

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 DE  
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement Marin

Thème :

**Pollution des eaux et les sédiments marins de la baie de  
Zemmouri par les hydrocarbures**

Présenté par : M<sup>r</sup>. CHOUCHAN Salah Eddine

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

M <sup>me</sup> BOUBECHICHE.Z	Maitre- Assistante A	ENSSMAL	Présidente
M <sup>r</sup> BOULAHIDID. M	Professeur	ENSSMAL	Examineur
M <sup>r</sup> KADA. M	Assistant	ENSSMAL	Examineur
M <sup>me</sup> BENTCHIKOU. L	Maitre- Assistante A	ENSSMAL	Promotrice

Promotion : (2013/2014)

## **Résumé**

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

A cette effet notre étude porte sur l'évaluation le degré de contamination de la baie de Zemmouri par les hydrocarbures aromatiques polycycliques, pour atteindre cette objectif, plusieurs prélèvements on été effectuées le 1 juillet 2014 dans les deux matrices (eau et sédiment).

L'analyse de l'eau de mer et du sédiment superficiel de cette baie par Spectrofluométrie Ultraviolette, donne un résultat instantané de la pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui nous ont aidés d'avoir une vue globale sur l'état de pollution à ce niveau.

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

## Remerciements

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

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

*Je remercie M<sup>me</sup> Bentchikou .L d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions.*

*Je tiens à remercier M<sup>me</sup> Boubechiche.Z d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Je tiens à remercier M<sup>r</sup> Boulahdid. M d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.*

*Je remercie M<sup>r</sup> Kada. M d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.*

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

*Je tiens aussi à remercier vivement M<sup>r</sup> Boudjellal pour sa disponibilité, son aide et pour sa gentillesse.*

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

**Merci à tous et à toutes**



## Dédicace

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

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

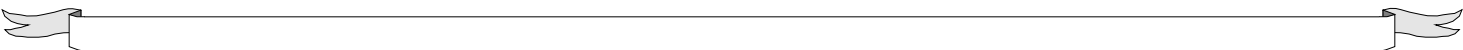
***Mon père** Hamid qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider et avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit.*

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

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

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

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



# Table des matières

---

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

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

## Chapitre I : Zone d'étude

I. Baie de Zemmouri.....	16
I.1. Situation géographiques.....	16
I.2. Morphologie littorale et sous marine.....	16
I.3. Facteurs hydrodynamiques.....	18
I.3.1. La houle.....	18
I.3.2. Les courants.....	18
I.4. Réseaux hydrographiques.....	19
I.5. La météorologie.....	19
I.6.1. Le vent.....	19
I.6.2. La pluviométrie.....	19
I.6.3. La température.....	20

## Chapitre II : Synthèse bibliographique

II.1. La pollution par les hydrocarbures.....	22
II.1.1. Définitions des hydrocarbures.....	22
II.1.2. Origine des hydrocarbures dans l'environnement marin.....	22
II.1.2.1. Origine Anthropique.....	22
II.1.2.1.1. Pollution par des pétroliers.....	22
II.1.2.1.2. Pollution par tous types de navires.....	23
II.1.2.1.3. Rejets d'effluents domestiques.....	23
II.1.2.1.4. Pollution d'origine industrielle.....	23
II.1.2.1.5. Pollution agricole.....	24
II.1.2.2. Les hydrocarbures biogènes.....	24
II.1.3. Propriétés physiques des hydrocarbures.....	24
II.1.3.1. Densité.....	24
II.1.3.2. La viscosité.....	24
II.1.3.3. le point d'écoulement.....	25
II.1.3.4. le point éclair.....	25
II.1.3.5. le point d'ébullition.....	25
II.1.3.6. La tension superficielle.....	25
II.1.4. Classification des hydrocarbures.....	25
II.1.4.1. Les hydrocarbures aliphatiques.....	25
II.1.4.1.1. Les paraffines (les Alcanes).....	25
II.1.4.1.2. Les oléfines (Alcènes).....	26
II.1.4.2. Les hydrocarbures naphthéniques.....	26
II.1.4.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	26
II.1.4.4. Les asphaltènes.....	27
II.1.4.5. Les résines.....	27
II.1.5. Comportement et le devenir des hydrocarbures dans le milieu marin.....	27
II.1.5.1. Evaporation.....	28
II.1.5.2. Dissolution.....	28
II.1.5.3. L'émulsion.....	28
II.1.5.4. Photo-oxydation.....	29
II.1.5.5. Biodégradation.....	29
II.1.5.6. Sédimentation.....	29

## Table des matières

---

II.1.6. Impact environnemental des hydrocarbures.....	30
II.1.6. 1. Impacts sur les communautés vivantes de la colonne d'eau.....	30
II.1.6. 2. Impacts sur le phytoplancton.....	30
II.1.6.3. Impacts sur les bactéries.....	30
II.1.6.4. Impacts sur le zooplancton.....	31
II.1.6.5. Impacts sur le milieu benthique.....	31
II.1.6.6. Impacts sur les oiseaux et les mammifères.....	31
II.1.6.7. Conséquence pour la santé de l'homme.....	32
II.1.6.8. Conséquence économiques.....	33
II.1.7. Lutte contre la pollution par les hydrocarbures.....	33
II.1.7. 1. La récupération mécanique.....	33
II.1.7. 2. La dispersion.....	33
II.1.7. 3. La dissipation naturelle.....	34
II.1.7. 4. La dépollution biologique.....	34

### Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Matériels utilisés.....	36
III.1.1. Préparation et conditionnement du matériel utilisé.....	37
III.2. Travaux effectués en mer.....	37
III.2.1. Choix et localisation des stations du prélèvement.....	37
III.2.2. Prélèvements et échantillonnages.....	38
III.2.2.1. Prélèvement d'eau.....	38
III.2.2.2. Prélèvement des sédiments.....	39
III.2.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	39
III.3. Traitements des échantillons effectués au laboratoire pour l'analyse des Hydrocarbures.....	40
III.3.1. Principe de la méthode d'analyse.....	40
III.3.2. Les hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer.....	40
III.3.2.1. L'extraction.....	42
III.3.2.2. Concentration.....	42
III.3.2.2.1. Concentration par Evaporateur rotatif.....	43
III.3.2.2.2. Concentration par Sous jet d'Azote.....	43
III.3.2.3. Purification.....	44
III.3.2.3.1. La fraction aliphatique.....	44
III.3.2.3.2. La fraction aromatique.....	44
III.3.3. Les hydrocarbures dans les sédiments superficiels.....	45
III.3.3.1. Congélation.....	47
III.3.3.2. Lyophilisation.....	47
III.3.3.3. Broyage.....	47
III.3.3.4. Extraction au Soxhlet.....	47
III.3.3.5. Concentration.....	48
III.3.3.6. Traitement au mercure.....	48
III.3.3.7. Purification.....	49
III.3.4. Méthodes d'analyses des hydrocarbures.....	49
III.3.4.1. Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V).....	49
III.3.4.1.1. Principe de la méthode d'analyse.....	49
III.3.4.1.2. Appareillage.....	50
III.3.4.1.3. Etalonnage et préparation des standards.....	50
III.3.4.1.4. Mesure des intensités de fluorescence.....	51
III.3.4.1.5. Mode de calcul des concentrations.....	52
III.3.5. Quantification de la matière organique dans les sédiments.....	53

# Table des matières

---

## Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Variations des paramètres physicochimiques.....	55
IV.1. 1. Température.....	55
IV.1. 2. Salinité.....	55
IV.1. 3. Potentiels d'Hydrogène (pH).....	56
IV.1. 4. Oxygène dissous (OD).....	57
IV.2. Variations des paramètres mesurés au laboratoire.....	58
IV.2.1. Matière organique (MO).....	58
IV.2.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer.....	59
IV.2.3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments.....	62

## Chapitre V : Etude comparative entre la baie d'Alger et la baie de Zemmouri.....64

Conclusion.....	67
Bibliographie.....	69
Les annexes.....	73

## Liste des figures

Figures	Pages
<b>Figure 1</b> : Situation géographique de baie de Zemmouri (Google earth, 2014).	16
<b>Figure 2</b> : Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri ( <b>Harbi et SI Bachir, 2009</b> ).	17
<b>Figure 3</b> : Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : <b>CEDRE, 2006</b> ).	28
<b>Figure 4</b> : localisation des stations des prélèvements au niveau de Zemmouri.	38
<b>Figure 5</b> : Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer	25
<b>Figure 6</b> : Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter.	41
<b>Figure 7</b> : Dispositif d'un évaporateur rotatif	42
<b>Figure 8</b> : Concentration sous jet d'azote pur	42
<b>Figure 9</b> : Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte	43
<b>Figure 10</b> : Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'analyse des hydrocarbures dans le sédiment superficiel marin	46
<b>Figure 11</b> : Extracteur Soxhlet	48
<b>Figure 12</b> : Spectrofluorimètre rayonnement ultraviolet HITACHI	50
<b>Figure 13</b> : Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA	52
<b>Figure 14</b> : Variation de la température au niveau de la baie de Zemmouri.	56

## Liste des figures

<b>Figure 15</b> : Variation de la salinité dans la baie de Zemmouri.	57
<b>Figure 16</b> : Variation du pH dans la baie de Zemmouri.	57
<b>Figure 17</b> : Variation de l'oxygène dissous dans la baie de Zemmouri.	58
<b>Figure 18</b> : Variation de la matière organique dans les sédiments de Zemmouri.	59
<b>Figure 19</b> : Variation des HAP dans les eaux de Zemmouri.	59
<b>Figure 20</b> : Distribution des HAP dans l'eau de mer de la baie de Zemmouri.	60
<b>Figure 21</b> : Variation des HAP dans les sédiments de la baie de Zemmouri.	62
<b>Figure 22</b> : Distribution des HAP dans les sédiments de la baie de Zemmouri.	62
<b>Figure 23</b> : Les concentrations moyennes des HAP dans l'eau de mer de la baie d'Alger et Zemmouri.	64
<b>Figure 24</b> : Les concentrations moyennes des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger et Zemmouri.	65

## Liste des tableaux

---

<b>Tableaux</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b> : L'effet à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source : <b>CEDRE, 1990</b> in <b>Fattal, 2008</b> ).	32
<b>Tableau 2</b> : Matériels utilisés pour l'analyse des hydrocarbures.	36
<b>Tableau 3</b> : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.	50
<b>Tableau 4</b> : les variations des paramètres étudiés au niveau de la baie de Zemmouri.	64
<b>Tableau 5</b> : comparaisons des teneurs des HAP dans la baie d'Alger et Zemmouri	65

## Liste des acronymes

---

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

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

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

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

**HC** : **H**ydrocarbure.

**IF** : Intensité de **F**luorescence.

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

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

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

**St** : **S**tandard.

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

**ST** : **S**tation.

**UA** : Unité **A**rbitraire.

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

## Liste des équations

---

<b>Equations</b>	<b>Pages</b>
<b>(1):</b> Droit d'étalonnage	51
<b>(2):</b> Mode de calcul de la concentration des hydrocarbures dans l'eau de mer	52
<b>(3) :</b> Mode de calcul de la concentration des hydrocarbures dans le sédiment	53
<b>(4) :</b> Quantification de la matière organique dans le sédiment.	53

# **Introduction**

## Introduction

---

Un polluant est par définition, un agent physique, chimique ou biologique qui dégrade le milieu dans lequel il se trouve. C'est une substance introduite ou présente dans l'eau, susceptible d'en changer l'équilibre ou d'en altérer la qualité (**Manfredi et Daniele, 1988**).

La pollution marine a été définie par la F.A.O comme : « L'introduction directe ou indirecte par l'homme de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) lorsqu'elle a des effets nuisibles, tel que les dommages aux ressources biologiques, risque envers la santé humaine, entrave aux activités maritimes, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation de valeurs d'agrément ».

La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution, le développement considérable de la pétrochimie, lié à la croissance des industries productrices de matières plastiques, de fibres et de caoutchoucs synthétiques, de détergents et de nombreux autres produits de la chimie organique requiert chaque année des quantités plus importantes de matières premières hydrocarbonées, génèrent des pollutions organiques et chimiques.

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

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à la distribution et l'abondance des hydrocarbures dans les environnements marins. L'objectif global de ce travail permet d'évaluer le niveau de pollution au niveau de la baie de Zemmouri, et d'estimer une éventuelle augmentation en concentration suite aux phénomènes de transport et aux activités industrielles et de prédire les effets des hydrocarbures anthropogéniques sur les processus physiques, chimiques et biologiques.

