

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en sciences de la Mer

OPTION: *Environnement*

**Evaluation des niveaux de pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les eaux et sédiments marins de la baie de Bou-Ismaïl (Est)**

Présenté par :

KADDOUSSI Loubna  
KESRI Hamida

Soutenu le 08 /11 / 2018 devant le jury suivant :

<b>M. BOULAHID M.</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>M. LOURGUIOUI H.</b>	<b>Maître Assistant. A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mme GHAZI M.</b>	<b>Maître de Conférences</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme BENTCHIKOU L.</b>	<b>Maître Assistant. A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promotrice</b>

Année universitaire : 2017– 2018

## **Remerciement**

*Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu, tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier Madame BENTCHIKOU Latifa d'avoir accepté de nous encadrer.*

*Nos vifs remerciements vont également à toute l'équipe du laboratoire de Sidi Fredj, et très particulièrement à Mr BOUDJELLAL, toujours à notre disposition pour répondre aux nos questions de manière très cordiale.*

*Nous tenons à remercier vivement Professeur BOULAHDIJ Mostefa d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire. Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire : M.LOURGUIOUI H. et Mme GHAZI M.*

*Nos remerciements s'étendent également à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'ESSMAL, le personnel de la bibliothèque pour leur précieuse aide.*

*Nos remerciements s'adressent également à monsieur BEN-HALIMA Mostefa pour son aide pratique, son soutien moral et ses encouragements.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à notre camarade aménagiste Ayoub de la promo précédente pour son aide précieuse.*

*Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Merci à tous et à toutes.*

## *Dédicace*

*A la mémoire de mes grands-parents «Hassen» et «Halima », J'aurais souhaité votre présence en ce moment pour partager ma joie. Vous m'avez toujours fait preuve d'amour et d'affection, vous êtes toujours présent dans mon esprit et dans mon cœur .Aussi dans ce moment de joie, vous avez toutes mes pensées. Que vos âmes reposent en paix.*

*A mon cher père, tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement et tes sacrifices .je te dédie cette thèse, puisse tu y trouver le fruit de tes efforts.*

*A ma chère maman, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, je te dédie cette thèse comme fruit de ton dévouement et l'expression de ton amour, je t'aime maman.*

*A mes frères, Rachid, Younes et moataz, et ma très chère sœur Nour El Houda, Je vous souhaite tout ce qu'il Ya de meilleures.*

*A ma chère cousine Soumia, pour ton encouragement et ton soutien moral.*

*A ma chère amie et meilleure binôme «Ryma».*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amies, toi Imen, Selma, Amel, Madiha, Hadjer et faten, camarades d'étude, Mouhamed, Asma, Omlkhir, et Anissa.*

*Je vous dis merci.*

*Loubna*

## *Dédicace*

*A ma chère grand-mère, que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que tu ne cesse de formuler dans tes prières. Que Dieu te préserve santé et longue vie.*

*A la mémoire de mon grand-père « Omer », Que Dieu t'accueille dans son éternel paradis.*

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

*A ma deuxième maman « Halima », qui m'a comblé avec sa tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait.*

*A mes sœurs « Souhila », « Nadjet » et mon frère « Ayoub » qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*A mes oncles « Kuidar », « Belkacem », « tarek » et ma chère tante « Amina ».*

*A mes amis « selma », « Ayoub », « Hamza », « Imen » et ma très chère « loubna ».*

*A mes anges « Malek » et « Lyna ».*

*Ryma Hamida*

## Liste des Acronymes

**Ø** : Diamètre  
**°C** : Degré Celsius  
**C** : Concentration  
**CE** : Commission Européenne  
**(CG/SM)** Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse  
**COI** : La Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO  
**CEAEQ** : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale de Québec  
**ELL** : Extraction Liquide-Liquide  
**EPAL** : l'Entreprise du Port d'Alger  
**FC** : Fraction Carbonatée  
**GPS** : Global Positioning System (Système de Positionnement Global)  
**HC** : Hydrocarbure  
**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (Hydrocarbures Poly-aromatiques)  
**HPLC** : High Performance Liquid Chromatography (Chromatographie Liquide Haute Performance)  
**IF** : Intensité de Fluorescence  
**LEM** : Laboratoire d'Études Maritimes  
**MES** : Matières En Suspension  
**MO** : Matière Organique  
**OD** : Oxygène Dissous  
**ONM** : Office National de Météorologique  
**pH** : Potentiel d'Hydrogène  
**S** : Salinité  
**Chl.a** : chlorophylle "a"  
**SFUV** : Spectrofluorimétrie à rayonnement Ultra-violet  
**T** : Température  
**UNESCO** : the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la Culture).  
**USEPA**: United States Environment Protection Agency  
**ZET** : Zone d'Expansion Touristique.  
**EPM** : Environnement principauté de Monaco

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Liste des HAPs prioritaires selon les recommandations de l'US-EPA (BOCARD, 2006).....	9
<b>Figure 2:</b> Devenir d'un déversement pétrolier dans la colonne d'eau (ITOPF,2012).....	15
<b>Figure 3:</b> Situation géographique de la zone d'étude ((Support : Google Earth, 2018, modifié) .....	21
<b>Figure 4:</b> Diagramme Ombro-thermique (ONM, 2008 - 2017) .....	24
<b>Figure 5:</b> Sources de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl(BELKESSA et al., 2008; ALSID CHIKH et al.,2009) .....	26
<b>Figure 6:</b> Carte des stations de prélèvement(Support : Google Earth, 2018, modifié) .....	29
<b>Figure 7:</b> pH-mètre de type HANNA.HI 208 pH meter.....	31
<b>Figure 8:</b> Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter .....	34
<b>Figure 9:</b> Évaporateur rotatif .....	35
<b>Figure 10:</b> Colonne chromatographique.....	37
<b>Figure 11:</b> Extracteur soxhlet .....	38
<b>Figure 12:</b> Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI 650-10 .....	40
<b>Figure 13:</b> Droite d'étalonnage.....	42
<b>Figure 14:</b> Droite d'étalonnage de la chlorophylle "a" .....	52
<b>Figure 15:</b> Profil des variations du pH dans les différents points de la zone d'étude.....	54
<b>Figure 16:</b> Profil des variations de la température des eaux de surface de la saison printanière dans la zone d'étude .....	55
<b>Figure 17:</b> Profil de variation de la température de surface de la saison estivale dans la zone d'étude .....	55
<b>Figure 18:</b> profil des variations de l'OD des eaux de surface dans la zone d'étude.....	56
<b>Figure 19:</b> Profil des variations de la chlorophylle "a" des eaux de surface dans la zone d'étude .....	58
<b>Figure 20:</b> Profil des variations de la MO de sédiment superficiel dans la zone d'étude .....	59
<b>Figure 21:</b> Profil des variations de la concentration des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude .....	60
<b>Figure 22:</b> Carte de distribution des concentrations en HAP dans les eaux de surface sur la zone d'étude. ....	61
<b>Figure 23:</b> Profil des variations de la concentration des HAPs dans le sédiment superficielle de la zone d'étude.....	64
<b>Figure 24:</b> Carte de distribution des concentrations de sHAPs dans le sédiment superficiel de la zone d'étude .....	64
<b>Figure 25:</b> Corrélation entre les concentrations en HAP et la chlorophylle "a" des eaux de surface de la zone d'étude .....	66
<b>Figure 26:</b> Corrélation entre les concentrations en HAP et la MO dans le sédiment superficiel de la zone d'étude.....	66

## List des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Liste du Matériels de sortie .....	28
<b>Tableau 2:</b> matériels utilisés pour le dosage des hydrocarbures .....	32
<b>Tableau 3:</b> Concentrations des standards d'étalonnage. ....	40
<b>Tableau 4:</b> Matériels utilisés pour le dosage de l'oxygène.....	44
<b>Tableau 5:</b> Matériels utilisés pour l'analyse de la chlorophylle " a " .....	48
<b>Tableau 6:</b> Les volumes de la solution mère à prélever pour préparer la gamme étalon.....	52
<b>Tableau 7 :</b> Concentrations en HAP dans les eaux surface obtenues des résultats de travaux antérieurs .....	67
<b>Tableau 8:</b> Concentrations en HAP dans le sédiment obtenues des résultats de travaux antérieurs .....	68

## Liste des équations

<b>Équation 1:</b> Équation de la droite d'étalonnage pour le calcul de la concentration des HAP en fonction de IF. ....	41
<b>Équation 2:</b> Équation de calcul de la concentration finale des HAP dans un échantillon d'eau de mer. ....	42
<b>Équation 3:</b> Équation de calcul de la concentration finale des HAP dans le sédiment. ....	43
<b>Équation 4:</b> Équation de calcul de taux de la matière organique dans le sédiment. ....	44
<b>Équation 5:</b> Expression de détermination du blanc chimique. ....	46
<b>Équation 6:</b> Équation de calcul de la concentration de l'Oxygène Dissous contenu dans l'échantillon d'eau de mer. ....	47
<b>Équation 7:</b> Equation de Beer-Lambert. ....	51
<b>Équation 8:</b> Équation de la droite d'étalonnage pour le calcul de la concentration de la chlorophylle. ....	52
<b>Équation 9:</b> Équation de calcul de la concentration de la chlorophylle "a". ....	53

# Sommaire

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

## Chapitre I : GRNERALITES

1. La pollution marine.....	3
1.1 Définition.....	3
1.2 Types pollutions .....	3
1.2.1 La Pollution chimique .....	3
1.2.2 La Pollution physique.....	4
2. Paramètres physico chimique.....	5
2.1 Température (T).....	5
2.2 Salinité (S) .....	5
2.3 Oxygène dissous(OD).....	5
2.5 Conductivité électrique (C) .....	6
2.6 Transparence de l'eau .....	6
➤ Chlorophylle .....	6
3. Paramètres indicateurs de pollution .....	7
3.1 Matières en suspension (MES) .....	7
3.2 La matière organique(MO).....	7
4. Pollution par les hydrocarbures .....	7
4.1 Définition.....	7
4.2 Classification .....	8
4.2.1 Les hydrocarbures aliphatiques .....	8
4.2.2 Les hydrocarbures naphténiques .....	8
4.2.3 Les hydrocarbures aromatiques :.....	9
4.2.4 Les asphaltènes.....	9
4.2.5 Les résines .....	10
4.3 Propriétés physiques .....	10
4.3.1 La viscosité.....	10
4.3.2 Le point d'écoulement.....	11
4.3.3 La solubilité.....	11
4.3.4 La densité .....	11

4.3.5	Le point d'éclair .....	12
4.3.6	La tension interfaciale .....	12
5.	Les sources de contamination par les hydrocarbures.....	12
5.1	Source naturelle .....	12
5.1.1	Suintements sous marins .....	12
5.1.2	Source biogénique .....	13
5.1.3	Diagenèse précoce de la matière organique .....	13
5.1.4	Origine pyrolytique naturelle .....	13
5.2	Source anthropique .....	13
5.2.1	Origine pétrolière .....	13
5.2.2	Source pyrolytique anthropique .....	14
6.	Comportement et devenir des hydrocarbures : .....	15
6.1	Étalement .....	15
6.2	Evaporation.....	16
6.3	Dissolution.....	16
6.4	Emulsification.....	16
6.5	Photo-oxydation : .....	16
6.6	Biodégradation.....	17
6.7	Sédimentation : .....	18
7.	Impacts des hydrocarbures.....	18
7.1	Impact sur les organismes marins.....	18
7.1.1	La communauté planctonique .....	18
7.1.2	Mammifères .....	18
7.1.3	Poissons.....	19
7.1.4	Oiseaux marins .....	19
7.1.5	Effets sur les herbiers .....	20
7.2	Impacts des hydrocarbures au niveau de la côte : .....	20
7.3	Impact sur la santé humaine : .....	21

## **Chapitre II : PRESENTATAION DE LA ZONE D'ETUDE**

1.	Situation géographique : .....	21
2.	Réseau hydrographie :.....	22
2.1	Oued Mazafran .....	22
2.2	Oued Bni-Messous .....	22
3.	Facteur hydrodynamique .....	22

3.1	Vent .....	22
3.2	Courant .....	23
4.	Facteur climatique.....	23
4.1	Température.....	23
5.	Sédimentologie .....	24
6.	Les sources de pollution.....	25

### **Chapitre III: MATERIELS ET METHODES**

1.	Travaux effectués en mer.....	28
1.1	Préparation du matériel de la sortie .....	28
1.2	Prélèvement et localisation des stations .....	29
1.2.1	L'extraction des hydrocarbures (HC).....	29
1.2.2	L'oxygène dissous(OD) .....	30
1.2.3	Chlorophylle"a" (Chl.a).....	31
1.3	Mesure des paramètres physicochimiques (T, pH) .....	31
2.	Travaux effectués aux laboratoires : .....	32
2.1	Dosage des hydrocarbures polyaromatiques (HAP) dans l'eau de mer par spectrofluorimétrie à rayonnement Ultrat-Violet .....	32
2.1.1	Conditionnement du matériels destiné au le dosage des hydrocarbures .....	33
2.1.2	Traitement de l'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures.....	33
2.1.3	Traitement de sédiment pour l'analyse des hydrocarbures : .....	37
2.1.4	Technique d'analyse des hydrocarbures .....	38
2.2	Analyse de la matière organique dans le sédiment : .....	43
2.3	Dosage de l'Oxygène Dissous (OD) par la méthode de Winkler.....	44
2.3.1	Principe.....	45
2.3.2	Préparation des flacons d'échantillonnages et réactifs :.....	45
2.3.3	Traitement des échantillons : .....	45
2.3.4	Etalonnage de thiosulfate : .....	45
2.3.5	Mesure des blancs chimiques .....	46
	Des impuretés oxydantes ou réductrices peuvent être présentent dans les réactifs, c'est pour cela qu'on doit préparer le blanc chimique, il peut être positif ou négatif ; ils sont mesurés comme suit :(AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983) .....	46
2.3.6	Titrage automatique : .....	46
2.3.7	Expression des résultats .....	47
2.4	Dosage de la chlorophylle "a" par la méthode fluorimétrique sans acidification : ...	48

2.4.1	Matériels utilisés : .....	48
2.4.2	Principe générale : .....	48
2.4.3	Mode opératoire .....	49

## **Chapitre VI: RESULTAS ET DUSCUSSIONS**

1.	Paramètres Physico-chimiques : .....	54
1.1	Le Potentiel d'Hydrogène (pH).....	54
1.2	Température(T).....	55
1.3	L'Oxygène Dissous (OD).....	56
2.	Chlorophylle "a"(Chl.a) .....	57
3.	Matière organique(MO) .....	58
4.	Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) .....	60
4.1	Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans l'eau.....	60
4.2	Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans le sédiment : .....	63
5.	Analyse corrélative .....	65
5.1	Analyse corrélative entre concentration des hydrocarbures et la chlorophylle"a" (Chl.a-HAP).....	65
5.2	Analyse corrélative entre concentration des hydrocarbures dans le sédiment et la matière organique : .....	66
6.	Analyse Comparative des HAP : Comparaison avec les Travaux Antérieurs dans les eaux de surface et le sédiment .....	67
	Conclusion.....	70
	Références bibliographique.....	72
	Annexes.....	80

# INTRODUCTION

### *Introduction*

Le milieu marin est un milieu indispensable à la vie, à sa naissance, à son développement, et à sa persistance. Loin d'être inépuisable et inaltérable, il est devenu un réceptacle mondial à l'ensemble des déchets Produits par les activités humaines, provenant de l'urbanisation, l'agriculture, l'industrialisation et du transport maritime. Ces déchets rejetés dans le milieu marin deviennent un véritable polluant qui porte atteinte aux organismes marins et par voie de conséquence à l'espèce humaine qui exploite les ressources marines (**REMILI et al.2010**).

