorinité par **Sorensen (1902)**, des techniques furent développées permettant de déterminer la salinité à partir de mesures de conductivité, de température et de pression. Dès 1978, l'échelle pratique de salinité (PSU) définit la salinité en termes de rapport de conductivité. (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Elle 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, l'identification des masses d'eaux d'origine différente, et de suivre leurs mélanges au large à la côte ou dans les estuaires (**Aminot et Chaussepied, 1983 ; Rodier, 1997**).

## II.3. Oxygène dissous (O.D)

Ce paramètre détermine la qualité du milieu (**Aminot et Chaussepied, 1983**), et gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (**Aminot et Kérouel, 2004**)

L'oxygène dissous est un gaz important pour la vie marine, c'est un paramètre qui gouverne la majorité des processus biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques.

Les teneurs de l'oxygène dans l'eau dépendent de trois facteurs (**Gaujous, 1995**):

# Chapitre I : Généralités

---

- Les facteurs physiques : Température, échange à l'interface air-mer, diffusion et mélange au sein des écosystèmes aquatiques.
- Les facteurs chimiques : Phénomène de photo oxydation et les réactions chimiques d'oxydoréductions.
- Les facteurs biologiques: la photosynthèse et la respiration.

La concentration de l'oxygène dans l'eau est sous influence des processus biologiques. Ces derniers permettent soit :

- ❖ Sa saturation dans les zones eutrophes (accroissement important du phytoplancton) ;
- ❖ Ou sa sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées (oxydation de la matière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

En absence de processus chimique et biologique, 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 (**Rodier, 1997 Aminot et Kérouel, 2004**)

## II.4. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Etant relatif à la concentration en ions hydrogène ( $H^+$ ) de l'eau (**Ramade, 2000**), il résulte de sa composition ionique, et essentiellement de la présence de carbonate issus à l'échange de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (**Aminot et Kérouel, 2004**)

Le pH est défini comme le logarithme décimal de l'activité de l'ion Hydrogène.

$$\boxed{\text{pH} = -\log (a)} \dots\dots\dots (1.1)$$

**a** : Est l'activité de l'ion Hydrogène dans la solution considérée. (**Gaujous, 1995**).

L'eau de mer est moins sensible aux variations de pH grâce à l'effet tampon des sels dissous, le pH en surface est proche de 8,1 et descend à 7,7 en eau profonde. La modification des concentrations en ( $CO_2$ ) (respiration, photosynthèse, échange air-mer) ou en ( $CO_3^{2-}$ ) entrainera une modification de PH (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

## II.5. Conductivité (C) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m) dont :  $1\text{ S/m} = 104\ \mu\text{S/cm} = 103\ \text{mS/m}$ . 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**).

## II.6. Turbidité (Tu)

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argiles, limons, grains de silice et matières organiques (**Rodier, 1997**).

La turbidité intervient notamment sur la quantité de la lumière disponible pour le développement des végétaux aquatiques, autrement dit sur la production primaire. La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension. (**Rodier, 2005**).

La connaissance de la turbidité à une double importance :

- \* Détermine l'intensité lumineuse pénétrante sous la surface.
- \* Permet également une approche de la qualité de particules en suspension.

## III. Paramètres indicateurs de la pollution :

### III.1. Matière en suspension (MES : mg/l) :

D'après **Ivnove (1972)**, en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origine minérale ou organique vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène éolienne et en fin météoriques. Elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires. Les matières en suspension comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0,45  $\mu\text{m}$  et elles peuvent être un indice de pollution.

L'impact des matières en suspension sur l'eau se traduit par la diminution de la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique. D'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques et biologique avec l'eau de mer (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Par le phénomène d'adsorption-désorption des matières en suspension pour les espèces chimique, elles peuvent être considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques (**Iacaze, 1996**). Dans les océans, la concentration des MES est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre les plus importantes teneurs en matières en suspension sont au niveau des milieux côtiers et estuariens.

En général, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leur effet d'échanges d'ions ou d'absorption ; ainsi sur les éléments chimiques à l'état de trace sur les micro-organiques. La détermination des matières en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable, car le devenir de ce deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration.

### III.2. Matière organique (MO).

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques (disponibilité d'éléments nutritifs) contrôlent l'activité biologique des espèces trophiques primaires de l'environnement marin. Les nutriments sont assimilés par le phytoplancton pendant la photosynthèse et produisent la matière organique considérée comme une source d'énergie et de nutriments pour les micro-organismes (bactéries, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (**Boulahdid, 1987**).

# Chapitre I : Généralités

---

La fraction endogène correspond à la matière organique produite par l'assimilation des nutriments par le phytoplancton lors de la photosynthèse. Cette matière organique qui est facilement dégradable sera source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires) (**Boulaïdid, 1987**). Reste la fraction exogène formée par les débris des animaux et des végétaux possède une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (**Aminot, 2004**).

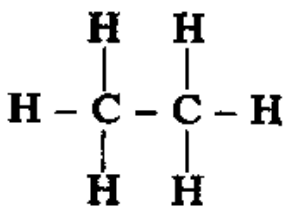
Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulaire dont les proportions et le devenir varient beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre. La matière organique est intimement liée aux activités biologiques, soit comme résultat de la synthèse de la biomasse, soit comme source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires, phytoplancton).

Dans les zones riches en matière organique, la présence de la matière organique 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**).

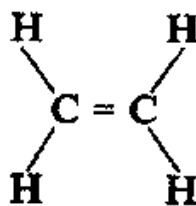
## IV. La pollution par les hydrocarbures :

### IV.1. Définition :

Les hydrocarbures sont des 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 correspondantes 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 d'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires qui sont des composants qui contiennent des atomes de Soufre, d'azote et d'oxygène (**Fatal, 2008**).



Liaison simple



Liaison double



Liaison triple

### IV.2. Classification :

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

#### a) Les alcanes (paraffines) :

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés, à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). Le nom aliphatique vient du grec aleiphar qui signifie huile ou graisse (**Lefebvre, 1978**).

## Chapitre I : Généralités

---

Ils représentent environ 30% du poids des bruts et possèdent deux caractéristiques importantes (**Michel, 1976 In Lacaze 1980**).

- \_ Une toxicité moindre
- \_ Biodégradabilité rapide surtout pour le n- alcane

### **b) Les cycloalcanes (naphènes ou cycloparaffines) :**

Les cycloalcanes sont aussi des hydrocarbures aliphatiques et saturés mais avec des cycles. Ils sont peu toxiques et subsistent plus longtemps que les alcanes dans le milieu (**Fatal, 2008**)

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

### **c) Les hydrocarbures aromatiques :**

Les hydrocarbures aromatiques comprennent des composés qui sont insaturés dans la molécule contient de 1 à 6 cycle benzéniques.

Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbone, chacun relie à l'un de ses voisins par une double liaison et un atome d'hydrogène ( $C_6H_6$ ). les hydrocarbures aromatiques de base sont le benzène (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 (entre 15 et 40%) des pétroles bruts. Ils ont un impact sur la Faune et la Flore, car ils sont toxiques et persistant. Un des HAP les plus dangereux et le benzo (a) pyrène qui est peu soluble et qui surtout se bio-accumule Fortement (**Amiard, 2005 in Fattal, 2008**).

### **d) Les asphaltènes et les résines :**

#### **Les asphaltènes :**

Sont des composés stables de très hauts poids moléculaires, 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 moléculaires élevé sont constituées de molécules hétérocycliques qui confèrent au pétrole un caractère légèrement tensioactif, ils entrent pour 5 à 25% dans la constitution des pétroles bruts (**Marchand et Kantin, 1996**).

### IV.3. 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 Owens, 1994, in Fattal 2008**).

#### IV.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 plus part 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 (**Fattal, 2008**).

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

#### IV.3.2. La viscosité :

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les une contre les autres et elle dépend de pourcentage d'hydrocarbures légers. Elle traduit une mesure de la résistance à l'écoulement et s'exprime en centistokes (cts-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 pétrochimique et surtout par formation d'émulsions inverses qui modifient le comportement initial du produit (**Fattal, 2008**).

#### IV.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 alcane 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**).

### IV.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  $-40^{\circ}\text{C}$  alors que le mazout, que l'on trouve dans une chaudière, a un point d'éclair aux alentours de  $55^{\circ}\text{C}$  (Fattal, 2008).

### IV.3.5. Le point d'ébullition :

Chaque fraction d'hydrocarbure a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures basses et inférieures à  $20^{\circ}\text{C}$ . Avec l'évaporation, les hydrocarbures restants deviennent plus visqueux et plus denses (Fattal, 2008).

### IV.3.6. La tension superficielle :

La tension superficielle dépend de la température et permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbure. 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).

## V. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin :

Les hydrocarbures pétroliers qui arrivent dans l'environnement marin peuvent avoir quatre origines majeures: les sources géochimiques, l'extraction de pétrole, le transport et la consommation. La part des sources géochimiques dues à des fuites naturelles qui apparaissent au fond des océans s'élève à 47 %. Les 53 % restants se répartissent ainsi: 38 % proviennent des rejets suite à la consommation (exemple: rejets d'industries basées à terre et des grandes agglomérations urbaines), 12 % sont dus au transport et 3 % à la production pétrolière offshore.

Il faut enfin signaler qu'une quantité non négligeable d'hydrocarbures peut provenir de l'activité de nombreux microorganismes et des plantes (Albro, 1976; Bachofen, 1982; Saliot, 1981, Soltani, 2004).

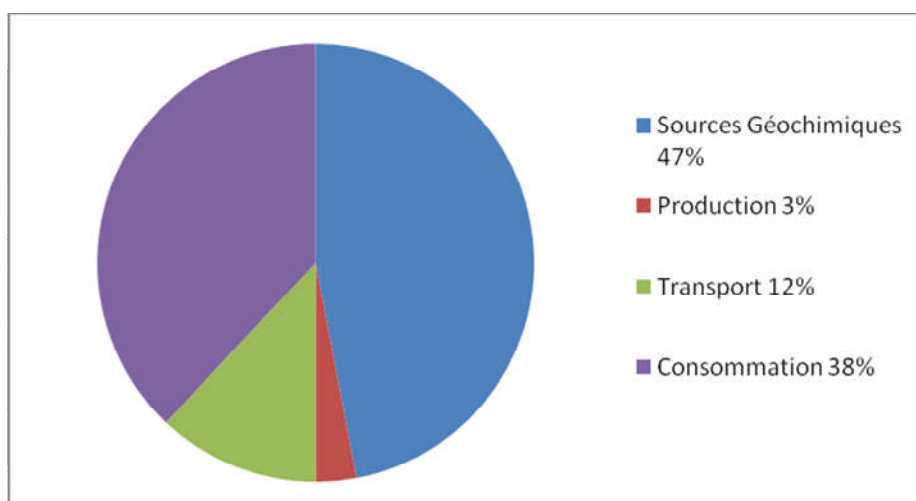


Figure I.1 : Les différentes sources pétrolières responsables de la pollution de l'environnement marin (National Research Council, 2002).

## V.1. Sources naturelles :

Représentent tous 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 dispersées sur de vastes étendues par les fleuves et les rivières ou par voie atmosphérique (**Lacaze, 1980**).

## V.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 aux transports maritimes (chargement, déchargement, déballastage...)
- ✓ Les accidents des navires pétroliers (52 accidents) (**Bertrand, 2000**)
- ✓ Les activités industrielles
- ✓ Les rejets d'eaux chargées en hydrocarbures résiduels

## Chapitre I : Généralités

**Tableau 01 : Accidents pétroliers les plus importants de 1967 à 2002 (Kennish, 2001 modifié).**

Année	Nom du pétrolier	Quantité de pétrole (tonne)	Zones affectées
1967	<i>Torrey Canyon</i>	117 000	France
1970	<i>Texaco Oklahoma</i>	31 500	U.S.
1976	<i>Urquiola</i>	100 000	Espagne
1977	<i>Grand Zenith</i>	32 000	Canada
1978	<i>Amoco Cadiz</i>	230 000	France
1979	<i>Ixtoc / Platform</i>	350 000	Golf du Mexique
1979	<i>Andros Patria</i>	60 000	Espagne
1979	<i>Betelgeuse</i>	35 000	Irlande
1979	<i>Gino</i>	42 000	France
1979	<i>Aviles</i>	25 000	Mer d'Arabie
1979	<i>Atlantic Express</i>	276 000	Tobago
1979	<i>Burmah Agate</i>	40 000	U.S.
1979	<i>Independenta</i>	94 600	Turkie
1980	<i>Irenes Serenade</i>	102 000	Grèce
1980	<i>Juan A. Lavalleja</i>	40 000	Algérie
1983	<i>Castello deBelver</i>	255 500	Sud Afrique
1984	<i>Assimi</i>	51 400	Oman
1984	<i>Pericles GC</i>	46 600	Qatar
1985	<i>Neptunia</i>	60 000	Iran
1985	<i>Nova</i>	71 100	Iran
1989	<i>Exxon Valdez</i>	35 000	Alaska
1992	<i>Aegean Sea</i>	79 000	France / Espagne
1993	<i>Brear</i>	84 000	Norvège / Scotland
1999	<i>Erika</i>	28 000	France
2001	<i>Baltic Carrier</i>	30 000	Mer Baltiques
2002	<i>Prestige</i>	77 000	France / Espagne

### VI. 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**).

#### VI.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 la tension superficielle (**Lacaze, 1980**)

Les hydrocarbures répandus sur l'eau forment une fine couche à l'aspect de lentilles avec l'intérieur plus épais que les bords. Ce processus peut se poursuivre jusqu'à l'obtention

d'une couche mono moléculaire de 0.5  $\mu\text{m}$  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**).

### VI.2. Déplacement :

La vitesse de déplacement de la nappe induite par le vent est estimée à environ de 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**).

### VI.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 fonction des paliers de distillation (**Michel, 1982 in Fattal, 2008**).

Plus le pétrole est légers plus il a un taux d'évaporation important.

### VI.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 peuvent se dissoudre 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

### VI.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**).

Nous pouvons 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 gouttelette de pétroles 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'hydrocarbure. Alors que ce processus entraîne une augmentation du volume et de la viscosité. Le produit final est stable, épais et plus volumineux.

### VI.6. Flocculation :

La flocculation résulte de l'agrégation des fines, contenues dans l'eau de mer, sur les microgouttelettes 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**)

### VI.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'absorption (flocculation) et des dégradations physico-chimiques de 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**).

### VI.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 il 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 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'heures (**Lacaze, 1980 in Fattal, 2008**).

### VI.9. Biodégradation :

Ce processus peut être plus efficace que la photo-oxydation elle résulte de la somme de deux biodégradations totales (**Page-Jones 1996 in Fattal, 2008**).

# Chapitre I : Généralités

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 des microorganismes (**Owens, 1994 in Fattal, 2008**) et d'autre part par la présence d'éléments nutritifs (nitrate et phosphate) dans un milieu oxygéné. (**Chalansonner et Joyeux ,2005 in Fattal, 2008**).
- ✓ La nature d'hydrocarbure : 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 la vitesse de dégradation est très variable est peu commune dans les conditions naturelles (**Lacaze ,1980**) cette vitesse décroît ainsi :

n-alcane > Iso-alcane > Cyclo-alcane > Aromatiques

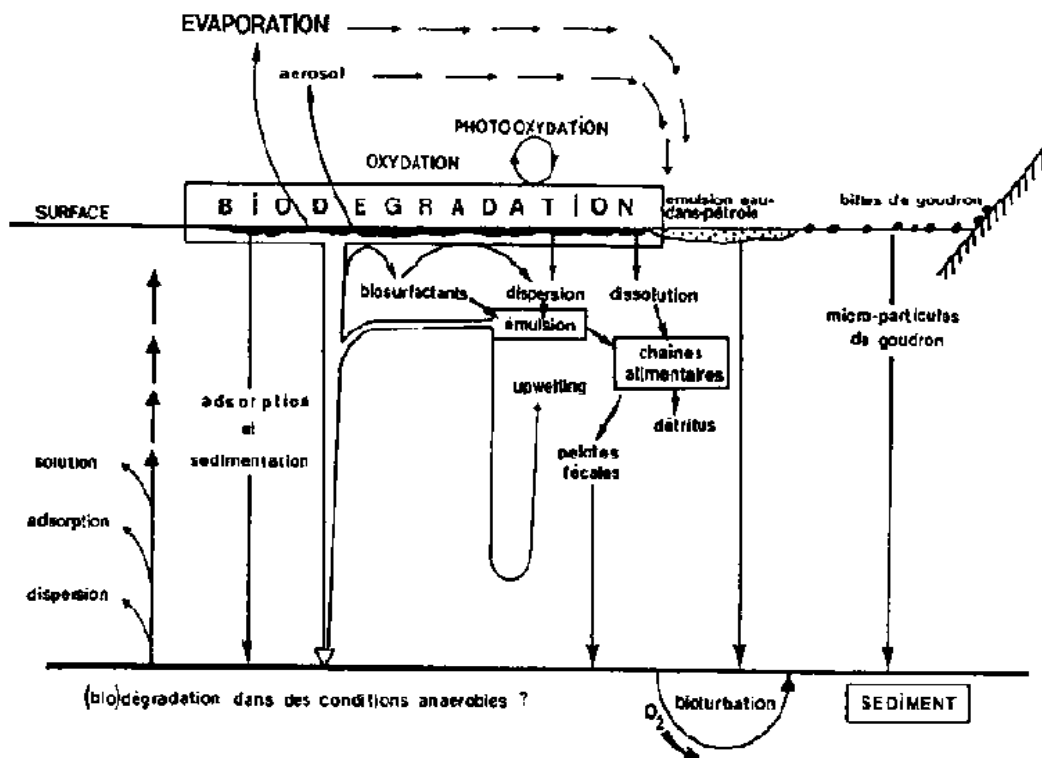


Figure I.2 : Processus physico-chimiques et biologiques intervenant dans l'évolution d'une nappe de pétrole en milieu marin (**Bertrand et Mille, 1989**).

### **VII. Causes de 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.

#### **VII.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 au cours de leur opération de routine. On distingue les eaux de ballastes, les résidus de lavage des citernes, les boues et les eaux de calcs. 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 période 1973-1981**) cause des déversements d'hydrocarbures dans les mers et océans.

Les eaux de ballaste servent à alourdir les pétroliers qui rentrent chez eux, à vide, après qu'ils aient déchargés 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 (Partie pour mille) 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'hydrocarbure des eaux de ballaste et exigé qu'il y ait des installations à terre qui puissent recevoir ces eaux de ballaste.

##### **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'installation de réception de ces résidus.

##### **c. Les boues :**

Sont issues des carburants utilisés pour les machines de pétroliers. Elles représentent à peu près 1 à 5% du volume 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 traitements.

---

## Chapitre I : Généralités

---

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.

### **d. Les eaux de cale :**

Les eaux de cale proviennent des fuites de carburant ou de lubrifiant issus 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**).

### **VII.2. Pollution par tous types de navires :**

Les pétroliers ne sont pas les seuls responsables et les déversements des 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 pêches et d'agrément ou encore de navires de guerre qui déversent dans le milieu 280 000 tonnes annuelles de polluants (**Fattal, 2008**).

### **VIII. 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'hydrocarbure (les hydrocarbures raffinés sont plus volatils et plus toxiques que les hydrocarbures lourds)
- ✓ Les espèces atteintes directement ou indirectement
- ✓ La période de déversement (la saison et stade d'évolution des espèces)
- ✓ Les conditions météorologiques
- ✓ 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 :

#### **VIII.1. Impacts sur les communautés vivantes dans 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.

### VIII.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 hydrocarbure 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 et le plancton temporaire (**Peterson et al, 2003 in Fattal 2008**).

L'engluement est 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 peu touchés par la pollution (**Lejeune 2005 in Fattal, 2008**)

### VIII.1.2. Impacts sur les bactéries :

Certaines espèces peuvent proliférer par 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 quelques cas, les bactéries comme *Flavobacterium* ou *vibrioalginoluticus* ont des capacités de dégradation du polluant (**Buckley 1980 in Lejeune, 2005 in Fattal, 2008**)

### VIII.1.3. Impacts sur le zooplancton :

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

Par exemple, un an après la catastrophe l'Amoco Cadiz est malgré le fort taux de renouvellement du zooplancton, celui-ci a connu des perturbations dans les zones côtières (**CEDR, 2000 in Fatal 2008**)

## VIII.2. Impacts sur le milieu benthique :

### VIII.2.1. Impacts sur le phytobentos :

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 général une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelque temps après la disparition de la perturbation (**Bodennic et al 1983, Sellali 1996**)

### VIII.2.2 Impacts sur le Zoobenthos :

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

---

## Chapitre I : Généralités

---

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

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

### **VIII.3. Impact sur les oiseaux et les mammifères :**

#### **VIII.3.1. Les oiseaux :**

Les oiseaux comptent parmi les êtres les plus sensibles au contact avec le pétrole. Les plumes d'oiseaux 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 ces plumes pour neutraliser les propriétés isolantes et imperméable 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 empoisonné par le pétrole lorsqu'il se lave, se 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

#### **VIII.3.2. 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 déverses, l'inflammation des muqueuses, d'ulcérations gastro-intestinales et d'obstruction des poumons.

## Chapitre I : Généralités

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

<b>Peuplement</b>	<b>Sensibilité</b>	<b>Effets à court terme</b>	<b>Effets à long terme</b>
<b>Algues</b>	Faible	Engluement ou nécrose des tissus	Bonne restauration
<b>Flore des marais marins et estuariens</b>	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
<b>Mollusques intertidaux</b>	Forte en général	Asphyxie ou contamination	Accumulation par les filtreurs Altération de la reproduction et de la croissance
<b>Ecosystèmes benthiques rocheux</b>	Forte en général	Asphyxie ou contamination	Dépend de la durée de contact Dans la zone battue, l'effet est faible
<b>Poissons</b>	Faible pour les pélagiques Forte pour les benthiques	Asphyxie par engluement sur les branchies Plaies chez les poissons fouisseurs dans des sédiments faiblement pollués	Désaffection de la zone polluée
<b>Oiseaux</b>	Variable (forte pour les plongeurs)	Engluement du plumage et contamination	Désaffection de la zone polluée

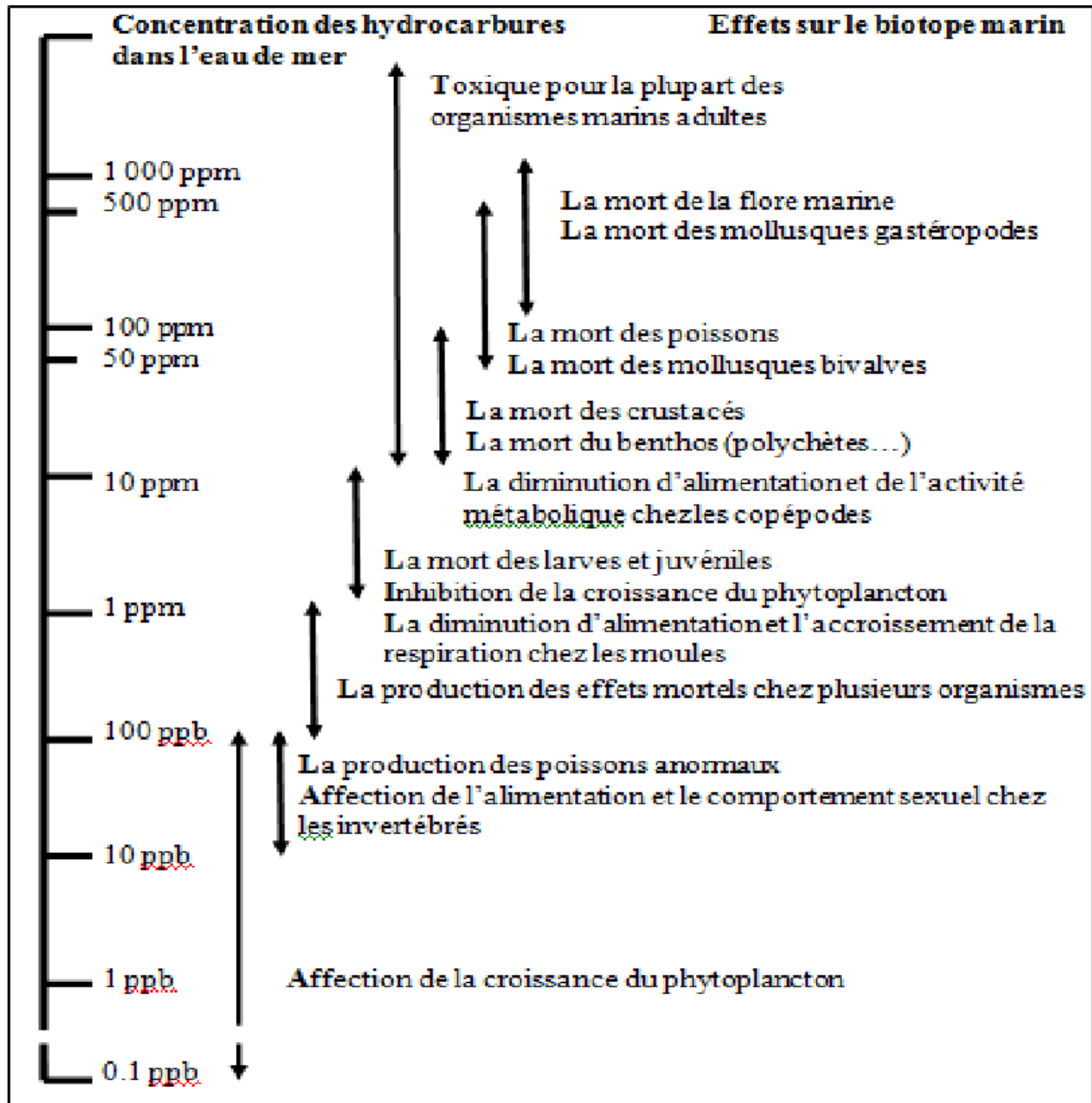
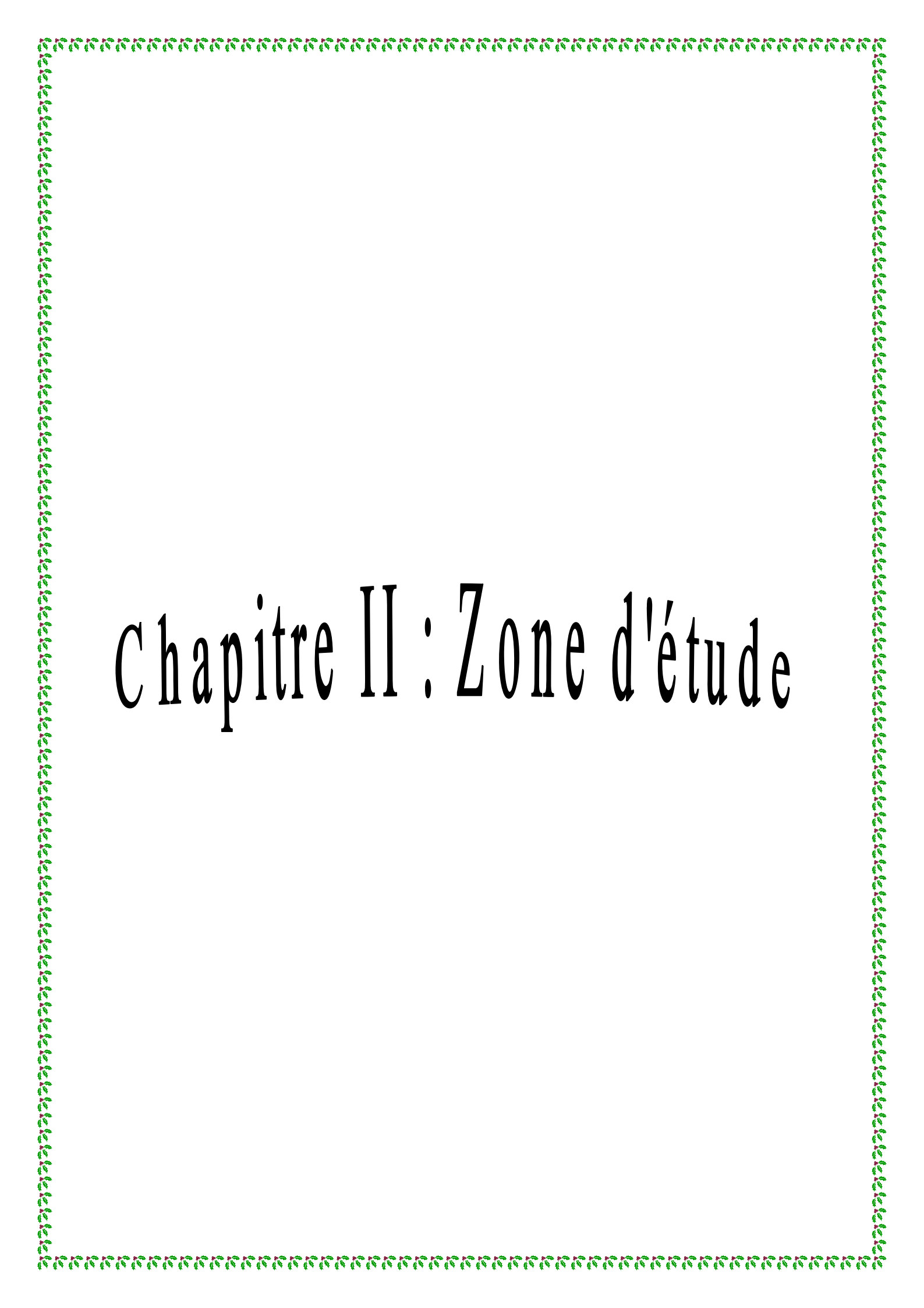


Figure I.3: Description schématique de susceptibilité des organismes marins aux hydrocarbures suivant leurs concentrations (en particulier les hydrocarbures aromatiques soluble) (O'Sullivan et Jacques, 2001 in Bocard, 2008).