Ce travail comporte quatre chapitres :

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

# **Chapitre I**

## **Zone d'étude**

## I. La baie de Zemmouri

### I.1. Situation géographique

La baie de Zemmouri est située au sud du bassin occidental méditerranéen et plus précisément au sud du bassin algéro-provençal. Elle est située dans la partie centrale des côtes algériennes juste à l'Est de la baie d'Alger, s'inscrit en creux et elle s'étale sur un linéaire côtier d'environ 17km. Elle est très largement ouverte vers le Nord, et limitée à l'Ouest par Courbet marine et à l'Est par le Cap Djinet ( $36^{\circ} 53'$  Nord et  $3^{\circ} 45'$  Est), il y'a l'existence d'un promontoire rocheux d'environ 100m le long du trait de côte (Rocher Noir).

Le littoral est caractérisé par l'alternance des plages qui sont des accumulations de matériaux, comprenant des sables fin, galets, graviers, issues soit de l'érosion des roches par la mer, soit par le drainage des matériaux érodés en amont par les oueds.



Figure 1 : Situation géographique de baie de Zemmouri (Google earth, 2014).

### I.2. Morphologie littorale et sous marine

La baie de Zemmouri fait partie de la plaine littorale de la basse Kabylie qui est une zone que partage en deux parties égales les petits massifs de Thénia. C'est une baie largement ouverte sur la mer avec des reliefs sous marin caractérisé de la mer méditerranée.

La baie est caractérisée par l'étroitesse de son plateau continental 1,5km (Leclair, 1972), il se rétrécit au niveau de mont de Thénia où la tectonique est active, sa largeur ne dépasse pas

## Chapitre I : La zone d'étude

les 3km, par ailleurs, en face de la zone basse d'Isser, la largeur du plateau peut atteindre 15km.

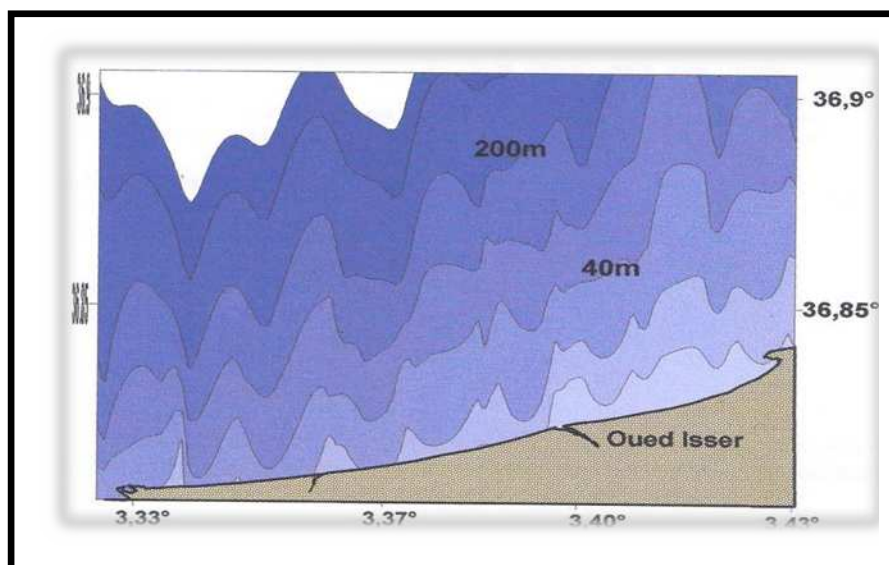
Une succession de dunes sous marines atteignant la zone de Cap Blanc et le Rocher Noir, sous l'effet de la houle, ces sédiments forment de grands amas dunaires sous marins qu'on retrouve seulement au niveau de Cap Djenet et à Cap Blanc.

Un platier rocheux contournant le promontoire de Cap Matifou pour apparaître sous forme de lambeaux formant ainsi le platier de l'île Aguéli et les îles Sanjas. Le reste du fond est constitué de sédiments meubles avec parfois une végétation clairsemée.

Le talus continental est intensément buriné par un réseau de canyons (vallée sous marine de Zemmouri) qui perturbe la régularité du plateau ainsi que l'évolution du trait de côte.

Les canyons de Cap Blanc et de Zemmouri sont parfaitement nets, en entaillant le rebord de ce talus.

Ces deux ravins sous marins, considérés comme étant le plus bel exemple et le plus important sur le plateau continental algérien, ne montrent aucun lien apparent, ni avec le réseau hydrographique, ni avec le prolongement sous marin des deux vallées de l'Oued Isser et l'Oued Sebaou.



**Figure 2 :** Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri (Harbi et SI Bachir, 2009).

### I.3. Facteurs hydrodynamiques

#### I.3.1. La houle

La baie de Zemmouri est soumise à l'action des houles de deux directions principale de vent : les houles de Nord-est sont les plus fréquents surtout en période estivale, et les houles du Nord-Ouest sont les plus actives sur les côtes (**LEM, 1989**).

#### I.3.2. Les courants

- **Les courants de dérive littorale :** Dans le cadre général des houles de petite et moyenne amplitude, ces courants ne sont notables que dans la zone de déferlement. Ils assurent donc le transport latéral (dérive latéral) et la dispersion des sables et des graviers de la frange littorale (fond de -10m). Les houles de forte amplitudes peuvent agir jusqu'à des fonds de (- 40m à - 60m). le courant de dérive littorale est la résultante au rivage de tous les mouvements d'eau dirigés vers la terre et qui sont oblique, ils ont donc une direction à la ligne de rivage et ils sont d'autant plus importants que l'angle d'incidence est plus grand.  
La dérive littoral Nord-est est la plus active, elle est à l'origine d'énormes transports littoraux acheminés depuis l'Oued Sebaou vers l'Ouest pour former les plages de Zemmouri et le de Cap Blanc.
- **Les courants de retour :** Ils sont le produit de plusieurs facteurs météo-marins comme l'incidence normale des vagues qui sont ensuite réfléchies vers le large, la surcote, les courants de downwelling côtiers.
- **Les courants permanents :** Du courant atlantique dirigé de l'Ouest vers l'Est se détache une branche secondaire qui s'incurve vers le fond de la baie et semble donner naissance à un contre courant qui longe la côte, il remonte ensuite vers le Nord pour rejoindre le courant atlantique.
- **Les courants de surface :** Ces différents courants n'agissent pas séparément, ils se combinent entre eux augmentant ou diminuant, selon le cas, leur vitesse, ainsi le courant permanent peut être perturbé en surface de dérive littorale par le vent de terre, les eaux littorales sont entraînées vers le large. Contrairement aux courants de dérive littorale et aux contre courants atlantiques qui conditionnent toute la dynamiques littorale, les courants dus aux vents n'ont un rôle que dans la dispersion des particules fines en suspensions. Dans la région de Boumerdes des mesures de courant on fait l'objet d'études dans la mer près de Zemmouri El Bahri (Institut Danois d'Hydraulique), des observations au large on été effectuées chaque trois jours durant une période de neuf mois. Ils en ressort que les courants de surface près de Zemmouri ont une direction vers l'Est, la plus grande vitesse est de 0,35 m/s. Elle fut dépassée de deux fois mais en général, les vitesses sont inférieures à 0,10 m/s.

## Chapitre I : La zone d'étude

---

- **Les courants côtiers** : les courants côtiers dominants sont de l'Est vers l'Ouest à partir de Cap Djinet jusqu'à Boumerdes où la dominance est de sens contraire, créant un courant de retour.

Les mesures courantométriques sont justifiées par l'orientation des embouchures des cours d'eau :

- ✓ L'Oued Isser est orienté vers l'Ouest.
- ✓ L'Oued Réghaia est orienté vers l'Est.

### I.4. Réseau hydrologique

Au niveau de la baie de Zemmouri se déversent une multitude d'Oued de nature et d'importances variables, ceux-ci entraînent des apports plus ou moins importants le long des côtes de la baie. Ces apports actuels peuvent provenir de deux systèmes différents :

- ❖ **Le système Est** : Qui est celui de l'Oued Isser, un des plus importants d'Algérie, à grand bassin versant transportant sur une grande distance des matériaux variables (vases, minéraux solides et légers, matières organiques...etc.).
- ❖ **Le système Ouest** : Qui est celui des petits oueds côtiers situés à l'Ouest de Zemmouri El Behri, Boudouaou, Corso, Boumerdes et Safsaf, à débits moins importants et de cours réduits, mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'où des apports de sables à minéraux variés.

En plus de ces différents matériaux que drainent ces oueds, des apports en déchets urbains et industriels se déversent en mer soit par les égouts qui débouchent directement sur la mer, soit par l'intermédiaire des oueds.

### I.5. La météorologie

#### I.5.1. Le vent

Le vent est un facteur climatique important qui joue un rôle primordial par sa fréquence et sa force, il intervient dans le transport des particules ainsi que la provocation des houles et sa déferlement.

Cette baie est marquée par la prédominance des vents qui soufflent du Nord et du Nord-Est en été, et des vents du Sud-Ouest, d'Ouest et du Nord-Ouest en hiver (**ONM, 1984**).

#### I.5.2. La pluviométrie

La pluviométrie sur le littoral Est Algérois d'après les données de précipitations mensuelles moyennes enregistrées entre **1972** et **1984** d'**Office National de Météorologie** est plus ou moins importante avec un total annuel moyen de 708 mm. On notera aussi l'existence de trois périodes :

## Chapitre I : La zone d'étude

---

- ❖ Une période de sécheresse qui s'étend du mois de Juin au mois d'Août où on remarque que les précipitations ne dépassent pas les 10mm.
- ❖ Une période plus ou moins sèche qui va du mois de Février au mois de Mars avec une moyenne de précipitation de 53,75mm.
- ❖ Une période pluvieuse allant du mois d'Octobre au mois de Janvier avec une moyenne de précipitation de 103,5mm.

### I.5.3. La température

On peut noter que la température dans cette baie varier d'une valeur qui ne tombe pas en dessous de 5,5°C en période hivernale, et d'une température moyenne de 12,9°C et un maxima en période estivale qui ne dépasse pas 38,2°C (ONM, 1984).

# **Chapitre II**

## **Synthèse bibliographiques**

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

### II .1.La pollution par les hydrocarbures

#### II.1.1. Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (C et H). Ils disposent donc de quatre liaisons obligatoires correspondant à quatre électrons. Un atome de carbone peut être relié à quatre atomes d'hydrogène ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples. Dans ces deux derniers cas, les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires qui sont des composants qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (**Fattal, 2008**).

#### II.1.2. Origine des hydrocarbures dans l'environnement marin

Les hydrocarbures sont présents dans l'environnement du fait de différents processus dont : la biosynthèse par des organismes vivants, les pertes à partir du transport ou de l'utilisation des carburants fossiles, la pyrolyse des matières organiques à haute température, la combustion des charbons et pétroles. Donc, les hydrocarbures dans l'environnement marin peuvent avoir trois origines principales:

- Les rejets industriels et urbains, sources d'hydrocarbures pétroliers ou pyrolytiques.
- Les végétaux aquatiques (phytoplancton, macrophytes) et organismes hétérotrophiques (zooplancton, bactério-plancton).
- Les végétaux supérieurs terrestres via la matière organique détritique des sols, résultant du drainage des bassins versants.

##### II.1.2.1. Origine Anthropique :

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**).

##### II.1.2.1.1. Pollution par des pétroliers

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

- ❖ **Déballastage** : Le déballastage est loin d'être négligeable et ces actes délibérés ont été pendant longtemps, la principale (notamment pour la période 1973-1981) cause des déversements d'hydrocarbures dans les mers et océans. Les eaux de ballast servent à

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

alourdir les pétroliers qui rentrent chez eux, à vide, après qu'ils aient déchargé leur cargaison.

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

- ❖ **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. La convention MARPOL 73/78 a d'ailleurs rendu obligatoire ce dernier lavage au pétrole brut.
- ❖ **Les boues :** Les boues sont issues des carburants utilisés pour les machines de pétroliers. Elles représentent à peu près 1 à 5 % du volume et elles doivent être séparées du carburant. Selon la convention MARPOL 73/78, ces boues ne peuvent être déversées en mer malgré qu'elles aient traitées à bord ou déchargées à terre dans des installations de traitement. Cette interdiction n'est pas toujours respectée et toutes les boulettes qui s'échouent régulièrement sur les plages sont dues aux rejets illicites de ces boues.
- ❖ **Les eaux de cale :** Les eaux de cale proviennent de fuites de carburant ou de lubrifiant issues de la salle des machines, qui s'accumulent dans les cales des navires. Ces eaux de cale ne peuvent être aussi rejetées directement en mer (MARPOL 73/78).