Les hydrocarbures pétroliers sont parmi les déchets les plus toxiques déversés en mer. Ils auront comme conséquence une pollution importante et précoce à l'échelle globale. La mer Méditerranée est considérée comme l'une des surfaces marines les plus affectées par la contamination pétrolière liée aux activités aussi bien industrielles que touristiques. Cependant, l'extraction, le transport et l'utilisation des hydrocarbures pétroliers comme source d'énergie entraînent des risques de pollution pour l'environnement marin, pouvant influencer l'équilibre écologique et parfois entraîner la destruction de l'écosystème.

La consommation mondiale de pétrole brut avoisine 97,4 millions de barils par jour (mbj) en 2017, représentant 32,57 % des besoins énergétiques (**CONSOGLOBE, 2012**).

Les grandes catastrophes écologiques de pollution aiguë (accidents de navigation, de forage et de guerre) sont à la limite indénombrable. En mer Méditerranée, 311 déversements ont été identifiés entre 1977 et 2000. Il est pertinent de citer quelques naufrages enregistrés au cours de ces 30 dernières années : Torrey Canyon (18 mars 1967) sur les côtes Anglaises et Françaises, Sea-Star (19 décembre 1972) sur le Golfe d'Oman, Showa-Marui (7 juin 1975) près de Singapour, Urquiola (12 mai 1976) à la Corogne, Amoco-Cadiz (16 mars 1978) sur les côtes Bretonnes, Ixtoc-1 (3 juin 1979) au Mexique (**KANNA et al., 2014**).

Sans aucun doute, les zones côtières du fait de leurs situations à l'interface entre terre et mer, elles constituent des espaces privilégiés pour le développement de nombreuses activités, portuaires et industrielles et d'agglomérations urbaines et touristiques.

Le développement industriel et urbain est en croissance continue sur la baie de Bou Ismail, entraînant ainsi des rejets chargés en matière organique, matière en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes; de ce fait nous avons visée dans cette étude la zone Est de la baie.

Dans la présente étude la **chlorophylle " a "** a été choisie comme un indicateur de qualité de l'eau en plus de l'oxygène dissous, la matière organique et les paramètres physico-chimiques , car elle est considérée comme un indicateur de biomasse phytoplantonique et d'eutrophisation, par l'estimation de ces concentrations qui reflètent l'effet d'eau usée chargée en élément nutritif sur le milieu côtier.

Notre objectif consiste à évaluer l'état de la pollution, en essayant de chercher le niveau de contamination dans l'eau et sédiment par rapport aux hydrocarbures, les teneurs en **chlorophylle " a "** dans ces eaux côtières, la corrélation entre ces deux paramètres et le développement de cette pollution par rapport aux années précédentes ainsi que les origines et les sources potentielles de ces contaminants dans notre zone d'étude.

L'exposé de cette étude s'articule en différents chapitres:

**Le chapitre I :** présente une synthèse bibliographique des connaissances actuelles sur les hydrocarbures, leurs classifications, propriétés physiques, sources de contamination, devenir et impacts sur le milieu marin.

**Le chapitre II :** est un aperçu sur la zone d'étude, sa situation géographique, réseaux hydrographiques, les facteurs hydrodynamiques, la sédimentologie, les conditions météorologiques et les apports de pollutions au niveau de cette baie.

**Chapitre III :** regroupe les outils analytiques employés pour l'estimation des hydrocarbures poly- aromatiques dans la matrice eau-sédiment, la chlorophylle "a" et l'oxygène dissous.

**Chapitre IV :** présente les résultats relatifs aux paramètres physicochimiques, à savoir la température le pH, l'oxygène dissous et le paramètre indicateur de pollution: la chlorophylle "a"; obtenus lors de cette thèse sous forme d'histogramme, des cartes, et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale finalise ce manuscrit

# CHAPITRE I : GENERALITES

## *1. La pollution marine*

### **1.1 Définition**

La pollution marine est une altération de la qualité du milieu marin, le plus vaste des écosystèmes de la biosphère ; la qualité du milieu marin est menacée parce que l'océan, ce vaste réservoir de protéines, loin d'être inépuisable et inaltérable, sert de réceptacle mondial à l'ensemble des déchets produits par les activités humaines, qu'ils proviennent de l'urbanisation, de l'agriculture, de l'industrialisation et du transport maritime. Ces déchets rejetés dans le milieu marin ne deviennent véritablement polluants que s'ils portent atteinte aux organismes marins et par voie de conséquence à l'espèce humaine qui exploite les ressources marines (**RAMADE, 1982 in REMILI,2010**)

la convention de **MONTEGO-BAY** fournit la définition suivante : « ...l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles, tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marines, risques pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation, dégradation des valeurs d'agrément » (**GOEURY.D, 2014**).

### **1.2 Types pollutions**

#### *1.2.1 La Pollution chimique*

Ce type de pollution est engendré par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Ces polluants sont de deux catégories.

- Les micropolluants chimiques organiques: tels que les Hydrocarbures, pesticides, détergents et autres... Ces polluants sont appelés les polluants organiques permanent (POP).
- Les micropolluants chimiques inorganiques: tels que Métaux traces et autres.

Le danger de ces polluants dépend de leur nature biochimique. Certains sont hydrosolubles, facilement dilués et donc leur action est minime. D'autres sont liposolubles avec un pouvoir de se concentrer au niveau des lipides et par conséquent, ils vont emprunter la chaîne trophique (**GALAF et GHANNAM, 2003**).

### ***1.2.2 La Pollution physique***

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs, Il peut s'agir d'un rejet d'eau douce qui fait baisser la salinité (par une centrale hydroélectrique...), d'un rejet d'eau réchauffée qui fait augmenter la température des eaux (**LEDIREACH, 2013**).

On peut la répartir en deux classes: thermique et radioactive

#### **➤ La Pollution thermique:**

La pollution thermique est engendrée par les usines utilisant un circuit d'eau de mer pour le refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries).

Il entraîne un réchauffement de l'eau. Ce réchauffement a un impact directe qui se traduit par la substitution de la faune et de la flore du milieu marin; ou indirect tels que le développement bactérien et l'augmentation de la toxicité de certaines substances.

#### **➤ La Pollution radioactive**

Cette forme de pollution est due à l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs).Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements.

## 2. Paramètres physico chimique

### 2.1 Température (T)

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour:

- la détermination du champ de densité et des courants (**RODIER et al.,2005**),
- la détermination de la stratification verticale.
- la valeur de saturation des gaz dissous (en particulier l'oxygène) et la circulation océanique (**AMINOT&KEROUEL, 2004**).

### 2.2 Salinité (S)

La salinité est une propriété fondamentale pour l'étude du milieu marin, elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (**AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983**).

La grandeur salinité représente la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer, et peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**RODIER et al.,2005**),

Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de :

- connaître la circulation océanique.
- d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large.

### 2.3 Oxygène dissous(OD)

Ce paramètre est important dans le déroulement de la majorité des processus biologiques en milieu marin. La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques (température, échange air-mer et la salinité), chimiques (oxydation chimique) et biologiques (photosynthèse et respiration) (**AMINOT e CHAUSSEPIED, 1983**).

La teneur en oxygène dissous peut subir des variations importantes. Elle dépend de la température et de la salinité de l'eau, de la pression et de la température de l'air.

### 2.4 Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de

l'échange de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (AMINOT et KEROUEL, 2004).

La modification du pH dépend de :

- la teneur en dioxyde de carbone.
- des processus physiques, chimiques et biologiques.
- l'accumulation de matières organiques d'origine continentale et la contamination par des rejets urbains ou industriels (AMINOT et KEROUEL, 2004).

## 2.5 Conductivité électrique (C)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (RODIER et al., 2005).

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

## 2.6 Transparence de l'eau

La connaissance de ce facteur a une double importance, elle détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface, donc l'épaisseur de la couche photosynthétique productive. Elle permet également une approche de la quantité de particules en suspension (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Son principe repose sur la mesure de la profondeur de disparition du disque de Secchi, "profondeur de Secchi" (RODIER et al., 2005).

### ➤ Chlorophylle

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles a, b, c1, c2 et d. La chlorophylle "a" est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (EPPLEY et PETERSON, 1979 in BACHARI, 2009)

### 3. Paramètres indicateurs de pollution

#### 3.1 Matières en suspension (MES)

La connaissance de la quantité de matières en suspension est important pour l'étude des milieux aquatiques D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, et d'autre part elles présentent une surface de contact important pour les échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer. Selon leur nature, elles sont également une source nutritive pour la faune (**AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983**).

Les matières en suspension comportent tous les composés d'origines minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature biogénique ou terrigène, ayant un diamètre supérieur à 0.45µm.

#### 3.2 La matière organique(MO)

La matière organique est une substance nutritive considérée comme une source d'énergie pour les micro-organismes (bactéries, protozoaires) (**BOULAHIDID, 1987**).

Elle peut avoir une origine autochtone, produite par les organismes vivants ou en décomposition, ou allochtone, provenant des apports fluviaux, des eaux de ruissellement ou des rejets anthropiques (**PERNET-COUDRIER, 2010**).

### 4. Pollution par les hydrocarbures

#### 4.1 Définition

Les hydrocarbures sont des composés de chaîne moléculaire constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène (C et H). Un atome de carbone a une valence de 4, il peut être relié à quatre atomes d'hydrogènes ou à d'autre atome de carbone, par des liaisons simples ou doubles, dans ce dernier cas, les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées et cycliques (**FATTAL, 2008**).

Les hydrocarbures ont une importance économique et politique, qui ne cesse de croître avec le développement relativement récent du produit pétrolier. Ils sont essentiellement utilisés comme **carburants**, **combustibles** et comme base pour la fabrication des **huiles lubrifiantes**.

Ils constituent aussi la matière première des **synthèses pétrochimiques**. (LEFEBVRE, 1978).

## 4.2 Classification

Compte tenu de la tétravalence de l'atome de carbone et de la monovalence d'hydrogène, les hydrocarbures se divisent en trois familles :

- Les hydrocarbures aliphatiques
- Les hydrocarbures naphéniques
- Les hydrocarbures aromatiques

### 4.2.1 Les hydrocarbures aliphatiques

Ils sont à chaîne ouverte (linéaire ou ramifié), leur nom vient du grec aleiphar qui signifie huile ou graisse. Cette nomenclature vient du fait que les graisses sont des composés à chaîne ouverte (LEFEBVRE, 1978). Suivant la nature des liaisons entre les atomes de carbone, cette série se divise en deux classes :

#### 4.2.1.1 Les hydrocarbures aliphatiques saturés

Les hydrocarbures aliphatiques saturés sont des hydrocarbures paraffiniques ou alcanes. Ce sont des hydrocarbures à chaîne ouverte et à formule générale  $C_nH_{2n+2}$ . Ces molécules à chaînes droites unique ou à une ou plusieurs ramifications comportent des liaisons simples. Ces composés se trouvent dans le pétrole brut (SOLTANI, 2004).

#### 4.2.1.2 Les hydrocarbures aliphatiques non saturés

Les hydrocarbures aliphatiques non saturés ou hydrocarbure oléfinique, sont des alcanes qui ont au minimum une double liaison  $C_nH_{2n}$ , ou une triple liaisons  $C_nH_{2n-2}$ .

Ces composés n'entrent pas dans la composition des pétroles bruts, mais ils peuvent être présents dans les produits raffinés (DALEMONT, 1998).

### 4.2.2 Les hydrocarbures naphéniques

Hydrocarbures naphéniques ou cyclanes, sont des composés à chaîne fermée, formant la série cyclique. Deux ou Plusieurs cycles, peuvent se condenser entre eux pour donner des hydrocarbures polycycliques. Ils peuvent être saturés (cyclo-alcanes :  $C_nH_{2n}$ ), non saturés ou substitués (DALEMONT, 1998).

### 4.2.3 Les hydrocarbures aromatiques :

Ces hydrocarbures sont caractérisés par un rapport C/H plus élevé que celui que l'on observe dans les autres hydrocarbures (LEFEBVRE, 1978), ils sont caractérisés par la présence d'au moins un cycle à six atomes de carbone (cycle benzénique).