# Chapitre II : Zone d'étude

### I. Situation géographique de la baie d'Alger :

Au débouché de la plaine de la Mitidja (voir figure II.1), entre le massif de Bouzaréah et le Cap Matifou, le plateau continental est large d'environ 9 km et délimite la baie d'Alger. La superficie de cette baie est d'environ 140 km<sup>2</sup>. Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celui des 100 m (0° 35'). De la Pointe Pesade au Cap Matifou, c'est à dire l'ouverture de la baie, la distance est d'environ 19 km. Le rivage de la baie s'étire sur 31 km dont 22 km de côte basse constituée de dunes et de trottoirs d'algues dans la partie Est de la baie. Par contre dans la partie Ouest le profil du littoral a été profondément modifié par les nombreux aménagements urbains et les infrastructures routières. Aux deux points extrêmes de la baie on constate : un plateau continental très réduit (1 km de largeur maximale) au pied du massif de Bouzaréah ; l'existence d'un promontoire sous-marin prolongeant le Cap Matifou et constituant au large de ce Cap un haut fond : le banc de Cap Matifou. La pente continentale relie de façon quasi rectiligne ces deux points extrêmes de la baie c'est à dire le massif de Bouzaréah et le Cap Matifou. (PAC, 2004)

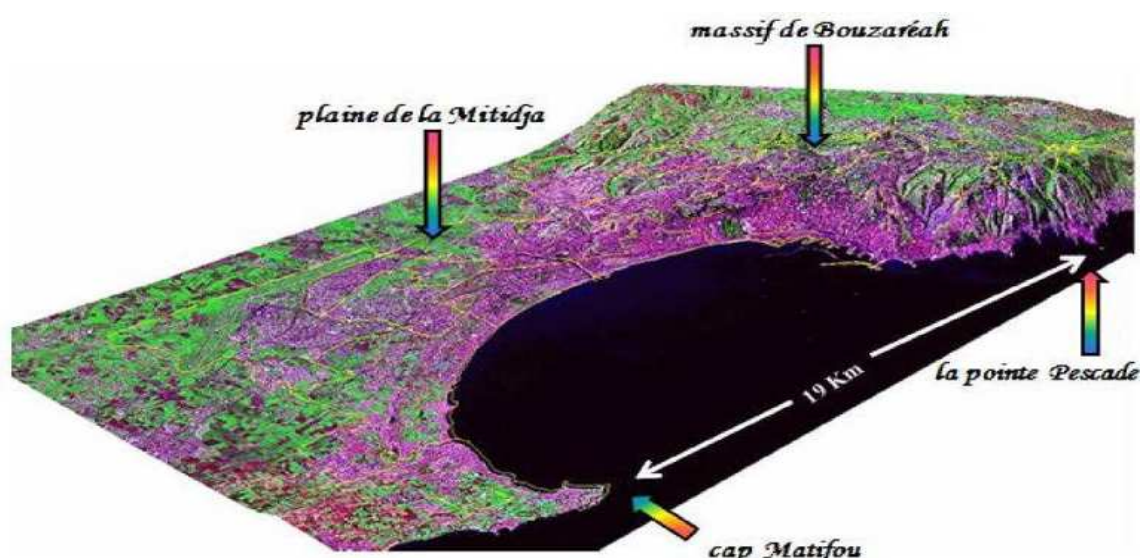


Figure II .1: La délimitation de la baie d'Alger (JICA, 2006 ; modifiée)

#### I.1 .1. Port d'Alger :

Le port d'Alger a trouvé son origine dans un mouillage naturel mal abrité, situé entre la côte et les îlots dénommés EL-Djezaïre, d'où la capitale algérienne tire son nom d'Alger.

Utilisé par les Phéniciens sous le nom d'Icosim devenue Icosium pour les Romains, le site d'Alger est resté sans grand changement entre le quatrième et le septième siècle. Ces premiers navigateurs aimaient trouver dans cette anse enfoncée dans les terres un abri sûr contre les vents (Delvert, 1923).

## Chapitre II : Zone d'étude

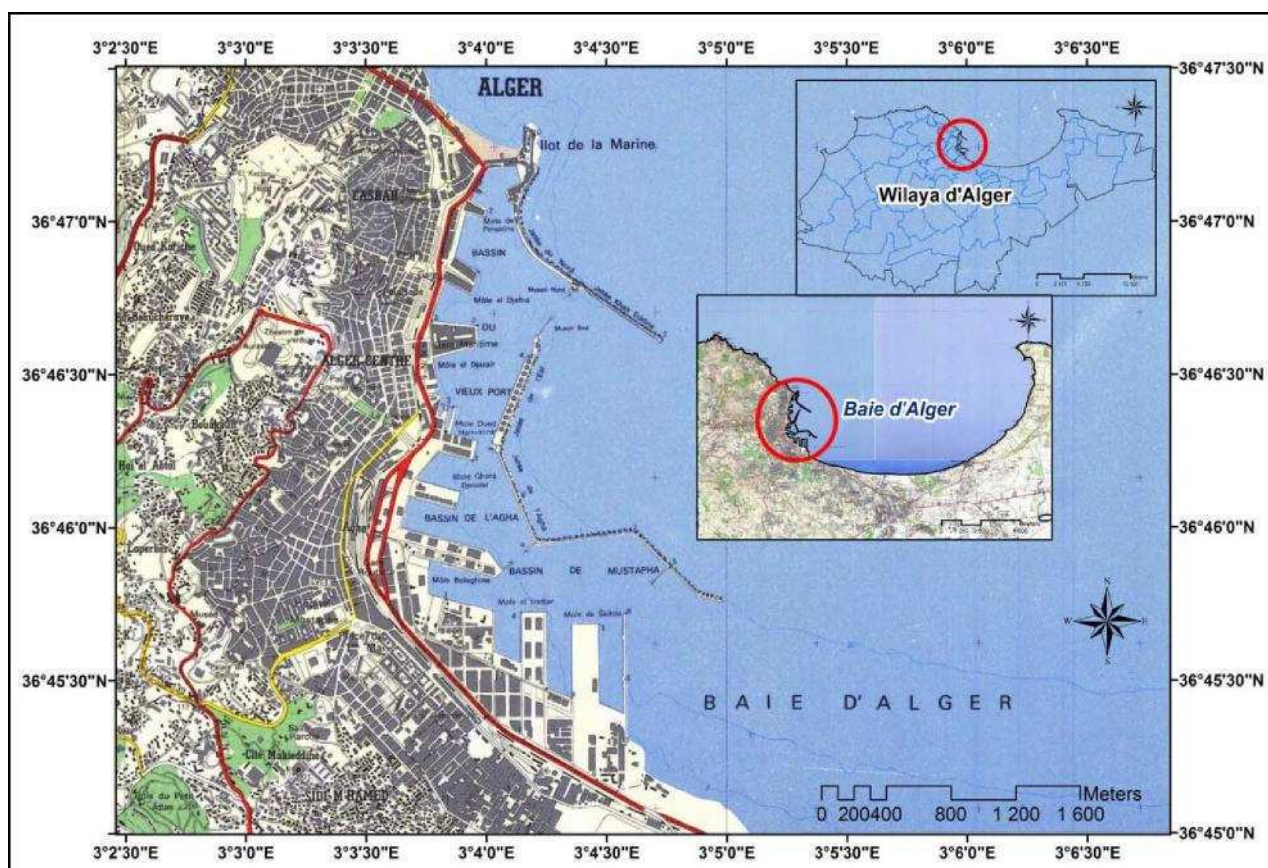


Figure II.2 : Situation géographique du port d'Alger.

### I.1.2 : 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 m;
- ✓ Au Nord-est : La jetée Nord enracinée dans l'îlot de la marine de 700 m, prolongée par une jetée de 600 m;
- ✓ A l'Est : La jetée de l'Agha de 600 m;
- ✓ Au Sud-est : La jetée Mustapha de 1.300 m;
- ✓ Au Sud : Le brise lame Est de Mustapha de 1.000 m.

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

- ✓ **Bassin du vieux port 75 ha** : 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) moles et Trois (03) quais sur 300 m.

## Chapitre II : Zone d'étude

- ✓ **Bassin de l'agha 35 ha** : 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 moles (3, 4 et 5), il est destiné aux navires marchands avec des entrepôts couverts au non couverts de quai (2700 m de quai).
- ✓ **Bassin de Mustapha 74 ha** : 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 lame-Est. Il possède deux môles (6 et 7) ainsi qu'un port pétrolier au quai et l'implantation d'importantes unités industrielles et aussi une intense activité portuaire.

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

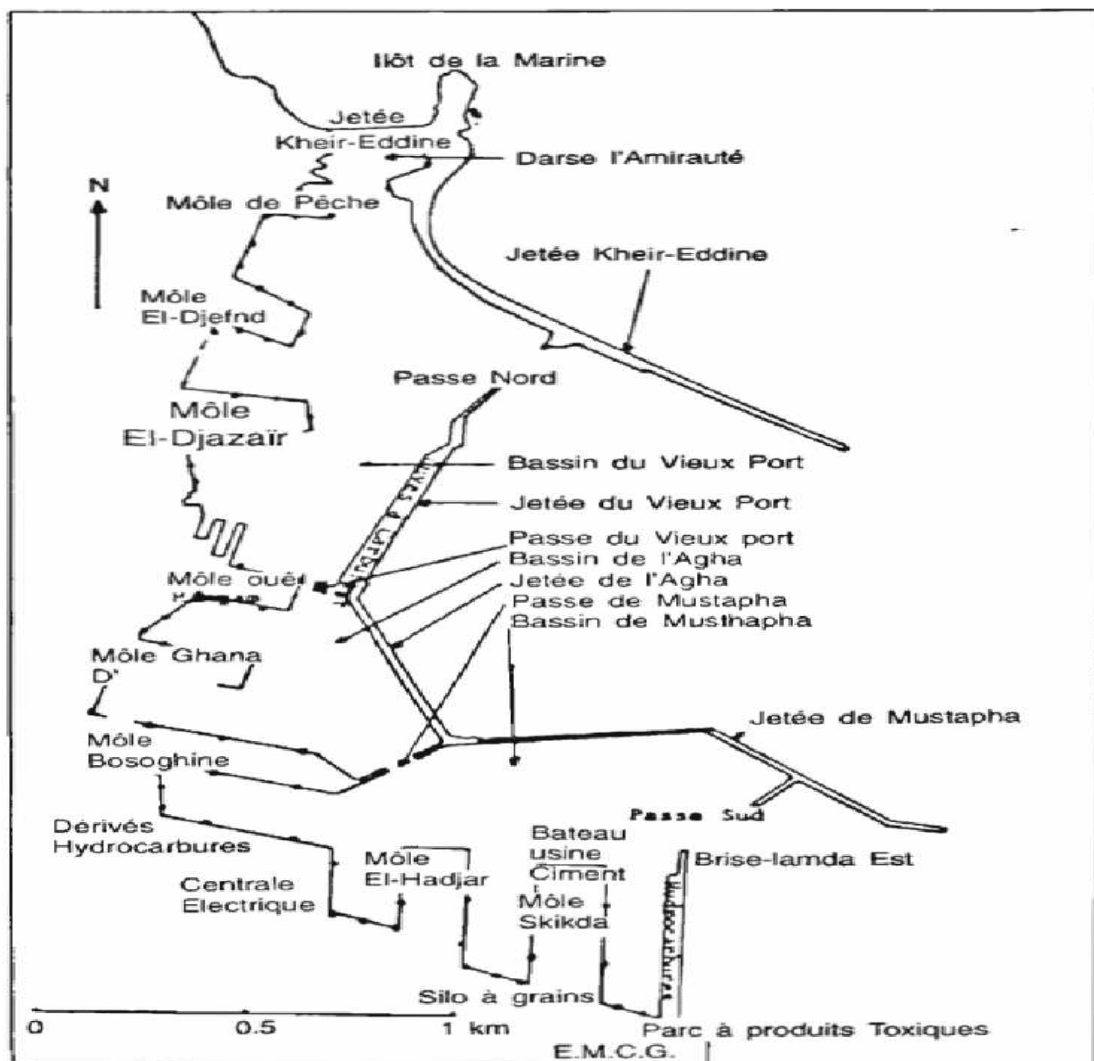


Figure II.3: Ouvrages du port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990).

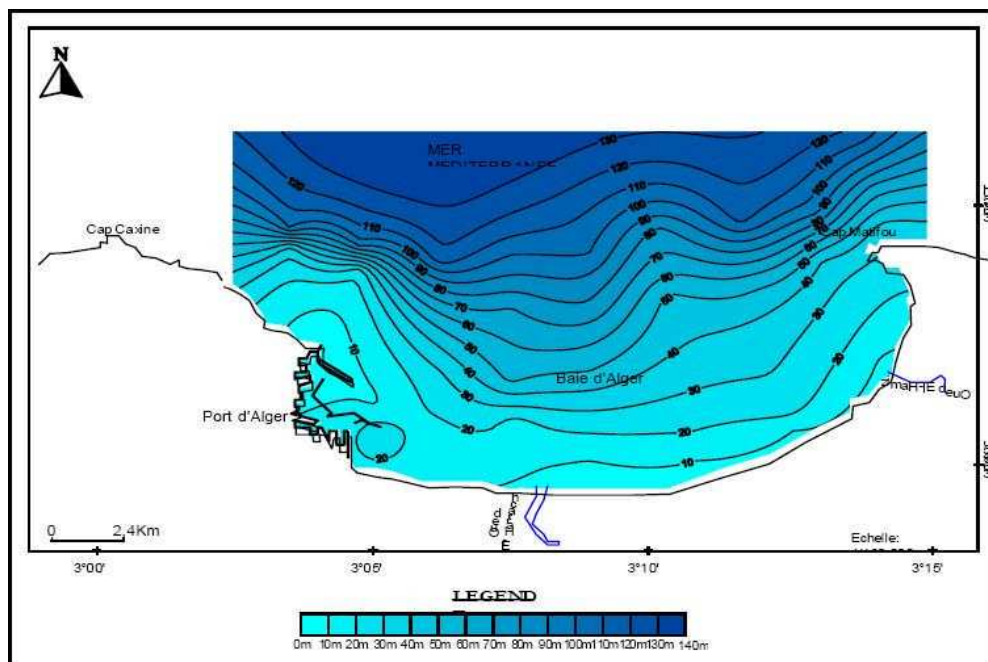
### I.1.3 : Entrée des navires au port

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.

### I.1.4 .Bathymétrie :

a) **baie d'Alger** : une carte bathymétrique révèle une morphologie sous-marine régulière sans accidents topographiques majeurs, la pente continentale passe du massif de Bouzaréah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, les isobathes sont régulières et parallèles à la côte et la distance qui sépare deux isobathes est d'environ 6 milles descendante en pente douce et uniforme de 0 à 100 m ( $0^{\circ}35'$ ) (Leclaire, 1972).



**Figure II.4:** Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007).

La carte bathymétrique (Figure II.4) constitue un document fondamental, et nécessaire pour reconnaître et interprète la morphologie sous-marine.

**B) Port d'Alger** : 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.

## Chapitre II : Zone d'étude

- **Bassin du vieux Port :** les profondeurs dans ce bassin varient entre 2 m et 19 m 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 Djazaïre avec une pente relativement douce allant jusqu'à (-19 m) au niveau de la passe Nord, qui sert d'accès aux navires à grand tirant d'eau. Les profondeurs moyennes varient entre (12 et 17 m).
- **Bassin Agha :** les profondeurs varient entre 5 et 12 m, les plus importantes sont situées à l'intérieur du bassin entre 10 et 12 m et diminuent progressivement en allant vers les darses et la jetée Agha jusqu'à 9 m de profondeur.
- **Bassin Mustapha :** les profondeurs dans ce bassin sont comprises entre 2 et 16 m, l'essentiel des profondeurs est compris entre 11 et 15 m. Au niveau de la passe sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de 6 m à 14 m à partir du brise-lame-Est jusqu'à la passe Sud, où elles sont plus importantes. Le long de la jetée Mustapha, les isobathes sont serrées (de -14 à -2m) ; quant à l'intérieur du bassin les profondeurs varient peu de 11 m à 15 m.

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

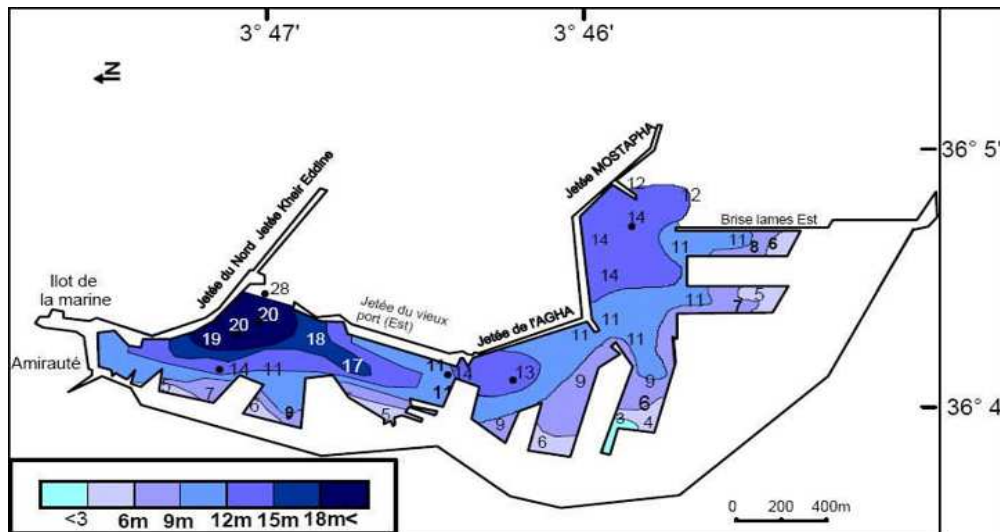


Figure II.5: Bathymétrie du Port d'Alger (Belkessa, 2005).

### II. Paramètres météo-océanologiques

La connaissance de condition météorologique et hydrologique de la baie d'Alger est très importante pour une bonne compréhension du régime hydrodynamique prépondérant sur la distribution des paramètres physiques, chimiques et biologiques étudiés, ainsi que la dispersion des polluants.

### a) Le vent :

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

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

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**).

### b) Les températures de l'air et les précipitations (tableau 2 annexes):

La région d'Alger est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides, et cela à partir des données de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) 2003 de Der EL Beida (**in Bachouche, 2003**).

#### ▪ Les températures de l'air :

A partir du tableau 2 (annexes) on voit que la baie d'Alger est caractérisée par des températures moyennes mensuelles qui varient entre 11,7 °C et 26,30 °C. Ainsi nous avons à partir des données relatives aux températures : le mois d'août avec une moyenne de 26,30 °C, est le mois le plus chaud, et Janvier avec une moyenne de 11,7 °C, est le mois le plus froid.

De cette analyse on peut dire que la baie d'Alger possède un climat à deux saisons bien contrastées :

- Une saison froide qui s'étend du mois de Octobre jusqu'au mois d'Avril avec une moyenne de 14,11 °C.
- Une saison chaude, allant du mois de Mai au mois de Septembre avec une moyenne de 23,16 °C.

L'Office National de la Météorologie (ONM) a enregistré pendant trois ans (1996, 2003 et 2004) dans la région du port d'Alger. La température moyenne maximale est enregistrée durant la période estivale pour les deux saisons est relevée en mois d'août (26 à 27 °C) et la température minimale est relevée en mois de Février (11 à 14 °C).

#### ▪ Les précipitations :

Dans la baie d'Alger, les pluies sont importantes en automne et surtout en hiver. La période pluvieuse s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai avec une moyenne maximale de 104,57 mm en mois de Décembre, alors que la période d'été est pratiquement sèche, avec une moyenne mensuelle des précipitations exprimées en Millimètre du tableau 2 mettre en évidence deux saisons :

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

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.

### III. Facteurs hydrodynamiques :

#### III.1. La houle :

Etant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972).

En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et, en été, elles sont de direction N-NE (20°-40). (Benzohra, 1993, LEM, 1998 Belkessa et al 2008,)

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisent leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont en fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments. (Millot, 1989)

Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40 m à - 60 m"

#### III.2. Les courants :

La mer Méditerranée est connue par son excès d'évaporation par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an, ce déficit est compensé par un flux entrant (de 31600 Km<sup>3</sup>/an) d'eau

## Chapitre II : Zone d'étude

atlantique, par le détroit de Gibraltar. Ces eaux de salinité ( $S < 36,5$  PSU), au fur et à mesure de leur progression vers l'Est, elles se « méditerranisent » le long des côtes algériennes, d'où l'appellation du courant algérien.

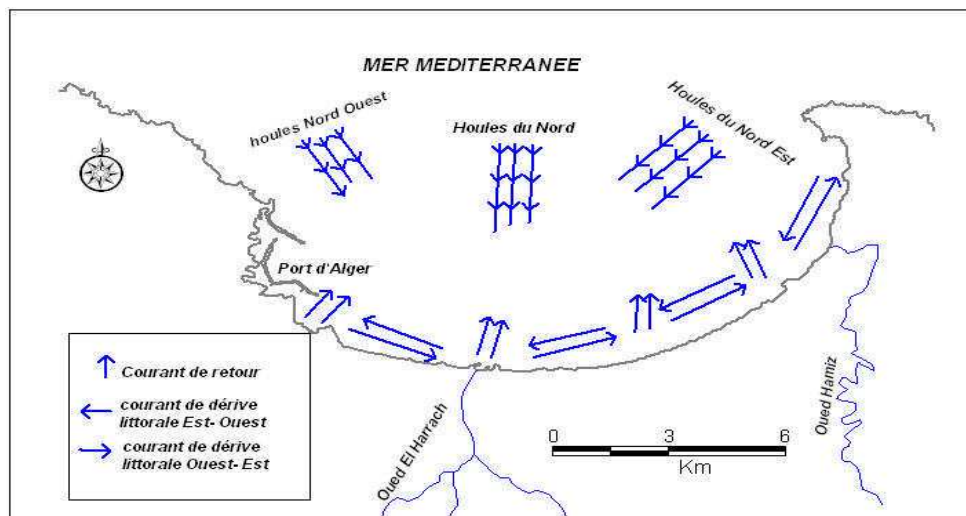
Les côtes algériennes sont plus ou moins influencées par ce courant, qui agit sur la distribution des facteurs physico-chimiques, nutritifs, biologiques voire sur la dispersion des polluants.

La vitesse du courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'Est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s, au large des côtes algériennes. Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre courant littoral vers l'Ouest (LEM, 1998; Benzohra, 1993).