### II.1.2.1.2. Pollution par tous types de navires

Les pétroliers ne sont pas les seules responsables et les déversements de boues et d'eaux de cale peuvent être effectués par tous types de navires. En l'an 2000, les pollutions dues aux non pétroliers ont pris le pas sur les autres types de déversements. Les résidus proviennent des cargos, des bateaux de pêche et d'agrément ou encore des navires de guerre qui déversent dans le milieu 280 000 tonnes annuelles de polluant (**Fattal, 2008**).

### II.1.2.1.3. Rejets d'effluents domestiques

Ce sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration, et sont caractérisées par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux (diversifiés), sels minéraux, détergents...etc. Les conséquences de cette pollution organique sont catastrophiques pour presque tous les organismes constituant les peuplements des milieux néritiques (**Kankou, 2004**).

### II.1.2.1.4. Pollution d'origine industrielle

Constituent la première grande source de pollution des eaux, résultantes de différentes industries, telles que : la production d'énergie, l'industrie chimique, métallurgique, électronique... et cela par l'utilisation des combustibles fossiles, des molécules minérales et organiques de synthèses (**Ramade, 2000**).

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

### II.1.2.1.5. Pollution agricole

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

### II.1.2.2. Les hydrocarbures biogènes

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

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

### II.1.3. Propriétés physiques des hydrocarbures

L'étude des propriétés physiques des hydrocarbures permet de distinguer les différentes composées hydrocarbonurées des pétroles bruts ou raffinés.

#### II.1.3.1. La densité

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

La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par conséquent flottent. Dès que le poids moléculaire augmente (entre 1 et 1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau.

Outre le poids moléculaire, la modification et l'augmentation de la densité est en fonction de la température, l'évaporation ou de l'association avec d'autres particules (**Fattal, 2008**).

#### II.1.3.2. La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Elle traduit une mesure de la résistance à l'écoulement et s'exprime en centistokes (cSt – viscosité cinétique) pour une température donnée. Cette propriété régit la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis le degré de pénétration dans les sédiments lorsqu'elle arrive à la côte. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (**Fattal, 2008**).

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

### II.1.3.3. Le point d'écoulement

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

Il est lié corrélativement à la teneur en alcanes et plus le pourcentage en paraffine augmente, plus la température du point d'écoulement augmente. Dans le cas de pollution marine, ce point d'écoulement est un facteur important, tant à la côte qu'en mer, car selon l'exposition, la température ou les saisons, il peut varier (**Fattal, 2008**).

### II.1.3.4 Le point éclair

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

### II.1.3.5 Le point d'ébullition

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

### II.1.3.6 La tension superficielle

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

## II.1.4. Classification des hydrocarbures

### II.1.4.1. Les hydrocarbures aliphatiques : (les paraffines, les oléfines, les acétyléniques)

Ce sont des molécules à chaîne ouverte comprenant :

#### II.1.4.1.1. Les paraffines (les Alcanes)

Constituent une série d'hydrocarbures saturés allant du méthane (CH<sub>4</sub>) à des composés à soixante atomes de carbone (C<sub>60</sub>). Ils peuvent être à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). Ils représentent environ 30% du poids du brut et possèdent deux caractéristiques importantes (**Michel, 1983**) :

- ✓ Absence presque totale de toxicité, à l'exception des plus légers entre eux.
- ✓ Biodégradabilité rapide, en particulier de n-alcanes.

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

Les alcanes acycliques sont également nommés hydrocarbures saturés acycliques. Leur formule brute est de la forme  $C_nH_{2n+2}$ .

Les alcanes existent dans les gaz naturels ou dans le pétrole. Il faut mentionner la formation de gaz de type alcane dans les mines de charbon.

### II.1.4.1.2 Les oléfines (Alcènes)

A chaîne droite ou ramifiée, ce sont des composés insaturés, généralement absents des pétroles bruts, mais présents dans les produits raffinés. Ils sont relativement instables et s'oxydent facilement. Ils sont également appelés alcènes.

### II.1.4.2. Les hydrocarbures naphténiques

Cette famille peut représenter en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts (**Marchand et Kantin, 1995 in Fattal, 2008**).

Ce sont des hydrocarbures saturés renfermant des formes monocycliques en  $C_5$  (cyclopentane) et en  $C_6$  (cyclohexane). Ils sont en générale peu toxique, mais plus rémanents que les aliphatiques et moins que les composés aromatiques. Certains produits (stéranes, hopanes) sont parfois utilisés comme témoins de contamination pétrolière.

### II.1.4.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les hydrocarbures polyaromatiques comprennent des composés qui sont insaturés dont la molécule contient de 1 à 6 cycles benzéniques. Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbone, chacun relié à l'un de ses voisins par une double liaison et un atome d'hydrogène ( $C_6H_6$ ). Les hydrocarbures polyaromatiques de base sont le benzène, le naphthalène (deux cycles), l'anthracène (trois cycles), le chrysène et le pyrène (quatre cycles).

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

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés organiques neutres apolaires, constitués d'au moins deux cycles aromatiques fusionnés par des arrangements linéaires, angulaires ou en coin.

Au sens strict, ils ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène. Cependant, certains composés aromatiques contenant du soufre, de l'azote ou de l'oxygène, leur sont parfois associés (**INERIS, 2005**).

Ils sont considérés comme étant les plus toxiques. Leur niveau de présences dans les bruts se situe généralement entre 20 et 40%. Certains composés à plusieurs noyaux aromatiques tels que le benzo-3,4 pyrène et le benzo(a)pyrène sont doués d'une grande stabilité et sont connus comme mutagènes et cancérigènes (**Lacaze, 1980**).

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

Les hydrocarbures polyaromatiques présents dans l'environnement résultent de différents processus dont : la biosynthèse par des organismes vivants, les pertes à partir du transport ou de l'utilisation des carburants fossiles, la pyrolyse des matières organiques à haute température, la combustion des charbons et pétroles. Ce dernier processus constitue la principale voie d'introduction des hydrocarbures polyaromatiques dans l'environnement et résulte majoritairement des actions anthropiques.

En raison de leur caractère lipophile, les hydrocarbures polyaromatiques sont concentrés dans les sédiments et les organismes vivants, ils constituent un important composant chimique qui peut être absorbé par les poissons en cas de pollution pétrolière, mais ces substances subissent dans le poisson une dégradation biologique très rapide.

### II.1.4.4. Les asphaltènes

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

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

### II.1.4.5. Les résines

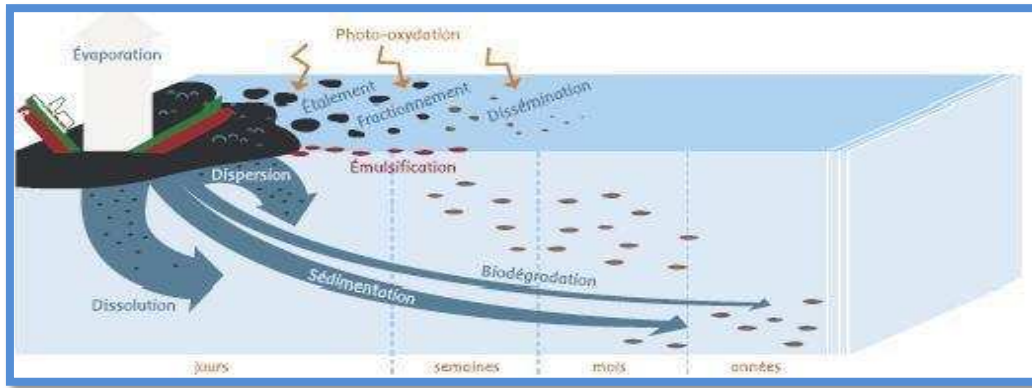
Les résines sont des composés à poids moléculaire élevé, sont constituées de molécules hétérocycliques qui confèrent au pétrole un caractère légèrement tensioactif ; ils entrent pour 5 à 25 % dans la construction des pétroles bruts (**Marchand et Kantin, 1997**).

### II.1.5. Comportement et le devenir des hydrocarbures dans le milieu marin

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

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques



**Figure 3** : Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : **CEDRE, 2006**).

### II.1.5.1. Évaporation

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

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

Après l'évaporation des fractions légères, il ne reste que celles qui sont lourdes, comme les asphaltes...qui rendent ces résidus plus denses et plus visqueux (**Marchand, 1998, in Fattal, 2008**).

### II.1.5.2. Dissolution

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

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

### II.1.5.3. L'émulsion

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

- ✓ **Emulsion huile dans l'eau** : concerne les pétroles légers et moyens. Elle se manifeste par la fragmentation de la nappe en gouttelette de pétrole qui s'intègre à la colonne d'eau. L'augmentation de l'interface huile/eau permet d'accélérer le processus de biodégradation et la dépollution dans certains cas des opérations (**Fattal, 2008**).

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

- ✓ **Emulsion de l'eau dans les hydrocarbures** (mousse au chocolat) : c'est l'incorporation de l'eau introduite dans l'huile sous l'action des vagues. Cette émulsion peut contenir jusqu'à 90% d'eau et peut avoir une viscosité et une densité plus élevées à celles des hydrocarbures d'origine (**Voirin, 1987 in Saker, 2006**).  
Vu leur grande viscosité, les hydrocarbures émulsionnés sont difficiles à enlever de la surface de l'eau.

### II.1.5.4. Photo-oxydation

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

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

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

### II.1.5.5. Biodégradation

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

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

### II.1.5.6. Sédimentation

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

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

### II.1.6. Impact environnemental des hydrocarbures

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

- ✓ les types d'habitats
- ✓ le type et la quantité d'hydrocarbures
- ✓ la période du déversement (saison et stade d'évolution des espèces)
- ✓ les conditions hydrométéorologiques
- ✓ le climat
- ✓ la fréquence et la durée d'exposition aux hydrocarbures
- ✓ l'efficacité des mesures d'intervention.

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

#### II.1.6. 1. Impacts sur les communautés vivantes de la colonne d'eau

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

#### II.1.6. 2. Impacts sur le phytoplancton

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

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

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

#### II.1.6.3. Impacts sur les bactéries

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

### II.1.6.4. Impacts sur le zooplancton

L'impact sur la communauté zooplanctonique est moins évident car il est difficile de distinguer des phénomènes anormaux d'une variabilité naturelle qui est liée aux conditions écologiques comme le brassage ou la saisonnalité. Toutefois, une marée noire entraîne inévitablement des effets. Par exemple, un an après la catastrophe de l'Amaco Cadiz et malgré le fort taux de renouvellement du zooplancton, celui-ci a continué à connaître des perturbations dans les zones côtières (**Fattal, 2008**).

### II.1.6.5. Impacts sur le milieu benthique

- **Impacts sur le phytobenthos :** Les algues benthiques ont une faible sensibilité aux hydrocarbures. Les effets à court terme, spectaculaire, se traduisent par l'englue ou la brûlure des tissus dans le cas d'un contact direct avec le pétrole. Les conséquences économiques sont alors importantes pour les espèces exploitées.

Les effets à long terme sont peu importants, en générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (**Bodennec et al, 1983 in Sallali, 1996**)

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

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

### II.1.6.6. Impacts sur les oiseaux et les mammifères

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

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

**Tableau 1** : L'effet à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source : **CEDRE, 1990 in Fattal, 2008**).

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

### II.1.6.7. Conséquence pour la santé de l'homme

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

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

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

### II.1.6.8. Conséquence économiques

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

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

### II.1.7. Lutte contre la pollution par les hydrocarbures

Les diverses techniques auxquelles il est possible de faire appel afin de traiter les hydrocarbures en mer sont en résumé les suivantes :

#### II.1.7. 1. La récupération mécanique

La récupération mécanique est en principe le moyen le plus souhaitable de traiter les hydrocarbures en mer, car elle permet d'éliminer le polluant de la surface de la mer. Dans la plupart des cas, la viscosité ne constitue plus un problème grave, il existe des écrémeurs qui permettent de récupérer des hydrocarbures très visqueux.

Des précautions doivent être prises du fait du danger d'explosion suscité tant par la nappe d'hydrocarbures que par les hydrocarbures récupérés, quoique les dangers soient bien compris, et qu'ils puissent être minimisé pendant le planning des interventions et pendant les opérations, ceci en prenant des précautions appropriées.

L'expérience récente a démontré que les navires chargés des opérations de récupération à proximité de la côte peuvent menacer les installations de pêche à demeure, et que des précautions doivent impérativement être prises dans de telles situations. Toutefois, ce problème a toute chance de ne se poser que rarement.