#### 4.2.3.1 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des molécules composées d'au moins deux noyaux aromatiques. Ils diffèrent par le nombre de noyaux condensés ainsi que par leur agencement (KUONY, 2005). Ceux qui sont susceptibles d'être présents dans le milieu aquatique, ont entre deux et six noyaux aromatiques ; Au-delà, Leur solubilité est trop faible, pour qu'ils soient détectés dans des environnements aqueux (GOURLAY, 2004). Le nombre de HAP identifiés à ce jour est de l'ordre de 130 Parmi ceux-ci une liste de 16 composés est généralement considérée pour les études environnementales (ROUIDI, 2014).

Ce sont les polluants qui ont été retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA) de puis 1976 (BOCARD, 2006).

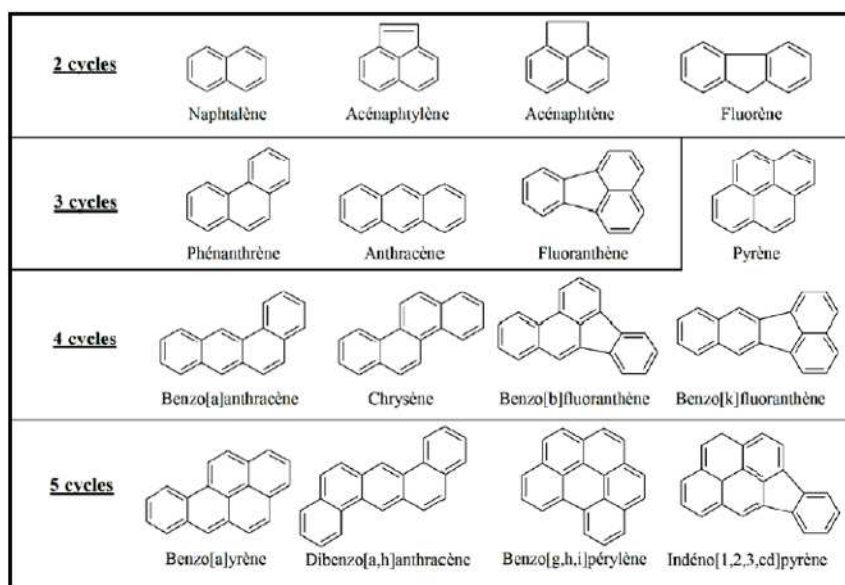


Figure 1: Liste des HAPs prioritaires selon les recommandations de l'US-EPA (BOCARD, 2006)

### 4.2.4 Les asphaltènes

Ce sont des composés stables de très haut poids moléculaire dépassent celui des HAPs. 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 la

Vanadium (**MARCHAND, 1997 in FATTAL, 2008**). Ils renferment des hydrocarbures aliphatiques ainsi que des HAPs (**BENTCHIKOU, 2005**).

En matière de pollution, 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**).

#### **4.2.5 Les résines**

Elles sont riches en carbone, composées d'enchevêtrement de plus de 6 cycles benzéniques (**FATTAL, 2008**). Et sont de poids moléculaire plus élevée que les asphaltènes.

Ce groupe de composé très stable est généralement le plus persistant sur les littoraux car elles forment des goudrons (**FATTAL, 2008**).

Elles entrent à raison 5 à 25% dans la constitution des pétroles bruts (**MARCHAND et KANTIN, 1996 in MECHEKEF, 2009**).

### **4.3 Propriétés physiques**

Plusieurs propriétés physiques permettent de caractériser et de distinguer les hydrocarbures pétroliers en plus de prédire leur comportement dans l'environnement.

#### **4.3.1 La viscosité**

La viscosité peut être définie comme étant la résistance à l'écoulement d'un liquide. Elle influence ainsi la propagation d'une nappe d'hydrocarbures à la surface de l'eau. Des hydrocarbures pétroliers ayant une faible viscosité sont très fluides et se propagent rapidement, rendant leur confinement difficile. Notons que la viscosité est influencée par la température. En effet, plus la température est faible, plus la viscosité est élevée (**FINGAS, 2013**).

En cas de déversement en mer, la viscosité des hydrocarbures augmente progressivement jusqu'à des valeurs très élevées, dues aux phénomènes d'altération (évaporation et émulsifiations), modifiant le comportement du polluant à la surface de la mer (**IPIECA, 2016**).

### 4.3.2 *Le point d'écoulement*

Le point d'écoulement est la température à laquelle un produit commence à s'écouler, en ce point l'hydrocarbure passe de l'état liquide à l'état semi-solide et ne coule plus au dessous de cette température. Il dépend de la teneur paraffinique (alcanes non cycliques) de l'hydrocarbure. En refroidissant, un hydrocarbure atteint une température appelée **point de trouble**, qui correspond au point auquel les composants paraffiniques commencent à former des structures cristallines. Plus la température baisse, plus cette formation de cristaux compromet l'écoulement de l'hydrocarbure.

Cette propriété est fortement liée à la viscosité. Ainsi, plus le contenu en alcanes non cycliques (paraffines) est faible, plus les hydrocarbures seront caractérisés par un point d'écoulement élevé (ITOPF, 2012)

### 4.3.3 *La solubilité*

La solubilité est la capacité d'une substance à se dissoudre dans la colonne d'eau sur une base moléculaire. Cette propriété est importante chez les hydrocarbures, car certains, une fois solubilisés, peuvent devenir toxiques à la vie aquatique, même à très faibles concentrations. (FINGAS, 2013).

### 4.3.4 *La densité*

La densité des hydrocarbures correspond à la masse (poids) par unité de volume. Cette propriété est utilisée par l'industrie pétrolière pour définir les hydrocarbures légers et lourds. La densité est également importante, car elle indique la flottabilité des hydrocarbures en cas de déversement (FINGAS, 2013).

La plupart des hydrocarbures ont des densités comprises entre 0,7 et 0,99 g/ml à 15 °C et par conséquent, flottent sur l'eau. Toutefois, la densité tend à diminuer lors des processus d'altération des hydrocarbures, en particulier le processus d'évaporation des fractions plus légères, les changements de température ou l'interaction avec des particules (RADOVIC et COLLAB, 2012 in CEAEQ, 2015). Ainsi, lorsque la densité des hydrocarbures devient supérieure à celles de l'eau douce (1,0 g/cm<sup>3</sup>) ou marine (1,03 g/cm<sup>3</sup>), les hydrocarbures coulent.

Les paraffiniques ont tendance à rester en surface, alors que les naphthènes ou les asphaltènes,

plus lourds, peuvent couler (FATTAL, 2008).

#### **4.3.5 Le point d'éclair**

Le point d'éclair est la température à laquelle le liquide dégage suffisamment de vapeur pour former avec l'air un mélange inflammable au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Beaucoup d'hydrocarbures sont considérés inflammables, surtout lorsqu'ils sont frais (fraîchement déversés).

Un liquide est considéré comme inflammable si son point d'éclair est inférieur à 60°C (FINGAS, 2013).

#### **4.3.6 La tension interfaciale**

La tension interfaciale (tension de surface) est la force d'attraction ou de répulsion entre les hydrocarbures et l'eau. C'est un paramètre qui doit être considéré avec la viscosité pour évaluer la rapidité de la propagation des hydrocarbures sur l'eau. Plus la tension interfaciale avec l'eau est faible, plus l'étendue de la propagation est grande (FINGAS, 2013)

### **5. Les sources de contamination par les hydrocarbures**

Les sources des hydrocarbures en milieu marin peuvent être naturelles et/ou anthropogéniques ; ils représentent une importante source de pollution des eaux océaniques. Cette pollution peut être accidentelle ou volontaire (CHALGHMI, 2017)

#### **5.1 Source naturelle**

##### **5.1.1 Suintements sous marins**

Il existe des suintements naturels de produits pétroliers à partir des sédiments marins. La dispersion annuelle des hydrocarbures sur toute la surface des océans se chifferrait par des milliers de tonnes. Les mers sont habituées, depuis fort longtemps, à cette pollution discrète (PELMONT, 2005 in FEKNOUS, 2017).

### **5.1.2 Source biogénique**

Les hydrocarbures peuvent être biosynthétisés et libérés dans le milieu marin par l'activité métabolique des organismes aquatiques et terrestres ou par la décomposition de leurs matières organiques (ZAGHDEN et al., 2007 ; MILLE et al., 2007 ).

### **5.1.3 Diagenèse précoce de la matière organique**

Dans les gisements sous-marins, la diagenèse précoce de la matière organique est le résultat de la combinaison de plusieurs processus biologiques, chimiques et physiques (COJAN et RENARD, 1997) qui peuvent accélérer la maturation de la matière organique déposée à la surface des sédiments sous forme de pétrole.

### **5.1.4 Origine pyrolytique naturelle**

Cette origine est dite naturelle quand des hydrocarbures sont générés sous l'action de la chaleur naturelle (feux de forêts, volcans). Des hydrocarbures sont dégagés dans l'atmosphère en grandes quantités lors des feux de forêt et notamment des HAP (GABOS et al., 2001 ). Au cours des incendies, ce sont essentiellement des hydrocarbures légers qui sont libérés dans l'atmosphère, où ils peuvent être transportés sur de très longues distances.

## **5.2 Source anthropique**

### **5.2.1 Origine pétrolière**

Les installations de production et de raffinage situées près ou sur les côtes entraînent de nombreux rejets .Les hydrocarbures pétroliers constituent la classe de polluants organiques, la plus importante dans les mers et les océans.(SPORMANN et WIDDEL, 2001 in ROUIDI, 2004).

L'utilisation et la combustion de cette énergie fossile sur les continents, dans les mers et l'atmosphère constitue une importante source d'hydrocarbures, qui seront apportés au milieu Marin directement ou indirectement via les rivières, les eaux de ruissellement, les particules aérosols contaminées, les rejets industriels et urbains, etc,(LIPIATOU et SALIOT, 1991).

En fin, Les rejets des bateaux en mer peuvent être volontaires ou accidentels du fait des collisions, d'avaries, d'échouages et de chute de conteneurs. Les rejets volontaires sont dûs au fonctionnement des navires. Ils peuvent être licites ou non et concernent tous types de produits en particulier des hydrocarbures principalement dû au transport maritime qui inclue :

➤ **les accidents pétroliers**

Les accidents de pétroliers entraînent des déversements d'hydrocarbures formant des marrées noir ; celles-ci provoquent une forte mortalité de la faune aquatique, sans oublier les conséquences économiques de ces événements pour les riverains vivant de la pêche ou du tourisme (**SOLTANI, 2004**).

Citons à titre d'exemple, le naufrage du pétrolier Erika en 1999 ou celui de l'Atlantic Empress en 1979 où 276.000 tonnes d'hydrocarbures se sont déversés au large des côtes d'Amérique du Sud en deux semaines (**HISSEL F., 2013**).

Plusieurs types de déversements opérationnels peuvent occasionner des pollutions par :

- le dégazage : opération consistant à débarrasser une cuve de carburant ou de pétrole brut, des gaz et traces de produit qui subsistent une fois la cuve vidée ;
- le déballastage : vidange des ballasts pour corriger l'assiette d'un navire, ces ballasts pouvant être des cuves à carburant remplies d'eaux souillées ;
- le rejet des résidus d'huile et de carburant : résidus dûe au filtrage du fioul lourd avant son utilisation comme carburant (**COLAS, 2011**).

➤ **Exploitation pétrolière offshore**

L'exploitation en mer des ressources pétrolières représente actuellement environ le tiers de la production mondiale de pétrole. Avec environ 22% des réserves mondiales (**GROIZELEAU .V, 2010**),L'exploitation de ces gisements marins peut provoquer des déversements lors de ses trois principales opérations : forage, production et transport par oléoduc sous-marin, mais compte peu dans le bilan global (**BERTRAND. A, 2000.**)

**5.2.2 Source pyrolytique anthropique**

Elle est due à la combustion de matière organique (biomasse ou combustibles fossiles)

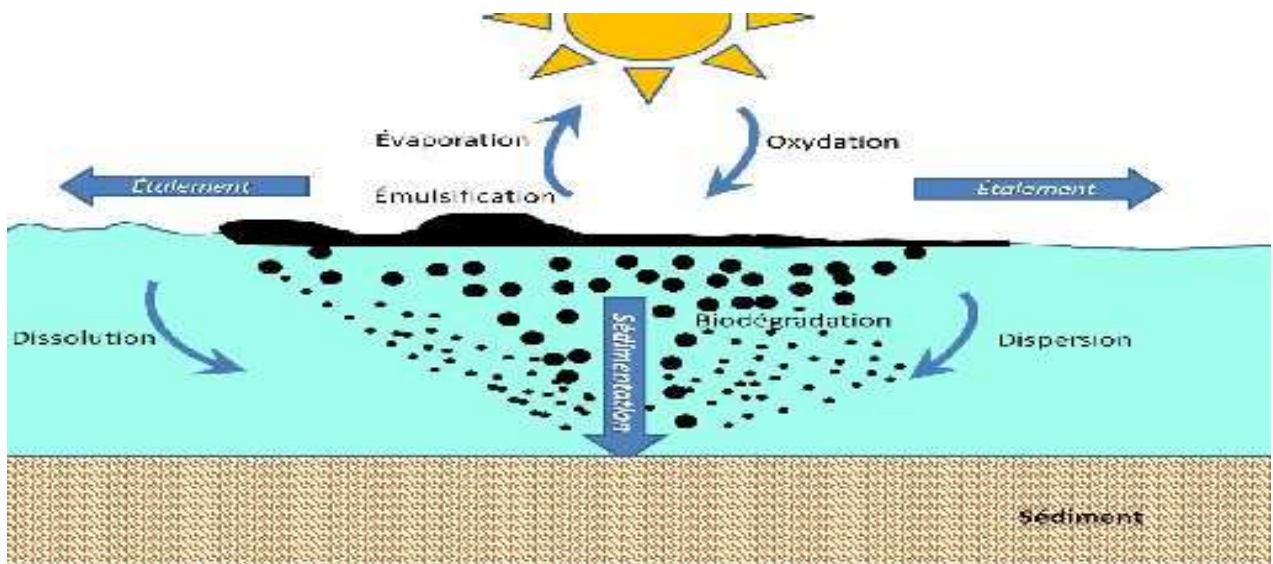
Liée à la production d'énergie, à la circulation automobile et à certains processus industriels (**YUNKER et al., 2002**) ou de la matière organique récente (bois) utilisée pour le chauffage domestique et urbain, les processus industriels (aciéries) et les transports. La température de combustion et la nature de la matière organique utilisée vont influencer fortement sur la quantité et la structure des composés émis, notamment celles des hydrocarbures aromatiques (**ROUIDI, 2004**).