Le courant de retour : correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

Les courants de dérive littorale : Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (Millot, 1987). Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

La dérive générale dans la baie d'Alger engendrée par le courant atlantique tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h. A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM, 1998).



**Figure II.6:** Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998)

## Chapitre II : Zone d'étude

---

La baie d'Alger a la même circulation que le bassin algérien, ces masses d'eau sont décrites par **Chouikhi et al. (1993)** comme suit :

**MAW** (*Modified Atlantic Water*), ou l'Eau Atlantique Modifiée : elle constitue l'essentiel du courant algérien, qui est défini comme une veine de 30 à 40 Km de largeur et de 150 à 200 m d'épaisseur, c'est de l'eau océanique qui est modifiée par interaction avec l'atmosphère et le mélange avec les eaux méditerranéennes. Elle est caractérisée par des températures variables en surface (15 à 23°C), et des salinités variant de 36,5 à 38 PSU. Ce courant circule d'Ouest en Est ayant des vitesses maximales de l'ordre 80-100 cm/s (**Perkins et al. 1990; Millot et Taupier, 2005**). Ce courant génère des upwellings côtiers plus ou moins intenses près des côtes (**Millot, 1989**).

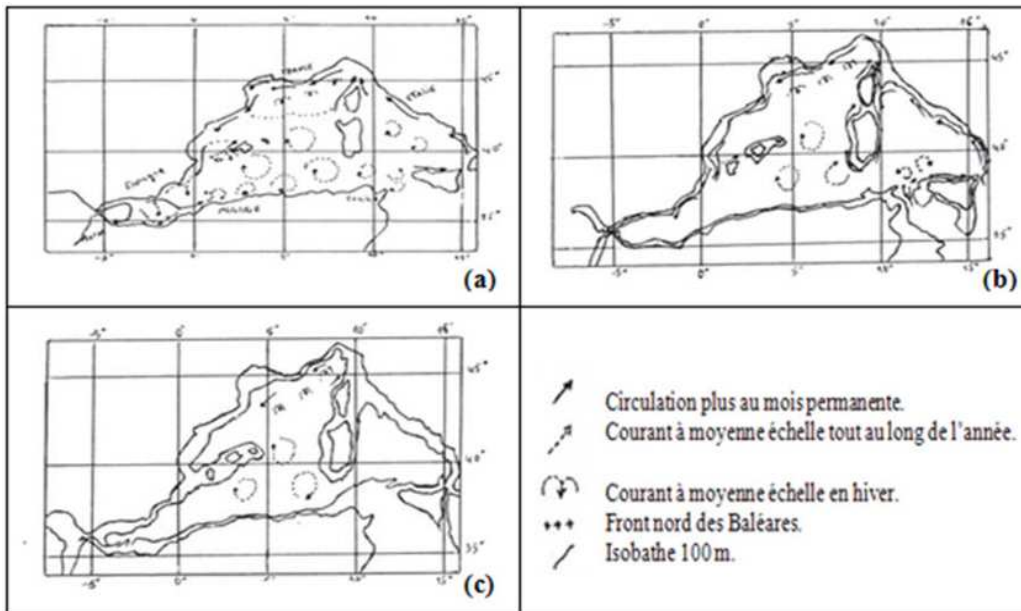
**WIW** (*Winter Intermediate Water*), ou l'Eau Hivernale Intermédiaire, formée lors de convections hivernales dans le bassin nord occidental (mer catalane, golfe du Lion), elle se situe entre 150 et 250 m, avec un minimum relatif de température (~ 12,65 à 13,20°C) et une salinité d'environ 38,3 PSU.

**LIW** (*Levantine Intermediate Water*), ou l'eau Intermédiaire Levantine, formée en Méditerranée, elle se situe sous la WIW entre 250-300 m et 500-600 m est reconnaissable par des maxima relatifs de température potentielle (13,2 à 14° C). Figure (b)

**DW** (*Winter Mediterranean Deep Water*), ou l'Eau Méditerranéenne Profonde, située sous la LIW, elle est identifiable vers 600-700 m par de faible température variant de 12,75 à 12,90° C et une salinité entre 38,42 et 38,47PSU. Elle se forme au cours d'hivers rigoureux par le mélange de LIW et MAW. Figure (c)

**BW** (*Bottom Water*), ou Eau de Fond, ayant une épaisseur de quelques centaines de mètres. Episodiquement, elle se situe près du fond. Elle est relativement plus chaude et plus salée que l'eau profonde.

(a): Circulation de l'Eau Atlantique Modifiée (MAW), (b): Circulation de l'Eau Levantine Intermédiaire (LIW), (c): Circulation de l'Eau Profonde (DW).



**Figure II.7 :** La circulation de l'eau dans le bassin algérien (Millot, 1989).

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

### III.3. Circulation des eaux dans le port

La circulation des eaux portuaires a été établie par Rebzani-Zahaf (1990). 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).

### III.4. Marée et variation du plan d'eau

Sur les côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomiques est de l'ordre de 6 cm et dépasse rarement les 20 cm avec des périodes de 24 h et 12h environ, à

l'exception de celle enregistrée dans la région de Skikda qui est de l'ordre de 30 cm (**Ferrag et Heddad, 1993**).

En plus de la marée astronomique, le niveau d'eau sur la côte algéroise change cela il est dû aux autres efforts, tels que la pression barométrique et le vent. Mais au total, la variation du niveau d'eau est faible. Les hautes eaux sont généralement observées en saisons hivernales.

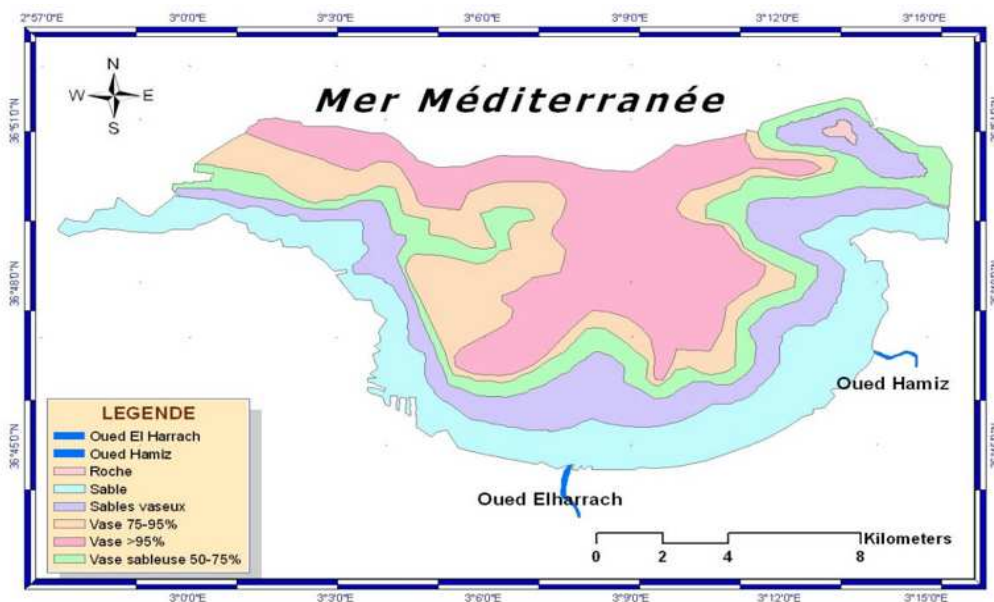
#### IV. Nature de fond – Couverture sédimentaire.

Il est nécessaire de connaître la nature du fond, de la zone d'étude, en effet, trois faciès sédimentaires existent dans la sédimentologie de la baie d'Alger. (Figure II .8).

##### ➤ **Faciès sableux.**

Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires, et en prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie. (**Belkessa, 1999; Maouche, 1987**)

- **Les sables fins** : sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
- **Les sables moyens** : sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.
- **Les sables grossiers** : sont prédominants dans le secteur Est où ils sont mélangés aux faciès pélitiques (du Cap Matifou vers l'embouchure de Oued El Hamiz).



**Figure II.8:** Nature du fond de la baie d'Alger. (**Maouche, 1987**).

## Chapitre II : Zone d'étude

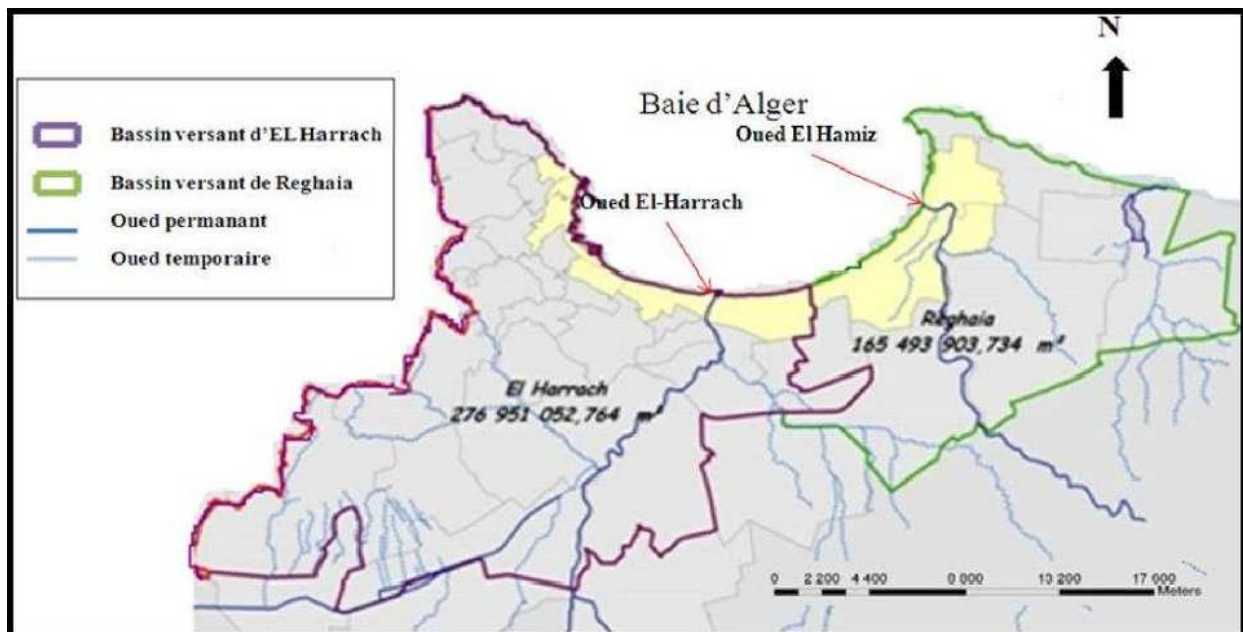
Les travaux de sédimentologie ou sur la nature des fonds en baie d'Alger, comparativement aux autres baies et golfes de la côte algérienne, sont nombreux et détaillés. **Le Danois (1925), Grovel (1961), Leclair (1972), Caulet (1972), Petit (1972), Maouche (1987)** sont les principaux auteurs ayant abordé l'étude de la couverture sédimentaire de la baie.

Ces différentes études ont mis en évidence :

1. La distribution bathymétrique des sédiments de la côte vers le large selon un gradient d'envasement croissant ;
2. Des sables fins essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds de la baie ;
3. Des zones sédimentaires de transition : les sables envasés et les vases sableuses, assurant le passage progressif des sables fins infralittoraux aux vases pures ;
4. Des vases pures dans la partie centrale et septentrionale de la baie, témoignage d'un important envasement de ce secteur de la baie d'Alger ;
5. Des graviers organogènes ou des formations grossières carbonatées localisés uniquement aux zones très réduites du plateau continental qui font suite aux bordures rocheuses Est et Ouest de la baie (**PAC, 2004**).

### V. Réseaux hydrographiques

La baie d'Alger est alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz, ces cours d'eau prennent leur source dans l'Atlas Blidéen et traversent la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer. Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps.



### V.1.Oued El Harrach

Situé dans la partie Est de la baie d'Alger, il a pour coordonnées géographiques 3° 08' longitude Est et 36° 45' latitude Nord. L'oued El Harrach prend sa source dans la partie Nord de l'atlas Blidéen. Il a deux affluents à la source "Akaa" et "Mekta". Ainsi formé, l'oued coule en direction Nord Est et forme un passage hors de l'atlas Blidéen par la percée du rocher de pigeons puis élargit son cours dans la plaine de la Metidja avec un bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m<sup>3</sup>/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de part sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée. (**Charakdji et al, 2006**).

### V.2.Oued El Hamiz

Son embouchure se situe près du cap Matifou.

Les principaux affluents :

- Oued Segia (Oued Bouera) ;
  - Oued Barek (dérivé artificiellement dans l'oued El Hamiz) avec un bassin
- Son débit est régularisé par un barrage, son embouchure est mal aménagée et les rejets affectent directement la surface de la mer. (**Assou ; 1982**).

## VI. Etat de la pollution

Les communes littorales de la baie d'Alger contiennent 1352 unités industrielles (**Entreprise portuaire d'Alger, LEM, 1998**). L'installation de ces nombreuses zones industrielles le long du littoral du grand algérois a fait augmenter le risque de la pollution de l'environnement marin. Des concentrations élevées en phosphates dissous signalées dans la baie d'Alger par Boulahdid et al (2003). En effet, la quasi-totalité des affluents de toutes les natures se jette directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable (figure 7) dont les principales sources sont :

- Le port d'Alger par les activités portuaires et les égouts qui s'y déversent.
- Les émissaires urbains du secteur Hussein-dey qui véhiculent les rejets domestiques et industriels de la ville d'Alger.
- Une multitude d'égouts, de moindre importance, non signalée par les services du cadastre, déversent les eaux usées d'origine domestique dans la baie.
- Les nombreux navires en mouillage dans la rade, constituent également un risque de pollution des eaux de la baie.

## Chapitre II : Zone d'étude

---

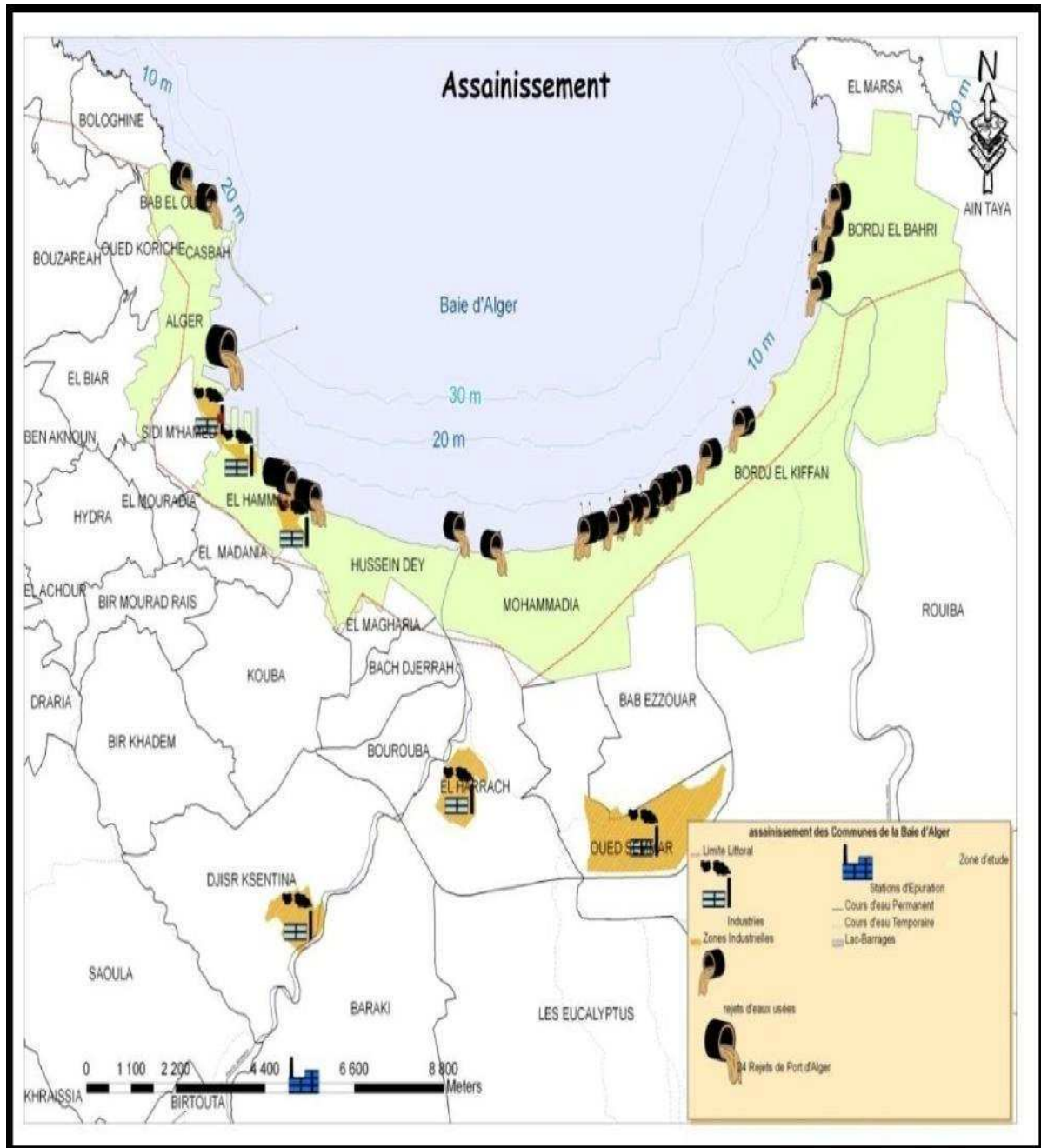
Les apports atmosphériques, en relation avec l'intense circulation automobile, particulièrement dans la ville d'Alger.

L'oued El-Harrach, véritable égout à ciel ouvert, se déverse au milieu de la baie. Les courants Est-Ouest contribuent à rendre insalubre la moitié Ouest de la baie, le port d'Alger compris. Depuis toujours, il a constitué le réceptacle «naturel» des eaux résiduaires des communes de son bassin versant. Constituées pour la plus grande partie par des effluents domestiques, les eaux de cet oued, du fait du développement industriel, reçoivent un apport non négligeable d'eaux usées industrielles, charriant des produits chimiques et des substances toxiques ; les eaux de cet oued sont déversées directement dans la baie où le milieu marin est aujourd'hui sérieusement dégradé (**Idjer et al. 1997**)

L'oued El Hamiz dont le débit, régulé par un barrage, s'est vu diminuer sensiblement. Le lit de cet oued est jonché de débris et reçoit des rejets domestiques, essentiellement.

**Tableau 03** : Les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (**LEM, 1998**).

<b>Communes de la baie d'Alger</b>	<b>Unités industrielles</b>	<b>Nombre de rejets d'eaux</b>	<b>Influence sur la mer</b>
<b>Bab El Oued</b>	5	1	rejets
<b>Casbah</b>	0	1	rejets
<b>Alger Centre</b>	10	24	Rejets au PORT
<b>Hamma</b>	5	3	rejets
<b>Hussein Dev</b>	16	3	rejets
<b>Mohammadia</b>	5	4	Oued El Harrach et rejets
<b>Borj El Kiffen</b>	4	8	Oued El Hamiz et effluents
<b>Borj El Bahri</b>	0	4	Oued El Hamiz, rejets



**Figure II.10:** Assainissement et relation entre zones industrielles et rejets des eaux usées dans baie d'Alger (LEM, 1998).



# Chapitre III : Matériel et méthodes

### I. Travaux effectués en mer.

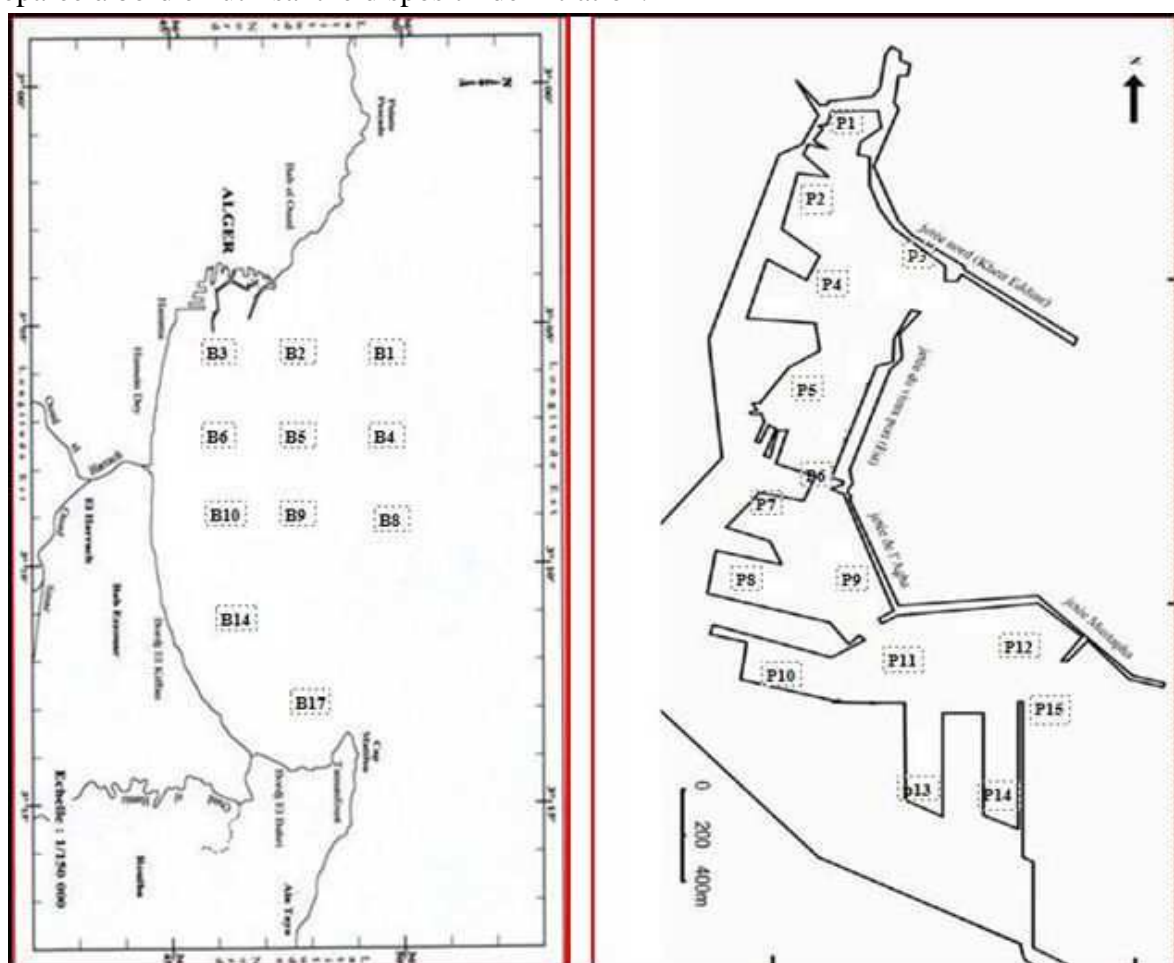
#### I.1. Choix et localisation des stations de prélèvement :

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

Les prélèvements ont été effectués à travers 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 de la baie d'Alger ainsi le port, 23 échantillons ont été prélevés pour l'étude de l'impact de la pollution par les hydrocarbures dans la baie et le port d'Alger.

La mesure des paramètres physicochimiques (T °C, pH, Oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène, salinité, conductivité) ont été réalisés in situ, à l'aide des valises multiparamètres. La filtration pour la mesure des matières en suspension a été séparée à bord en utilisant le dispositif de filtration.



Localisation des stations au niveau du port et de la baie d'Alger

### I.2. Matériels de prélèvement :

Pour les prélèvements d'eau de mer à la surface, nous avons utilisé une bouteille à clapet (type NISKIN) qui est constituée d'un cylindre, ouvert aux deux extrémités et que l'on ferme à distance. La bouteille est placée sur le câble hydrographique et sa fermeture s'obtient par déclenchement d'un mécanisme sous le choc du *messenger*, masselotte métallique que l'on laisse coulisser le long du câble (figure III.1).



**Figure III.1** : une bouteille à clapet (type NISKIN)

Pour les prélèvements du sédiment, nous avons utilisé une benne preneuse métallique de 5 kg environ qui 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 III.2).



**Figure III.2**: une benne preneuse métallique de 5 kg.

### **I.2.1. Prélèvement d'eau de mer pour la mesure des paramètres de pollution :**

Pour la mesure des paramètres physicochimiques, et la matière en suspension. Des flacons en polyéthylène de 250 ml ont été préalablement rincés à l'eau du robinet. Puis rincé une deuxième fois à l'eau acidulée à base de l'HCL à 10 %. Un autre rinçage est réalisé à l'eau distillée.

- La filtration pour la matière en suspension est réalisée sur le bateau.
- Un étiquetage précis est élaboré pour une aisance reconnaissance des stations avant le remplissage des flacons.

### **I.2.2. Mesures in situ (Paramètres physicochimiques) :**

#### **a) 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 (*wissenschaftlich technische werkstätten*) d'une précision de  $\pm 0,5$  % lecture. Les valeurs de la salinité et de la conductivité s'affichent par une unité de (‰) et de ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) respectivement.



**Figure III.3:** Conductimètre de type 3L5 (*wissenschaftlich technische werkstätten*)

#### **b) Mesure de l'oxygène dissous et de la température**

Nous avons 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 béccher de prélèvement. Les valeurs de l'oxygène dissous et la température s'affichent par une unité de (mg/l) et ( $^{\circ}\text{C}$ ) successivement avec une précision de  $\pm 0,5$  % lecture.

L'oxymètre affiche la valeur de pourcentage de saturation d'oxygène dissous avec une unité de pourcentage (%).

#### **c) Mesure du potentiel d'hydrogène :**

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

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

Après calibrage au laboratoire, nous procédons 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.

### I.2.3. Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures :

Les prélèvements d'eaux 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.

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 d'hexane et agiter pendant 3 minutes. L'échantillon est conservé au frais à l'abri de la lumière.



**Figure III.4:** Bouteille en verre teintée d'une capacité de 2.5 l

### I.2.4. Prélèvement des sédiments superficiels :

Les échantillons de sédiments sont prélevés à l'aide d'une benne preneuse inoxydable « Van Veen ». La benne est ouverte à partir du navire, est conçue de telle manière que sa fermeture soit automatique au contact du fond.