#### II.1.7. 2. La dispersion

Dans des conditions favorables, la dispersion peut réduire aussi bien la menace qu'une marée noire présente pour les organismes pélagiques que la quantité d'hydrocarbures rejetés sur le littoral. Toutefois, elle accentue en revanche la menace pour les organismes de sub-surface, en augmentant provisoirement les teneurs en fraction d'hydrocarbures toxiques qui pénètrent dans la colonne d'eau. Dans certains cas, il est possible de disperser une nappe grâce aux hélices d'un navire ou par d'autres moyens mécaniques, et étant donné que des navires

## Chapitre II : Synthèse bibliographiques

---

adéquats se trouvent souvent sur le lieu du déversement pour d'autres raisons, cette option peut être à la fois commode et peu coûteuse. Toutefois, il est plus fréquent que l'on soit amené à ajouter des produits chimiques afin d'obtenir un taux de dispersion satisfaisant.

En eaux profondes, la dilution permet en général de réduire la teneur en hydrocarbures dispersés à un niveau sans danger.

Le grand problème que pose l'emploi des dispersants chimiques est qu'ils ne sont efficaces que dans le cas des hydrocarbures légers. Le principal facteur tient à la viscosité des hydrocarbures. Pour que les dispersants soient efficaces, il est important qu'ils soient bien mélangés avec les hydrocarbures. Certains hydrocarbures, en particulier ceux qui se trouvent à des températures inférieures à leur point de coulée, sont trop visqueux pour que le dispersant puisse y pénétrer. La viscosité de la plupart des hydrocarbures augmente après un certain délai lorsqu'ils flottent sur la mer. Ce délai dépend des hydrocarbures eux-mêmes ainsi que des conditions météorologiques, quoiqu'ils puissent n'être que de quelques heures. Il est donc important de répandre les dispersants chimiques le plus rapidement possible après que le déversement se soit produit, ce qui implique concrètement en général que ce sont des aéronefs qui constituent le principal moyen d'épandage.

### II.1.7. 3. La dissipation naturelle

Cet option pourrait être considérée comme la moins attrayante, en ce que le choix consiste à laisser les hydrocarbures non modifiés à la surface de la mer, et qu'ils sont donc susceptibles de nuire aux oiseaux de mer, ou d'atteindre le littoral sans avoir été modifiés, les hydrocarbures lourds pouvant en outre couler au fond de la mer où leur nocivité se manifeste.

C'est là toutefois de loin l'option la moins coûteuse, ce qui fait que dans le cas des petites nappes d'hydrocarbures, c'est la forme de réaction la plus courante. Il est fréquent que ces nappes se désintègrent et se dissipent avant qu'elles n'atteignent des zones vulnérables.

### II.1.7. 4. La dépollution biologique

La dégradation biologique par les bactéries représente une des voies les plus importantes d'élimination de ces polluants. Ces communautés microbiennes, capables de dégrader le pétrole. Des études ont montré que la présence de pétrole dans l'eau de mer a entraîné, en quelques jours, un enrichissement en microorganismes, signe d'une activité microbienne de biodégradation.

Cependant cette activité peut être limitée par un déséquilibre dans le rapport entre le carbone, l'azote et le phosphore, éléments nutritifs des bactéries. Les nappes d'hydrocarbures apportent, en effet, une grande quantité de carbone au détriment de l'azote, réduisant ainsi la capacité des microbes à constituer une biomasse viable pour la consommation de ces polluants. Toutefois, plusieurs études, menées dans l'Arctique, ont montré qu'un apport de fertilisants favorise la biodégradation des produits pétroliers à basse température.

# **Chapitre III**

## **Matériels et Méthodes**

## Chapitre III : Matériels et Méthodes

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

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

### IV.1. Matériels utilisés

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

**Tableau 2 :** Matériel utilisés au cours de cette étude.

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

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

### IV.1.2. Préparation et conditionnement du matériel utilisé

#### ➤ Préparation de la verrerie

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

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

#### ➤ Préparation des adsorbants

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

- Etape d'activation : Une quantité d'adsorbant pesée et mise à l'étuve à 120°C pendant 24 heures.
- Etape de désactivation partielle : L'adsorbant est ensuite désactivé partiellement par addition de 5% d'eau distillée.

## IV.2. Travaux effectués en mer

### IV.2.1. Choix et localisation des stations de prélèvement

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

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

La sortie en mer a été effectuée le 01/07/2014 début de la période estivale au bord du navire "Récif", avec un échantillonnage d'eau et de sédiment, le prélèvement de l'eau est

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



**Figure 4 :** localisation des stations des prélèvements au niveau de Zemmouri.

### IV.2.2. Prélèvements et échantillonnages

#### IV.2.2.1. Prélèvement d'eau

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

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

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

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

### IV.2.2.2. Prélèvement des sédiments

Le prélèvement du sédiment superficiel a été effectué au moyen d'une benne preneuse de type Van Veen, dans des zones à bathymétrie comprise entre 10 et 34m. La benne est constituée d'acier inoxydable, à un poids d'environ 25 Kg et à une section d'impact de 0,19 m<sup>2</sup>.

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

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

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

### IV.2.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques

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

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

- **Température**

C'est une caractéristique physique importante, elle joue le rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. La mesure de température à été effectué à l'aide d'un PH mètre qui affiche les valeurs de température en °C.

- **Potentiels d'Hydrogène (pH)**

Le PH de l'eau de mer résulte de sa composition ionique et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) entre l'eau et l'atmosphère. C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Le PH dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de CO<sub>2</sub> (Respiration, photosynthèse, échange air- mer) entraînera donc une modification du PH (**Rodier, 2005**).

Le pH mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de marque WTW. L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalons à différents pH. Il affiche en outre les valeurs de température en °C.

- **Salinité (Psu)**

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

Salinité à été mesure à l'aide d'un salinomètre de marque WTW.

- **L'oxygène dissous (OD)**

L'oxygène dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques (température, échange air-mer et la salinité), chimiques (oxydation chimique) et biologiques (photosynthèse, respiration et régénération) (Rodier, 2005).

L'oxygène dissous mesuré à l'aide d'un oxymètre de marque WTW, les valeurs de l'oxygène dissous s'affichent en mg/l. L'appareil est étalonné à la pression atmosphérique.

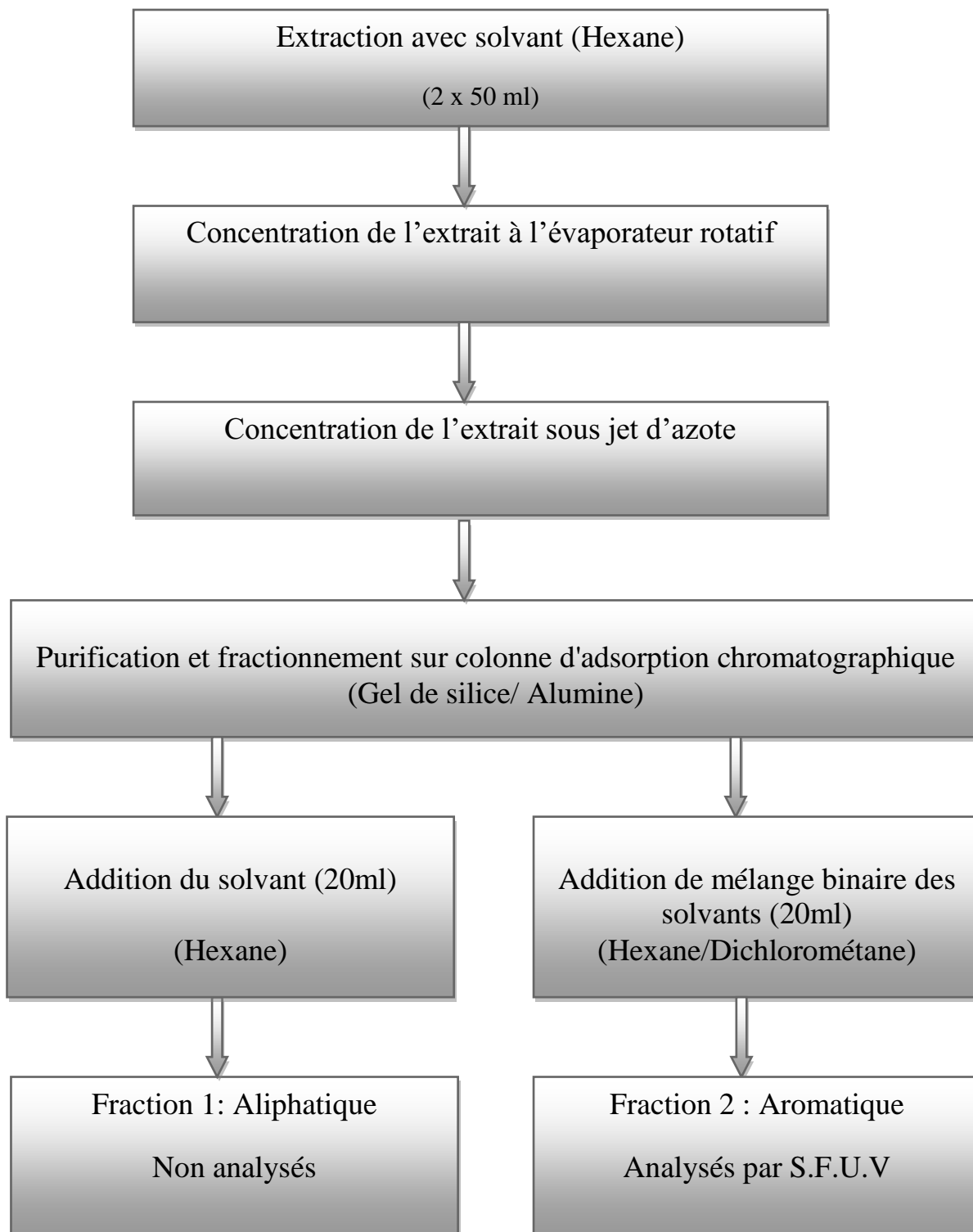
### IV.3. Traitements des échantillons effectués au laboratoire pour l'analyse des hydrocarbures

#### IV.3.1. Principe de la méthode d'analyse

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

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

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



**Figure 5 :** Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures dissous/dispersés de l'eau de mer

### IV.3.2.1. L'extraction

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

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

Une pincée de Sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) est ajoutée afin d'absorber d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait organique.

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

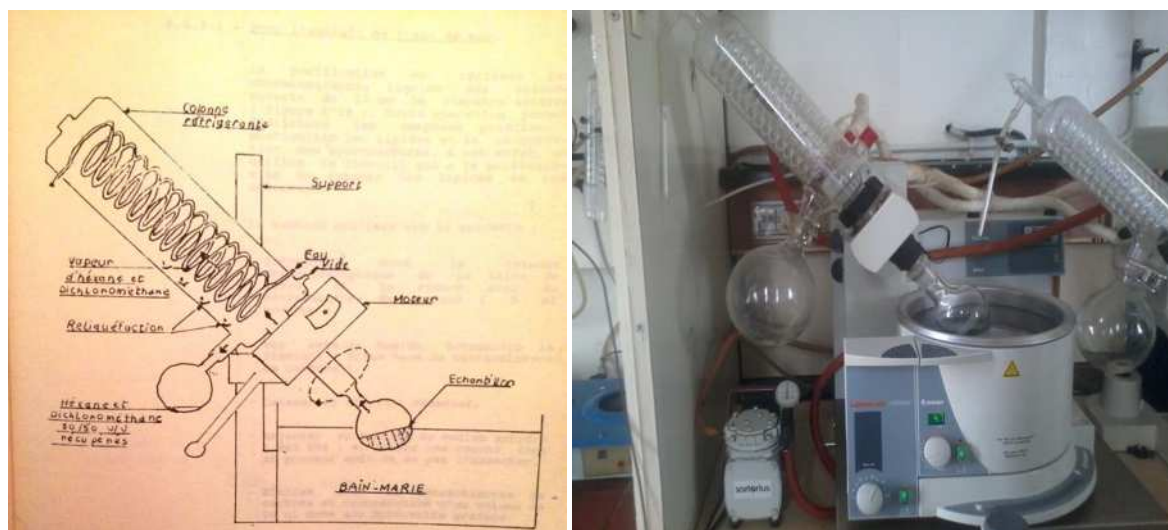


**Figure 6:** Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter.

### IV.3.2.2. Concentration

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

### IV.3.2.2.1. Concentration par Evaporateur rotatif



**Figure 7 :** Dispositif d'un évaporateur rotatif

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

### IV.3.2.2.2. Concentration par Sous jet d'Azote



**Figure 8 :** Concentration sous jet d'azote pur

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

### IV.3.2.3. Purification

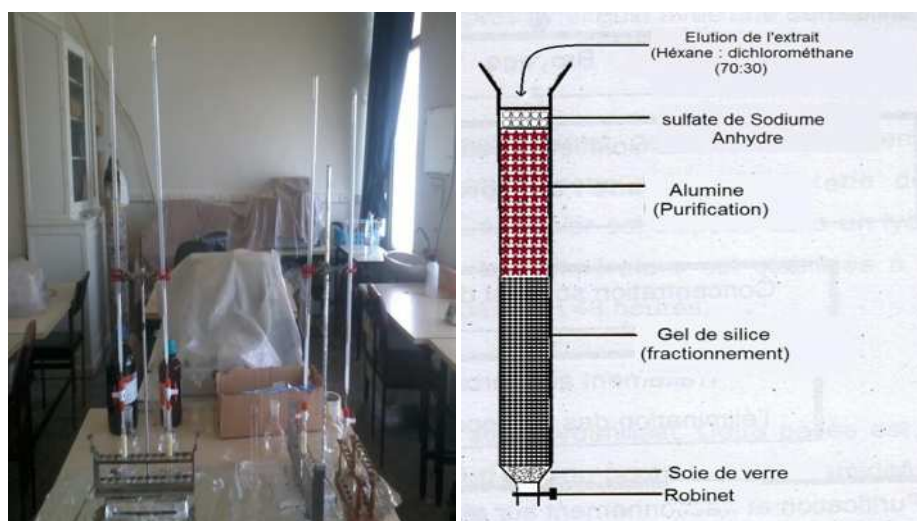
Le principe de la purification repose sur la séparation ou le partage des deux fractions d'hydrocarbure par l'utilisation des adsorbants réalisés sur une colonne chromatographique ouvert muni d'un robinet en téflon. Le remplissage successif de la burette est effectué comme indiqué ci-après :