## 6. Comportement et devenir des hydrocarbures :

Du fait de la très faible solubilité des hydrocarbures dans l'eau et de leur densité qui est légèrement inférieure à l'unité, les hydrocarbures rejetés dans les océans s'étalent à la surface avant de subir une série de modifications suite à l'action de facteurs abiotiques et biologiques, jusqu'à l'élimination de cette pollution (**BERTRAND et MILLE, 1989; U.S, 1991**)

Ces processus dépendent de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

- les caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures déversés (composition, quantité, densité, viscosité, solubilité).
- Les conditions météorologiques (température, vent, précipitations).
- L'état physique de la mer (turbulence, vagues, courants marins).



**Figure 2:** Devenir d'un déversement pétrolier dans la colonne d'eau (**ITOPF, 2012**)

### 6.1 Étalement

Un hydrocarbure commence à s'étaler à la surface de la mer dès le déversement et cela dépend principalement de la viscosité et de volume d'hydrocarbure déversé, les hydrocarbures fluides à faible viscosité s'étalent rapidement que les hydrocarbures à hautes viscosité.

Les hydrocarbures liquides s'étalent sous forme de nappe continue mais se fragmentent vite.

La vitesse à laquelle un hydrocarbure s'étale ou se fragmente est également influencée par les vagues, les turbulences, les courants de marées et autres, plus les forces combinées sont fortes plus le processus est rapide (**ITOPF, 2012**).

## 6.2 Evaporation

L'évaporation est le passage des hydrocarbures de l'état fluide à l'état gazeux, elle dépend de : Nature de pétrole, la température, la vitesse du vent, l'épaisseur de la nappe et l'agitation de la mer.

Plus le pétrole est léger plus il a une évaporation plus importante; après l'évaporation des fractions légères, il ne reste que celles qui sont lourdes comme les asphaltènes ou les métaux **(FATTAL, 2008)**.

## 6.3 Dissolution

C'est le processus de dissociation de molécule de pétrole dans l'eau de mer, il est généralement réduit, c'est pour cela que les hydrocarbures sont faiblement solubles (1%), et seul les fractions aromatiques légères peuvent rapidement se dissoudre au contact avec l'eau (benzène, toluène et autres), ce processus dépend de la viscosité, du taux de solubilité d'hydrocarbure et ainsi que les conditions environnementales **(FATTAL, 2008)**, la dissolution ne contribue pas de manière significative à l'élimination d'hydrocarbure de la surface de la mer **(ITOPF, 2012)**.

## 6.4 Emulsification

On peut considérer deux types d'émulsions qui peuvent se produire en milieu marin : l'huile dans l'eau (émulsion directe) et l'eau dans l'huile (mousse au chocolat).

Elle dépend du type d'hydrocarbure et l'état de la mer, en effet pour que l'émulsion se fasse il faut un brassage des hydrocarbures, mais si ce brassage devenait trop important les émulsions ne seraient pas stables, dans ce cas on assisterait à une dispersion **(CHALANSONET et JOYEAUX, 2005 in FATTAL, 2008)**.

La première émulsion (huile dans l'eau) concernent les pétroles légers et moyens, c'est le processus de fragmentation de la nappe en gouttelettes de pétrole qui s'intègre à la colonne d'eau **(FATTAL, 2008)**.

La formation d'émulsions de l'eau dans l'huile est favorisée par le brassage, ce processus ralentit les autres processus de vieillissement et constitue la raison principale de la persistance des hydrocarbures bruts légers et moyens à la surface de la mer, et sur le littoral **(ITOPF, 2012)**.

## 6.5 Photo-oxydation :

Ce processus est observé à la surface de l'eau où le pétrole est exposé à la lumière ;

L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures (**BERTRAND et MILLE, 1989**) ; Ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques (**RONTANI et GIUSTI, 1987**).

Ce processus intéresse principalement les films minces d'hydrocarbure frais ou les couches superficielles d'une nappe épaisse (**MARCHAND, 1998 in FATTAL, 2008**).

L'oxydation est favorisée par la lumière solaire bien qu'elle se produise sur toute la durée du déversement, son effet global sur la dissipation est minime par rapport à celui d'autres processus de vieillissement. Même sous une lumière solaire intense, les films d'hydrocarbure minces ne se décomposent que lentement, soit à raison de moins de 0,1 % par jour dans la plupart des cas. (**ITOPF, 2012**).

## 6.6 Biodégradation

La biodégradation est le processus de dégradation des molécules organiques par des microorganismes (bactéries, champignons...) dont la croissance s'effectue par l'oxydation du carbone qui est utilisé comme source d'énergie.

La dégradation bactérienne (aérobie ou anaérobie) a été reconnue comme le mécanisme le plus prééminent pour éliminer les HAP des environnements contaminés, même si les HAP de hauts poids moléculaires semblent plus résistants aux processus de dégradation bactérienne et tendent à persister plus longtemps dans les environnements contaminés (**ABRAJANO et al. 2003**).

Chaque type de micro-organisme n'est capable de dégrader qu'un nombre restreint d'hydrocarbures, alors que le pétrole est composé de centaines voire des milliers de molécules différentes. Par exemple le genre *Alcanivorax* est prépondérant dans la dégradation des alcanes alors que le genre *Cycloclasticus* est associé à la dégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) (**BEKENNICHE, 2014**).

Les micro-organismes vivent dans l'eau, où ils extraient l'oxygène et les nutriments essentiels. Par conséquent, la biodégradation ne peut se produire qu'à une interface hydrocarbure/eau (**ITOPF, 2012**).

Divers facteurs limitant la biodégradation sont à considérer :

- La température : la biodégradation est proportionnelle à ce paramètre ;
- Les éléments nutritifs, à savoir : l'azote et le phosphore ;

- La teneur en oxygène : qui est souvent critique dans les zones confinées (baies, lagunes, fonds marins) (**LACAZE, 1980**).

## 6.7 Sédimentation :

La sédimentation est le passage du pétrole de la surface vers le fond, se réalise lorsque la densité de l'hydrocarbure dépasse celle de l'eau (**FATTAL, 2008**), la sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradables par voie naturelle. (**SOLANI, 2004**)

## 7. *Impacts des hydrocarbures*

### 7.1 Impact sur les organismes marins

#### 7.1.1 *La communauté planctonique*

La couche de surface riche en plancton est l'environnement le plus exposé à des concentrations significatives de pétrole (**CE, 1998**). La sensibilité est plus aiguë pour le zooplancton que pour le phytoplancton. A moyen Terme, certaines espèces peuvent présenter des troubles fonctionnels (diminution de la nutrition, perturbation du comportement par des phénomènes liés à l'action des hydrocarbures sur les chémorécepteurs).

Les larves de mollusques, de crustacés ou de poissons, sont les plus Sensibles à la pollution. A long terme, certaines espèces peuvent présenter des anomalies de la reproduction (baisse de la fécondité, œufs et Larves anormaux).

Les organismes phytoplanctoniques ont la capacité d'ingérer les hydrocarbures, de les stocker dans leurs tissus sous forme inactive ou oxydée, ces hydrocarbures rentrent ainsi dans la chaîne alimentaire et peuvent être transférés aux niveaux trophiques supérieurs (poissons, crustacés, mollusques) qui seront ainsi contaminés (**PIERRE .M, 1983**).

#### 7.1.2 *Mammifères*

Les mammifères marins peuvent subir des dommages directs, dont le risque est augmenté Par la nécessité de respirer.

Pour les mammifères protégés par une fourrure (comme les phoques), le contact avec le pétrole induit :

- un changement de température et de métabolisme ;

- Le contact peut aussi causer des lésions à la peau, particulièrement autour des yeux ;
- l'apparition de pathologies des organes internes en cas d'exposition à long terme ;
- des anomalies pathologiques sévères peuvent survenir, avec des répercussions au niveau des reins et pouvant dans certains cas aboutir au décès de l'animal. **(CE, 1998; SEMELIN, 2004).**

### 7.1.3 Poissons

Les poissons pourront être affectés directement par l'ingestion de particules de pétrole et de proies contaminées ou la pénétration de composés dissous du pétrole à travers les branchies ou la surface du corps.

Les poissons adultes sont moins affectés par une pollution par les hydrocarbures que les autres organismes marins, sans doute à cause de leur grande mobilité qui réduit leur temps d'exposition avec les masses d'eaux contaminées, et de la capacité des bancs à fuir les zones polluées. Cependant, lorsqu'ils sont exposés à de faibles quantités de pétrole, ils peuvent perdre leur comportement normal de banc et être désorientés, probablement à cause d'effets sur les organes olfactifs et sur la ligne latérale. Cette fuite des eaux polluées peut conduire à un changement des habitudes migratoires et perturber ainsi l'écosystème initial.

Les effets sublétaux à long terme enregistrés sont :

- augmentation de la vulnérabilité aux maladies ;
- réduction du taux de régénération/ réparation des tissus ;
- diminution du taux de croissance ;
- effets sur le développement (diminution de succès d'éclosion, déformation de larves écloses,...) ;
- effets sur le comportement **(SEMELIN, 2004).**

### 7.1.4 Oiseaux marins

Les oiseaux marins doivent souvent traverser la surface de la mer pour se nourrir, augmentant ainsi le risque de se retrouver touchés directement par le pétrole. De tels événements provoquent de fortes mortalités tout de suite après le déversement. **(SEMELIN, 2004).**

Les oiseaux peuvent ingérer du pétrole lors du nettoyage du plumage. Les hydrocarbures affectent ainsi la physiologie interne de l'oiseau, induisant des dommages au niveau du foie et du rein et interférant avec l'excrétion de sel. Cette ingestion peut conduire également à une dépression temporaire de la ponte d'œufs et réduire le succès d'éclosion des œufs pondus. Les oiseaux sont exposés à d'autres dommages. En effet, le pétrole peut :

- boucher les structures fines des plumes, et induire ainsi une perte de l'isolation et de la propriété hydrophobe ;
- diminuer la flottabilité et la température corporelle de l'oiseau, conduisant à la mort par noyade ou hypothermie ;
- mobiliser des réserves d'énergie musculaire et lipidiques en réponse au besoin d'augmentation du métabolisme pour maintenir la température corporelle (CE, 1998).

### 7.1.5 Effets sur les herbiers

Lors d'un déversement d'hydrocarbures, les phénomènes de respiration et d'excrétion sont bloqués, par obstruction des pores des plantes. Mais ces effets varient en fonction de l'espèce végétale et de la nature des hydrocarbures (DANDONNEAU, 1978).

## 7.2 Impacts des hydrocarbures au niveau de la côte :

La persistance des hydrocarbures sera fonction de la topographie, de la composition et de l'exposition des côtes à l'action des vagues. Plus le littoral est exposé et moins le pétrole adhère.

La nature des impacts dépendras de :

- La nature du substrat et la morphologie ;
- l'exposition du site ;
- la présence de végétation et de débris divers sur la côte (SEMELIN, 2004).

### ➤ Au niveau des littoraux rocheux et sableux

En raison de leur exposition aux effets décapants de l'action des vagues et des courants de marée, les littoraux rocheux et sableux sont les plus résistants aux conséquences d'un déversement d'hydrocarbures, peuvent toutefois être incorporés par floculation avec le sédiment mis en suspension par les tempêtes, ou par pénétration dans les galeries de vers et le long des tiges de végétaux. Les polluants qui réussissent à pénétrer dans les sédiments fins peuvent persister pendant de nombreuses années, accroissant ainsi la probabilité d'effets à long terme (ITOPF, 2013a).

### **7.3 Impact sur la santé humaine :**

De nombreux composants du pétrole brut sont cancérigènes par contact avec la peau ou les muqueuses, par inhalation. C'est en particulier ; le cas pour une famille d'hydrocarbures très évaporable, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**BAGHDADI MAZINI, 2012**).

L'impact sur la santé humaine dépend de temps de l'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la consommation de produits de la mer qui seraient contaminés.

L'ingestion de ces produits contaminés par une pollution par les hydrocarbures comporte un risque cancérigène difficile à apprécier (**FATTAL, 2008**).

CHAPITRE II :  
PRESENTATION DE LA  
ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, délimitée à l'Est par le port d'El Djamila et à l'Ouest par Oued Mazafran (Figure 3).