Une fois que la benne remontée, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule qui est à chaque fois lavée pour éviter toute contamination. Les échantillons sont ensuite mis dans des boîtes de pétri en verre préalablement étiquetées.



**Figure III.5:** Benne preneuse inoxydable ouverte « Van Veen ».

### I.3. Conservation des échantillons

A bord du navire, les échantillons de sédiments marins sont congelés à  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La congélation permet de conserver l'essentiel des propriétés chimiques des échantillons, et d'éviter une contamination avec le milieu ambiant et les pertes d'éléments volatils.

## II. Travaux effectués en laboratoire :

### II.1. Détermination des paramètres de pollution :

#### II.1.1. Matière en suspension (MES) :

Du fait de son impact sur la transparence de l'eau, la productivité primaire phytoplanctonique et sur les échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (**Aminot et chausse-pied, 1983**). Ce paramètre est important à déterminer lors des milieux aquatiques.

##### a) Principe

Cette mesure consiste à filtrer l'eau sur une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à  $0,45\text{ }\mu\text{m}$  (**Aminot et chausse-pied, 1983**). La différence de poids des filtres avant et après filtration permet de connaître la masse sèche totale de matière en suspension dans le volume filtré correspondant. La précision sur la concentration de MES dépendante du volume filtré et la sensibilité de la balance (**Rodier et al, 2005**). La norme française T90-105 AFNOR (1972) recommande l'utilisation des disques filtrants en fibre de verre (GF/F) de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$  de porosité pour les eaux côtières et les eaux du large (**Aminot et chausse-pied, 1983**).

##### b) Matériel utilisé

- Dispositif de filtration (bouteille de filtration, pompe sous vide).
- Disques filtrants en fibre de verre (ou filtre GF/F).
- Etuve de type NEMMERT.

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

- Balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au 1/10000 g).
- Eprouvette graduée de 250 ml et des pinces.

### c) Mode opératoire :

#### 1) Préparation du filtre au laboratoire :

- Mettre les filtres au four à 450-500°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 boîtes 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).

#### 2) Filtration de l'eau de mer (réalisée a bord du navire):

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration ;
- Mesurer aussitôt le volume à filtrer ( $V_F=250$  ml) ;
- Placer un filtre et le centrer dans le dispositif de filtration ;
- Verser l'échantillon sur le filtre, appliquer le vide et filtrer progressivement tout le volume mesuré ;
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec et verser alors 5 à 10 ml d'eau distillée ;
- Remettre chaque filtre dans sa boîte numérotée ;
- Mettre les boîtes à sécher immédiatement.



**Figure III.6 :** Dispositif de filtration (bouteille de filtration, pompe sous vide).

### 3) Séchage et pesés des filtres :

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans couvercle, dans une étuve à 70 °C pendant 2 h (**Aminot et chausse-pied, 1983**).
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et n'en sortir que juste avant la pesée
- Peser chaque filtre P<sub>2</sub> mg.

### 4) Calcul et expression des résultats

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

$$[\text{MES}] \text{ (mg/L)} = [(P_2 - P_1)/V] \dots\dots\dots(3.1)$$

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

P<sub>1</sub> : Poids du filtre sec avant filtration (mg).

P<sub>2</sub> : Poids du filtre sec après filtration (mg).

V : Volume d'eau filtré (L).

### II.1.2. Détermination de la matière organique particulaire (MOP)

Le milieu marin contient naturellement des composés organiques provenant essentiellement des organismes vivants et de leur produit d'élimination et de dégradation.

La matière inorganique particulaire constituant la concentration des eaux en matières en suspension, ainsi étant un pourcentage important de la concentration de matières en suspension des eaux marines. La détermination de la MOP définit le niveau de pollution organique favorisant un accroissement de la production primaire (**Rodier et al, 2005**).

#### 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 creusets avant et après calcination, ainsi la soustraction de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire. La MOP est majoritairement d'origine phytoplanctonique.

#### b) Matériel utilisé :

- Four à moufle de CARBOLITE de type CWF 1200.
- Des creusets en porcelaine.
- La 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 MES, sont conservés afin de déterminer la charge des eaux en MOP dans un dessiccateur, dans le but d'éviter qu'ils absorbent l'humidité de l'air ;

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

- Après nettoyage des creusets pour leur enlever toute la poussière, numéroter les ;
- Peser les creusets vide pour avoir P<sub>3</sub> ;
- Plier chaque filtre en 4 à l'aide de deux pinces en mettre dans un creusé ;
- Peser en suite les creusets avec le filtre P<sub>4</sub> ;
- Placer les creusets dans le four à moufle et programmer la température à 600°c
- Patienter que la température du four atteigne 600°C et commencer à compter 2 heures ;
- Une fois les deux heures écoulées, programmer une deuxième fois la descente progressive de la température jusqu'à elle atteigne 100°C ;
- Retirer les creusets à l'aide d'un bras métallique et les mettre dans un dessiccateur ;
- Une fois refroidis, posé les filtres calcinés pour la dernière fois P<sub>5</sub>.

### d) Calculs et expression des résultats :

Le calcul de la concentration en MOP s'est fait avec la formule suivante :

$$[\text{MOP}](\text{mg/l}) = (P_4 - P_3) - (P_5 - P_3) \dots\dots\dots (3.2)$$

P<sub>3</sub>: est le poids du creuset vide;

P<sub>4</sub> : est le poids du creuset avec le filtre avant calcination ;

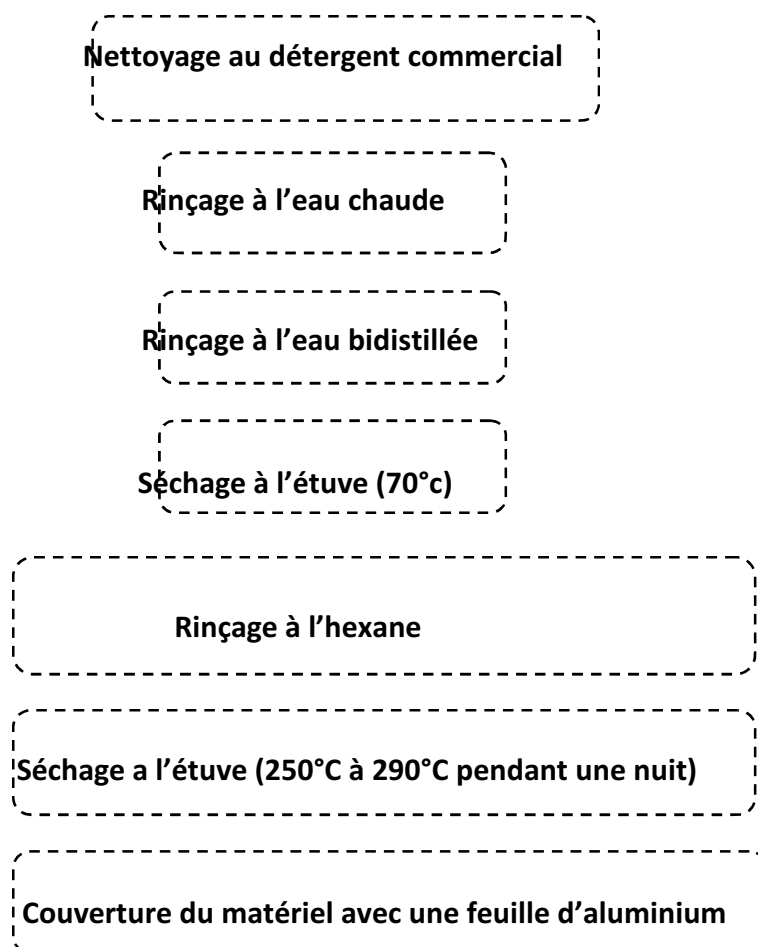
P<sub>5</sub> : est le poids du creuset avec le filtre après calcination.

## III. Dosage des hydrocarbures (aliphatiques et polyaromatiques) :

### III.1. 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 III.7 :** Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995)

### III.2. Eau de mer :

#### III.2.1. Prélèvement et Echantillonnage :

- Les prélèvements sont réalisés à la surface directement dans un flacon de verre teinté d'une capacité de 2,5 litres monté sur un bâti lesté ;
- Pour limiter les risques de contaminations et de pertes dus aux matériaux et aux transvasements, les bouteilles de prélèvement classiques sont à éviter, et les prélèvements sont effectués à l'avant du bateau ;
- Les bouteilles sont refermées avec des bouchons en Téflon entourés de feuilles d'Aluminium rincées à l'hexane ;
- Une première extraction est effectuée immédiatement après le prélèvement, pour chaque échantillon, en ajoutant 50ml de l'hexane et agiter pendant 3 minutes ;

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

- Les échantillons sont conservés au frais (-4°C) et à l'abri de la lumière. Cette précaution est de mise étant donné la photosensibilité de certains HAP ;
- Avant d'être analysés, les hydrocarbures doivent subir un prétraitement et de traitement.

### III.2.2. Extraction :

Une première extraction est effectuée immédiatement après le prélèvement en ajoutant 50 ml de l'hexane pour chaque échantillon et agiter pendant 3 minutes.

L'hexane 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 versant dans une ampoule à décanter le volume total d'échantillon (2,5 l), et en ajoutant 50 ml d'hexane on procède à une agitation mécanique pendant 20 minutes environ,

A la fin de chaque agitation, on laisse reposer pour un quart d'heure, après décantation, soutirer l'extrait qui constitue la phase organique supérieure de l'ampoule dans une Erlenmeyer à col rodé

Déshydrater cet extrait en lui ajoutant 2g du sulfate de sodium anhydre (**Smail et Mazouz, 1996**).

### III.2.3. Concentration :

Cette une étape particulièrement délicate du protocole expérimentale. C'est au cours de celle-ci que les risques de pertes des hydrocarbures par évaporation sont les plus grandes. **Sebbih, (1991)** montre qu'au-delà de 200 µl les pertes deviennent significatives. Le protocole de la **COI, 1984** souligne bien ce risque et recommande de ne pas dépasser cette limite (200 µl).

Néanmoins, d'autres auteurs ne font pas grand cas de ces risques puisque la concentration à sec est une étape de la procédure analytique (**Roussel, 1983 et Balci, 1994**)

Les étapes de la concentration sont les suivantes :

- Concentrer l'extrait à l'aide d'un évaporateur rotatif (LABOROTA 4000-efficient Heidolph) à une température inférieure à 60 °C sous pression réduite (1,5 bars) pour éviter l'évaporation des hydrocarbures, jusqu'à 5 ml environ, il s'agit d'éliminer le solvant d'extraction.
- Eliminer éventuellement les traces d'eaux résiduelles du concentrât par addition du sulfate de sodium anhydre dans un ballon de l'évaporateur.
- Transférer l'extrait déshydraté dans un tube gradué de 20 ml (en opérant lentement le sulfate du sodium au fond du ballon)
- Evaporer à sec l'extrait organique, dans le tube sous jet d'azote purifié jusqu'à un volume de 2 ml



**Figure III.8 :** Evaporateur rotatif (LABOROTA 4000-efficient Heidolph)

### III.2.4. Purification et séparation :

La purification a pour objectif la séparation des matières lipidiques des hydrocarbures à analyser. Elle est réalisée par chromatographie d'absorption (sur gel de silice et alumine).

La silice est nécessaire pour une meilleure partition entre hydrocarbure aliphatiques et aromatiques.

#### a) Conditionnement de la silice et de l'alumine déjà extraite :

- Rincer 2 fois à l'hexane 2 fioles Erlenmeyer, et les bouchons correspondants, assécher ;
- Verser dans une fiole Erlenmeyer la silice et dans une autre fiole l'alumine à l'aide d'entonnoirs préalablement rincés à l'hexane ;
- Recouvrir de feuilles d'aluminium traitées les deux fioles Erlenmeyer et ranger les bouchons ;
- Mettre les fioles Erlenmeyer à l'étuve à 105°C pendant une nuit ;
- Sortir les fioles Erlenmeyer de l'étuve et ajouter 5% d'eau distillée ;
- Fermer les fioles Erlenmeyer avec leurs bouchons et agiter jusqu'à apparence nettement poudreuse ;
- Les deux composés sont prêts à être utilisés.

#### b) Conditionnement du Sulfate de sodium :

- Rincer deux fois à l'hexane une fiole Erlenmeyer de 125 ml et un bouchon, assécher ;

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

- A l'aide d'un entonnoir à poudre préalablement rincer à l'hexane et asséché, verser  $\text{Na}_2 \text{SO}_4$  extrait dans la fiole Erlenmeyer ;
- Couvrir la fiole Erlenmeyer d'une feuille d'aluminium traitée et mettre le bouchon à coté ;
- Mettre à 100 °C dans une étuve durant 12 heures ;
- Sortir du four, mettre le bouchon ;
- Mettre au dessiccateur jusqu'à l'utilisation ; bien agiter avant d'utiliser.

### c) Préparation de la colonne :

Pour cette préparation, le matériel nécessaire est le suivant :

- hexane
- colonne pour chromatographie (10,5mm de diamètre intérieur, 250mm longueur, réservoir 200ml, robinet en Téflon) ;
- 2 paires de pinces en acier inoxydable ;
- Laine de verre extraite ;
- Longue tige de verre d'environ 7,5mm de diamètre ;
- Essuie- tout de papier ;
- Support à burette ;
- Becher d'environ 200ml ;
- Entonnoir à liquide d'environ 4cm de diamètre supérieur ;
- Papier d'aluminium ;
- Spatule, balance
- Becher de 50ml
- Silice fraîchement conditionnée ;
- Alumine fraîchement conditionnée ;
- $\text{Na}_2 \text{SO}_4$  fraîchement conditionné.

### e) Les étapes à suivre pour la purification:

- Rincer à l'hexane, l'intérieur et l'embout d'une colonne pour chromatographie.
- A l'aide de deux paires de pinces préalablement rincer à l'hexane, découper suffisamment de laine de verre extraite pour mettre dans le bas de la colonne ;
- Placer la laine de verre à l'aide d'une longue tige de verre rincée à l'hexane, puis tasser la laine de verre dans le bas de la colonne ;
- Rincer à l'hexane un entonnoir et la colonne ;
- Vider complètement la colonne ;
- Remplir la colonne à moitié avec de l'hexane, couvrir avec une feuille de papier d'aluminium traitée ;
- Mettre environ 20ml d'hexane dans le bêcher de 50ml ;

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

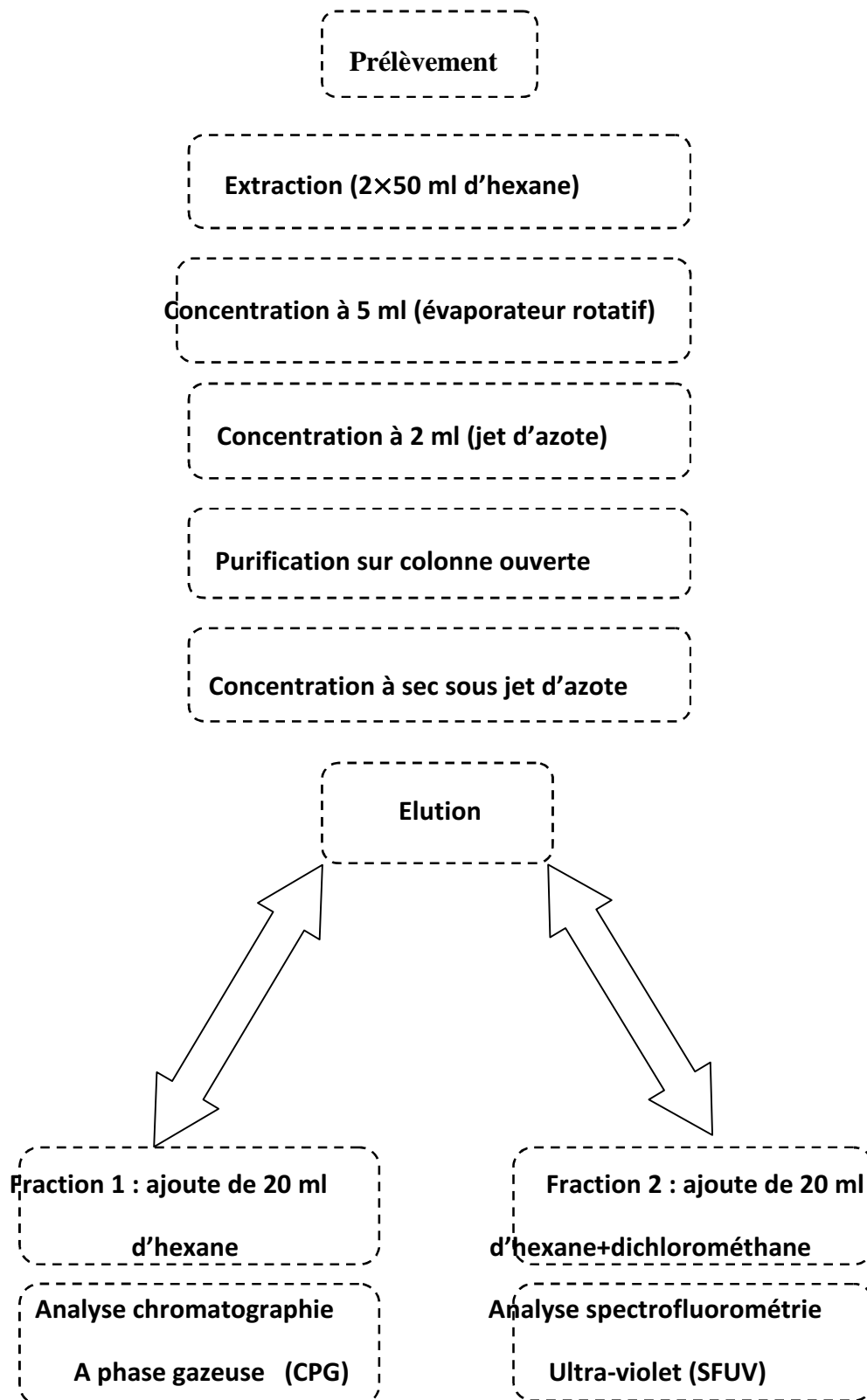
- Verser 5g de silice dans le bêcher de 50ml ;
- Agiter pour faire sortir l'air et pour obtenir un mélange ;
- Ajouter la suspension silice/ hexane dans la colonne, et ouvrir le robinet ;
- Lorsque toute la silice a été ajoutée frapper sur la colonne pour que la silice soit bien tassée ;
- Laisser descendre le niveau d'hexane, sans assécher la colonne ;
- Mettre l'alumine en suspension dans l'hexane et l'ajouter dans la colonne, en procédant de la même façon qu'avec la silice ;
- Lorsque toute l'alumine a été ajoutée dans la colonne, frapper celle-ci pour tasser l'alumine au maximum ;
- Laisser descendre le niveau d'hexane, sans assécher la colonne ;
- Ajouter le  $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ , jusqu'à ce que son volume soit d'environ 1ml ; dans la colonne ;
- Laisser descendre le niveau d'hexane ;
- Ajouter environ 15ml d'hexane et laisser s'écouler jusqu'à environ 2mm au dessus de  $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ . la colonne est prête à être utilisée.

### e) Séparation sur colonne :

- Fraction 1: verser l'échantillon +20ml d'hexane et laisser couler sans assécher la colonne.
- Fraction 2 : 20ml de mélange hexane/dichlorométhane (50/50) laissé couler toute la colonne.
- Nos échantillons sont prêts pour l'analyse et la mesure par CPG et SFUV (F1) (F2) respectivement.



**Figure III.9 :** Une colonne de Purification et séparation



**Figure III.19:** Procédure analytique des hydrocarbures dans l'eau de mer.

### III.3. Sédiment

Le sédiment, compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes.

Ils constituent un filtre pour les polluants et deviennent ainsi les réservoirs ultimes pour de nombreux composés chimiques connus ou inconnus (**Chapman et Long, 1983**).

Les contaminants chimiques sont d'origine très diverse (contamination atmosphérique, effluents urbains, rejets en mer, naufrages) résultant d'activités anthropiques présentes ou passées. Dans de nombreux cas, bien que les apports aient cessé, les sédiments jouent toujours le rôle de source de contamination et l'impact sur les organismes vivants reste important (**Power et Chapman, 1992 ; Luoma et Ho, 1993**).

Les sédiments sont essentiellement caractérisés par leur granulométrie et leur composition.

#### III.3.1 Prélèvement et Echantillonnage :

Pour les sédiments, le prélèvement est effectué avec une benne de type Van Veen. Les échantillons ont été placés dans des boîtes de pétri en verre, avec une spatule métallique préalablement nettoyées, puis mis à la congélation à -18°C. Ils y ont été conservés jusqu'à ce qu'ils soient traités et analysés.

#### III.3.2. Lyophilisation et broyage des sédiments :

La lyophilisation est une méthode de dessiccation qui comprend une étape de congélation puis une phase de chauffage sous vide au cours de laquelle l'eau contenue dans l'échantillon traité est éliminée par sublimation.

Le lyophilisat obtenu est ensuite homogénéisé par broyage ; cette opération est réalisée à l'aide d'un mortier à porcelaine, puisque les échantillons se montrent suffisamment friables.

Le lyophilisat ainsi préparé est conservé dans des boîtes de pétri fermées et stockées à l'abri de l'humidité.

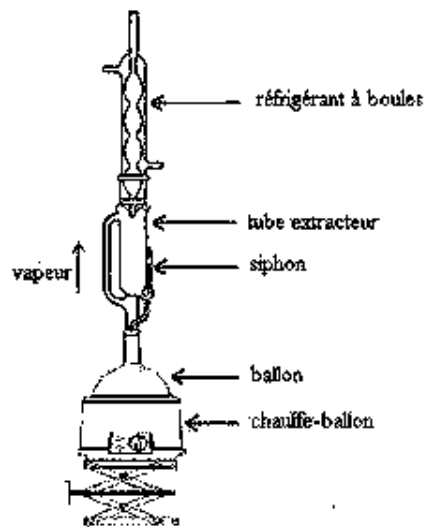


Figure III.10 : Lyophilisateur



Figure III.11 : Broyage à mortier

### III.3.3.Extraction et Concentration :



Extracteur Soxhlet

Figure III.12 : Schéma d'un extracteur soxhlet

## Chapitre III : Matériel et méthodes

---

L'extraction est réalisée à l'aide d'un extracteur soxhlet qui se compose d'un corps en verre dans lequel est positionnée une cartouche en papier-filtre épais, d'un tube siphon et d'un tube d'adduction. Dans le montage, l'extracteur est positionné sur un ballon contenant le solvant d'extraction (Hexane/dichlorométhane). Dans l'extracteur est insérée une cartouche dans laquelle est positionné le sédiment contenant les hydrocarbures à extraire ; puis un réfrigérant est adapté au-dessus de l'extracteur il est aussi souhaitable d'utiliser un chauffe-ballon avec agitation magnétique intégrée, afin d'éviter des à-coups d'ébullition qui provoquent une remontée du liquide contenu dans le ballon et non de vapeurs de solvant pures, par défaut on met des bulles de verre pour accélérer l'extraction.

Lorsque le ballon est chauffé, les vapeurs du solvant passent par le tube adducteur, se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le corps de l'extracteur, faisant ainsi macérer le solide dans le solvant (chauffé par les vapeurs se trouvant en dessous). Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube-siphon, qui provoque alors le retour du liquide dans le ballon, accompagné des substances extraites, et le solvant contenu dans le ballon s'enrichit par conséquent progressivement en composés solubles.

Le solvant continue alors de s'évaporer, tandis que les substances extraites restent dans le ballon (leur température d'ébullition doit être nettement supérieure à celle du solvant extracteur)

L'opération d'extraction dure 8 h, les échantillons seront concentrés à l'évaporateur rotatif, cette étape permet d'éliminer le solvant d'extraction, ce qui va augmenter la concentration des produits à analyser.

### III.3.3.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation d'un soxhlet :

#### **Avantage :**

Le cycle se répète indéfiniment, on peut ainsi épuiser totalement le solide en quelques cycles sans intervention. Le résultat est équivalent à une série de macérations successives, mais cette technique ne nécessite pas la plupart d'opérations.

Ainsi, on a un net gain de temps de manipulation (à condition de laisser l'appareil fonctionner un certain temps) : une fois mis en route, le montage n'a pas besoin d'être manipulé ni même surveillé jusqu'à son démontage. Cette méthode requiert nettement moins de solvant que la méthode des macérations successives pour une même efficacité d'extraction. L'intérêt est par conséquent aussi économique.

Le solvant est constamment distillé, de sorte qu'il ne se sature jamais. Même si la substance extraite est en trop grande quantité comparé au solvant et qu'elle dépasse sa solubilité maximale, c'est toujours du solvant pur qui retombe de l'évaporateur.

### Inconvénients :

L'extraction par Soxhlet peut présenter quelques inconvénients :

\*La taille de la cartouche étant limitée, il peut être indispensable de réaliser plusieurs extractions successives avec plusieurs cartouches, ce qui peut prendre un temps énorme.

\*L'extraction à chaud peut dégrader certaines substances chimiques.