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

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

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

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



**Figure 9** : Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.

#### IV.3.2.3.1 La fraction aliphatique

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

#### IV.3.2.3.2. La fraction aromatique

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

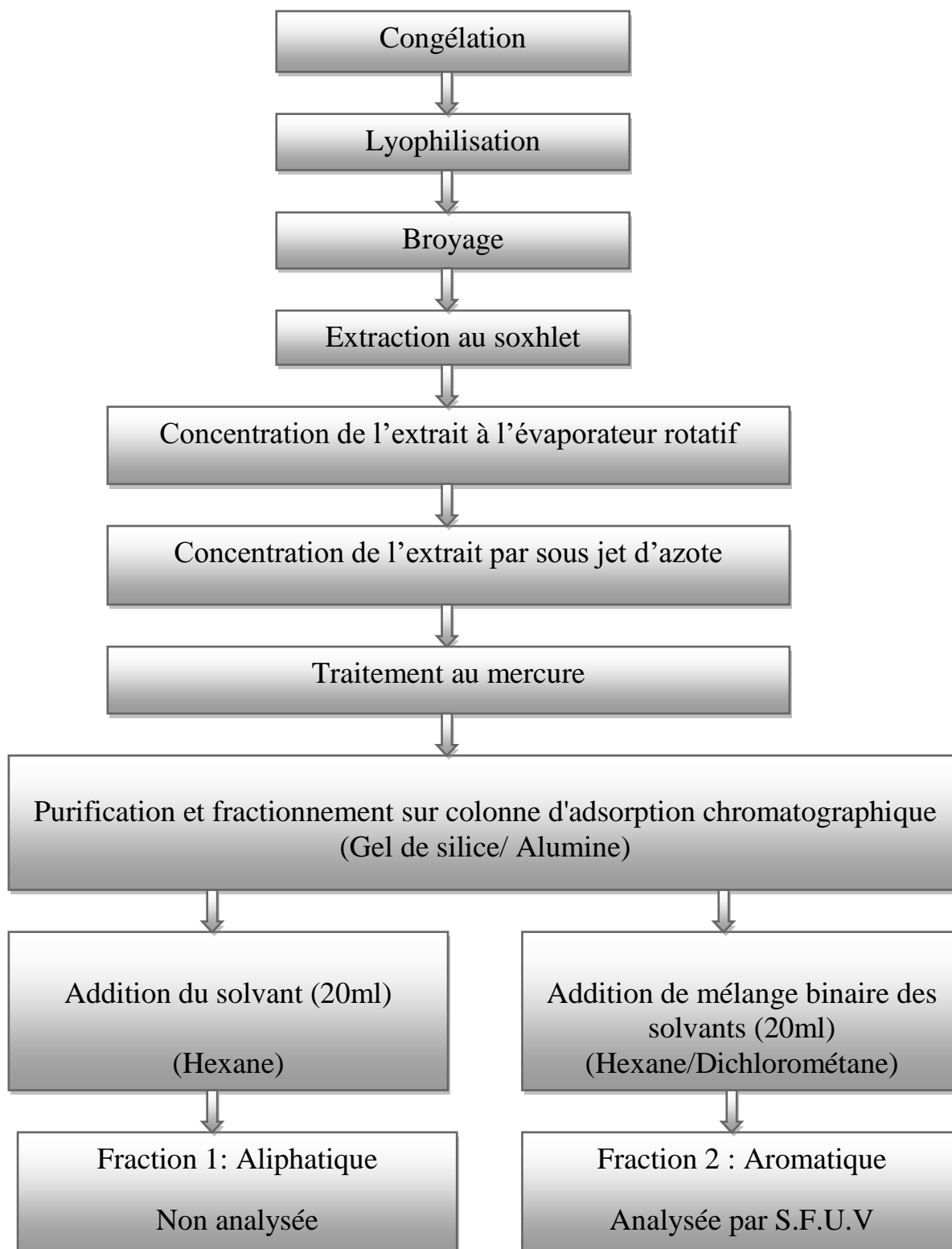
## Chapitre III : Matériels et Méthodes

---

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

### IV.3.3. Les hydrocarbures dans les sédiments superficiels

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



**Figure 10:** Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures du sédiment superficiel marin.

### IV.3.3.1. Congélation

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

### IV.3.3.2. Lyophilisation

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

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

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

### IV.3.3.3. Broyage

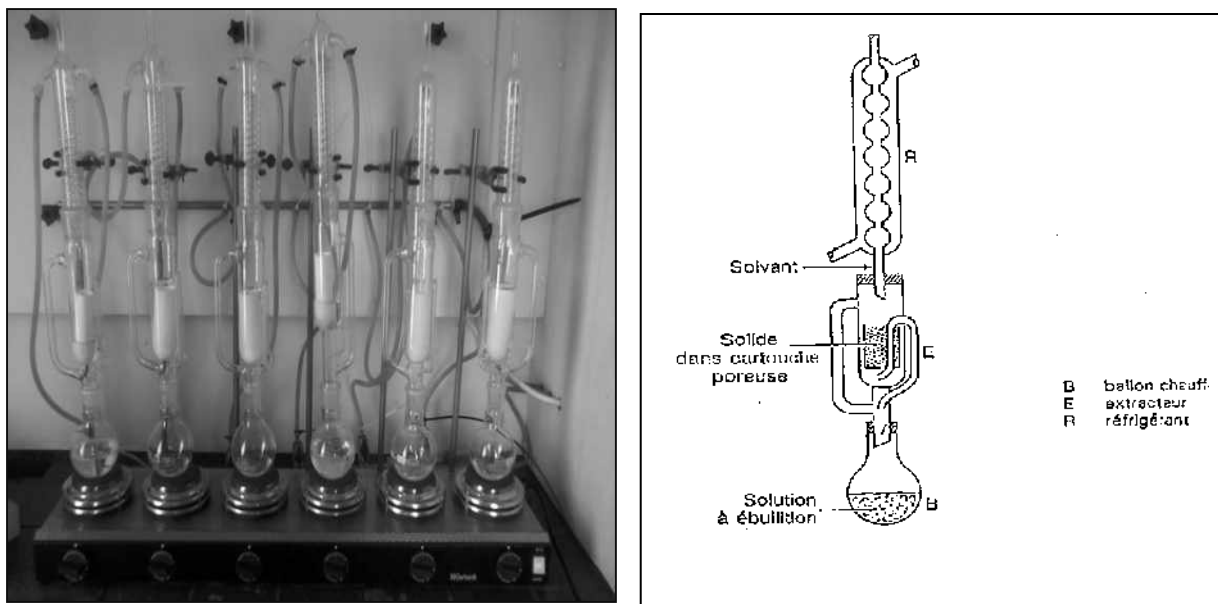
Le sédiment est broyé en poudre fine dans un mortier en porcelaine. Cette étape est permet de libérer les polluants incrustés dans les particules du sédiment.

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

Les échantillons sont remis dans des piluliers pour les conservés.

### IV.3.3.4. Extraction au Soxhlet

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



**Figure 11 :** Extracteur Soxhlet.

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

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

### IV.3.3.5. Concentration

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

### IV.3.3.6. Traitement au mercure

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

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

### IV.3.3.7. Purification

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

### IV.3.4. Méthodes d'analyses des hydrocarbures

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

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

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

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

La SFUV est préconisée par la COI, (1984) pour la surveillance de la pollution par les hydrocarbures en mer. Elle permet d'apprécier globalement la teneur en hydrocarbures aromatiques. Elle est très sensible et peu sujette aux interférences. Elle ne fournit que très peu d'informations sur la nature des produits dosés lorsque les longueurs d'onde d'excitation et d'émission sont fixées.

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

##### IV.3.4.1.1. Principe de la méthode d'analyse

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

### IV.3.4.1.2. Appareillage

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



**Figure 12 :** Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI.

### IV.3.4.1.3. Etalonnage et préparation des standards.

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

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

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

**Tableau 3 :** Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.

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

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

### IV.3.4.1.4. Mesure des intensités de fluorescence

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

- L'analyse de l'échantillon nécessite une longueur d'onde d'excitation 310 nm.
- L'émission de fluorescence est mesurée entre 310 et 500nm pour des longueurs d'ondes d'émission fixées à 360 nm, 380nm et 410 nm avec un pic d'absorption maximale à 360 nm pour les hydrocarbures aromatiques.
- Ouverture des fentes d'excitation et d'émission respectivement égale à 2 nm et 5 nm.
- plaçant une fraction de l'extrait dans une cuve en quartz de 1cm de trajet optique.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

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

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

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

**a** : pente de la droite

**b** : ordonnée à l'origine.

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

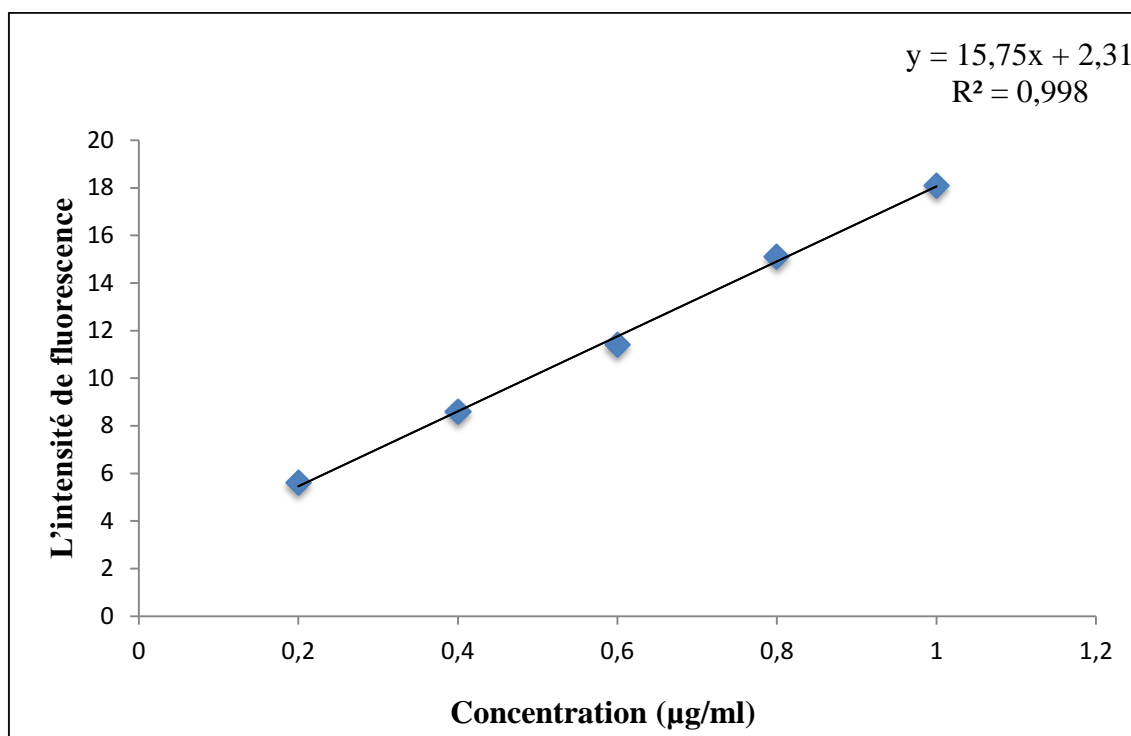


Figure 13 : Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA

#### IV.3.4.1.5. Mode de calcul des concentrations

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

❖ Pour l'eau :

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

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

**C<sub>e</sub>** : Concentration de l'extrait obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

**V<sub>p</sub>** : volume finale de l'extrait de la fraction F2 en ml.

**V<sub>f</sub>** : volume de l'échantillon en L.

### ❖ Pour le sédiment

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

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

**C<sub>e</sub>** : Concentration de l'extrait obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

**C<sub>b</sub>** : Concentration du blanc obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

**V<sub>p</sub>** : Volume finale de l'extrait de la fraction F2 en ml.

**p** : Poids sec de l'échantillon en gramme.

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

Par la connaissance des propriétés physiques des hydrocarbures, il existe un phénomène d'association de ces derniers avec la matière organique. Selon **Grimalt et al (1988)** " Lorsque les hydrocarbures polyaromatiques sont présents à la surface de l'eau de mer, ils s'incorporent au sédiment marin par le biais des pelotes fécales du zooplancton...".