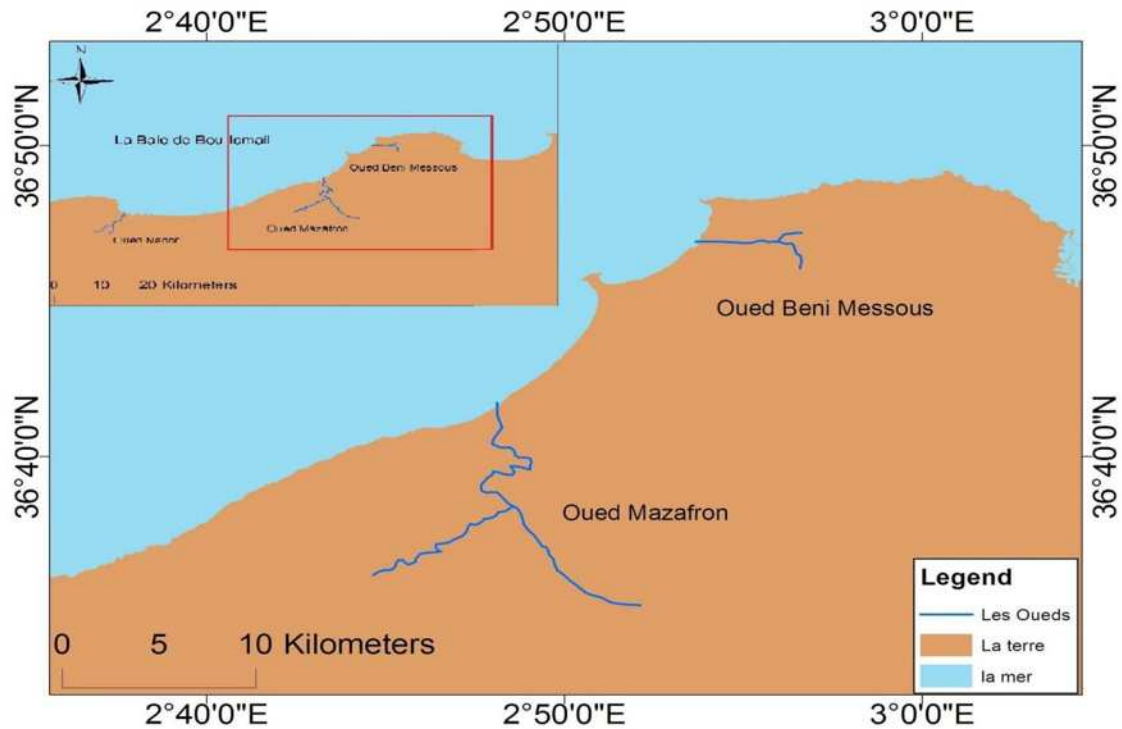


Figure 3: Situation géographique de la zone d'étude (Support : Google Earth, 2018, modifié)

### 1. Situation géographique :

La baie de Bou-Ismaïl anciennement appelée baie de Castiglione est située à 30 km l'Ouest d'Alger entre 2° 24' et 2° 54' Est et 36° 38' et 36° 48' Nord, limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua. Elle couvre une superficie de 350 Km<sup>2</sup> avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud-Ouest au Nord- Est ; elle est très ouverte et fortement soumise aux influences du large.

La baie d'El Djamila se trouve incluse dans le quart oriental de cette baie ; délimitée par Ras-Acrata à l'Est et la presque île de Sidi Fredj à l'Ouest dont le rivage est orienté de SO au NE.

La Baie de Bou Ismaïl est l'une des plus importante baie de la côte algérienne car elle abrite plusieurs ports d'importance économique notamment le port de Bou-Haroun. C'est une zone à vocation touristique, agricole et d'activité de la pêche, ses côtes sont soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la

plupart des cas s'accroissant en période estivale. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels (**LEM, 1998 in BACHARI HOUMA, 2009**).

## **2. Réseau hydrographie :**

Cette baie est alimentée par trois principaux oueds, et sont, perpendiculaire (Oued Nador) ou obliques (Oued Beni-Messous et Mazafran) à la côte.

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes (**BECHARI HOUMA, 2009**), Ces oueds sont:

### **2.1 Oued Mazafran**

Il se situe à l'Ouest de Sidi-Fredj. C'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie, Il est formé par la ramification des trois Oueds : Oued Djer, Cheffa et Bou-Roumi avec un bassin versant de 1900 km<sup>2</sup>(**BRAIK, 1989**).

Cet oued débouche entre Zeralda et Douaouda et son débit liquide estimé est pour 55.18 millions m<sup>3</sup>/an(**ANRH, 2004**).

### **2.2 Oued Bni-Messous**

Il se situe à 15km à l'Ouest d'Alger entre El-Djamila et Club des Pins ,il traverse les communes de Béni Messous et Chraga d'une longueur de 11.5 km , Son bassin versant est réduit, et il est souvent sec, sauf lors des fortes pluies où il peut raviner une quantité non considérable de sédiments, ses eaux sont principalement des eaux usées domestiques et industrielles (**BENZOHRA, 1993**).

## **3. Facteur hydrodynamique**

### **3.1 Vent**

Le vent est l'une des forces physiques qui génèrent les vagues et les houles, leur impact croît avec leur vitesse. La période hivernale est caractérisée par une dominance des vents de secteur Ouest et Nord-Ouest, et la saison estivale avec des vents dominants de secteur Est et Nord – Est ; Les vents les plus violents sont issus du secteur Ouest (**ASSO, 1982**).

### 3.2 Courant

C'est un facteur hydrodynamique qui agit de façon active sur la sédimentation, il participe dans l'évolution de la morphologie côtière en conduisant à des ensablements, des envasements et des érosions. (CAULET, 1972)

En général un courant venant du détroit de Gibraltar côtoie tout le littoral nord du Maghreb vers la Méditerranée orientale.

On distingue 4 types de courants :

➤ **Les courants liés aux vents (courants de surface) :**

Dans la baie de Bou-Ismaïl il y a une bonne proportionnalité entre la fréquence et la direction des vents dominants et l'intensité de courants. Ceci est plus observé en période estivale où les courants de surface adoptent pratiquement la direction du vent.

➤ **Les courants liés à la houle :**

On distingue deux courants dominants, leurs directions présentent une nette variabilité saisonnière en relation avec celle des houles inductrices.

➤ **Les courants de retour :**

Courants existants au lieu du déferlement de la houle, à direction oblique par rapport à la côte (d'orientation NW et NNW), ces courants sont responsables de la distribution du sédiment vers le large.

➤ **Les courants de dérive littorale :**

Produits par des houles tangentielles à la côte (pendant le régime NE) et sont à l'origine d'un transfert sédimentaire latéral (CAULET, 1972).

## 4. Facteur climatique

### 4.1 Température

Le digramme ombro-thermique (Figure 4) a été tracé à partir des données climatiques extraites du site ([fr.tutiempo.net](http://fr.tutiempo.net)) sur une dizaine d'années de 2008 à 2017 (voir Annexe 1), Ce diagramme montre que la région de Bou- Ismaïl est caractérisée par un climat méditerranéen avec deux périodes dans le cycle saisonnier annuel : une période chaude du mois de mai jusqu'à octobre, et une période froide qui couvre les autres mois de l'année.

D'après la figure présentée, on observe que la température mensuelle varie entre un minimum de 11.78 °C correspondant au mois de février et un maximum de 26.56 °C au mois de juillet.

Concernant la pluviométrie, ce diagramme montre qu'il existe deux saisons dans la région.

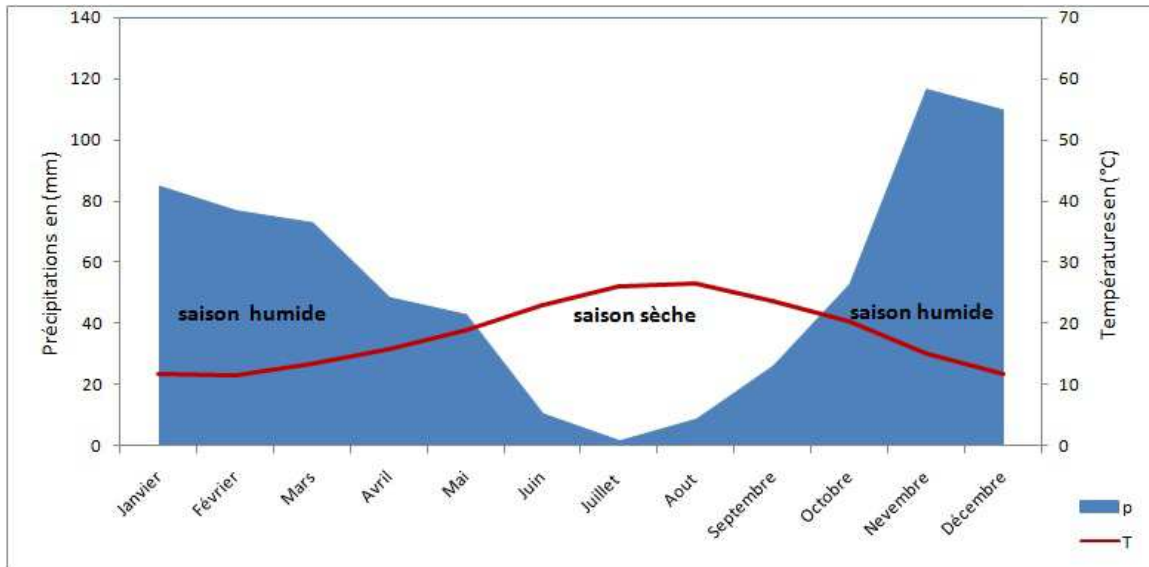


Figure 4: Diagramme Ombro-thermique (ONM, 2008 - 2017)

- **Une période humide** : qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai avec une moyenne mensuelle de 53,185mm, ce diagramme montre un maximum de précipitation en mois de Novembre (116,838mm), cette précipitation diminue jusqu'à atteindre un minimum dans cette période en Mois de Mai avec moyenne mensuelle de 43,2mm.
- **Une période sèche** : qui s'étale du mois de juin avec une moyenne mensuelle de 10,763mm jusqu'à septembre avec une moyenne plus importante de 26,391mm, et on remarque un minimum de précipitation en mois de juillet avec une moyenne de 1.952mm. Cette période est beaucoup plus courte que la période humide.

## 5. Sédimentologie

L'analyse de sédiment de la baie de Bou-Ismaïl a permis d'identifier neuf faciès très diversifiés sur le plan sédimentaire : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables

graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, et les faciès rocheux. D'après (**DAGORNE,1973**) deux régions ont été identifiées à caractère différents :

- la région Est orientale.
- la région Ouest occidentale.

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de cette baie.

Vers l'embouchure d'Oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ces dépôts fluviaux marins et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens ne réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza (**AL SID CHIKH et al, 2009**).

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie.

Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur, Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), il ya un dépôt de sable moyen et gravier.

## **6. Les sources de pollution**

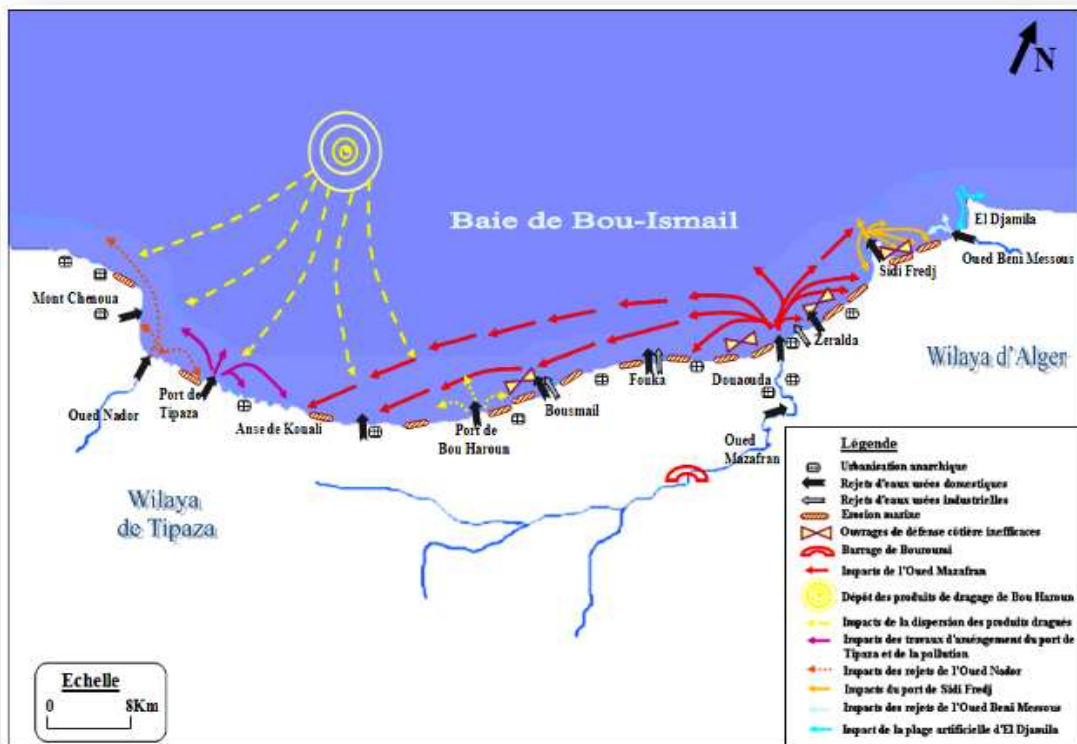
Comparant avec le littoral de la baie d'Alger, celui de Bou -Ismail est peu urbanisé et moins industrialisé. Ce littoral est caractérisé par quelques petites unités industrielles localisées dans les villes côtières (Bou Ismail, Ain Benian, Bou Haroun) dont les rejets d'eaux usées restent très modestes;

Cependant, l'urbanisation récente s'accompagne inévitablement d'un flux supplémentaire de population avec des effets négatifs sur cette dernière. Les oueds entraînent vers la mer les eaux usées de Blida et les eaux des ateliers de traitement de surface de la base centrale logistique de Beni Mred au niveau de Oued MectaMakhlouf qui n'est que la continuité d'Oued Beni Azza, où se déversent les eaux usées de la tannerie de moulin, d'une unité d'électroglace, d'un mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, et d'industrie agro-alimentaire.

Il faut signaler aussi que cette baie est une zone à vocation touristique, du fait que cette baie fait partie de la zone d'expansion touristique (ZET). Les rejets des complexes touristiques sont évacués en milieu marin sans traitement préalable, cela est observé surtout en période estivale (**BACHARI HOUMA ,2009**).

Ainsi, Bou-Ismaïl est une zone agricole avec une agriculture bien développée et fertile. Ces dernières années les cultures intensives sous serres dans ces régions ont connu un grand développement en utilisant des pesticides, engrais chimiques. Donc les eaux de ruissellement, les eaux de lessivage des sols généralement sablonneux, entraînent une partie de ces produits chimiques, soit directement ou indirectement par le biais des oueds, vers le milieu marin (BAKALEM, 2008 ; SELLALI, 1996;BOUGHRIRA, 2012).

En plus de ces activités, s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de pêche de Bou Haroun, Port de pêche de Khemisti, Port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, Abris de pêche d'El-Djemila, Port de plaisance de Sidi Fredj, Port de plaisance de Palm Beach (Figure5).