**Figure III.13:** Un extracteur soxhlet à six postes

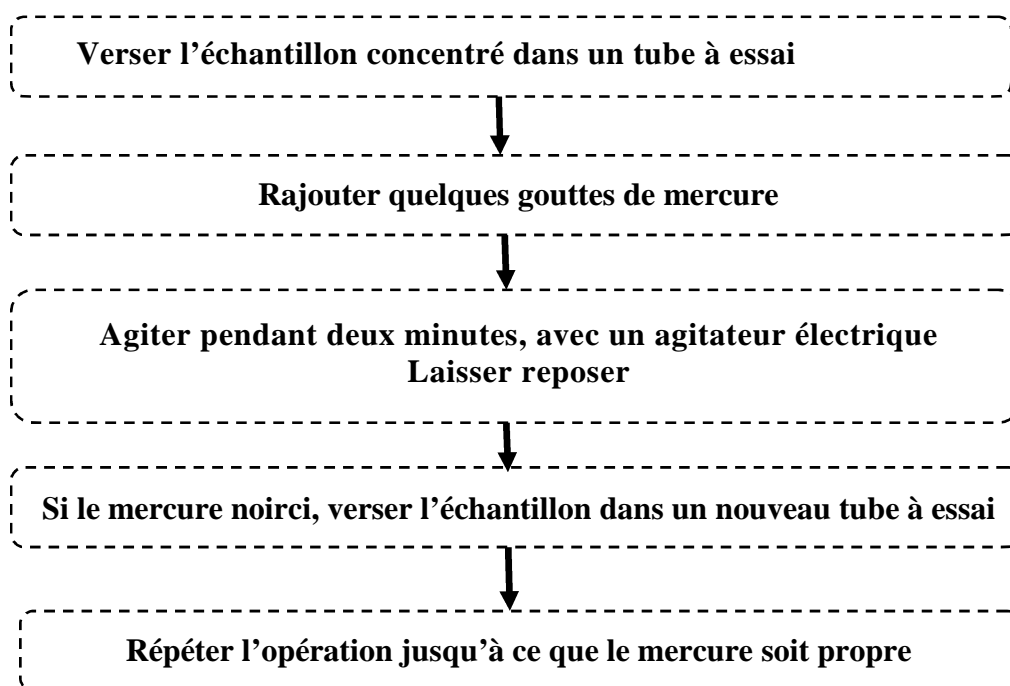
### III.3.5 Traitement en mercure :

Les sédiments marins, principalement ceux qui sont riches en carbone organique, contiennent le plus souvent du soufre résultant de l'oxydation chimique et microbologique 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, les étapes de cette opération sont résumées dans le diagramme suivant :



**Figure III.14 :** Traitement des sédiments au mercure.

### **III.3.6.Purification et fractionnement :**

Afin d'éliminer les composés polaires (lipides), ainsi que toute autre impureté, et aussi la division de l'échantillon extrait en deux fractions, l'une aliphatique (F1), l'autre aromatique (F2), une purification et un fractionnement sont nécessaires ; ceci est réalisé grâce à une chromatographie liquide sur colonne ouverte en utilisant deux adsorbants :gel de silice et l'alumine qui représentent la phase stationnaire solide. L'alumine permet l'élimination des composés polaires. La division de l'extrait en fraction aliphatique (F1) et en fraction aromatique (F2) est assurée par le gel de silice (**Michel, 1983**).

### **IV. Analyse des échantillons :**

#### **IV.1.La spectrofluorimétrie Ultra Violet (S.F.U.V) :**

C'est une technique dite « Globale » d'évaluation de la pollution du milieu marin par les composés organiques. Elle présente un intérêt indéniable comme technique de criblage.

La SFUV sensible essentiellement aux hydrocarbures aromatiques ; cette méthode est préconisée par le C.O.I (1982,1984), (**Marchand 1983**).

### IV.1.1 principe de la SFUV :

La spectrofluorimétrie U.V mesure l'émission de fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation U.V. elle s'applique aux molécules qui possèdent des liaisons doubles conjuguées, par conséquent aux hydrocarbures aromatiques.

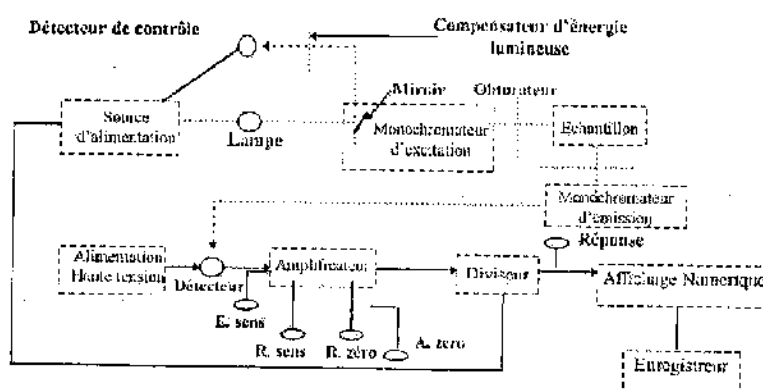
Du fait de très faibles teneurs des hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin. La réponse de fluorescence fournit un excellent indice de pollution pétrolière (Marchand, 1983).

#### a) Appareillage :

L'appareil utilisé pour la mesure d'hydrocarbures aromatiques est de marque *Hitachi* modèle 650 S équipé d'une lampe à Xénon qui est la source du rayonnement U.V.



**Figure.III.15 :** Spectrofluorimétrie U.V de marque *Hitachi* modèle 650 S



Légende:

..... trajet optique      R. sens: Réglage de la sensibilité      A. zéro: Atténuation du zéro  
 ———— trajet électrique      R. zéro: Réglage du zéro                      E. sens: Echelle de sensibilité

**Figure III.16:** Fonctionnement du spectre fluorimètre U.V

### b) Etalonnage :

La C.O.I (1984) préconise le chrysène comme principale substance de référence pour le dosage spectroscopique par fluorescence.

### C) Préparation des standards :

On prépare une solution mère de chrysène (C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>) à 0,1mg/ml et ceci en diluant 1mg de chrysène dans 10ml d'Hexane.

**Tableau 04** : Les différents standards préparés à partir de cette solution.

Code standard	S1	S2	S3	S4	S5
[C]µg/ml	0,2	0,4	0,6	0,8	1
U.A	0,85	1,4	2,15	2,8	5,45

### 2) Mesure des intensités de fluorescences :

La lecture des intensités de fluorescences (I.F) exige d'opérer avec les conditions suivantes :

- Longueur d'onde d'excitation : 310nm
- Longueur d'onde d'émission : 360nm, 380nm, 410nm.
- Les fentes d'excitation et d'émission sont respectivement fixées à 2 nm et 5 nm
- L'intensité de fluorescence (I.F) est proportionnelle à la concentration de l'échantillon (Réf H), selon la relation :

$$\text{IF} = a X + b \dots\dots\dots (3.3)$$

IF : Intensité de la fluorescence en unité arbitraire (U.V)

a : Pente de la droite

X : Concentration en Hydrocarbure polycyclique (HPA) en µg/ml

B : Ordonnée à l'origine

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

La droite d'étalonnage est représentée dans la figure (III.17).

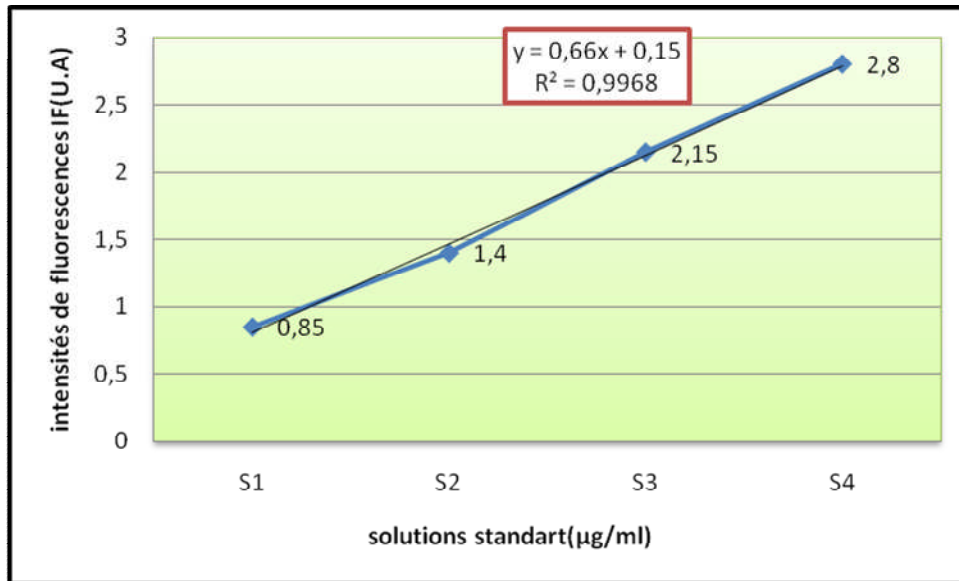


Figure III.17: Droite d'étalonnage à 360nm

**a) Mode de calcul des concentrations :**

On calcul les concentrations selon la méthode suivante :

$$[C]_{\text{calculée}} (\mu\text{g/g}) = (U.A_{\text{éch}} - U.A_{\text{blanc}}) \cdot \alpha \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

[C]<sub>éch</sub> : concentration calculée des hydrocarbures dans l'échantillon (µg/ml)

U.A<sub>éch</sub> : unité arbitraire de l'échantillon

U.A<sub>Blanc</sub> : unité arbitraire de l'hexane

**α** : moyenne des cotangentes calculées

Les concentrations finales des hydrocarbures polyaromatiques des échantillons sont calculées avec les formules suivantes :

**a/ Dans l'eau :**

$$[C]_{\text{finale}} = [C]_{\text{calculée}} \times V_{\text{hx/dich}} / V_{\text{éch}} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

[C]<sub>finale</sub> : concentration des HPA dans l'échantillon d'eau de mer (µg/l) en équivalent chrysène.

[C]<sub>calculée</sub> : concentration des HPA

$V_{\text{hx/dich}}$  : mélange Hexane/ dichlorométhane (20ml)

$V_{\text{éch}}$  : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (2,5l)

### b/ Dans le sédiment :

$$[C]_{\text{finale}} = [C]_{\text{calculée}} \times V_{\text{hx}} / \text{Ps} \dots\dots\dots (3.5)$$

$[C]_{\text{finale}}$  : concentration finale des hydrocarbures en ( $\mu\text{g/g}$ ) par rapport au (PS) du sédiment

$[C]_{\text{calculée}}$  : concentration des HPA dans l'échantillon ( $\mu\text{g/ml}$ )

$V_{\text{hx}}$  : volume d'hexane d'extraction de la fraction (20ml)

PS : poids sec en (g).

## IV.2. La chromatographie en phase Gazeuse (CPG) :

### IV2.1.Introduction et historique :

La chromatographie en phase gazeuse que nous connaissons aujourd'hui découle d'abord des travaux de M.TSWETT qui en 1906 mit au point une technique de séparation de coloration à base de phase mobile liquide, puis en 1941, de MARTIN et SYNGE qui remplacèrent la phase liquide par un gaz. Ces travaux conduisirent leurs auteurs au prix Nobel.

En 1954 apparait le premier détecteur à conductibilité thermique dont le champ d'activité important élargit énormément l'audience de la chromatographie en phase gazeuse et permet la commercialisation du premier chromatographe vers 1956.

Les premières colonnes, tubes d'acier remplis de phase, connaissent alors une importante évolution vers 1957 grâce à l'apparition des phases greffées sur les parois de la colonne (GOLAY), précurseurs des véritables colonnes capillaires en métal tout d'abord puis en verre. Ces colonnes en silice fondue. Technique apparue en **1979 (R.DANDEAU)** et héritée de la technologie de fabrication des fibres optiques. La silice fondue, revêtue extérieurement d'une couche de type polyamide est rendue flexible et parfaitement adaptable à toutes les manipulations de l'environnement de laboratoire.

Depuis, l'apparition de l'électronique et de l'informatique « embarquée » a permis le développement de microprocesseurs de contrôle des opérations assurant une stabilité de températures exceptionnelle, la régulation électronique des débits /pressions et bien du signal ou le contrôle de l'instrument.

### IV.2.2. Champs d'application de la chromatographie en phase gazeuse :

Bien que considérée par beaucoup comme une technique « mature », la chromatographie en phase gazeuse couvre un champ d'application entrainement important, des gaz permanents hydrocarbures aromatique polycyclique (HPA), en passant par les huiles essentielles ou les triglycérides.

L'utilisation massive des colonnes capillaires rend aujourd'hui possible des analyses d'une efficacité et d'une sensibilité exceptionnelles tout en permettant une augmentation de productivité importante dans les laboratoires (apparition des colonnes de 100 $\mu$  de diamètre interne par exemple)

L'intérêt de la chromatographie en analyse est dû, en premier lieu, à la possibilité d'étudier des quantités infimes d'échantillons, de l'ordre du nanogramme.

Elle est rencontrée dans des secteurs aussi variés qui sont :

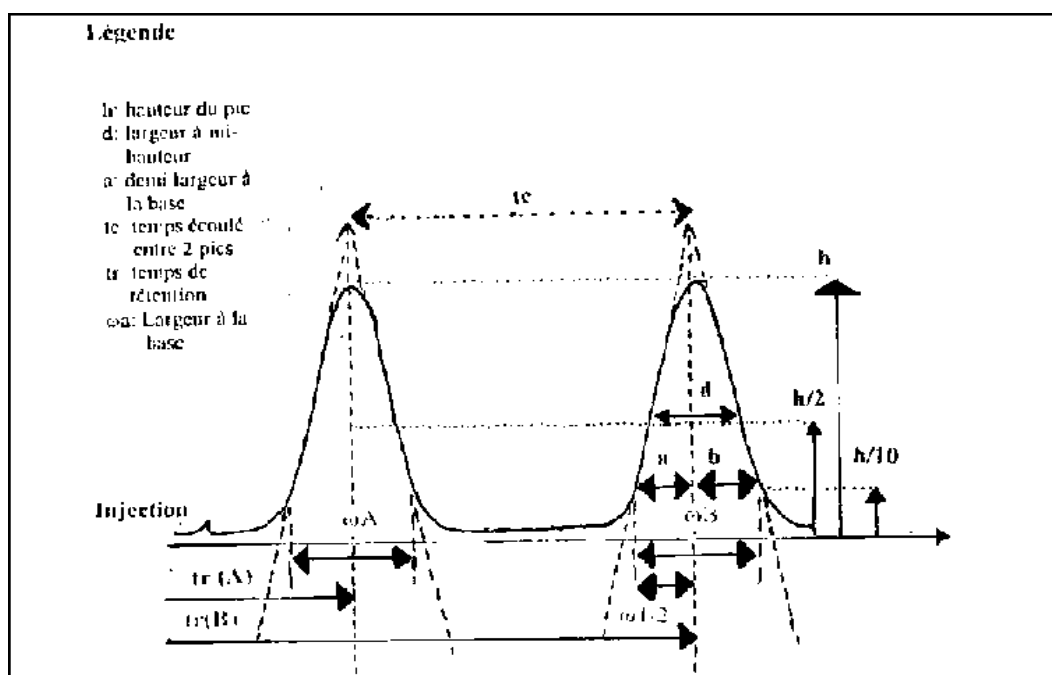
- L'industrie chimique, l'agro-alimentaire, l'environnement, la pollution et le médical
- La séparation se fait sur des composés à l'état de gaz. C'est la méthode fiable pour l'identification et l'évaluation quantitative des composés d'un mélange complexe.
- Plusieurs études ont été faites sur la CPG notamment Freeman 1981.

### IV.2.3.Principe de la chromatographie en phase gazeuse :

En principe la CPG est une technique de séparation pour substances volatiles appelées solutés entre deux phases, un gaz (phase mobile) et un liquide (phase fixe) (**Freeman, 1981) et Rouessac, 1992**).

L'analyse commence à l'instant où on introduit l'échantillon dans l'injecteur qui le porte à l'état de vapeur dans la colonne, mélangé au gaz vecteur ou gaz porteur (en général, N<sub>2</sub>, He ou H<sub>2</sub>) qui les entraînent à des vitesses inégales

Le courant gazeux issu de la colonne, trouve un détecteur qui donne un signal enregistré sous la forme d'un pic chromatographique.



**Figure III.18:** Pic chromatographique ou courbe Gaussienne et des caractéristiques

### IV.2.4. Eléments de base en chromatographie gazeuse :

#### a) Temps de rétention :

Le temps de rétention correspond au temps écoulé entre l'instant où l'échantillon est injecté et celui où le pic correspond à un composé atteint sa valeur maximale à travers le sommet du pic qui est supposé être symétrique.

En pratique, on ne détermine pas le temps de rétention «  $t_r$  » par chronométrage, mais on mesure «  $d_r$  » la distance de rétention qui sur le papier enregistreur, sépare le « top » d'injection et l'abscisse du sommet du pic.

- $T_r$  : temps de rétention
- $D_r$  : distance de rétention
- $V$  : vitesse de déroulement du papier (mm/mm).

#### b) Limites de détection :

La limite de détection pour le total des hydrocarbures pétroliers est de l'ordre de  $\mu\text{g/g}$  et de  $100\text{pg/g}$  pour les différents hydrocarbures (C.O.I 1982).

### IV.2.5. Le système chromatographique :

Le système chromatographique est constitué non seulement du chromatographe en phase gazeuse, cœur de l'ensemble, mais aussi de ses satellites en amont (ligne de gaz et accessoires) ou en aval (système d'acquisition de données).

#### a) Le chromatographe :

Les chromatographes en phase gazeuse actuels deviennent des outils de laboratoires sophistiqués ou comme dans de nombreux domaines de nos jours l'apport de l'électronique et de l'informatique a permis d'introduire des niveaux de fiabilité et de précision jamais atteints ;

Les différents éléments constitutifs d'un chromatographe en phase gazeuse :

- Le gaz vecteur et sa régulation.
- L'injecteur.
- Le four.
- La colonne.
- Les détecteurs.
- Les systèmes d'acquisition de données.

#### 1) Le gaz vecteur et leur pureté :

En général on choisira comme gaz vecteur un gaz inerte pour les échantillons, propres et secs et acceptables par le type de détecteur utilisé.

On axera le choix du gaz vecteur selon deux critères :

- L'aspect économique : coût du gaz (l'hélium ou l'argon sont plus chers que l'azote).
- Le type de détecteur utilisé (un FID ou un ECD ne nécessiteront pas le même gaz).

#### 2) L'injecteur :

En chromatographie en phase gazeuse, il n'existe pas d'injecteur universel : il existe plusieurs dispositifs adaptés aux différents types de colonne utilisées (remplies, mégabores, capillaires), aux besoins exprimés (analyses de trace, concentrations importantes, enrichissement).

Idéalement, l'injecteur doit remplir plusieurs fonctions bien caractérisées :

- Prélever un échantillon représentatif dans sa gamme de points d'ébullition sans discrimination.
- Introduire sans le dégrader, l'échantillon dans sa totalité dans la colonne chromatographique, quel que soit l'état de l'échantillon.

- Etre utilisable avec tous types de colonnes.
- Etre reproductible, simple, automatisable et du coût modéré.

Ceci étant évidemment une situation théorique idéale, la réalité démontre que ces différentes fonctions peuvent être toutes réalisables, mais qu'il est indispensable d'admettre des compromis pour choisir le meilleur injecteur possible pour une situation donnée.

Par exemple :

- Un injecteur pour colonne capillaire avec division permettra l'injection de concentration relativement importante, mais sera plus ou moins discriminant pour les composés volatils
- Un injecteur pour colonne « on-column » permettra d'injecter la totalité de l'échantillon sur la colonne mais sera limité en termes de volume ou de concentration injectés.
- Les diviseurs d'entrée « Split » : incompatible avec l'analyse des traces. La technique Splitless ou Injection sans division est compatible avec l'analyse des hydrocarbures à l'état de traces. Le mode Splitless est réservé aux échantillons en solution très réduite ; 90% de l'échantillon part dans la colonne sans crainte de discrimination entre les composés lourds et légers.

### IV.2.5.1 Avantages et inconvénients des différents types d'injection :

#### Avantage et inconvénients de l'injecteur split :

1. Discrimination des composés légers au cours du mélange des composés avec le gaz vecteur (incompatibilité avec quantitative de traces)
2. Discrimination dans la seringue, les composés les plus lourds restant dans l'aiguille
3. Importance du réglage de rapport de fuite sur l'élution d'un pic.
4. Injection de volumes ou de concentration importante sans dilution
5. Utilisation avec tous types de colonnes capillaires (de 0.1 à 0.5mm de diamètre interne).

#### Avantages et inconvénients de l'injecteur sans division « splitless »

Les avantages de l'injection sans division sont nombreux ;

1. Injection de l'échantillon dilué y compris des composés volatils
2. Discrimination faible à l'égard des composés légers
3. Analyse de traces

4. Analyse possible de composés gazeuse par piégeage à froid.

Les inconvénients sont liés à la faible quantité de produits à injecter pour obtenir l'effet de solvant, à la nécessité de travailler en programmation de température pour bénéficier de cet effet de solvant et à la discrimination existant pour les produits lourds.

### **Avantages et inconvénients de l'injecteur on-column**

L'injecteur on column présente les avantages indéniable suivants

1. Injection de la totalité de l'échantillon dans la colonne (analyse d'hydrocarbures jusqu'à C<sub>120</sub>).
2. Injecteur a froid pour éviter la dégradation et la discrimination
3. Injection de grand volume avec précolonne.

Les inconvénients tiennent essentiellement à la concentration des composés lourds en tête de colonne ou dans précolonne qui, à la longue risque d'entraîner une dégradation des performances.

### **3) Le four :**

C'est une enceinte thermostatée, dans laquelle est enfermée la colonne. Elle peut être réglée à une température inférieure à celle ambiante, le partage des mélanges entre le gaz vecteur et la phase stationnaire dépend de la température du système chromatographique. Donc cette phase nécessite une programmation de la température en fonction du temps.

Le four de colonne doit être caractérisé par :

- Une excellente stabilité thermique pour assurer une reproductibilité parfaite des temps de rétention
- Une inertie thermique suffisante pour permettre un chauffage et un refroidissement rapides
- Une bonne homogénéité de la température du four
- Une taille suffisante pour accommoder 2 colonnes capillaires de 50 m.

### **4) La colonne capillaire :**

Appelée capillaire en raison de son diamètre interne (0,25 à 0,50mm) plus le diamètre est petit, meilleur est la résolution et de sa longueur (quelque dizaines de mètres). Elle offre les moyens de séparation les plus efficaces. La colonne est le siège de la séparation des composés analysés.

La phase stationnaire est répartie sur la paroi interne du tube, ou bien sous forme d'une fine couche poreuse, le support de la phase étant en verre ou en silice fondue

### 5) Le détecteur :

Le dernier maillon du chromatographe est constitué du détecteur, composant essentiel aussi puisque il permet la transformation de la donnée quantité de substance en signal électrique mesurable, visible graphiquement et permettant son évaluation quantitative.

On distinguera deux grandes catégories de détecteurs : les détecteurs mesurant la concentration présente dans le gaz vecteur (détecteurs à conductivité thermique) et ceux mesurant le débit massique des composés dans le gaz vecteur (détecteur à ionisation de flamme par exemple).

#### Le détecteur idéal :

1. Sensibilité la plus grande possible.
2. Universalité de réponse.
3. Grande sélectivité.
4. Grande linéarité.
5. Pas de bruit de fond.
6. Rapidité de réponse.
7. Pas de volume mort.

Un tel détecteur n'existe pas. Chaque type de détecteur possède une partie des caractéristiques citées ci-dessus, mais aucun ne permet d'être à la fois universel et très sélectif, sans de fond et linéaire.

#### Les principaux détecteurs :

1. Le détecteur à conductivité thermique (TCD).
2. Le détecteur à ionisation de flamme (FID).
3. Le détecteur à capture d'électrons (ECD).
4. Le détecteur thermoionique ou azote-phosphore (NPD).
5. Le détecteur à photométrie de flamme (FPD).
6. Le détecteur à photoionisation (PID).

### **Le détecteur à ionisation de flamme (FID) :**

Considéré comme pratiquement universel pour les composés organiques, c'est le détecteur par excellence de la CPG actuelle. Placée en bout de colonne, sensible au courant gazeux issu de celle-ci, il mesure la quantité de chaque élément séparé. Cette présence est indiquée par un signal électrique qui est amplifié et traduit sur l'enregistreur sous la forme d'un pic.

Utilisé en raison de sa très grande sensibilité 100pg de sa linéarité et il donne des réponses proportionnelles à la concentration des composés, il existe plusieurs types de détecteurs mais qui sont plus moins sélectifs, c'est à dire plus sensibles pour d'autres composés.

### **6) F) Enregistreur :**

Après amplification du signal, celui-ci est enregistré au niveau d'un enregistreur qui le transcrit sous la forme d'un pic.

### **IV.2.5. Mode opératoire d'analyse chromatographique utilisé :**

- Chromatographie : shirmadzy GC 14 a norme U O P 273-77  
Analyse P.O.N.A
- Colonne:
  - Longueur 50 m capillaire  $\phi$  0.25 mm
  - Nature: silice fondu
  - Phase stationnaire: methyl silicone
- Four: température programmée
  - T1 Température initiale: 30 °C
  - Temps initial 15 minutes
  - T2 1.5°C par minute
  - Température finale 100 °C
- Gaz vecteur :
  - Azote
  - Pression 0.5 g/m<sup>2</sup>
  - Split/splitess 40ml/min
- Injecteur : FID
  - Air : 300 ml/min
  - H<sub>2</sub> : 35 ml/min
- Quantité d'injection 0.8 $\mu$ l
- Séparation: C1.....C11

### **IV.2.6 Analyse qualitative :**

Les analyses qualitatives sont réalisées à l'aide d'un chromatogramme préparatif, il s'obtient à partir de l'injection d'un standard d'une solution mixte (Aliphatique et Aromatique).

### **IV.2.7 Analyse quantitative :**

L'analyse quantitative repose sur le calcul des facteurs de réponse (R.F) de chaque composé sur le standard.

Ces facteurs entrent dans l'équation de la concentration de l'échantillon et indiquent si la surface du pic est proportionnel à la quantité injectée.