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

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

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

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

Avec :

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

# **Chapitre IV**

## **Résultats et Discussions**

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

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

**Tableau 4 :** Variation des paramètres étudiés au niveau de la baie de Zemmouri.

Stations	T (°C)	S (Psu)	pH	OD (mg/l)	MO (g)	HAP dans l'eau (µg/l)	HAP dans les sédiments (µg/g)
ST1	24,2	36,6	8,4	7,65	/	2,44	/
ST2	23,5	36,3	8,37	6,98	0,48	0,77	1,64
ST3	23,2	36,5	8,38	7,99	0,67	2,27	4,41
ST4	23,6	36,2	8,41	6,25	0,4	1,50	3,84
ST5	23,3	36,3	8,41	7,07	0,56	1,99	5,15
ST6	23,7	36,3	8,38	6,87	/	1,23	/
<b>Moyenne</b>	23,5	36,3	8,3	7,13	0,53	1,70	3,76
<b>Ecartype</b>	0,35	0,15	0,01	0,61	0,11	1,58	1,50

Avec : minimum, maximum

### IV.1. Variation des paramètres physicochimiques

#### IV.1.1. Température

Les valeurs obtenues varient entre 23,2 et 24,4 °C avec une moyenne de 23,5°C et un écartype de 0,35.

Les valeurs les plus élevées sont marquées au niveau station1 situé à la sortie du port de Tamenfoust, et la station 5 situé au port de Cap Djenet. En général, les températures mesurées reflètent la période saisonnière (estival) en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques que subissent les eaux superficielles.

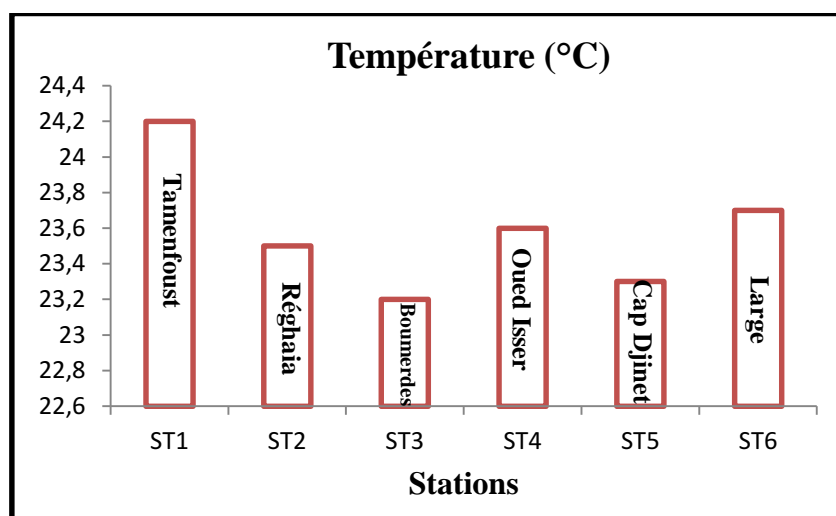


Figure 14 : Variation de la température dans la baie de Zemmouri.

#### IV.1.2. Salinité

Les eaux de la baie sont assez homogènes, elles présentent une salinité allant de 36,2 et 36,6 Psu avec une moyenne de 36,3 Psu et un écartype de 0,15.

L'augmentation de la salinité peut être due à l'augmentation de la température qui favorise l'évaporation, et aux apports continentaux des eaux douces (eaux pluviales, rejets urbains et industriels...) au niveau d'Oued Isser et Boumerdes qui baisse la salinité.

D'après **Millo et al. (1987)** La salinité est d'environ 36,5 à 37,5 PSU sur les côtes algériennes.

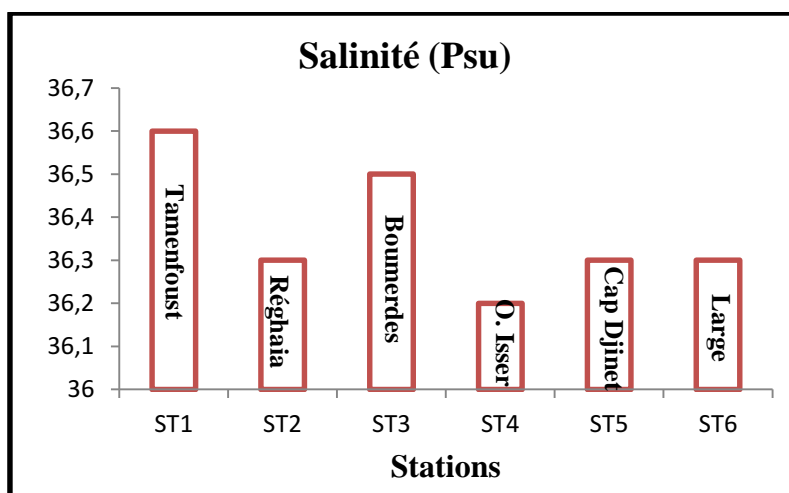


Figure 15 : Variation de la salinité dans la baie de Zemmouri

### IV.1.3. Potentiels Hydrogène (pH)

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

Le pH dans la baie varie entre 8,37 et 8,41 avec une moyenne de 8,3 et un écartype de 0,01.

Cette augmentation est causée par les rejets des eaux usées au niveau des Oueds.

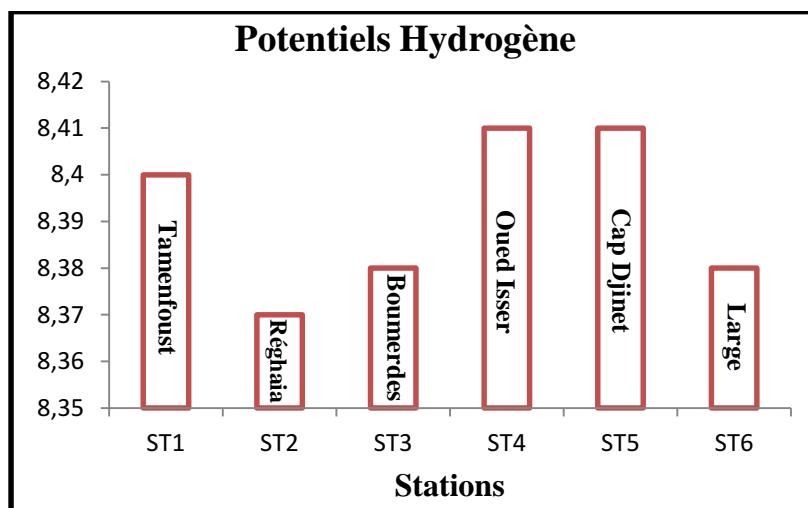


Figure 16 : Variation du pH dans la baie de Zemmouri.

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

### IV.1.4. Oxygène dissous (OD)

Les teneurs de l'OD sont dans l'intervalle de [6,25 et 7,99 mg/l] avec une moyenne de 7,13mg/l et un écartype de 0,61.

Cette forte concentration observée dans cette baie est due à l'importance de l'activité photosynthétique et à l'échange air-mer en relation avec l'hydrodynamique.

La teneur la plus élevée est observée au niveau de Boumerdes, ces eaux sont relativement bien oxygénées, cela pourrait être expliqué par l'importance de la production d'oxygène vis-à-vis les apports des différents Oueds à ce niveau. La morphologie de la baie permet le renouvellement continu des eaux de surface.

La valeur minimale est observée au niveau d'Oued Isser. Cette faible concentration indique une intense consommation d'oxygène par l'oxydation de la matière organique.

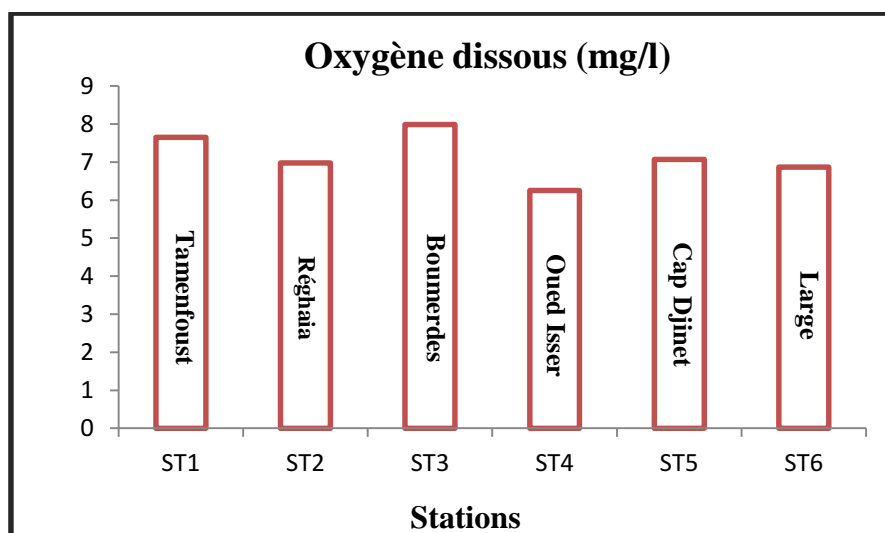


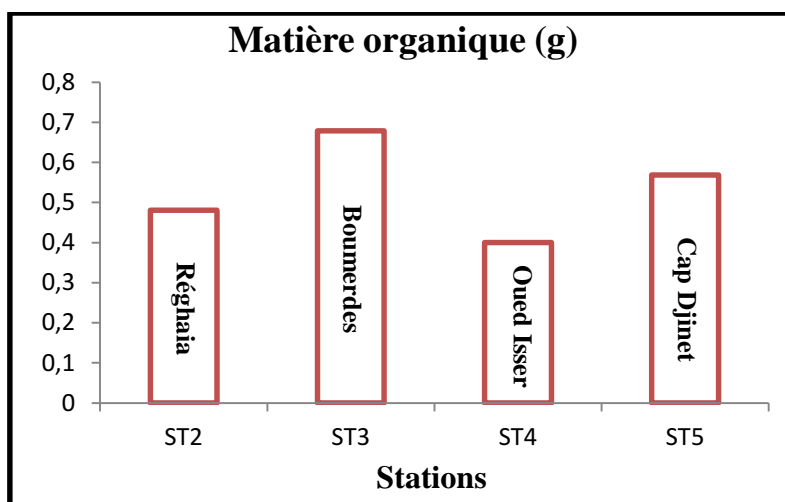
Figure 17 : Variation de l'oxygène dissous dans la baie de Zemmouri.

## IV.2. Variations des paramètres mesurés au laboratoire

### IV.2. Matière organique (MO)

Les quantités de la MO dans les sédiments varient entre 0,4 et 0,67g du poids sec et une moyenne 0,53g et un écartype de 0,11.

Cette variété des quantités de la MO est due à la localisation des stations au niveau des oueds 'Boumerdes, Isser' et au port 'Cap djenet' d'une part, et aux apports continentaux des nutriments provenant des différentes destinations (industries, rejets urbains et domestiques), influencés par l'hydrodynamique et la granulométrie d'autre part.