*Figure 5: Sources de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl (BELKESSA et al., 2008; ALSID CHIKH et al., 2009)*

CHAPITRE III :  
MATERIELS ET  
METHODES

Afin de suivre l'état de pollution par les hydrocarbures dans les matrices eau-sédiment, deux sorties en mer ont été réalisées dans la baie Bou-Ismaïl à bord de l'embarcation AURES, à savoir :

- > Le 21/04/2018
- > Le 19/07/2018

## 1. Travaux effectués en mer

### 1.1 Préparation du matériel de la sortie

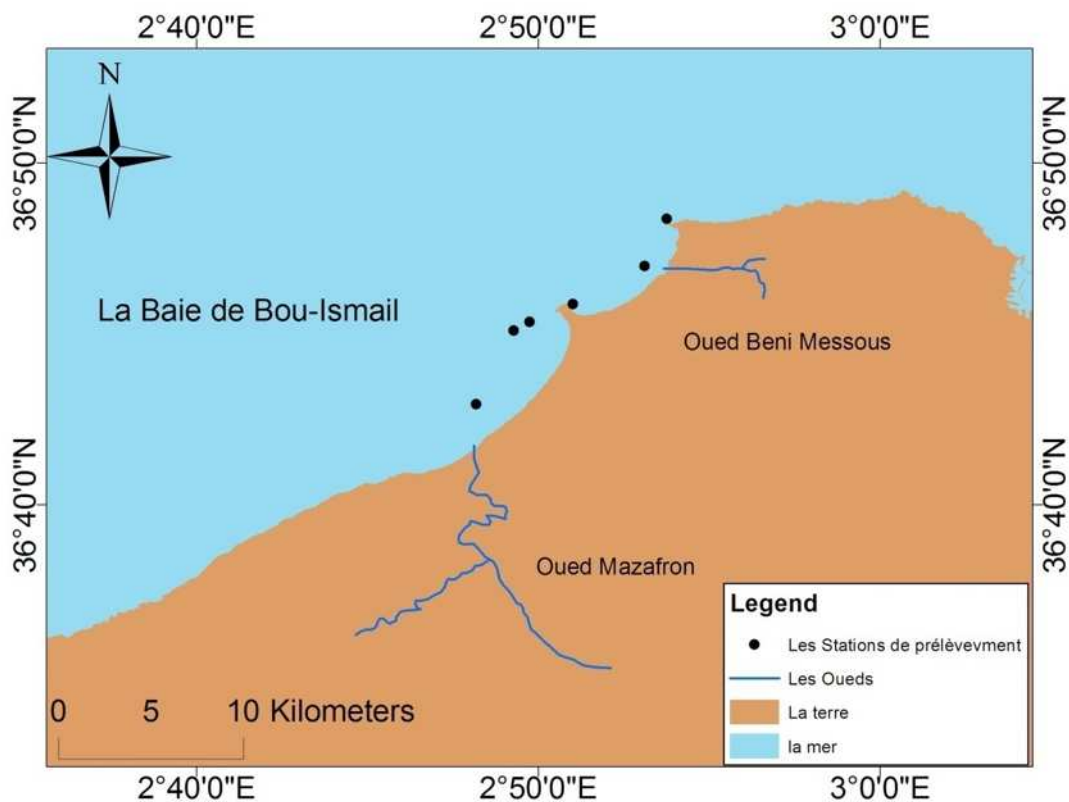
Tableau 1: Liste du Matériels de sortie

Paramètres à mesurer					
Hydrocarbures (HC)		Oxygène dissous (OD)		Chlorophylle "a" (chl.a)	
Matériel	Usage	Matériel	Usages	Matériel	Usage
Flacons brun en verre de 2,5 L préalablement conditionnés et étiquetés	Prélèvement d'eau	Bouteille NISKIN	Prélèvements d'eau de mer	Bouteilles opaques en plastique de 2l	Prélèvement d'eau
Système de prélèvement (constitué d'un filet, d'un lest et d'une corde)	Support de la bouteille de prélèvement	Flacons en verre	Echantillonnage d'eau	/	/
Flacons en verre de 50 ml contenant de l'Hexane	Premières extraction des HAP à bord	Micropipette	Prélèvement des réactifs R1 et R2	/	/
Papier aluminium	isolement du goulot de la bouteille de son bouchon qui est en plastique	Réactif 1 : $MnCl_2$ , Réactif 2: NaI, NaOH	Piégeage d'oxygène dissous dans les flacons	/	/
Benne van –veen	Prélèvement des sédiments	/	/	/	/
Pilulier	L'échantillonnage de sédiment	/	/	/	/
Spatule	Prélèvement des sédiments	/	/	/	/

Glacière	Conservation des échantillons
GPS	Positionnement des stations de prélèvement

## 1.2 Prélèvement et localisation des stations

Les stations de prélèvement sont indiquées sur la carte ci-après : (Figure 6).



**Figure 6:** Carte des stations de prélèvement (Support : *Google Earth, 2018, modifié*)

### 1.2.1 L'extraction des hydrocarbures (HC)

#### ➤ Prélèvement d'eau

Les prélèvements d'eau pour l'analyse des hydrocarbures dissous, dispersés dans la colonne d'eau ont concernés la couche de surface comprise entre 0 et 1 m de profondeur, effectués à l'aide d'une bouteille en verre fumé, d'une capacité de 2.5L, préalablement conditionné et étiquetée, placée sur un support lesté. Le système de prélèvement est lancé à l'avant du navire en arrêt, afin de réduire les risques de contamination par le moteur. La bouteille de prélèvement ne doit pas être complètement remplie afin de pouvoir ajouter 50ml de solvant

(**n-Hexane**) pour effectuer une première extraction, tout en assurant une agitation manuelle pendant 5 à 10 minutes, ensuite conservée au frais et à l'abri de la lumière dans la glacière.

➤ **Prélèvement de sédiment superficiel**

Le prélèvement de sédiment superficiel est réalisé à l'aide d'une benne preneuse de type « Van Veen », la benne est constituée d'acier inoxydable. Avant l'envoi de la benne, les deux bras sont écartés de chaque côté avec les mâchoires ouvertes, au contact du fond les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiment.

Une fois la benne remonte, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule en acier inoxydable en évitant tout contact avec les parois de la benne.

L'échantillon récupéré est tout de suite mis dans un pilulier en verre préalablement étiqueté puis fermé avec un bouchon après l'isolement de ce dernier par du papier aluminium pour éviter tout risque de contamination.

Le pilulier est ensuite conservé dans une glacière portative au bord du navire.

### 1.2.2 *L'oxygène dissous(OD)*

Le prélèvement d'eau destiné au dosage de l'oxygène dissous a concerné la couche de surface (0-1m), il est effectué à l'aide d'une bouteille NISKIN, qui est la référence internationale pour le prélèvement d'eau en milieu marin.

Cette bouteille est munie d'un système de fermeture, que l'on descend à la profondeur désiré et que l'on ferme à distance à l'aide d'un « messenger », afin d'y enfermer le volume d'eau qui sera remonté à bord du bateau. Cette bouteille doit être rincée dans la colonne d'eau avant tout prélèvement (**DANIEL et LAMPERT, 2016**).

L'échantillonnage doit être très rapide après la remontée de la bouteille dans des flacons en verre de 250ml, munie d'un bouchon rodé à base conique afin d'éviter le piégeage de bulle d'air; et dont la capacité a été déterminée par pesée préalablement, en respectant les étapes suivante (**AMINOT et KEROUEL, 2004**):

- Adapter à la bouteille un tuyau souple transparent;
- Purger le tuyau pour éliminer toute bulle d'air;
- Introduire le tuyau jusqu'au fond du flacon;

- Laisser couler l'eau, tout d'abord à faible débit puis plus rapidement sans provoquer une turbulence;
  - Laisser déborder en moins une fois le volume du flacon;
  - Remonter lentement le tuyau jusqu'à ce que son extrémités soit à environ 1cm sous la surface de l'eau, sans arrêter l'écoulement;
  - Ajouter immédiatement **2ml** de Chlorure de manganèse tétrahydraté (**MnCl<sub>2</sub>, 4H<sub>2</sub>O**) (R1) et **2ml** d'Iodure de sodium (**NaI**) (R2);
  - Boucher sans emprisonner de l'air et agiter;
  - conserver dans une glacière.
- **Remarque :** pour les prélèvements, prendre toute les précautions utiles pour éviter les échanges avec l'oxygène de l'air(**RODIER et al.,2005**).

### 1.2.3 Chlorophylle "a" (Chl.a)

Le prélèvement d'eau destinée à la mesure de la concentration en chlorophylle " a " est effectué en surface de la mer à l'aide d'une bouteille opaque de 2L, afin d'empêcher la pénétration de la lumière et inhiber l'activité biologique, ensuite. Conservé l'échantillon prélevé au frais dans une glacière.

- **Remarque :** L'eau doit être filtrée le plus rapidement possible après le prélèvement.

## 1.3 Mesure des paramètres physicochimiques (T, pH)

La mesure a été faite in situ à la surface de l'eau à l'aide d'un pH-mètre qui affiche les températures.



Figure 7: pH-mètre de type HANNA.HI 208 pH meter

## 2. Travaux effectués aux laboratoires :

Les travaux de la présente étude ont été effectués au niveau de Laboratoire de Recherche Scientifique de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (situés à Sidi Fredj, wilaya d'Alger).

### 2.1 Dosage des hydrocarbures polyaromatiques (HAP) dans l'eau de mer par spectrofluorimétrie à rayonnement Ultraviolet

*Tableau 2: matériels utilisés pour le dosage des hydrocarbures*

Matériel	Produit chimique et intérêt d'utilisation	Appareillages
Ampoule à décanter de 2 L	n-Hexane (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> ) : solvant	Lyophilisateur
Ballons à colle rodé de 250 ml	Dichlorométhane (C <sub>12</sub> CH <sub>2</sub> ) : Extraction ; Purification ; fractionnement	/
Burettes de 50 ml à robinet en téflon	Acétone (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	Evaporateur rotatif (Rotavapor)
Tubes à essais	Gel de silice : Fractionnement des hydrocarbures en chromatographie sur colonne ouverte	Générateur d'azote (Jet d'azote)
Béchers en verre	Alumine : Purification des hydrocarbures en chromatographie sur colonne ouverte	Balance de précision
Entonnoirs en verre	Sulfate de sodium anhydre (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) : Elimination des traces d'eau	Four à moufle
Éprouvettes en verre (1 L et 100 ml)	Laine de verre	Soxhlet
Fioles en verre de 10 ml	Acide chlorodrique (HCL)	Étuve
Tige en verre	Chrysène (C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> )	Bac à ultrasons
Mortier en porcelaine	/	/
Creuset en porcelaine	/	Spectrofluorimètre (SFUV) équipé de cuves en quartz de 1cm de trajet optique.
Spatule en métal inoxydable	/	/

### 2.1.1 Conditionnement du matériels destiné au le dosage des hydrocarbures

- Lavage au détergent;
  - Rinçage avec l'eau de robinet;
  - Remplissage des verreries avec un volume d'eau acidulé à 10 % ( 100 ml d'HCl dans 1000 ml d'eau distillée), et laisser réagir au minimum 2h ;
  - Rinçage 3 fois à l'eau distillé ;
  - Rinçage sous la haute à l'acétone, ensuite laisser une nuit à l'étuve à 70°C;
  - Rinçage sous la haute avec l'hexane.
- **Remarque** : Les bouteilles de prélèvement et les piluliers sont couverts avec du papier aluminium conditionné (traité au four à moufle à 500°C pendant 2 h).
- **Préparation et conditionnement des adsorbants**
- **Etape d'activation:** Une quantité d'adsorbant pesé et mis à l'étuve à 100°C pendant une nuit.
  - **Etape de désactivation partielle:** les adsorbants sont ensuite désactivés partiellement par addition de quelques gouttes d'eau distillée à leur sortie de l'étuve.

### 2.1.2 Traitement de l'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures

#### 2.1.2.1 Extraction

L'extraction liquide-liquide est l'une des techniques de préparation d'échantillon les plus anciennes. C'est une opération fondamentale de transfert de matière entre deux phases liquides non miscibles, sans transfert de chaleur.

Cette technique est réalisée par la mise en contact de l'échantillon d'eau avec un solvant organique (**n-Hexane**) avec lequel les HAPs ont une affinité importante. La séparation de ces deux phases s'obtient par la décantation gravimétrique dans une verrerie destinée au mélange et séparation (Ampoule à décanter) (BENABDALLAH HASSIBA, 2015).

➤ **1<sup>ère</sup> Extraction (en mer)**

L'extraction doit commencer juste après la collecte au bord de l'embarcation afin d'éviter la dégradation microbienne de l'échantillon, par addition de 50ml d'hexane avec une agitation manuelle pendant **5 à 10 minutes**. L'échantillon prélevé est ensuite conservée dans une glacière (COI, 1983).

➤ **2<sup>ème</sup> Extraction (au laboratoire)**

- Vérifier que le robinet de l'ampoule à décanter est fermé ;
- Verser le mélange (échantillon+ hexane) à l'aide d'un entonnoir,
- Ajouter 50 ml du solvant d'extraction approprié (n-Hexane) ;
- Boucher l'ampoule, et agiter pendant 15 minute, pour faciliter le contact entre le solvant d'extraction et les hydrocarbures ;
- Ouvrez le bouchons de temps en temps pendant l'agitation pour le dégazage;
- Laisser décanter 10 minute, Jusqu'à l'apparition des deux phases, phase organique, et, phase aqueuse;
- Récupérer la phase aqueuse, qui se situe au-dessous de la phase organique dans une éprouvette graduée.
- Noter le volume d'eau récupérée (Volume d'extraction);
- Récupérer la phase organique dans un ballon à colle rodé de 250ml ;
- Ajouter une pincée de Sulfate de sodium anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , qui sert à absorber les gouttelettes d'eau.



*Figure 8: Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter*

### 2.1.2.2 *Concentration*

La concentration des extraits à pour but de réduire le volume du solvant et se fait en deux étapes :

➤ **Concentration avec l'évaporateur rotatif :**

L'enceinte est mise sous vide, l'échantillon est placé dans un bain-marie avec une température de 45°C, ce qui accélère le passage du liquide à l'état vapeur. Les vapeurs d'hexane se condensent sur la paroi et tombent dans un ballon qui recueille le solvant d'extraction (réduction du volume jusqu'à 10 ml).