# Chapitre IV: Résultats et discussion

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### I. Analyse paramétrique :

#### I.1. Variation des paramètres physico-chimique :

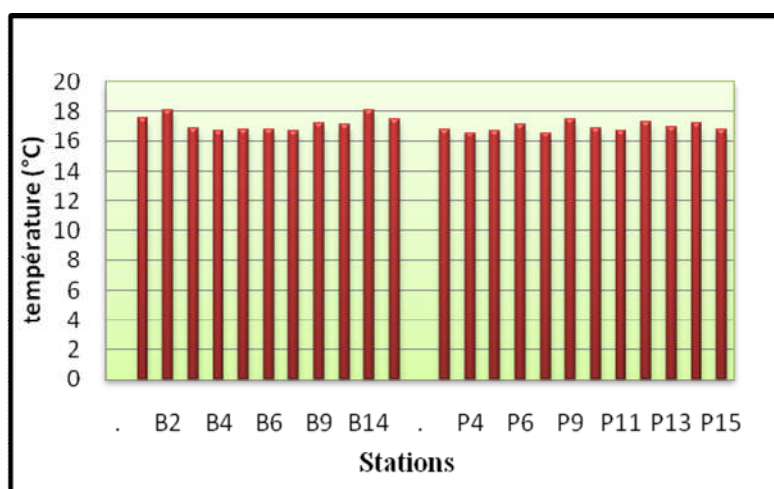
Les données acquises lors des deux campagnes en mer (baie et port d'Alger) sont résumées dans le tableau suivant, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

**Tableau 05 :** Valeurs extrêmes, moyennes ainsi que l'écartype des paramètres physicochimiques

Colonne1	T (°C)	S(PSU)	pH	[O2](mg/L)	O2 (%)	C (mS/cm)	Conductivité
minimum	16,5	34,7	7,68	6,9	72	47,6	1,1
maximum	18,1	36,7	8,27	9	92	50,3	7,25
moyenne	17,07	36,30	8,19	7,83	79,94	49,68	2,95
Ecartype	0,45	0,44	0,14	0,55	4,92	0,626	1,68

##### I.1.1. La température :

La température est un paramètre fondamental en océanographie. Ce facteur conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers. Sa variation dépend de la température atmosphérique et du mélange des masses d'eau.



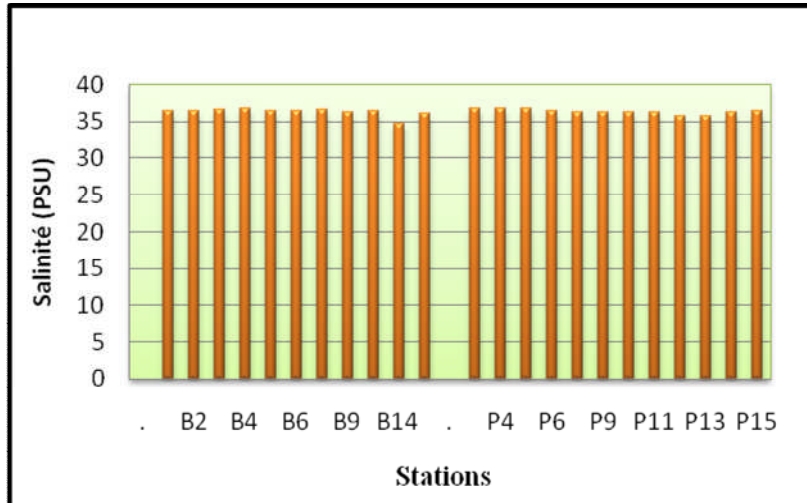
**Figure IV.1:** Histogramme de variation de la température dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).

Au niveau de la baie d'Alger, les valeurs de la température de surface variant de 16,5 à 18,1 °C avec une moyenne de 17,07 °C et un écart type de 0,45.

De façon générale, les fluctuations de la température seraient dues probablement à l'influence des facteurs météorologiques et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles qui se réchauffent légèrement pendant leur séjour dans la baie par le mélange avec les eaux de la baie, et les eaux d'origine continentale et aussi le contact avec l'atmosphère. Dans l'ensemble les valeurs sont de niveau saisonnier (Chebhi, 1980, Chouikhi, 1993).

### I.1.2. La salinité :

Les valeurs de la salinité varient entre un niveau minimum de 34,70 PSU au niveau de la station B14 et un maximum de 36,70 PSU au niveau des stations (B4, P2, P4, P5).



**Figure IV.2:** Histogramme de variation de la salinité dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie).

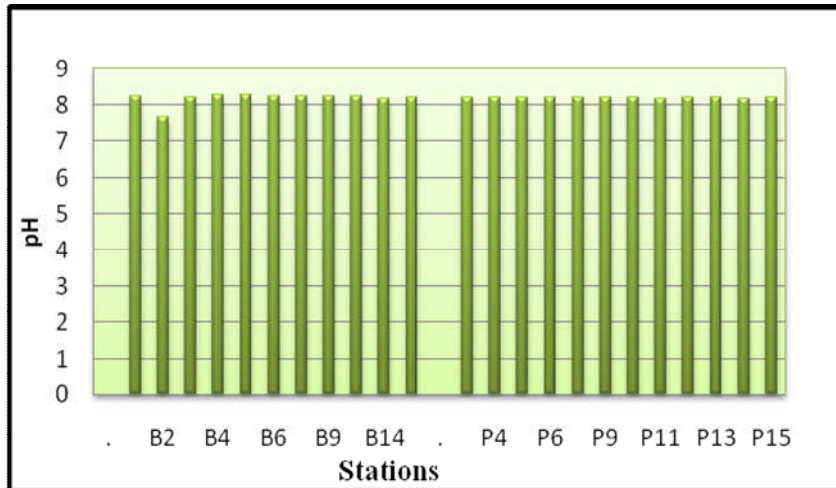
Les valeurs de la salinité inférieures à 36 PSU renseignent sur l'empreinte de l'eau continentale douce, par l'effet de la densité l'eau s'étale en surface et se mélange avec l'eau de mer, cette situation ressemble particulièrement à la valeur très faible de la salinité relevée à la station B14 située en face à l'oued El Harrach et à la proximité des apports de ruissellement et de déversement.

Les salinités allant jusqu'à 36,70 PSU peuvent être intermédiaires et qui pénètrent dans la baie sous l'effet du vent de secteur NW, celle-ci ne peut être que l'eau atlantique légèrement mélangée avec l'eau méditerranéenne le long de son parcours.

Ce phénomène explique bien d'ailleurs les valeurs baignées par les eaux nettement atlantiques amenées par le courant océanique et également la remontée d'eau profonde.

### I.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (PH) :

Le potentiel d'Hydrogène (PH) des eaux de la baie d'Alger varie entre un minimum de 7,68 au niveau de la station B2 et un maximum de 8,27 au niveau de la station B4 avec une moyenne de 8,19 et un écart type de 0,14 qui sont conformes aux normes algériennes 2006, limitées entre 6.5 et 8.5, situant dans la bonne gamme d'activités des microorganismes et favorisant aisément un traitement biologique.



**Figure IV.3:** Histogramme de variation du pH dans la baie et le port d'Alger  
(P : port, B : baie).

Les valeurs de PH sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations de surface au niveau du port et comme d'ailleurs de toute la baie rappelons qu'en période de prélèvement les conditions météorologiques étaient caractérisées par une agitation des eaux dans toute la zone.

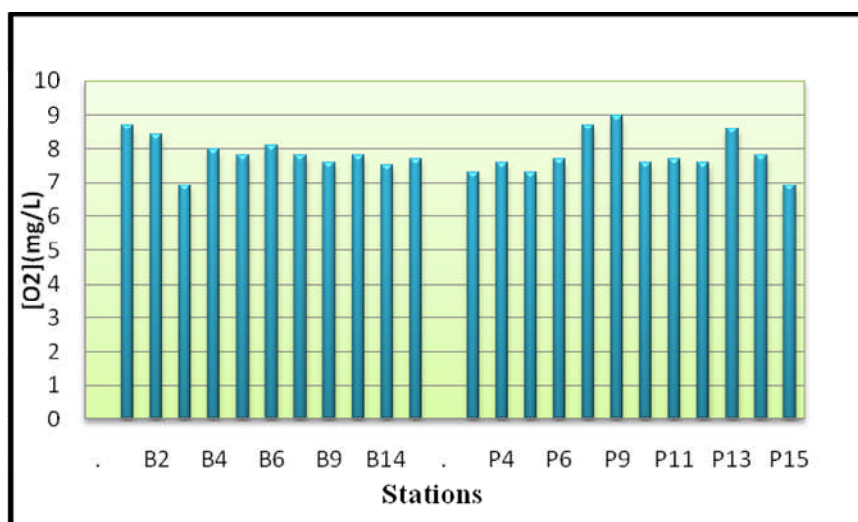
La variation du PH est due probablement aux apports d'eaux continentales et aux rejets industriels, il est affecté par les processus naturels qui déplacent les équilibres du système carbonique, comme la poussée du phytoplancton, consommatrice de  $\text{CO}_2$  ou la déminéralisation de la matière organique, productrice de  $\text{CO}_2$  (*Copoin-Mon tégut, 1996*).

Le processus de la dégradation de la matière organique acidifie le milieu, ce qui peut expliquer la plus faible valeur de PH observée au niveau de la baie d'Alger.

#### **I.1.4. L'oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%) :**

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles de la baie d'Alger varient entre 6,9 (mg/l) et 9 (mg/l) avec une moyenne de 7,33 (mg/l) et un écart type de 0,55.

Ces valeurs correspondent aux valeurs suivantes de saturation de 72% et 92% avec une moyenne de 72,94%.



**Figure IV.4:** Histogramme de variation L'oxygène dissous dans la baie et le port d'Alger  
(P : port, B : baie)

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par la forte agitation des eaux pendant les jours de la sortie en absence d'activité biologique, la concentration de l'oxygène dissous tend vers la saturation de l'eau (*Aminot et al, 1997*), qui est en fonction de la température et de la salinité (à pression normale). Ainsi les valeurs d'O<sub>2</sub> des eaux de la baie sont supérieures à 5 mg/l et cela est dû à l'important phénomène de brassage des eaux donc à l'échange air-mer et à l'activité photo synthétique.

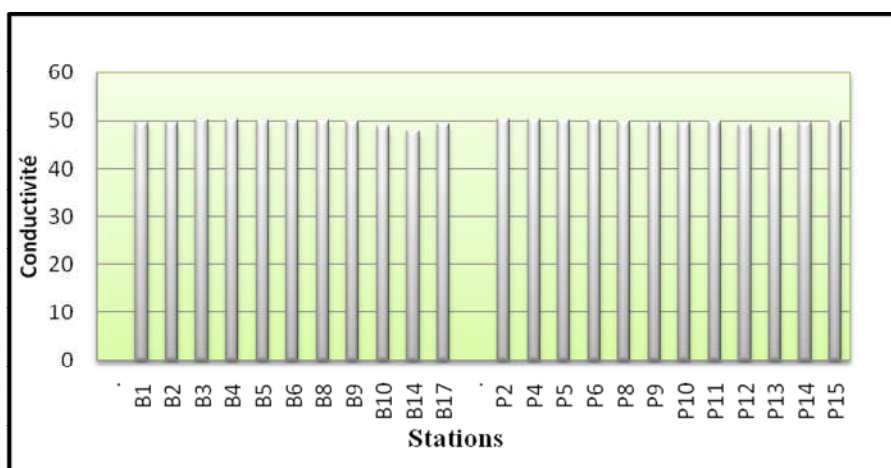
Au niveau du port d'Alger les variations d'oxygène dissous sont plutôt dues à :

- La turbulence que génère l'intensité du trafic portuaire.
- Des rejets de déchets d'hydrocarbures, de l'usine huilière, de la savonnerie
- Des rejets d'eaux usées d'origine urbaine (infrastructures et ville d'Alger).

On peut noter qu'aucune hypoxie notable des eaux des fonds n'a jamais été mise en évidence par les mesures effectuées, même à proximité de l'emboucheurs d'oued El- Harrach, probablement en raison du mélange intense des eaux.

### I.1.5. La conductivité :

Les valeurs de la conductivité varient entre un minimum de 47,6(mS/Cm) au niveau de la B14 et un maximum de 50,3 (mS/Cm) au niveau des stations B4 et P2 avec une moyenne de 49,68 (mS/Cm) et un écart type de 0,626.



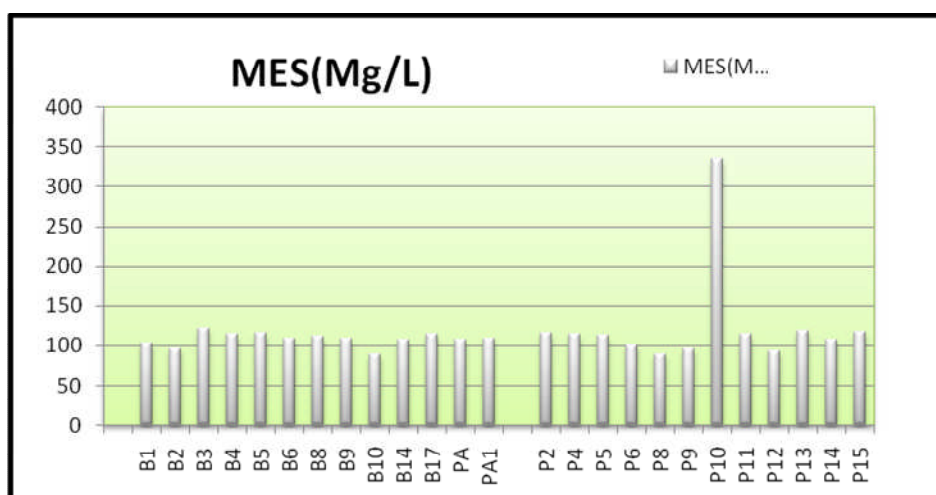
**Figure IV.5:** Histogramme de variation de la conductivité dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie)

La salinité correspond à la conductivité, elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électroniquement ; la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

### I.2. Variation des paramètres particuliers :

#### I.2.1. La matière en suspension (MES) :

Les valeurs des MES au niveau de la baie d'Alger varient en générale dans l'intervalle [88,88mg/l- 335,96 mg/l] avec une moyenne de 117,06 et un écart type de 46,54.



**Figure IV.6:** Histogramme de variation de la matière en suspension dans la baie et le port d'Alger (P : port, B : baie)

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 et le diamètre des particules.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Ce qui peut expliquer d'ailleurs les valeurs maximales observées au niveau du port d'Alger, rappelons la période des prélèvements qui a été marquée par des vents et une agitation au niveau de tous les bassins.

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 lorsqu'elle est dans les normes.

### II. Analyse de la distribution horizontale :

#### II.1 Distribution de la température :

Les valeurs de température observées sont assez homogènes caractéristiques de la période d'échantillonnage ; post-hivernale au niveau du port et de toute la baie d'Alger.

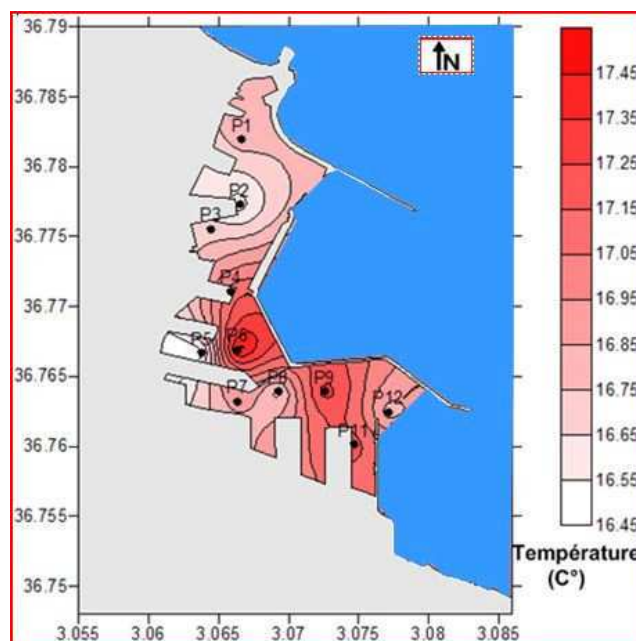
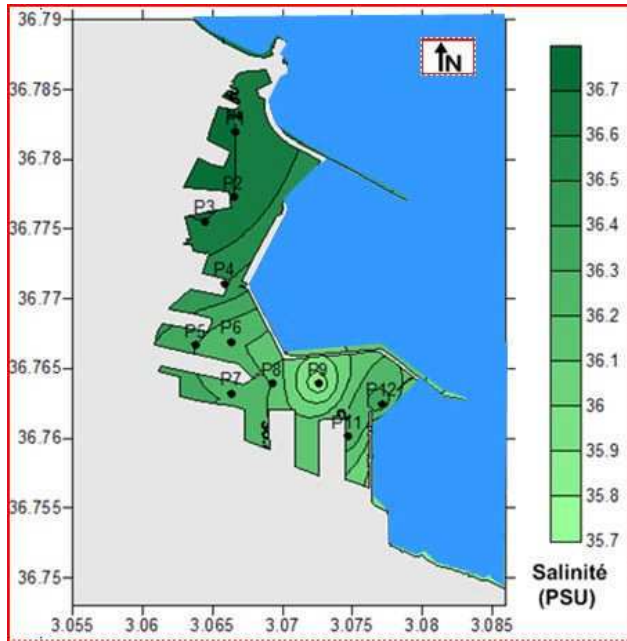


Figure IV.7: Distribution spatiale de la température de surface dans le port d'Alger.

#### II.2. Distribution de la salinité (PSU) :

Concernant la salinité, d'une manière générale, la configuration des iso halins permet de constater une décroissance systématique du gradient halin des valeurs les plus faibles (< 36 pus) près de la côte et du port vers les valeurs les plus élevées (> 38 pus) au large. Cette distribution est engendrée certainement par la contribution continentale en eau douce par trois sources principales : le port d'Alger, l'oued el Harrach et l'oued El Hamiz.



**Figure IV.8:** Distribution spatiale de la salinité des eaux de surface du port d'Alger.

### II.3. Distribution de la conductivité (mS/cm) :

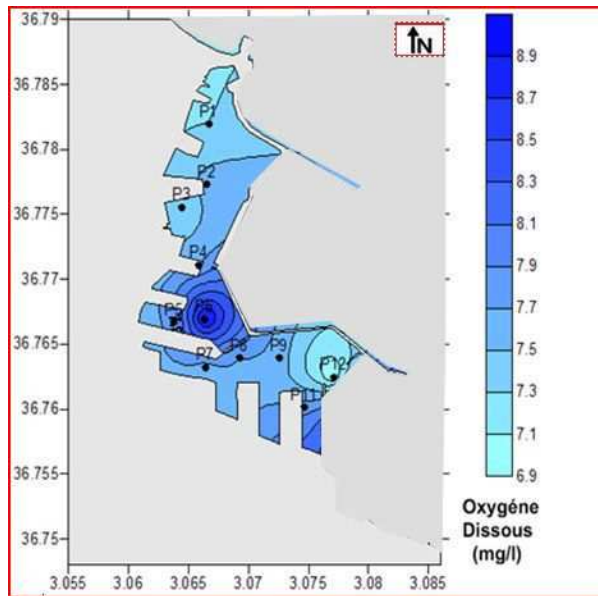
Nous remarquons que la distribution de la conductivité pour la période post hivernale présente approximativement la même allure de distribution que la salinité.

### II.4. Distribution du potentiel d'hydrogène (pH) :

La distribution horizontale du pH dans les eaux du port d'Alger de toute la baie montre que les valeurs sont incluses dans un intervalle très restreint et dans les normes.

### II.5. Distribution d'Oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%) :

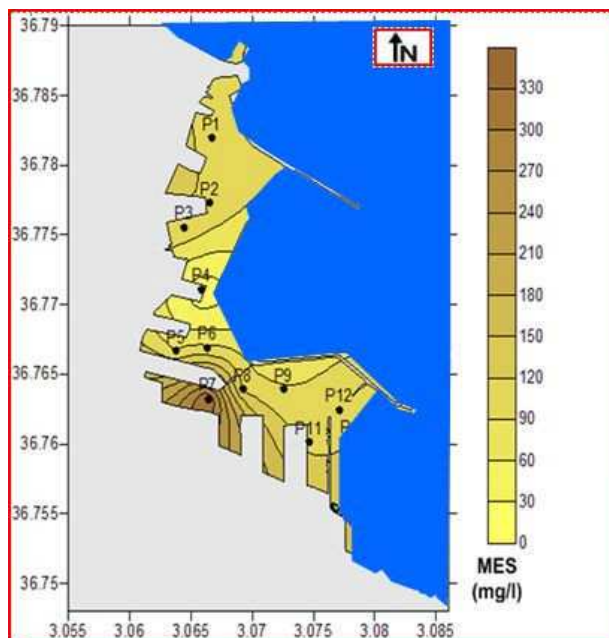
Les distributions spatiales de l'oxygène dissous et le pourcentage d'oxygène dans le port d'Alger et de la baie montrent que les concentrations sont élevées pratiquement au niveau de toute la zone d'étude, ces fortes valeurs peuvent être expliquées par l'activité photosynthétique importante qui produit de l'oxygène et des échanges air-mer.



**Figure IV.8 :** Distribution spatiale de la concentration en oxygène dissous dans les eaux de surface du Port d'Alger.

### II.6. 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 et de la baie d'Alger sont assez homogènes à l'exception de la station P10 au niveau du port.



**Figure IV.9 :** Distribution spatiale de la matière en Suspension dans les eaux de surface du Port et la baie d'Alger.

### III. Les hydrocarbures :

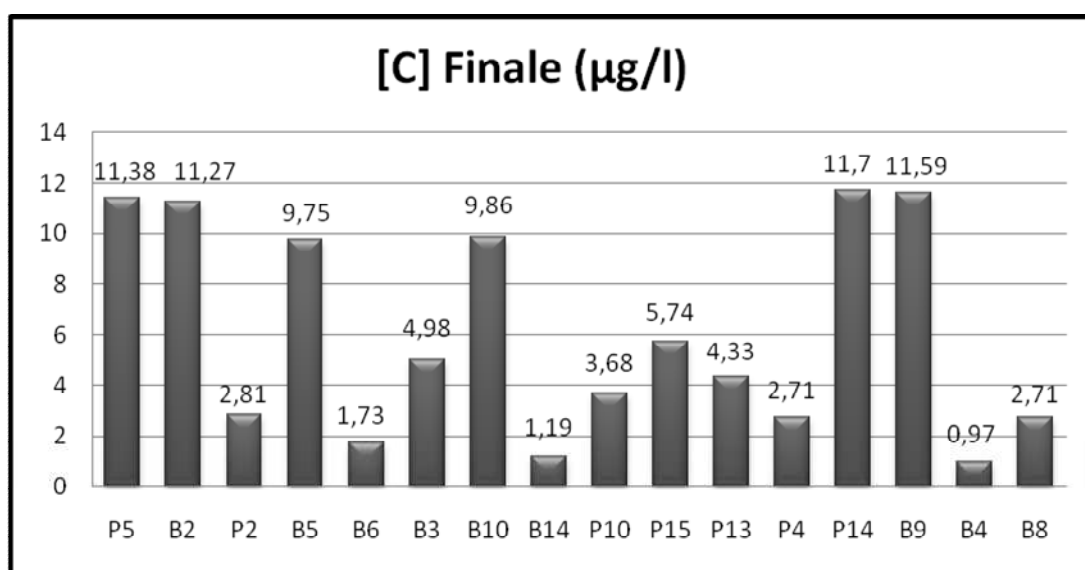
#### III.1. Hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau (HPA) :

Il est généralement admis que les hydrocarbures aromatiques sont les plus toxiques suivis dans l'ordre par les séries oléfiniques, naphténiques et paraffiniques.

Les composés monoaromatiques sont les moins toxiques. En effet la toxicité augmente avec le poids moléculaire ; elle est maximale avec les composés possédant 4 et 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. (*Lacaze, 1996; Walker, 2001; Walker et al, 2001*)

Il est admis que certains aromatiques à haut point d'ébullition possédant entre 4 et 7 cycles benzéniques, couramment appelés hydrocarbures polycycliques ont des propriétés cancérigènes. Parmi eux le 3-4 benzopyrène serait l'un des plus nocifs. Il est admis également que la combustion incomplète des produits pétroliers donne naissance à des quantités importantes d'hydrocarbures polycycliques. (*Kennish, 2001; Lacaze, 1996*)

L'analyse de l'eau de mer du port d'Alger et de toute la baie par la SFUV présente des concentrations en HPA comprises dans l'intervalle de 11.7  $\mu\text{g/l}$  à 0.97  $\mu\text{g/l}$  avec une valeur moyenne de 6.02 $\mu\text{g/l}$  et un écart type de 4.14.



**Figure IV.10 :** Les concentrations des polyaromatiques dans l'eau (HPA) mesures par SFUV

Les résultats obtenus pour les hydrocarbures offrent une image de la qualité de l'eau de mer.

La distribution spatiale permet un découpage sectoriel en fonction des lignes isoconcentriques à faibles ou à fortes teneurs.

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

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

L'hétérogénéité de la distribution des HPA 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*).

Les valeurs les plus élevées dans le port d'Alger se localisent aux centres station P5. Les lignes d'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 là où on a observé le maximum de pollution par les HPA, station P14

Celles-ci soulignent l'importance du trafic maritime, particulièrement celui pétrolier, et le séjour en rade des navires. En effet la variation des concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port. Les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent de 25% à 33% de la capacité utile. (*Berne et al, 1991*)

Cependant, ces grandes concentrations pourraient être dues d'une part à des HPA d'origine biogène (*U.N.E.P/I.O.C/I.A.E.A, 1995*) ; d'autre part, des vents à la période des prélèvements, de secteur Ouest à Nord-ouest, auraient pu transporter des HPA de la rade réservée aux pétroliers vers ces centres, ce qui peut expliquer d'ailleurs les résultats obtenus à la sortie du port vers la baie avec des concentrations plus au moins élevées.

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

En effet, l'atmosphère joue un rôle prépondérant dans l'apport des HPA à la mer (*Broman et al, 1991*). 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 sources potentielles de pollution par les HPA sont nombreuses. Les émissions de gaz d'échappements des automobiles par combustions d'essences contribuent significativement à la pollution de l'air urbain par les HPA (*Westerholm et al. 1988*).

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

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

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

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 (*Lacaze, 1980*).

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

Les HPA ne sont pas en équilibre entre les phases particulaire et dissoute, la phase particulaire est enrichie (*Bouloubassi et Saliot, 1992*). Cette sédimentation des HPA particulaire réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau d'où la faible teneur (0,97µg/l) retrouvée dans la station B4. 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 (1m<sup>3</sup>/s) et à la côte qui reçoit aussi les eaux usées urbaines des camps d'habitation (*ANRH, 2003*).

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

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 (*Martin et Saliot, 1992*). Selon ces mêmes auteurs, d'autres processus d'élimination des HPA sont à signaler. L'éjection de ces composés sous forme d'aérosols est suivie d'une intense et rapide dégradation dans l'atmosphère.