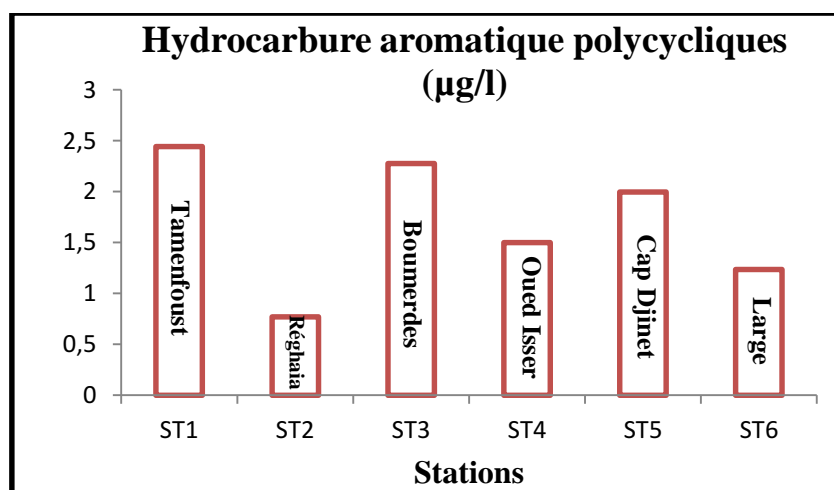


**Figure 18** : Variation de la matière organique dans les sédiments de la baie de Zemmouri.

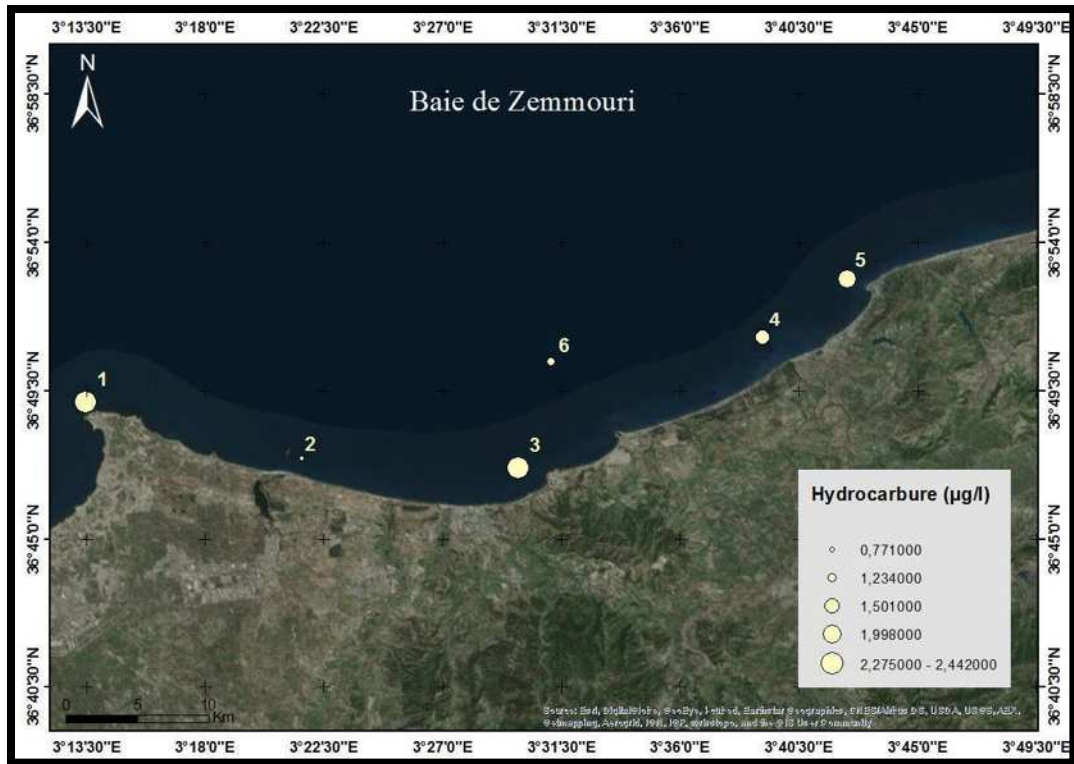
### IV.2.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer

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

Les concentrations des HAP obtenues nous renseignent sur la qualité de l'eau de mer. Ces teneurs varient entre 0,77 et 2,44  $\mu\text{g/l}$  avec une moyenne de 1,7 et un écartype de 1,58.



**Figure 19** : Variations des HAP dans l'eau de mer de la baie de Zemmouri.



**Figure 20 :** Distribution des HAP dans les eaux de la baie de Zemmouri.

Les teneurs obtenues sont plus ou moins importantes car la baie de Zemmouri suivant de sa morphologie, est une baie ouverte, c'est-à-dire que les conditions météorologiques et l'hydrodynamique jouent un rôle primordial dans les répartitions des HAP au niveau des eaux de surface de manière à diluer leur concentration. Selon **Lacaze (1980)** le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants, ce qui expliquerait en partie, les fortes teneurs au centre et les faibles rencontrées au Nord. Pour cela on peut distinguer :

La valeur la plus élevée est localisée au niveau de la station 1 situé à la sortie du port de Tamenfoust avec une concentration de 2,44 µg/l, cette teneur est probablement due à l'activité portuaire, sachant que ce lieu est un port de plaisance qui engendre une pollution provenant des eaux de cale, lavage des citernes, le déballastage...etc.

Dans la station 3 'Boumerdes', les teneurs des HAP sont importantes avec 2,27 µg/l, celles-ci peuvent être expliquées par l'intensité du trafic maritime connu cette saison, et les apports en déchets urbains, industriels et domestiques se déversant en mer par l'intermédiaire des Oueds situés dans la partie Est de la baie, en relation avec les conditions météorologiques et l'hydrodynamique.

Station 5 située au large du port de plaisance de Cap Djinnet avec 1,99 µg/l, cette teneur peut être expliquée par les activités portuaires qui déversent d'énormes quantités d'hydrocarbures en mer d'une part, et les apports des rejets industriels 'central électrique' riches en HAP déversés sans aucun traitement préalable en mer, en relation avec l'hydrodynamique d'autre part.

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

---

Station 4 situé en face de Oued Isser avec une teneur de 1,5 µg/l, cela est probablement dû aux apports continentaux du côté Ouest riches en matière organiques déversés sans aucun traitement préalable en mer par l'intermédiaire de cet Oued.

La station 6 situés au large du port de Zemmouri El Bahri avec une concentration de 1,23 µg/l, cette station est exposée au milieu ouvert et aux forces hydrodynamiques, donc les eaux à ce niveau là sont issues du mélange permanent entre les eaux du port et celles du large permettant ainsi d'alléger les teneurs des HPA.

Dans la station 2 'Réghaia' les teneurs des HAP sont les faibles, car à ce niveau les apports continentaux sont faibles ' Oued de Réghaia', et d'une autre façon, cette teneur peut être causée par une contamination par la station 3 via l'action du vent Ouest-Nord Ouest rencontré durant la période du prélèvement.

La variabilité spatiale des HAP dans l'eau de mer s'expliquerait d'une part, par les apports potentiels, et d'autre part, une élimination spontanée des HAP à la surface marine provoqueraient une diminution des teneurs (cas de la ST6). Selon **Lacaze (1980)**, cette hétérogénéité peut être causée par une dégradation biologique. Malgré les fortes teneurs des HAP rencontrées, ces derniers peuvent diminuer en concentration entre le moment de leur rejet et celui de l'échantillonnage (**Bruns et al, 1986, Walker, 2001**).

En effet, selon **Halmann (1996)**, les HAP sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles. Ces transformations dues aux forts gradients de salinité et de pH (**Saliot et al, 1992**). Des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des HAP à la surface de l'eau de mer (**Lacaze, 1980**).

Les HPA ne sont pas en équilibre entre les phases particulaires et dissoutes, la phase particulaire est enrichie (**Bouloubasi et Saliot, 1992**). Cette sédimentation des HPA particulaires réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau. 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 les oueds de côté Ouest et Est.

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 HAP 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/mer.

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

### IV.2.3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments

La distribution spatiale des HAP dans le sédiment de la baie montre des teneurs importantes qui se localisent au niveau du port de plaisance 'Cap djinet' avec une valeur maximal de 5,15  $\mu\text{g/g}$ , suivi par Boumerdes et Oued Isser respectivement (4,41 et 3,84  $\mu\text{g/g}$ ), et la valeur minimale est enregistrée au niveau de Réghaia avec 1,64  $\mu\text{g/g}$ . La moyenne des HAP dans la baie est de 3,76  $\mu\text{g/g}$  et l'écartype de 1,5.

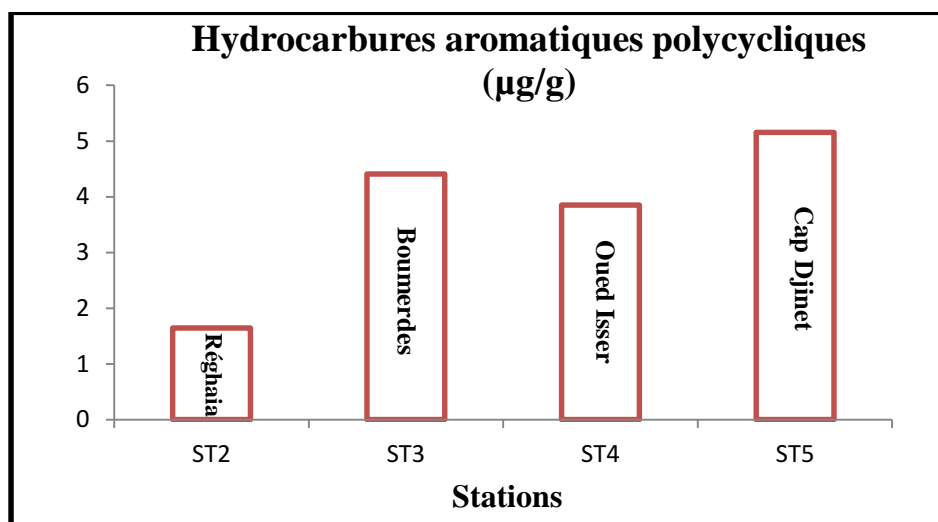


Figure 21 : Variations des HAP dans les sédiments de la baie de Zemmouri.

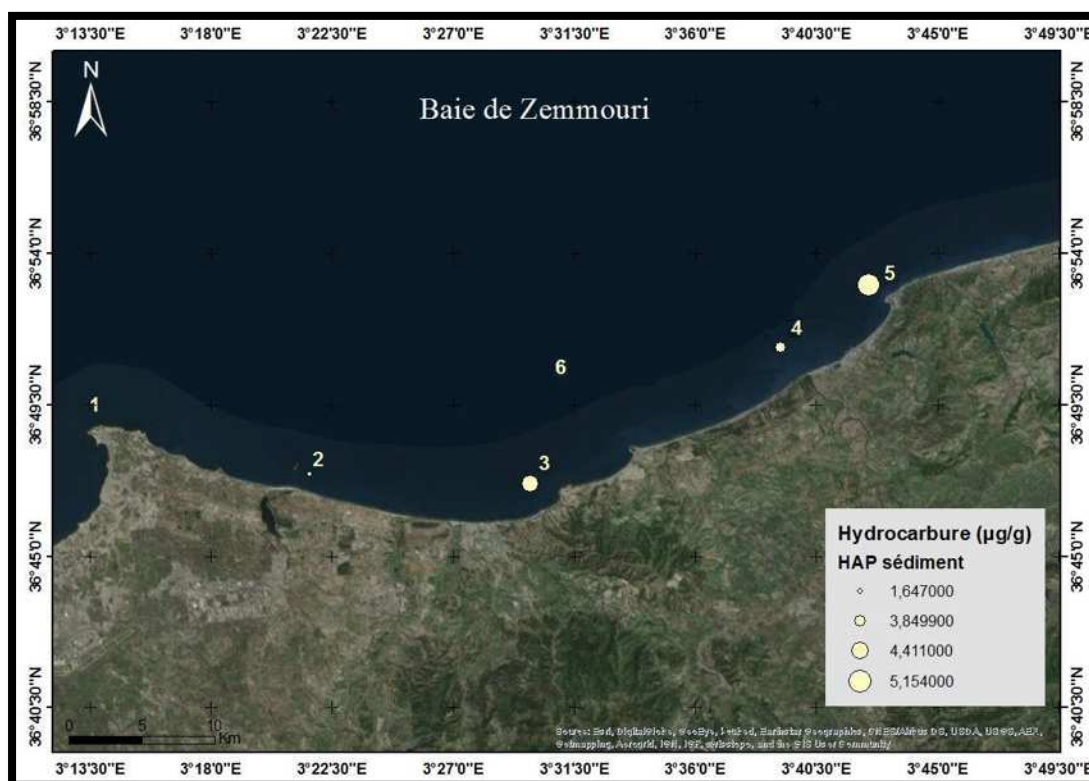


Figure 22 : Distribution des HAP dans les sédiments de la baie de Zemmouri.