*Figure 9: Évaporateur rotatif*

➤ **Concentration sous jet d'azote**

Les échantillons sont récupérés dans des tubes à essai, afin de les passer à une seconde concentration sous jet d'azote (N<sub>2</sub>) jusqu'à un volume de 2ml.

### 2.1.2.3 *Purification/ fractionnement*

La purification et fractionnement sont généralement réalisés par chromatographie liquide sur colonne ouverte. Les adsorbants utilisés dans cette opération sont l'alumine pour la purification et le gel de silice pour le fractionnement.

La purification a pour but la rétention des composés lipidiques co-extraits avec les hydrocarbures.

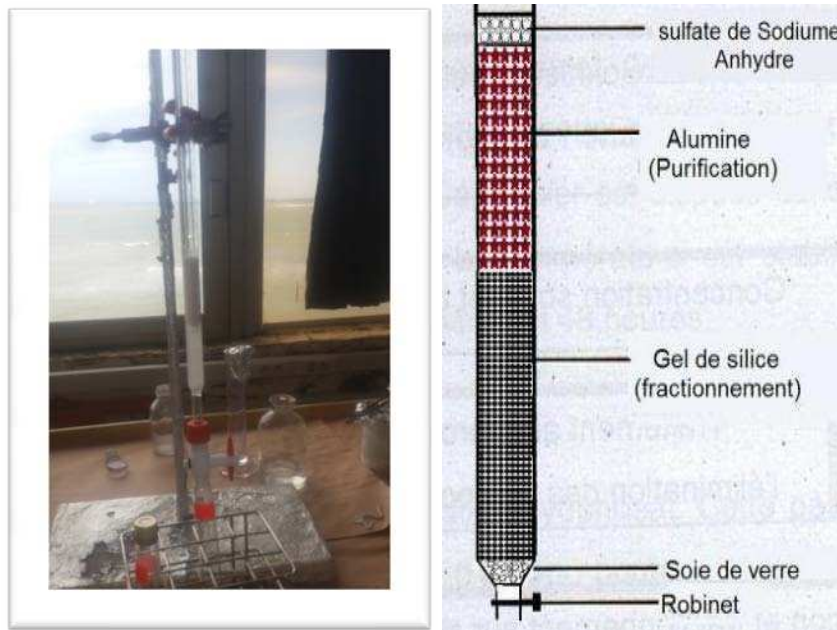
Le fractionnement est une étape de séparation entre la fraction aliphatique ( $F_1$ ) et la fraction des hydrocarbures polyaromatiques ( $F_2$ ).

➤ ***Préparation de la colonne chromatographique***

- Peser 5g de gel de silice et 5g d'alumine dans des béchers propres ;
- Placer la burette avec son robinet sur la potence ;
- Prendre un peu de laine de verre par une pince et la mettre au fond de la burette à l'aide d'une tige en verre ;
- Verser un peu d'Hexane pour le conditionnement de la burette ;
- Préparer un mélange d'hexane + 5g de gel de silice et un mélange d'hexane + 5g d'alumine, les laisser couler en récupérant l'hexane, sans laisser la colonne sécher ;
- Ajouter une pincée de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la burette et faire tasser pour l'absorption des gouttelettes d'eau ;
- Laisser environ 1 ml au-dessus des adsorbants afin d'éviter leur séchage.

➤ ***Purification et fractionnement***

- Verser l'échantillon dans la colonne ;
- Mesurer 20ml d'hexane à l'aide d'une éprouvette et les verser dans la burette ;
- Dans un tube à essai, propre et étiqueté, récupérer la fraction aliphatique ( $F_1$ ) en laissant toujours 1 ml pour éviter le séchage de la burette ;
- Mesurer 20 ml du mélange Hexane /Dichlorométhane (50/50) à l'aide d'une éprouvette et le versé dans la colonne ;
- Récupérer la fraction aromatique ( $F_2$ ) contenu de la burette dans un autre tube conditionné et étiqueté ;
- Stocker les fractions ainsi obtenues dans le réfrigérateur, jusqu'à l'analyse.



**Figure 10:** Colonne chromatographique

### 2.1.3 Traitement de sédiment pour l'analyse des hydrocarbures :

Le sédiment marin constitue un réservoir d'évacuation pour certains polluants, notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques, Leur analyse nécessite au préalable une étape de lyophilisation, broyage, extraction, purification, enfin leur quantification par spectrofluorimétrie Ultra-Violet (SFUV)(cas de présent travail).

#### 2.1.3.1 Lyophilisation :

Une fois arrivé au laboratoire, les échantillons de sédiment doivent être congelés pour être lyophilisés.

Cette opération consiste à l'élimination progressive de l'eau de l'échantillon congelé par passage à la phase vapeur, sans passer par la phase liquide, ce changement d'état s'appelle la sublimation, à basse température (-55°C) et sous vide (0.1 bar) pendant 48h( **JEANNOT R. et al, 2001**).

#### 2.1.3.2 Broyage

Les échantillons lyophilisés sont ensuite broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine préalablement conditionné, cette étape a pour but d'homogénéiser l'échantillon.

### 2.1.3.3 *Extraction liquide/solide*

L'extraction est réalisée à l'aide d'un extracteur soxhlet, un blanc de procédure est réalisé pour chaque série (4 échantillons). 5g de sédiment lyophilisé sont placés dans une cartouche en cellulose, préalablement nettoyée avec le mélange de solvants Hexane/Dichlorométhane (proportions : 50/50). Les sédiments sont extraits avec 200 ml de mélange de solvants pendant 8h. Avant de commencer l'extraction, une pincée de Sulfate de sodium anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est ajoutée au sédiment. L'extrait est concentré et ensuite purifié.



*Figure 11: Extracteur soxhlet*

### 2.1.3.4 *Concentration des extraits*

L'extrait récupéré est concentré par l'évaporateur rotatif sous vide jusqu'à un volume de 10ml (Température : 40°C), puis concentré sous jet d'azote jusqu'à un volume de 2 à 3 ml (mêmes étapes pour les hydrocarbures dans l'eau).

### 2.1.3.5 *Purification et fractionnement*

La phase de purification est réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte en utilisant le gel de silice/alumine pour se débarrasser des lipides co-extraits avec les hydrocarbures. Elle se fait comme pour les hydrocarbures dissous/dispersés.

## 2.1.4 *Technique d'analyse des hydrocarbures*

Différentes méthodes ont été mises en œuvre pour l'analyse des hydrocarbures dans le milieu marin. Elles sont dictées par le but de recherche, si l'objectif est de prouver que les échantillons proviennent d'une source suspectée, l'analyse qualitative par **Chromatographie en phase gazeuse** est la démarche la plus suivie, si l'objectif est de suivre les concentrations d'hydrocarbures totaux dans les échantillons environnementaux les méthodes **spectroscopiques** sont utilisées.

Nous avons utilisé dans le présent travail **la spectroscopie par fluorescence ultraviolet(S.F.U.V)**, c'est une méthode d'analyse qualitative et quantitative, qui peut être employée pour détecter la présence d'hydrocarbures dans l'eau et dans le sédiment (**ITOPF, 2013**).

#### 2.1.4.1 *La spectrofluorimétrie Ultra-Violet (SFUV)*

Son principe général est de mesurer l'émission de fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation.

La matière à analyser est exposée à des fréquences de rayonnement ultraviolet spécifiques, qui excitent les molécules aromatiques. Celles-ci émettent alors une lumière de plus basse énergie (**fluorescence**) qui peut être détectée par le spectromètre. La composition des **HAP** spécifique aux hydrocarbures rend cette technique particulièrement appropriée pour identifier les différents types d'hydrocarbure et déterminer les hydrocarbures totaux dans un échantillon, elle est également capable de détecter de très faibles concentrations d'hydrocarbures dans l'eau (**ITOPF, 2013**).

Cependant. Les teneurs mesurées ne représentent pas les concentrations absolues d'hydrocarbures mais elles fournissent un indice de pollution par hydrocarbures fossiles (**AMINOTet CHAUSSPIED, 1983**).

##### 2.1.4.1.1 **Appareillage analytique**

Le spectrofluorimétrie utilisé lors de l'analyse est de marque « **HITACHI** » modèle 650-10 Highsensitivity, équipé d'une lampe à Xénon qui représente la source des rayonnements UV. 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 cm de trajet optique, polies sur les quatre faces. Un volume minimal de 0,5 ml d'échantillon est suffisant à l'analyse.



**Figure 12:** Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet **HITACHI 650-10**

#### 2.1.4.1.2 Etalonnage et préparation des standards

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou de référence, il est recommandé aux laboratoires d'utiliser le Chrysène ( $C_{18}H_{12}$ ) comme étalon de référence.

Une solution mère de chrysène est préparée à une concentration de  $100\mu\text{g/ml}$  (COI, 1983).

Les solutions standards sont obtenues par dilution d'un volume prélevé de la solution mère dans de l'hexane, pour aboutir à une gamme d'étalonnage préparée selon le principe de neutralisation suivant :

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Les concentrations des différents standards ainsi que les volumes à prélever de la solution mère sont reprises dans le tableau suivant :

**Tableau 3:** Concentrations des standards d'étalonnage.

Etalon	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration ( $\mu\text{g/ml}$ )	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Volumes ( $\mu\text{l}$ )	20	40	60	80	100

Ces étalons sont homogénéisés pendant deux minutes, dans un bac à ultrason.

### 2.1.4.1.3 Mesure des intensités de fluorescence

Les concentrations des hydrocarbures sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage, la mesure se fait en plaçant une fraction de l'extrait purifié dans une cuve en quartz de 1cm de trajet optique.

La droite d'étalonnage  $IF=f(C)$  est tracée par les résultats de la gamme d'étalonnage, L'intensité de fluorescence (**IF**) est proportionnelle à la concentration (**C**) de l'échantillon dans la gamme d'étalon.

La droite d'étalonnage est de la forme suivante :

$$IF = aC + b$$

**IF** : Intensité de fluorescence en unité arbitraire (UA).

**C**: Concentration en HAP (en  $\mu\text{g/ml}$ ).

**a**: pente de la droite.

**b**: ordonnée à l'origine.

## ➤ Droite d'étalonnage :

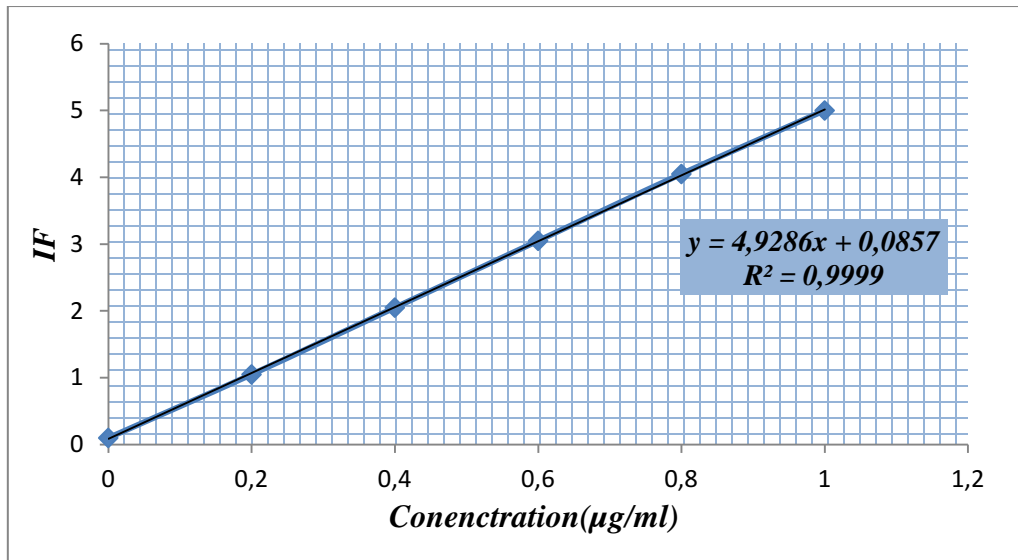


Figure 13: Droite d'étalonnage

## 2.1.4.1.4 Calcul de concentration finale des HAP dans l'eau de mer :

Les concentrations des échantillons sont calculées à partir de la formule suivante :

$$[C] \text{ finale} (\mu g/l) = \frac{C_e V_p}{V_{ech}}$$

**[C]finale:** Concentration de l'échantillon en HAP (µg/m)

**V<sub>p</sub>:** volume purification (20ml).

**V<sub>ech</sub>:** Volume d'eau extrait de l'échantillon d'eau de mer (L).

**C<sub>e</sub> :** concentration massique de l'extrait en µg/ml.

#### 2.1.4.1.5 Calcul de concentration finale des HAP dans le sédiment marin :

La concentration des HAP dans les sédiments marins est calculée selon la relation suivante :

$$[C] \text{ finale}(\mu/g) = \frac{(C_e - C_b) * V}{P_s}$$

**[C]finale** : concentration massique finale des HAP dans l'échantillon en  $\mu\text{g/g}$ .

**C<sub>e</sub>** : concentration massique de l'extrait en HAP en  $\mu\text{g/ml}$ .

**C<sub>b</sub>** : concentration massique de blanc en HAP en  $\mu\text{g/ml}$ .

**V** : volume finale de l'extrait F<sub>2</sub> (fraction aromatique) en ml.

**P<sub>s</sub>** : poids sec de l'échantillon en gramme.

### 2.2 Analyse de la matière organique dans le sédiment :

La teneur en matière organique est évaluée par la méthode de « **perte au feu** », cette méthode repose sur l'incinération des échantillons de sédiment lyophilisé dans un four à moufle à 600°C pendant 2heures, afin de bruler toute la matière organique (**RODIER et al.,2005**).