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

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

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

## Chapitre IV : Résultats et discussions

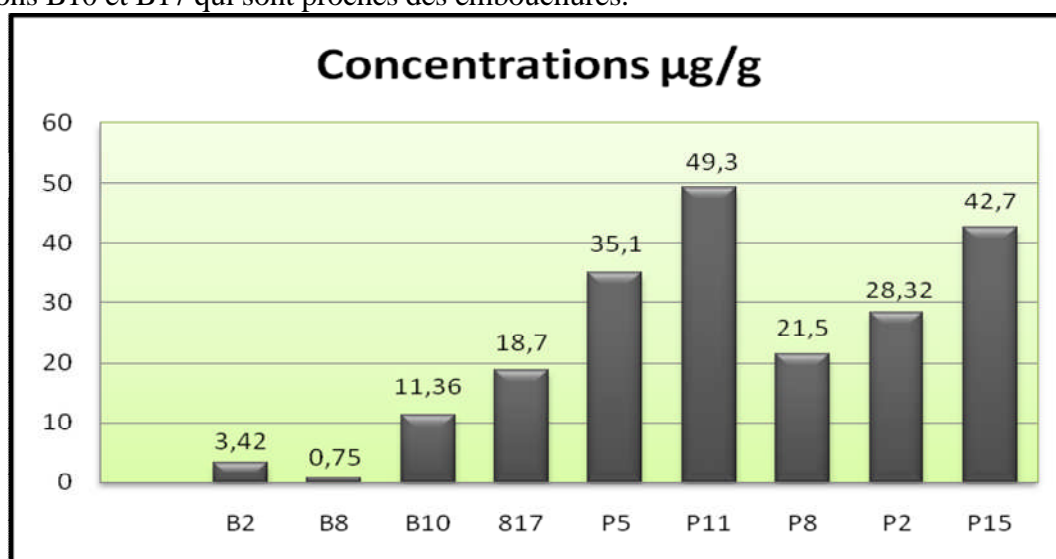
Les réponses données en fluorescences constituent une preuve incontestable d'une pollution pétrolière, puisque les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin.

### III.2. Les aromatiques dans les sédiments mesurés par SFUV :

La nécessité de rechercher les hydrocarbures d'origine pétrolière dans les sédiments peut avoir de multiples raisons, par exemple, pour n'en citer que quelques unes, le désir d'établir des niveaux de base avant le lancement d'opérations de forage et de production pétrolière en mer, le fait que la zone en question, un terrain de pêche, a été le site d'un déversement de pétrole et le fait que la zone en question est soumise à une pollution permanente due à un trafic maritime intense ou à la proximité d'une raffinerie. Toutes ces situations peuvent avoir des incidences sur la vie marine et la pêche. Il est donc d'une importance primordiale de connaître l'étendue de la pollution par le pétrole, son influence sur la vie marine et la durée de ses effets.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), qui résultent de la combustion incomplète des produits pétroliers, sont les plus préoccupants pour les milieux aquatiques. (*Kennish, 2001; Saliot, 1981*)

Les teneurs en HPA dans les sédiments du port d'Alger varient de 21,5  $\mu\text{g/g}$  P.S (Station P8) à 49,3  $\mu\text{g/g}$  P.S (Station P11), plus élevées que les concentrations des HPA retrouvés dans les sédiments prélevés au niveau de la baie d'Alger qui sont généralement basses à part deux stations B10 et B17 qui sont proches des embouchures.



**Figure IV.11:** Les concentrations des aromatiques dans les sédiments mesurés par SFUV

Ces valeurs sont comparables à celles d'endroits relativement non pollués de la méditerranée dans sa globalité illustrées par le tableau suivant :

## Chapitre IV : Résultats et discussions

**Tableau 06 :** Résultats des études précédentes sur les hydrocarbures en Méditerranée.

ZONES D'ETUDES	CONCENTRATIONS ( $\mu\text{g/g P.S}$ )	REFERENCES
Cotes Espagnoles	2-66	Albaiges et al ;(1982)
Méditerranée nord-est (Iskenderun bay)	0,04-068	Sunay et al ; (1982)
Golfe d'Arzew	1,9-28,8	Sellali et al ; (1993)
Delta du Rhône	2,09-9,32	Bouloubassi et Saliot (1993)
Lagune de Venise	0,003-0,9	Pavoni (1987)
Golfe de Skikda	0,73-21,26	Skikda (1999)

Les recherches sur les hydrocarbures sont rares voire inexistantes concernant le sédiment particulièrement dans le secteur occidental du littoral algérois. Les études effectués dans le secteur oriental du littoral (*Sadouni et Chouakri, 1996, Sellali et al, 1999*) montrent des teneurs extrêmement élevées, à titres d'exemple les teneurs en anthracène et en acénaphthalène.

Ces auteurs soulignent une pollution importante par le pétrole et ses dérivés dans le secteur occidental de la baie d'Alger et le secteur affecté par l'oued El-Harrach ainsi qu'une situation particulière liée à l'hydrodynamisme dans la Zone Est de la baie (Bordj-El-kiffan et la Pérouse)

En effet des teneurs élevées sont observées particulièrement dans les sédiments vaseux et vaseux légèrement sableux stations B10 et B17 prélevés en face des oueds (El-Harrach et El-Hamiz), une situation que les valeurs plus au moins importantes reflètent le port d'Alger.

Cette distribution révèle l'influence anthropique et semble être liée aux conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires régnautes au niveau du port et de toute la baie d'Alger, A ceci s'ajoute le facteur granulométrique comme le montre la station la plus proche de l'oued El-Harrach présentant un fond vaseux légèrement sableux différent de celui de la station P11 (vase compacte) au niveau du port favorisant dans celle-ci l'accumulation importantes des hydrocarbures.

Les eaux de la baie se renouvellent aisément, ceci amène à conclure qu'une pollution importante dans la baie est à écarter, En raison du temps de séjour qui ne devrait pas être important, en effet, une grande partie de la quantité des substances polluantes (surtout les formes dissoutes telles celles des hydrocarbures ) déversés quotidiennement dans la baie n'ont pas le temps de s'accumuler au niveau du sédiment mais au contraire se retrouvent exportées en dehors de la baie.

### III.3.Analyse des hydrocarbures présents dans le sédiment :

#### Hydrocarbures mesurés par CPG :

Ce que nous avons fait est une analyse qualitative de 30% environ des hydrocarbures présents dans nos échantillons de sédiments prélevés au niveau de quelques points chauds et sensibles de la baie et le port d'Alger.

Les résultats obtenus et les composés identifiés sont essentiellement des hydrocarbures aliphatiques et naphthéniques à faible poids moléculaire, particulièrement des

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

essences allant de N-propane en C3 jusqu'à le N-heptane en C7 de densité variables de 0,72 -0,78 à 15 °C.

Les fortes teneurs enregistrées en ces produits sont probablement liées à la forte teneur en matière organique, et la nature vaseuse du sédiment qui favorise l'accumulation des hydrocarbures ainsi que dans le port d'Alger et à proximité des Oueds (El-Harrach et El-Hamiz).

Leur présence dans le milieu marin à des concentrations élevées est toxique pour les organismes et peut avoir des effets néfastes à long terme sur l'environnement aquatique sachant que ces hydrocarbures sont potentiellement accumulables et bioaccumulables en raison de certains composés hydrocarbonés les constituants.

La toxicité est d'autant plus importantes lorsque ces produits se lient entre eux, ou s'accrochent à d'autres éléments dans le milieu, à titre d'exemple le benzène (présent pratiquement dans toutes les stations) et le toluène constituent avec le xylène ce qu'on appelle les BTEX (benzène, toluène, éthyl-benzène), composés toxique ou nocifs faisant d'ailleurs l'objet de nombreuse études et réglementations, le benzène qui est le composé pétrolier le plus toxique d'une essence, la nocivité des constituants aromatique résulte pour une grande part de sa teneur en benzène.

La persistance de ces produits dans l'environnement aquatique est faible puisque l'essentiel s'évapore ; 80 à 90% en quelque heures et proche de 100% en 12 à 24 heures, ce qui corrèle et reflète globalement la situation au niveau de notre zone d'étude.

Malgré la faible persistance, leur présence peut conduire à un impacte environnemental notable par contact directe avec le produit ou par exposition à ses composés soluble.

Dans cette présente étude, les organismes vivants au fond (benthique) peuvent être exposés au polluant lorsque les profondeurs sont faibles, et lorsque il ya agitation (vagues, ressac...) des sédiments fins des rivages, il peut y avoir mélange, voir mise en contacte peut porter atteinte aux organismes vivants dans le sédiment (organismes fouisseurs).

Le danger potentiel et la persistance dans l'environnement concerne surtout les composés dissous, peu ou pas dégradable `piégés` sur les particules en suspension, lorsque ces particules chargées en produit se déposent sur le fond, elles peuvent se déposent sur le fond, et conduire à des accumulations

Le produit peut s'infiltrer dans le sol et contaminer les eaux souterraines.

De point de vue antipollution, la lutte se résumera souvent à laisser le produit s'évaporer naturellement.

## Conclusion

---

La baie d'Alger est le siège de mélange entre trois masses d'eaux d'origines différentes représentées principalement par les eaux Atlantiques modifiées qui occupent presque toute la baie, ainsi les eaux profondes qui se manifestent au fond de quelques stations situées vers le large. Enfin, une eau d'origine continentale qui se localise au niveau des embouchures des deux Oued El Harrach, El Hamiz et le port d'Alger ...

L'évaluation de l'impact de la pollution dans la baie d'Alger a permis d'identifier et de caractériser les hydrocarbures, marqueurs de cette contamination, dans l'eau et le sédiment superficiel.

Les deux méthodes analytiques développées dans ce travail (SFUV et CPG) se sont révélées complémentaires et ont permis de préciser les niveaux ainsi que la distribution des composés hydrocarbonés recherchés dans les deux matrices.

L'impact de la pollution par les hydrocarbures n'est pas fortement ressenti et les déversements de composés constituant ces produits n'ont entraîné que des effets mineurs occasionnels à court terme et très localisés.

Les échanges d'eau et de turbulences qui se font aisément au niveau de notre zone d'étude (baie d'Alger) diluent rapidement les hydrocarbures et remplacent les communautés atteintes. En se fondant sur ces phénomènes on peut déduire que les effets de l'apport et de déversements de ces produits sur les organismes marins n'ont pas forcément un caractère durable.

Les effets immédiats des hydrocarbures peuvent être manifestes, bien que leurs conséquences à long terme soient difficiles à quantifier puisque l'abondance de la faune et flore à chaque site fluctuent naturellement d'une année à l'autre, que les captures varient selon l'ampleur des activités de pêche et ainsi de suite.

Il est encore malaisé d'évaluer l'impact de la pollution chronique causée par les hydrocarbures « la plus courante en Méditerranée » car elle n'occasionne pas un accroissement appréciable de la mortalité et d'autres formes de pollution sont le plus souvent associées.

En considérant l'importance des apports polluants chroniques dans la baie d'Alger et du port d'Alger où sont déversés de nombreux effluents sans qu'ils aient été soumis à un traitement ou une réglementation on peut s'attendre forcément à des effets chroniques.

D'une manière générale, on peut dire que la baie d'Alger est soumise à l'influence directe de deux milieux différents. D'une part, elle subit l'influence de la ville du grand Alger constituant ainsi un déversoir des eaux usées et d'autre part, elle est soumise à l'influence des eaux du large gouvernée par le courant Algérien, d'où les eaux relèvent des caractéristiques de celle d'origine Atlantique.

## Conclusion

---

On ne peut, sur la base des données de la présente étude limitée dans le temps et dans l'espace, procéder et prononcer avec une marge de confiance raisonnable à une évaluation scientifique fiable de l'état de la pollution et des effets biologiques qui lui sont éventuellement associés, de ce fait une étude plus large couvrant la plus grande partie du littoral algérois s'impose à fin d'améliorer cette évaluation de la pollution, Par contre on peut conclure aisément que l'impact anthropique sur la baie d'Alger s'est accentué depuis 1989.

Enfin, compte tenu de l'état actuel de la baie et 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.



# B i b l i o g r a p h i e

## Bibliographie

---

- Albinet A., 2006.** Hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs dérivés nitrés et oxygénés dans l'air ambiant : caractérisation physico-chimique et origine. Thèse de doctorat en chimie analytique et environnement, université Bordeaux 1. 390p.
- AMINOT.A ; CHAUSSEPIED.M ; 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEXO, Brest.* 395 p.
- AMINOT.A ; CHAUSSEPIED.M ; 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edt CNEXO, Brest.* 395 p.
- AMINOT.A ; KEROUEL.R ; 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. *Edt Ifremer.* 336pb
- Bachari Houma F., 2009.** Modélisation et cartographie de la pollution Marine et de la bathymétrie à partir de l'image satellitaire. Thèse de Doctorat en Sciences Univers Environnement, Université du Val de Marne Paris XII (France), 234p.
- Bachouche S., 2003.** Mesure des paramètres physico-chimiques et analyse des sels nutritifs dans le littoral algérois. Mémoire de DEUA, ISMAL, Algérie, 49 P.
- Bareche B. et Inal H., 2008.** Variations spatiales des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs dans le golfe d'Annaba et au large de la baie d'Alger en période estivale. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie, 73 P.
- BARNIER M. EL - JAMMAL T. et MILLE G. (1986)** -Distribution et origine des
- BAUMARD P., BUDZINSKI H. and GUARRIGUES P. (1998)** -PAHs in Arcachon Bay,
- BEN AISSA. N ; CHIBANE. H ; MESSAR. K ; 2006.** Etude bathymétrique et sédimentologique du port d'Alger. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL.* 54 p.
- BOCARD C. GATTELLIER C. et RENAULT Ph. (1978)** - Le pétrole et son évolution après un épandage accidentel en mer. *Institut Français du pétrole (3).* pp. 349-366.
- BOCARD. C; 2008.** Marine oil spills and soils contaminated by hydrocarbons: Environmental Stakes and Treatment of pollutions. *Edst TECHNIP.* 285 p.
- Boulahdid M., Eddalia N., Boudjellal B. et Azzouz M., 2003.** Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physicochimiques et environnementaux. *Annales de l'institut National Agronomique- El Harrach- Vol.24, N°1 et 2, 39-54.*

## Bibliographie

---

- C.O.I., 1982.** La détermination des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments. Manuels et guides, 11, Commission Océanographique intergouvernementale de l'Unesco, 31p.
- C.O.I., 1984.** Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Procédures applicables à la composante pétrolière du système de surveillance de la pollution marine de la C.O.I. (MRRR POLMON-P). Manuels et guides, 13, Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco, 35p.
- CEDRE (1993)** - Etude diagnostique des côtes de l'Algérie, du Maroc et de la Tunisie. *Serince de consultants Sogreah*, 'Cedre. 138 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 ; 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.
- France : Origin and Biomonitoring with caged organisms. *Mar. Poll. Bull.*, Vol. 36, n°8, pp. 577-586.
- GAUJOUS.D ; 1995.** La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Technique et documentation. 40-41 p.
- hydrocarbures dans les sédiments l'île Port Cros (France). *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, Vol. 30, n°2, p. 125.
- INERIS., 2005.** Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Guide méthodologique. Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'étude N° 66244 DESP-R01. 85p + annexe.
- IVANOFF.A ; 1972.** Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Edt Librairie Vuibert*. Tome I.208p
- K. LEE LERNER ; BRENDA WILMOTH LERNER; 2005.** Encyclopedia of Water Science. Volume 3.

## Bibliographie

---

*Edt Thomson Gale. 510p*

**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.*

**LEFEBVRE. G ; 1978.** Chimie des hydrocarbures. *Edst TECHNIP. 284 p.*

**LEM., 2006.** Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger.

**Leroy J-B., 1999.** La pollution des eaux. Edition : le point des connaissances actuelles, France, 126 P.

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

**Mille G., Guiliano M., et Dou H., 1983.** Etude par spectroscopie de fluorescence UV des variations saisonnière du contenu en hydrocarbures aromatiques polycycliques de sédiments côtiers superficiels méditerranéens (Côte Bleue, Bouches – du Rhône). *Vie Marine, 5. Pp ; 57 – 62.*

**RAMADE. F ; 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. *Edt Ediscience international. p487*

**RAMADE. F ; 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. *Edt Ediscience international. 690-691 p.*

**RAMADE. F; 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. *Edt Ediscience international. 292p*

**RODIER.J ; BAZIN.C ; BROUTIN.J ; CHAMBO.P ; CHAMPSAUR.H ; RODI.L ; 1996.** L'analyse de l'eau ; eau naturelle, eaux résiduelles, eau de mer. 8<sup>ème</sup> édition. *Edt Dunod, Paris. 1383p.*

**Salot A., 1981.** Natural hydrocarbons in sea water. In : Duursma, E.K. and Dawson, R. (Eds.), *Marine organic chemistry.* Elsevier, Amsterdam, pp. 327-374.

**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. 118p*

**Sebih S., 1990.** Analyse des hydrocarbures dissous dans l'eau par chromatographie ; Thèse de doctorat d'état, USTHB. 140p.

**SMAIL. M. B ; 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.*

## Bibliographie

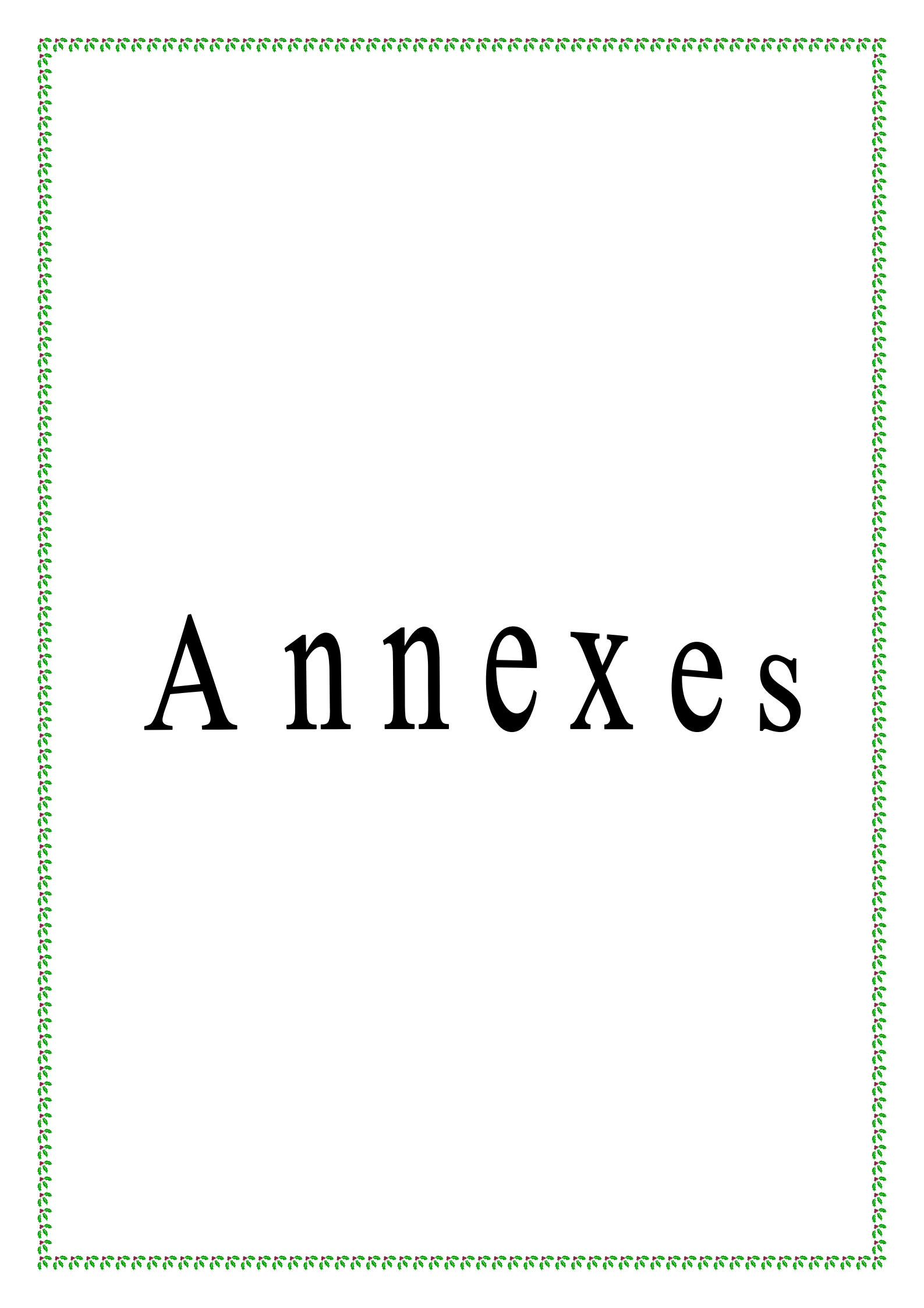
---

**Soltani M., 2004.** Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de Doctorat en Chimie Analytique, l'UNIVERSITE PARIS 6(France), 284p.

**UNEP/IOC/IAEA., 1992.** Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Reference Methods for Marine Pollution Studies N°20, 76p.

## Bibliographie

---



# A n n e x e s

## Annexes

**Tableau 1:** Localisation et caractéristiques des stations de prélèvement.

Stations	Date	Heure	longitude	latitude	Profondeur max(m)	Etat de la mer
<b>BAIE</b>						
<b>B1</b>	19/03/2011	10h00	3°04'69"E	36°47'07"N	22m	Peu agitée
<b>B2</b>	19/03/2011	10H20	3°04'50"E	36°46'52"N	15m	//
<b>B3</b>	19/03/2011	15H22	3°04'37"E	36°46'70"N	14m	//
<b>B4</b>	19/03/2011	14H30	3°06'81"E	36°47'06"N	27m	//
<b>B5</b>	19/03/2011	14H52	3°06'46"E	36°46'21"N	17m	//
<b>B6</b>	19/03/2011	11H40	3°06'11"E	36°45'55"N	8m	//
<b>B8</b>	19/03/2011	13H30	3°07'98"E	36°46'98"N	26m	//
<b>B9</b>	19/03/2011	14H	3°08'74"E	36°46'09"N	15m	//
<b>B10</b>	19/03/2011	12H09	3°7'60"E	36°45'75"N	14,5m	//
<b>B14</b>	19/03/2011	12H41	3°9'41"E	36°45'9"N	24,6m	//
<b>B17</b>	19/03/2011	13H04	3°10'24"E	36°46'17"N	16m	//
<b>PORT</b>						
<b>P2</b>	19/03/2011	15H41	3°04'04"E	36°46'80"N	7m	Calme
<b>P4</b>	19/03/2011	15H50	3°03'97"E	36°46'61"N	7m	//
<b>P5</b>	19/03/2011	16H05	3°03'86"E	36°46'50"N	10m	//
<b>P6</b>	16/03/2011		3° 3'80"E	36°46'44"N		//
<b>P8</b>	16/03/2011		3° 3'41"E	36°46'03"N		//
<b>P9</b>	16/03/2011	14H30	3° 3'14"E	36°46'37"N		//
<b>P10</b>	16/03/2011		3° 3'13"E	36°45'47"N		//
<b>P11</b>	16/03/2011		3° 4'83"E	36°45'02"N		//
<b>P12</b>	16/03/2011		3° 4' 38"E	36°45'43"N		//
<b>P13</b>	16/03/2011		3° 4' 87"E	36°45'09"N		//
<b>P14</b>	16/03/2011		3° 4'30"E	36°45'27"N		//
<b>P15</b>	19/03/2011	16H25	3°4'59"E	36°45'74"N	15m	//

**Tableau 2 :** Moyennes mensuelles des précipitations (P) en mm et de Températures (T) en ° C (Période 1993 2003) (in Bachouche, 2003).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
<b>Moy mensuelle (T°C)</b>	11,7	11,2	13,5	14,9	19,1	21,8	25,2	26,3	23,4	19,9	15,1	12,5	17,9
<b>Moy mensuelle (P mm)</b>	84,82	75,92	37,06	61,36	31,36	6,47	1,73	13,18	31,40	43,19	90,34	104,57	48,4

# Annexes

C-B4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=32 CHROMATOGRAM=1:@CHR#1.CCC 00/00/'2 01:33:23

Analysis File : 1:@FILE1

UOP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

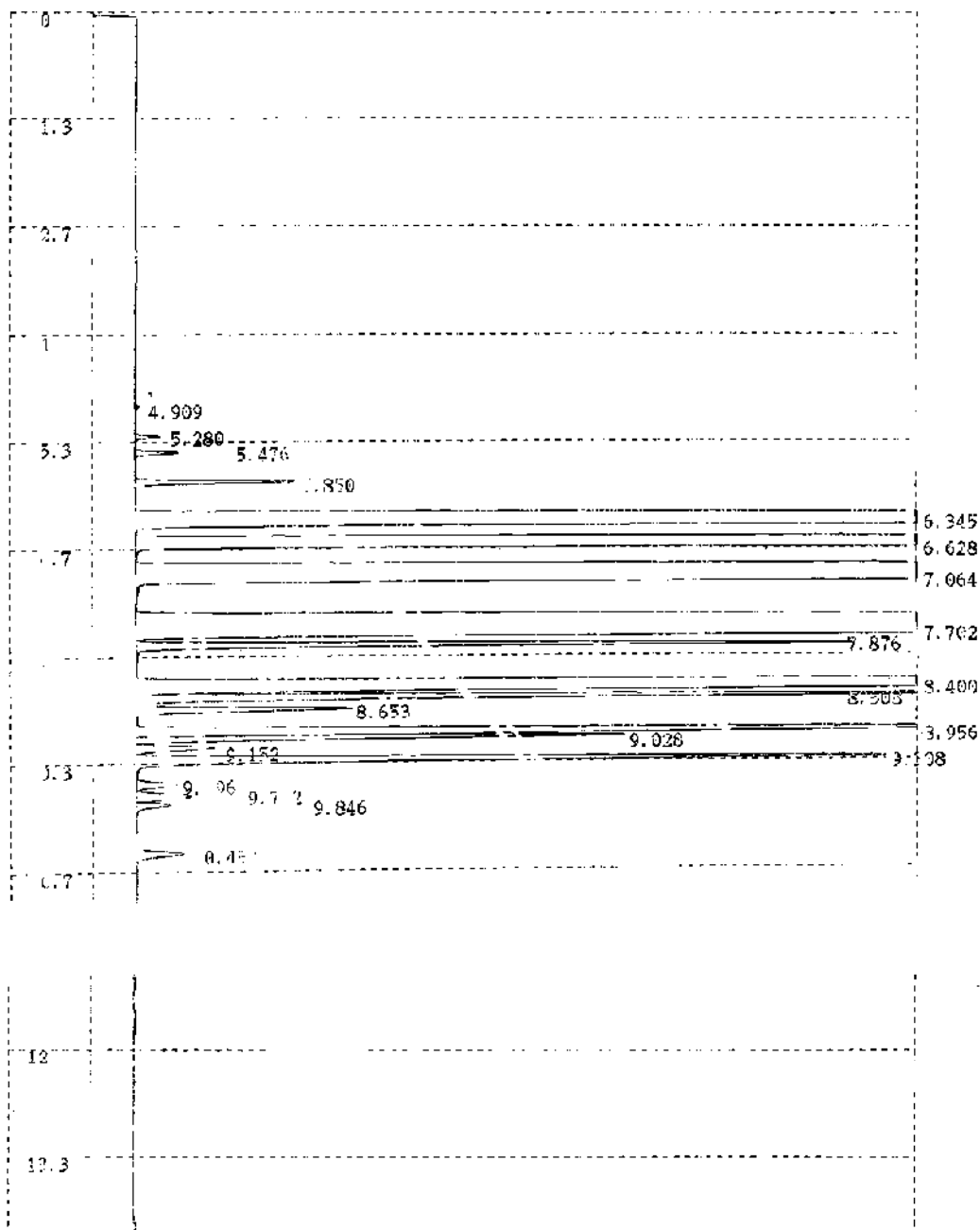


Figure 1 : Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°3.