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

---

Ces variations d'hydrocarbures polyaromatiques sont à priori, dues à l'intensité du trafic maritime au voisinage des trois ports (Tamenfoust, Zemmouri et Cap Djinet) et au mouillage permanent et prolongé des navires.

La présence d'oued Isser de côté Est et les petites Oueds de côté Ouest, et ses exutoires à rejets industriels, et urbains, le lessivage des terres agricoles et les différentes sources domestiques d'origine pyrolytique contribuent de manière directe ou indirecte à l'enrichissement du milieu marin. En ajoutant la nature sédimentaire, vaseuse à l'égerment sableux (Boumerdes) , et sable fin (Cap djinet, Réghia) qui favorise la rétention des polluants organiques, à l'exception de Oued Isser d'une nature sédimentaire 'sable moyen ' qui adsorbe moins les HAP.

Cette distribution semble être liée aux conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires régnautes au niveau de toute la baie de Zemmouri.

## Chapitre V : Etude comparative entre la baie d'Alger et la baie de Zemmouri

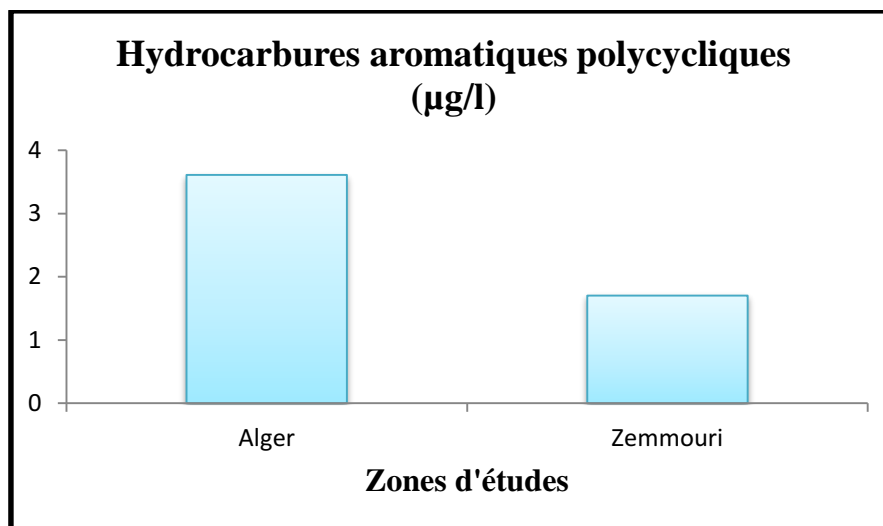
Les méthodes comparatives diffèrent d'une zone à une autre. Dans notre cas, on se base sur la moyenne des teneurs des HAP dans chaque baie, ainsi voir les teneurs maximale et minimale, afin de comparer les résultats.

**Tableau 5** : comparaisons des teneurs des HAP dans la baie d'Alger et Zemmouri

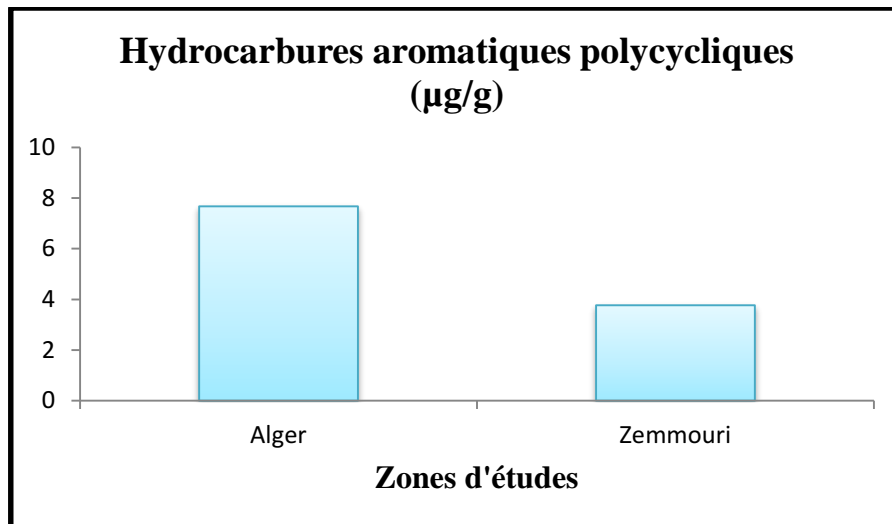
Concentrations	La baie d'Alger		La baie de Zemmouri	
	HAP ( $\mu\text{g/l}$ )	HAP ( $\mu\text{g/g}$ )	HAP ( $\mu\text{g/l}$ )	HAP ( $\mu\text{g/g}$ )
Maximum	6,46	14,64	2,44	5,15
Minimum	1,73	3,27	0,77	1,64
Moyenne	3,61	7,67	1,70	3,76
Ecartype	1,74	4,53	1,58	1,50

D'après ce tableau, on peut constater que les teneurs maximale des HAP dans les deux matrices 'eau et sédiment' se localisent au niveau de la baie d'Alger, dans des endroits où le trafic maritime est important comme le cas du 'port d'Alger', et moins importante comme le cas pour 'Tamenfoust et Cap djinet' au niveau de la baie de Zemmouri.

La teneur minimale des HAP localisée dans la baie de Zemmouri se trouve à 'Réghaia' alors que concernant la baie d'Alger elle se situe au niveau de 'sablette', et ce, pour des concentration plus faibles remarquées pour la baie de Zemmouri.



**Figure 23** : Les concentrations moyennes des HAP dans l'eau de mer de la baie d'Alger et Zemmouri.



**Figure 24 :** Les concentrations moyennes des HAP dans les sédiments de la baie d'Alger et Zemmouri.

D'après cette comparaison, on peut conclure que la baie d'Alger est plus contaminée en matière des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les deux matrices (eaux, sédiments) que la baie de Zemmouri, et cela pourrait revenir aux causes suivantes :

- ✓ La morphologie côtière de la baie de Zemmouri (ouverte) par rapport à la baie d'Alger (semi-fermée), qui ne permet pas un mélange permanent avec le large, et donc alléger les teneurs des HAP.
- ✓ La superficie de la baie d'Alger qui est moins importante que la superficie de la baie de Zemmouri, en relation avec la météorologie et l'hydrodynamique qui transporte beaucoup plus les HAP au niveau des zones moins contaminées, ce qui va par conséquent augmenter le degré de pollution au niveau de toute la baie.
- ✓ L'intensité du trafic maritime dans la baie d'Alger est plus importante que dans la baie de Zemmouri, des activités portuaires permanentes qui augmentent la pollution.
- ✓ Les sources de pollution dans la baie d'Alger sont les plus importantes dans la côte algérienne vis-à-vis de l'urbanisation (très concentrée), plusieurs rejets des eaux usées riches en HAP des différentes origines se déversent en mer via l'Oued El-Harrach, El Hamiz, Port d'Alger, sans aucun traitement préalable. Contrairement à l'apport des Oueds de la baie de Zemmouri.
- ✓ La nature sédimentaire dans la baie d'Alger joue un rôle important dans la rétention des HAP, car à ce niveau les sédiments sont vaseux à sableux fins situés au niveau des sources de pollution. Contrairement à la baie de Zemmouri où la nature sédimentaire est grossière.

# **Conclusion**

## Conclusion

---

L'étude menée à travers ce travail au niveau de la baie de Zemmouri, nous a aidé à avoir une vue globale sur l'état de pollution dans la zone. Ce présent travail a pour objectif d'évaluer le degré de contamination de la baie de Zemmouri par les hydrocarbures polycycliques aromatiques.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs prélèvements ont été effectués lors d'une sortie en mer en période estivale.

L'analyse de l'eau de mer et du sédiment superficiel de cette baie par Spectrofluométrie à Ultra Violet, donne un résultat instantané de la pollution par les hydrocarbures polycycliques aromatiques.

L'utilisation de cette technique d'analyse nous a permis d'évaluer les HAP dans les eaux marines de la baie avec une teneur maximale trouvée de 2,44 µg/l, et du sédiment qui se trouve plus contaminé que l'eau de mer avec une valeur maximale de 5,15 µg/g, ce qui explique une pollution plus élevée du sédiment par rapport à l'eau de mer.

Il est recommandé d'élargir cette base de données et de l'enrichir par d'autres études complémentaires concernant la distribution verticale de ces hydrocarbures polycycliques aromatiques le long de la colonne d'eau, ainsi que de faire le suivi de leur répartition dans l'eau et le sédiment dans les différentes saisons de l'année afin de mieux comprendre leur biodégradabilité dans l'environnement marin.

# **Bibliographie**

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

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

**AROUYA, K. (2011).** Pollution des eaux: impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface. Ed. Universitaires Européennes, Berlin : 116 p.

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

**BACHOUCHE, S. (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun: Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse. Magister, ENSSMAL : 182 p.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**HALMANN, M.M. (1996).** Photodegradation of waters pollutants. (CRC Press,Eds.) , 310p.

**HARBI, R., SI BACHIR. (2009).** Reconnaissance bathymétrique et morphologique dans la baie de Zemmouri en utilisant les images satellitaires. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL : 106p.

**HOCINI, N. (1991).** Méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment superficiel : résultats préliminaires à l'embouchure de l'oued Mazafran (Baie de Bou-Ismaïl) et le lac El-Mellah (El-Kala). Mémoire TS, ISMAL : 85 p.

**HOUMA, F. (2007).** Caractérisation des polluants de la cote algéroise et oranaise par analyse physico-chimique avec corrélation des données satellitaires. Thèse Doctorat d'Etat, USTHB : 260 p.

**KENNISH, M. (1997).** Pratical handbook of estuarine and marine pollution. Ed. CRC.Press.p 524.

**LACAZE, J C. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. *Ed Masson, Paris. 117p.*

**LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent algérien). Mémoire Museum Histoire Naturelle. Paris Sr C, 24, 391p.

**LEROY, J.B. (1986).** La pollution des eaux. Ed. Presse universitaire, Paris : 127 p.

**LEFEBVRE, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures. Ed. TCHNIP, Paris : 284 p.

**LOKMANE, Dj. (1992).** Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la baie de Zemmouri. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ISSMAL : 70p.

**MARCHAND, M., KANTIN, R. (1997).** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. OCEANIS, n°4 Vol 23. P : 597-629.

**MARCHAND, M. (1983).** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluométrie U .V. in CNEXO (ed).p. 329-336.

**MILLOT, C. (1987).** Circulation in the western Mediterranean sea. Oceanologica Acte. Vol 10; .n°2, p: 143- 149.

**RAMADE. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition Ediscience international.428p.

**RODIER, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 8<sup>ème</sup> édition, Paris : 1384 P.

**RODIER, J. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 9<sup>ème</sup> édition, Paris : 1579 P.

**ROUSSEL, JC. (1983).** Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrofluométrie I.R. in CNEXO. Ed. p 321-327.

**SAKER, H. (2007).** Analyse et dosage des hydrocarbures présents dans les eaux de mer du littoral de Skikda. Thèse Magister, Université du 20 - Août 1955 - SKIKDA : 120 p.

**SALIOT, A., BOULOUBASSI, J., (1992).** Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtiers-Hydroécol.Appl., tome4, Vol 2, p. 9-21.

**SELLALI, B. (1996).** Pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée Sud-Occidentale : contamination de l'eau et du sédiment superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse Magister, ISMAL : 118p.

**SELLALI, B., et al. (1993).** Contamination des sédiments de la côte algérienne par les hydrocarbures polycycliques. Workshop sur la circulation des eaux et la pollution des côtes Méditerranéennes des pays du Maghreb, Rabat (MAROC). Publié par INOC, IZMIR-Turquie, p167-169.

## **Les annexes**

## Annexe 1

Tableau des stations de la baie de Zemmouri effectués le 1 juillet 2014.

Noms des stations	Signes des stations	Latitude	longitude	heure de prélèvement	Nature du sédiment	Profondeur (m)
Tamenfoust	ST1	36°49'09,84"	3°13'29,00"	13h55	roche	/
Réghaia	ST2	36°47'27,06"	3°21'40,30"	11h50	sable fin	21
Boumerdes	ST3	36°47'10,19"	3°29'52,64"	11h10	sable fin vaseux	32
Oued isser	ST4	36°50'57,00"	3°39'27,15"	9h40	sable moyen	9
Cap djinet	ST5	36°52'52,00"	3°42'22,00"	8h45	sable fin	21
Large de Zemmouri El-Behri	ST6	36°55'34,34"	3°51'23,80"	10h55	roche	/

## Annexe 2

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

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

### Annexe 3

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

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