⊕ Shimadzu

011

223-02

## Annexes

CALCULATION REPORT **							
PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	PK	IDNO	CONC	NAME
1	4.909	18	8			0.0011	
2	5.26	131	59			0.008	
3	5.476	244	104			0.0149	
4	5.85	013	392			0.0619	
5	6.345	20333	54023			12.747	
6	6.628	30111	76794	V		18.1385	
7	7.064	698104	105502			42.678	
8	7.702	310323	877			18.9635	
9	7.876	4848	1737	V		0.2903	
10	8.4	83050	19149			5.1298	
11	8.508	7299	2385	V		0.446	
12	8.653	1764	527	V		0.1078	
13	8.956	10869	2833	V		0.6642	
14	9.028	3241	1183	V		0.198	
15	9.152	683	189	V		0.117	
16	9.308	6723	1820	V		0.4198	
17	9.396	385	99	V		0.0255	
18	9.742	833	132	V		0.0367	
19	9.846	322	83	V		0.0197	
20	10.453	517	114			0.0316	
TOTAL		1636513	315011			100	

**Figure 2 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon n°3.

# Annexes

A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No. 35 CHROMATOGRAM=1:CHRM1.C00 00/00/12 02:58:23

ysis File : 1:FILE1

394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

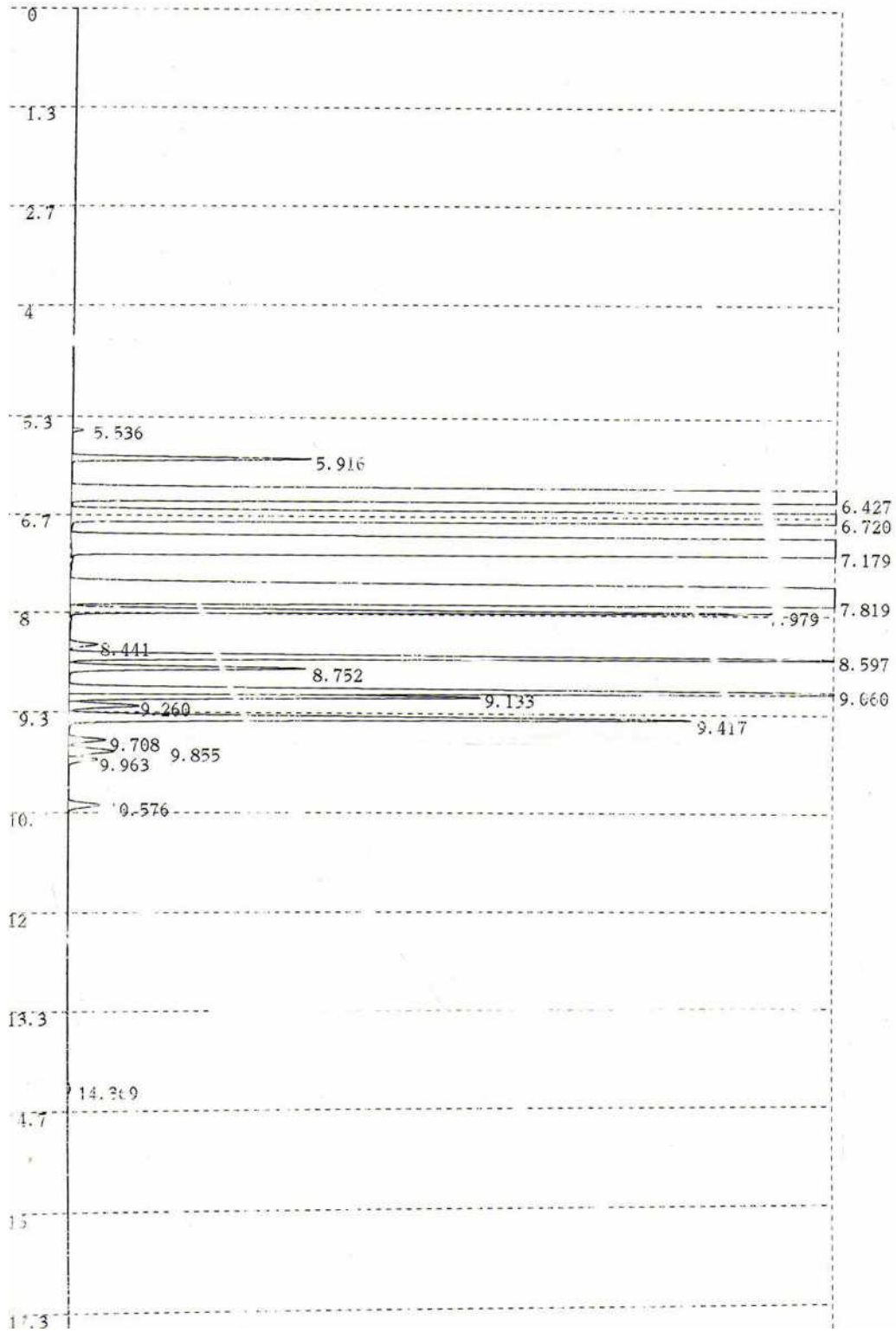


Figure 3 : Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°5.

Shimadzu

015

223-02000-01

920

# Annexes

C-R4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=36 CHROMATOGRAM=1:CHRM1.C09 00/00/12 02:58:23

Analysis File : 1:RFILE1

UOP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	5.536	74	30			0.0035	
	2	5.916	1725	628			0.0818	
	3	6.427	302251	67922			14.3295	
	4	6.72	418523	90807	V		19.8419	
	5	7.179	953131	122458			45.1895	
	6	7.810	397433	57366			18.842	
	7	7.979	4992	1830	V		0.2360	
	8	8.44	253	72			0.012	
	9	8.597	7132	2136	V		0.3391	
	10	8.752	2130	618	V		0.101	
	11	9.06	9881	2597	V		0.4685	
	12	9.133	3281	1078	V		0.1556	
	13	9.26	675	181	V		0.332	
	14	9.417	6079	1620	V		0.2882	
	15	9.708	581	96	V		0.0181	
	16	9.895	576	118	V		0.0275	
	17	9.965	296	77	V		0.0141	
	18	10.576	377	85			0.0179	
	19	14.369	83	8			0.0025	
<b>TOTAL</b>			<b>2109293</b>	<b>349737</b>			<b>100</b>	

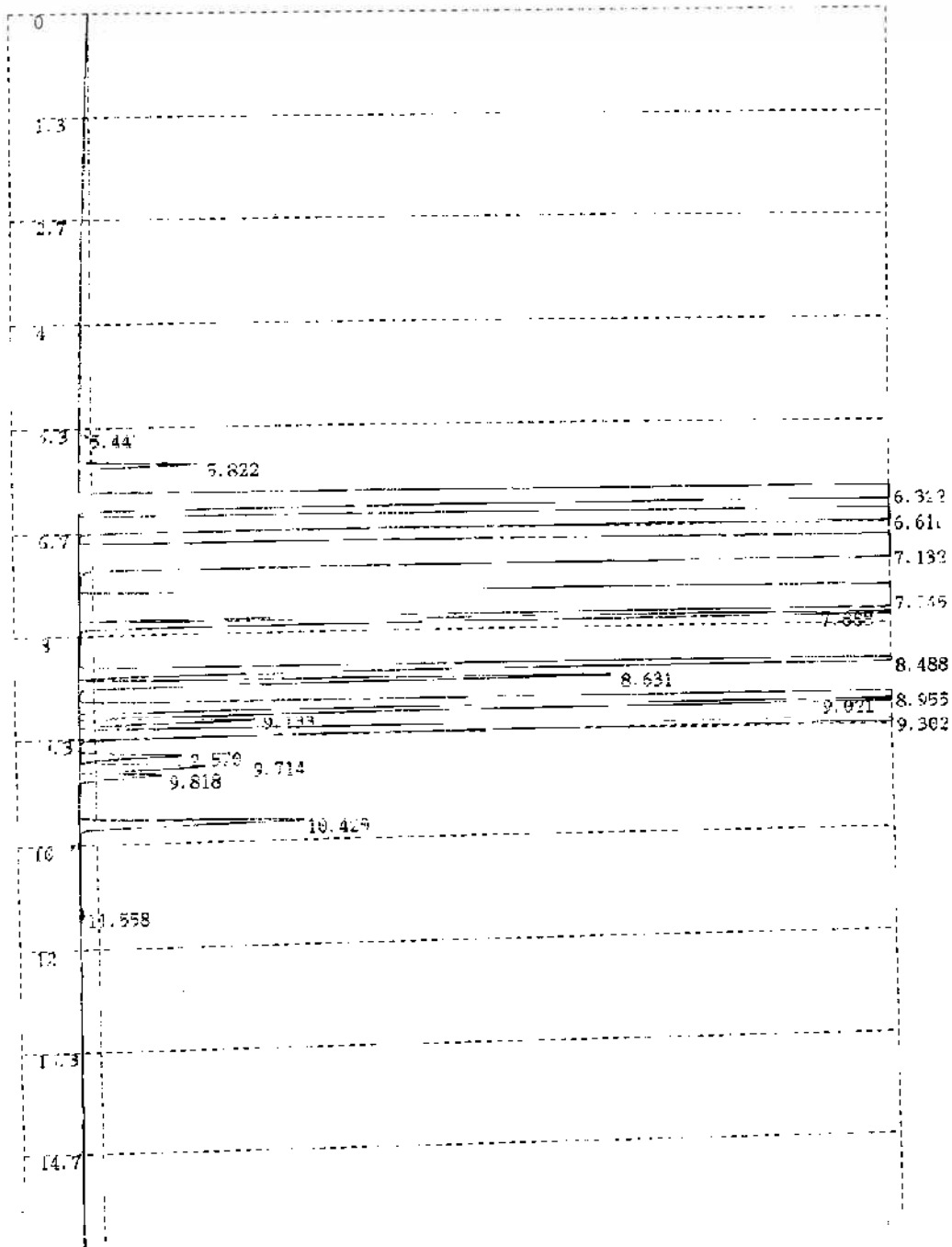
**Figure 4 : Résultats de l'analyse de l'échantillon N°5.**

# Annexes

IR4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=16 CHROMATOGRAM=1:@CHRM1.C00 09/00/09 03:55:13

Analysis File : 1:@FILE1

JOP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*



159

228-02000-01

920415

⊕ *Standard*

IR4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=17 CHROMATOGRAM=1:@CHRM1.C00 00/00/09 03:55:13

Analysis File : 1:@FILE1

JOP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

Figure 5: Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°6.

# Annexes

C-R4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=18 CHROMATOGRAM=1:@CHRM1.C30 00/00/09 03:55:13

Analysis File : 1:@FILE1

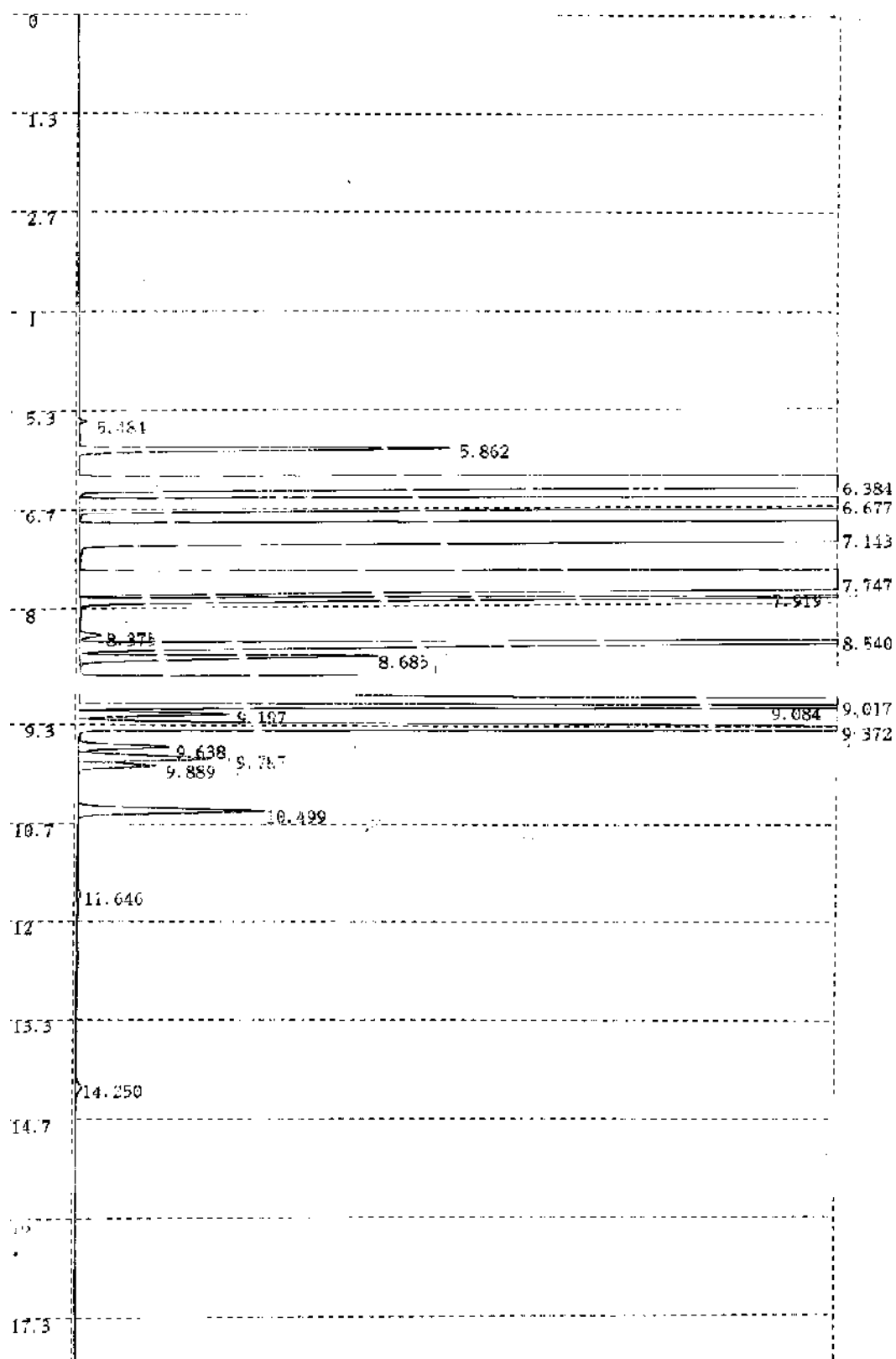
UOP-39: \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

\*\* CALCULATION REPORT \*\*

CH	PKNO	RET	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	5.117	55	23			0.0018	
	2	5.8	860	301			0.0288	
	3	6.322	269750	51073			9.0265	
	4	6.618	432772	73421	V		14.4705	
	5	7.192	1593809	158433	V		53.325	
	6	7.745	607601	72174	V		20.3319	
	7	7.838	9322	3661	V		0.3119	
	8	8.483	15357	4654			0.5138	
	9	8.631	4456	1337	V		0.1502	
	10	8.955	21754	5866			0.8282	
	11	9.021	7395	2864	V		0.2471	
	12	9.133	1530	443	V		0.0514	
	13	9.302	15402	4132	V		0.5153	
	14	9.57	945	256			0.0310	
	15	9.714	1405	318	V		0.049	
	16	9.818	791	207	V		0.0265	
	17	10.42	2389	565			0.0799	
	18	11.558	17	7			0.0016	
TOTAL:			2986356	379734			100	

**Figure 6:** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°6.

# Annexes



017

223-02000-01

920415

⊕ *Standard*

Figure 7: Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°9.

# Annexes

C-R4A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No. =38 CHROMATOGRAM=1:CHEM1.C00 00/00/12 03:31:17

Analysis File : 1:FILE1

UOP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH	PKNO	TIME	AREA	WEIGHT	ME	IDNO	COND	NAME
1	1	5.484	54	22			0.0021	
	2	5.862	2712	971			0.1083	
	3	6.384	402664	79053			16.0785	
	4	6.677	506937	98093	V		20.2421	
	5	7.143	1141320	133317	V		45.5732	
	6	7.747	368134	48817			14.6997	
	7	7.919	7520	2766	V		3.3002	
	8	8.375	191	54			0.0076	
	9	8.54	1345	4231	V		0.5728	
	10	8.685	73	781	V		0.1067	
	11	9.017	25604	5138			1.0048	
	12	9.084	8137	2047	V		0.3249	
	13	9.197	1388	395	V		0.0551	
	14	9.372	17080	4440	V		0.6823	
	15	9.613	856	234	V		0.0358	
	16	9.781	1620	145	V		0.0647	
	17	9.889	779	204	V		0.0311	
	18	10.499	2097	409			0.0837	
	19	11.646	35	8			0.0022	
	20	14.25	104	14			0.0041	
TOTAL			2504365	383019			100	

**Figure 8 :** Résultats de l'analyse de l'échantillon N°9.

# Annexes

14A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=33 CHROMATOGRAM=1:@CHRM1.CCG 00/00/12 02:22:1  
Analysis File : 1:@FILE1  
-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

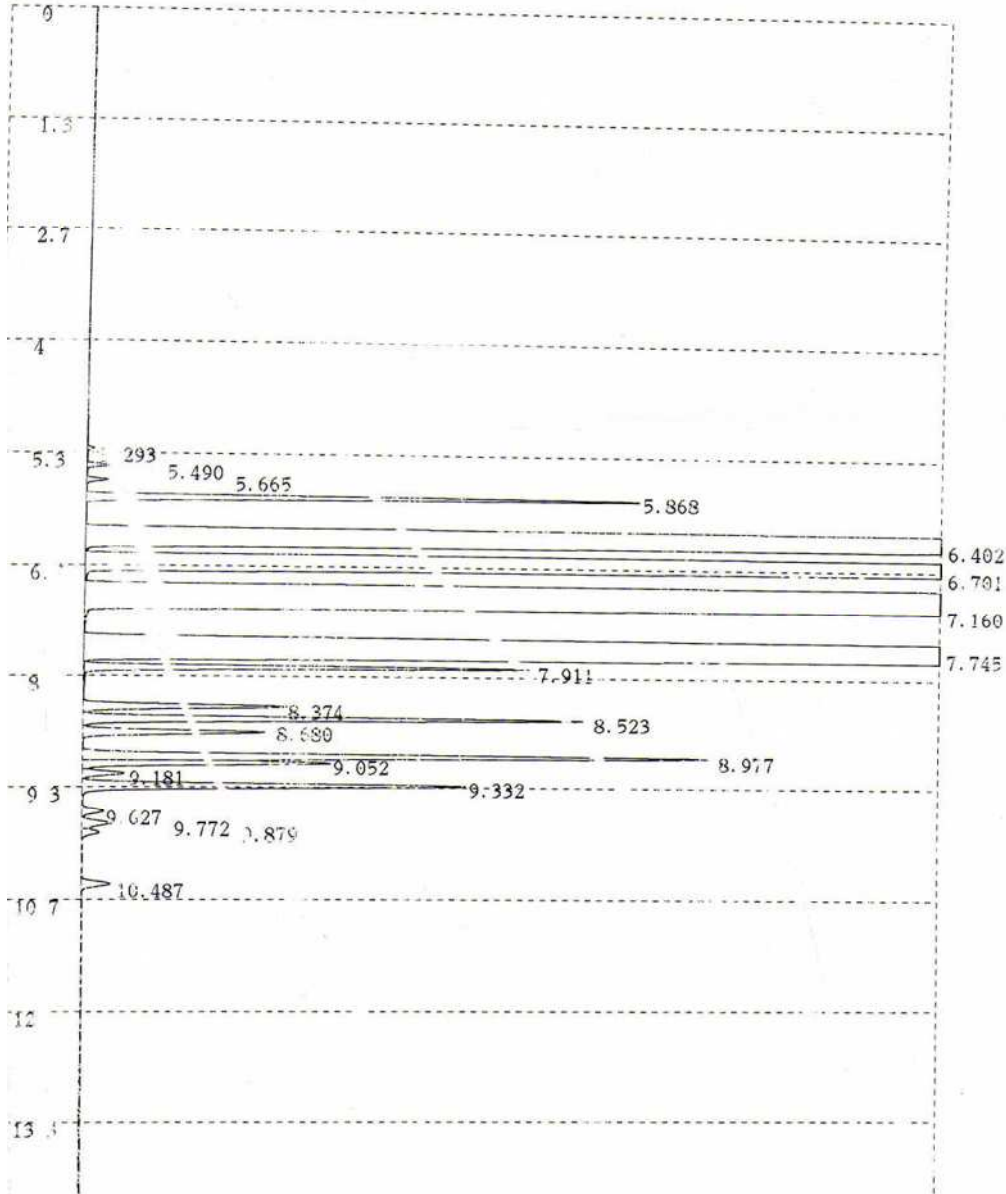


Figure 9 : Chromatographe des hydrocarbures aliphatique de l'échantillon N°10.

# Annexes

OP-394 CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=34 CHROMATOGRAM=1:@CHRM1.C@@ 00/00/12 02:22:1

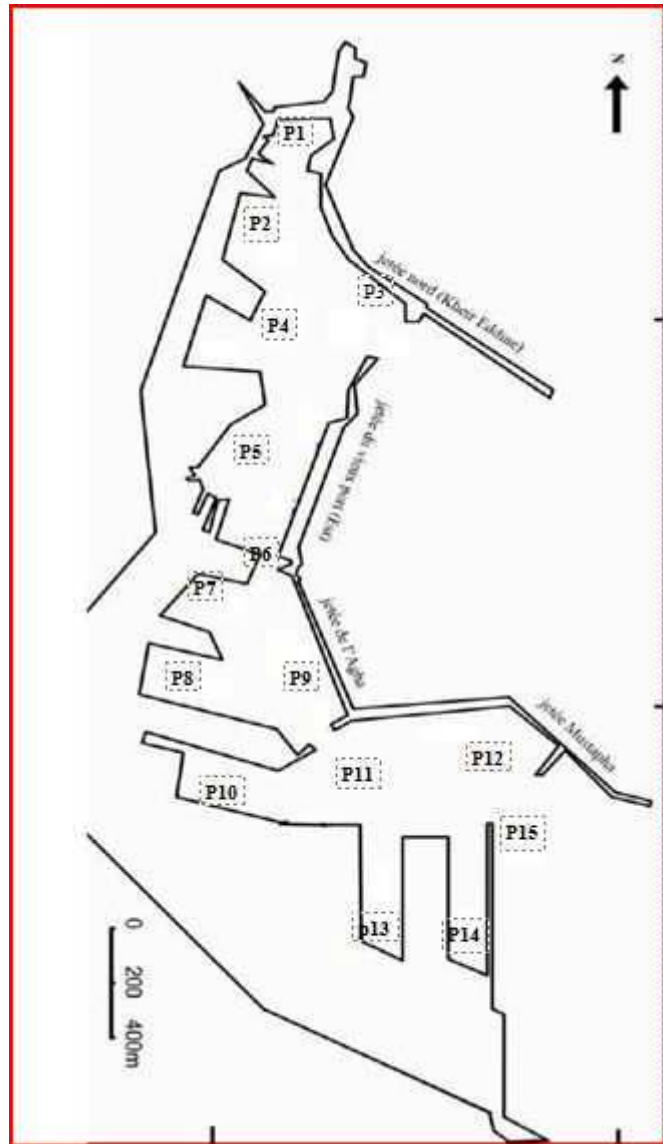
analysis File : 1:@FILE1

OP-394 \*\*\*\*\* AROMATIC ANALYSIS IN NAPHTHA \*\*\*\*\*

## \* CALCULATION REPORT \*\*

H	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	5.293	40	17			0.0014	
	2	5.49	137	56			0.0048	
	3	5.605	135	52			0.0048	
	4	5.868	3800	1296	V		0.1529	
	5	6.402	593164	104801			29.7489	
	6	6.701	690591	123725	V		24.1572	
	7	7.16	253611	143366	V		43.8515	
	8	7.745	7555	49887			10.3989	
	9	7.911	250	1011	V		0.0999	
	10	8.374	1620	478			0.0575	
	11	8.523	3836	1169	V		0.1342	
	12	8.78	1470	427	V		0.0514	
	13	8.77	5329	1463	V		0.1864	
	14	8.652	1857	580	V		0.065	
	15	8.181	370	101	V		0.0129	
	16	9.132	3350	857	V		0.1172	
	17	9.127	209	52	V		0.0073	
	18	9.172	319	66	V		0.0112	
	19	9.879	166	42	V		0.0058	
	20	10.46	311	69			0.0109	
		TOTAL	2858765	429585			100	

Figure 10 : Résultats de l'analyse de l'échantillon N°10.



**Figure 11** : Localisation des stations de prélèvements au niveau du port d'Alger.