#### ➤ Principe

- Mettre l'échantillon à l'étuve pendant 24h pour le séchage ;
- Homogénéisation du sédiment à l'aide d'un mortier ;
- Numéroté et peser les creusets vide ;
- Mettre un poids de sédiment dans des creusets en porcelaine, et les peser, on obtient le poids (P<sub>1</sub>) ;
- Placer les échantillons (sédiments + creusets) dans un four a moufle pendant 2h à 600° ;
- Faire sortir les creusets et laisser refroidir ;
- Effectuer une deuxième pesée (P<sub>2</sub>), le sédiment calciné ;

La matière organique s'exprime selon la relation suivant :

$$MO\% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

**P<sub>1</sub>**: Poids du sédiment sec (poids du sédiment- poids du creuset).

**P<sub>2</sub>**: Poids du sédiment calciné (poids sédiment calciné –poids du creuset).

### 2.3 Dosage de l'Oxygène Dissous (OD) par la méthode de Winkler

Tableau 4: Matériels utilisés pour le dosage de l'oxygène

Matériel	Produit chimique et intérêt d'utilisation	Appareils
Flacons d'oxygène propres et étiquetés	Chlorure de manganèse tétrahydraté (MnCl <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O)	Titreur automatique
/	Iodure de sodium (NaI)	Thermomètre digital
/	Acide sulfurique (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Balance de précision
/	Iodate de potassium (KIO <sub>3</sub> )	/
/	Thiosulfate de sodium (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 5H <sub>2</sub> O)	/

Les teneurs en oxygène dissous dans l'eau de mer sont la résultante de flux de production (diffusion de l'oxygène atmosphérique, photosynthèse) et de flux de consommation (respiration, dégradation de matières organiques). Il existe de nombreuses méthodes pour déterminer l'oxygène dissous dans l'eau de mer, chimique, électrochimique, chromatographie en phase gazeuse.

Même si la méthode électrochimique est la plus facile à mettre en œuvre "in situ", la méthode la plus précise est la méthode de **Winkler**.

### 2.3.1 Principe

Le principe du dosage est de former un précipité de manganèse (Mn(II) et de l'oxyder par l'oxygène dissous (Mn(III) et Mn(IV)) dans un milieu basique.

Le manganèse est réduit en milieu acide et en présence d'iodure, ce qui libère de l'iode. L'iode est donc titré par le thiosulfate à concentration connue (T. WAGENER et al., 2015).

Les coefficients stœchiométriques des réactions successives sont tels que 1 mole de dioxygène correspond à 4 moles d'ions thiosulfates (AMINOT et KEROUEL, 2004).

### 2.3.2 Préparation des flacons d'échantillonnages et réactifs :

Cette étape de calibrage des flacons a pour but de déterminer les volumes de ces derniers. Cette opération est nécessaire pour le calcul de la concentration finale de l'Oxygène Dissous dans l'échantillon d'eau de mer. La préparation des réactifs utilisés et le calibrage des flacons, sont indiquées dans l'Annexe(3) (AMINOT et KEROUEL, 2004).

Les réactifs sont les suivants:

- Réactif 1 : solution de manganèse II à 3 mol/l.
- Réactif 2 : solution basique d'iodure (OH<sup>-</sup> : 8 mol/l, I<sup>-</sup> : 4 mol/l).
- Réactif 3 : acide sulfurique (H<sup>+</sup> : 10 mol/l).
- Solution de thiosulfate à 0,02 N.
- Solution étalon d'iodate de potassium à 0,01 N.

### 2.3.3 Traitement des échantillons :

- Une fois que le précipité est rassemblé (minimum 6 heures), éviter toute remise en suspension et rajouter 2 ml de R3 ;
- Reboucher immédiatement tout en évitant d'emprisonner de l'air et agiter jusqu'à la dissolution complète du précipité ;
- Placer le flacon à l'abri de la lumière et effectuer le dosage au plus tard une heure après l'acidification et très rapidement après l'ouverture du flacon.

### 2.3.4 Etalonnage de thiosulfate :

Pour une meilleure précision on doit déterminer la concentration de thiosulfate (dont la concentration est instable), avant chaque série d'analyse.

L'étalon est préparé comme suit :

- Remplir un bécher avec 100 ml d'eau déminéralisée ;
- Ajouter les réactifs inversement (1ml du réactif 3 puis 1ml du réactif 2)
- Ajouter 1 ml de la solution de  $\text{KIO}_3$  ;
- Introduire un barreau magnétique à l'intérieur du bécher et placer sur l'agitateur ;
- Commencer le titrage par la solution de thiosulfate sous agitation ;
- A la fin du titrage, marquer le volume de thiosulfate consommé par l'échantillon ( $V_e$ ) ;

$$[\text{thio}] = \frac{\text{kio}_3 * V_{\text{KIO}_3}}{V_e}$$

**[ $\text{KIO}_3$ ]**: Concentration de la solution de  $\text{KIO}_3$  (1N) ;

$V_{\text{kio}_3}$  : Volume de la solution de  $\text{KIO}_3$  ajouté (1ml) ;

$V_e$ : Volume de la solution thiosulfate consommé (ml).

### 2.3.5 *Mesure des blancs chimiques*

Des impuretés oxydantes ou réductrices peuvent être présentes dans les réactifs, c'est pour cela qu'on doit préparer le blanc chimique, il peut être positif ou négatif ; ils sont mesurés comme suit : **(AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983)**

- Introduire dans un bécher propre 100 ml d'eau déminéralisée ;
- Ajouter 1ml de R3 puis 1ml de R2 ;
- Titrer immédiatement par le thiosulfate et noter le volume d'équivalence. Soit  $V_1$  ce volume ;
- Rajouter à nouveau 1 ml de  $\text{KIO}_3$  et titrer, ensuite noter le volume d'équivalence. Soit  $V_2$  ce volume

La valeur du blanc chimique est donnée par cette expression :

$$b = V_1 - V_2$$

### 2.3.6 *Titration automatique :*

Le titreur automatique avec détection électrochimique permet une mesure rapide de point d'équivalence. Le titrage est procédé de la manière suivante :

- Après acidification et dissolution du précipité, introduire un barreau magnétique à l'intérieur du flacon, sous une faible vitesse pour éviter les projections des gouttes sur les parois et la création des bulles d'air ;
- Immerger l'électrode et le distributeur de titrant (le thiosulfate) et démarrer le titrage.

A la fin du titrage, le logiciel calcule et affiche le point d'équivalence ( $V_{eq}$ ) qui correspond au volume de thiosulfate nécessaire pour doser la quantité d'iode contenue dans l'échantillon.

### 2.3.7 Expression des résultats

Équation de calcul de la concentration de l'Oxygène Dissous contenu dans l'échantillon d'eau de mer :

$$OD (\mu\text{mol/l}) = \frac{[\text{thio}] (V_{eq} - b)}{4(V_F - b)}$$

**[thio]**: Concentration de thiosulfate ( $\mu\text{mol/l}$ ).

**$V_{eq}$** : Volume de thiosulfate consommé par l'échantillon (ml).

**$V_F$** : Volume du flacon d'échantillonnage (ml).

**b**: Volume du Blanc chimique (ml).

## 2.4 Dosage de la chlorophylle "a" par la méthode fluorimétrique sans acidification :

### 2.4.1 Matériels utilisés :

*Tableau 5: Matériels utilisés pour l'analyse de la chlorophylle " a "*

Matériel	Produits chimiques et intérêt d'utilisation	appareillage
Eprouvette de 1000ml	<b>carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>)</b> (1g dans 100ml d'eau déminéralisée) : l'amélioration de la rétention sur les filtres et la prévention de toute acidification de la chlorophylle "a" avant et pendant l'extraction (source de dégradation de chlorophylles en phéopigments)	Centrifugeuse
Filtre de type GF/F (47mm Ø et 0.7µm de porosité)	<b>L'acétone à 90%</b> :l'extraction de la chlorophylle "a"	Balance
Support de filtration + pompe à vide	/	Spectrophotomètre
Baguette en ver	/	Spectrofluorimètre (SFUV)
Tubes d'extraction		
Gants		
Seringues		
Papier aluminium		
Pince		
Etiquettes		
Becher		
Micropipette		

### 2.4.2 Principe générale :

La mesure de la chlorophylle " a " ainsi que ses produits de dégradation, les phéopigments, nécessitent la récolte de matière en suspension par filtration, suivie d'une extraction du filtre par solvant et la mesure des caractéristiques spectroscopiques de ces derniers par absorption

de lumière (spectrophotométrie) ou fluorescence (Spectrofluorimètre)(AMINOT et KEROUEL, 2004).

### 2.4.3 Mode opératoire

#### 2.4.3.1 Filtration

- Agiter la bouteille de prélèvement pour récupérer toute les particules ;
- Verser l'échantillon dans une éprouvette de 1000 ml, afin de mesurer et noter les volumes filtrés ;
- Placer une membrane sur le support et y déposer 1 à 2ml de suspension de carbonate de magnésium;
- Appliquer le vide et filtrer l'échantillon à une pression supérieur à ½ bar pour éviter l'éclatement des cellules ;
- Rincer les parois de support à l'eau de mer fraîchement filtrée pour rassembler les particules de l'échantillon accroché sur le filtre ;
- Plier chaque filtre en quatre (la face chargé à l'intérieur) à l'aide d'une pince et conserver dans le papier aluminium étiqueté au congélateur.

➤ **Remarque :** Il faut bien rincer les postes de filtration à l'eau distillé avant la filtration de chaque échantillon.

#### 2.4.3.2 Extraction des pigments recueillis sur les filtres :

Elle est réalisée dans 10ml d'acétone à 90%. Le filtre et l'extrait pigmentaire ne doivent jamais rester à la lumière, à cet effet, il est bon d'envelopper les tubes dans du papier aluminium.

- Prendre le filtre plié et le placer dans un tube contenant 10ml d'acétone a 90% ;
- Déchiqueter le filtre à l'aide d'une baguette en verre à embout coupant ;
- Boucher et agiter pour disposer les fibres ;
- Laisser 20h au réfrigérateur.

### 2.4.3.3 *Mesure de la chlorophylle " a " par le Spectrofluorimètre (méthode fluorimétrique sans acidification)*

Elle a été élaborée dans le cas où la mesure des phéopigments n'est pas utile. L'extraction est effectuée à l'acétone 90% et le spectrofluorimètre est étalonné selon la procédure normale mais sans acidification, la fluorescence des échantillons est lue et convertie directement en chlorophylle " a " en la multipliant par le coefficient d'étalonnage « k » (AMINOT et KEROUEL, 2004)

#### 2.4.3.3.1 **Principe de Spectrofluorimètre:**

Cette méthode présente l'avantage d'être très sensible et ne nécessite qu'un faible volume d'échantillon, elle est préférée à la méthode spectrophotométrique, qui manque de sensibilité (CEAEQ, 2003).

La méthode fluorimétrique utilise la propriété d'émission des pigments chlorophylliens dans le rouge, lorsqu'ils sont excités par la lumière bleue ou ultra-violette. Le Spectrofluorimètre doit donc être équipé d'une lampe émettant dans le bleu, d'un filtre d'excitation bleu (420-450nm) et d'un filtre d'émission rouge (> 665nm). La méthode est basée sur la mesure de fluorescence de l'échantillon sans acidification (AMINOT et KEROUEL, 2004).

#### 2.4.3.3.2 **Mesure du blanc**

Le blanc constitué d'acétone à 90% est mesuré avant chaque série d'échantillon. Il permet de régler le zéro de l'appareil.

#### 2.4.3.3.3 **Contrôle de Qualité :**

La justesse des mesures doit être contrôlée à l'aide du standard solide de chlorophylle (chlorophylle "a" from spinach : 1mg ; ref C-5753 chez Sigma-Aldrich). Ce standard doit être mesuré le jour de l'étalonnage puis chaque fois que l'on mesure un lot d'échantillons. Ces mesures permettent de vérifier l'absence de dérive de l'appareillage et donc de valider l'adéquation avec la courbe d'étalonnage.

#### 2.4.3.3.4 **Mesure de la fluorescence des échantillons**

- Sortir les tubes du réfrigérateur, Agiter les tubes ;
- Peser les tubes et les classer selon leurs poids approximatifs.
- Placer les tubes qui ont approximativement le même poids à la centrifugeuse face à face, pour éviter leurs endommagement. ;

- Centrifuger 10min à 3500 tours/min.
- Remettre en suspension les morceaux de filtre qui se sont déposés sur les parois du tube ;
- Centrifuger à nouveau 5 min ;
- Prélever alors le surnageant et le transférer dans un tube de mesure.
- Mesurer l'intensité fluorescence **IF**.

#### 2.4.3.3.4.1 Détermination de la gamme d'étalonnage

- **Détermination de la concentration de la solution-mère de chlorophylle "a" par spectrophotométrie :**
  - Diluer le contenu de l'ampoule de chlorophylle "a" (référence) dans 100ml d'acétone à 90% ;
  - Diluer 20 fois cette solution: 5ml de la solution mère + 95ml d'acétone à 90% ;
  - Régler le zéro du spectrophotomètre avec l'acétone à 90% ;
  - Vérifier la pureté de la solution de chlorophylle "a" en effectuant un spectre d'absorption entre 700 nm et 400nm. Les pics d'absorption doivent se situer à 432 nm et 664 nm. On doit bien entendu éviter la contamination par la phéophytine a. et Vérifier que le spectre ne présente pas le moindre léger pic à 505 nm. Sinon, il y a contamination par la phéophytine et la solution ne peut pas être utilisée comme standard ;
  - Si la solution est pure, mesurer la densité optique (Do) de la solution à 664 nm

En déduire la concentration réelle de la solution (équation de Beer-Lambert):

$$Do = \epsilon . L . C$$

$\epsilon$  : coefficient d'absorption spécifique = 87,67 ;

**L** : Longueur du trajet optique en cm ;

**C** : Concentration en g/l ;

Diluer alors cette solution afin d'obtenir une Do inférieure ou égale à 0,02. C'est la condition nécessaire pour que la relation entre la concentration et la fluorescence soit toujours linéaire.

➤ Préparation de la gamme d'étalon

- Mesurer pour chaque tube la fluorescence F avant acidification ;

Tracer la droite :  $IF = K.Ca$

Ca : Concentration en chlorophylle " a ".

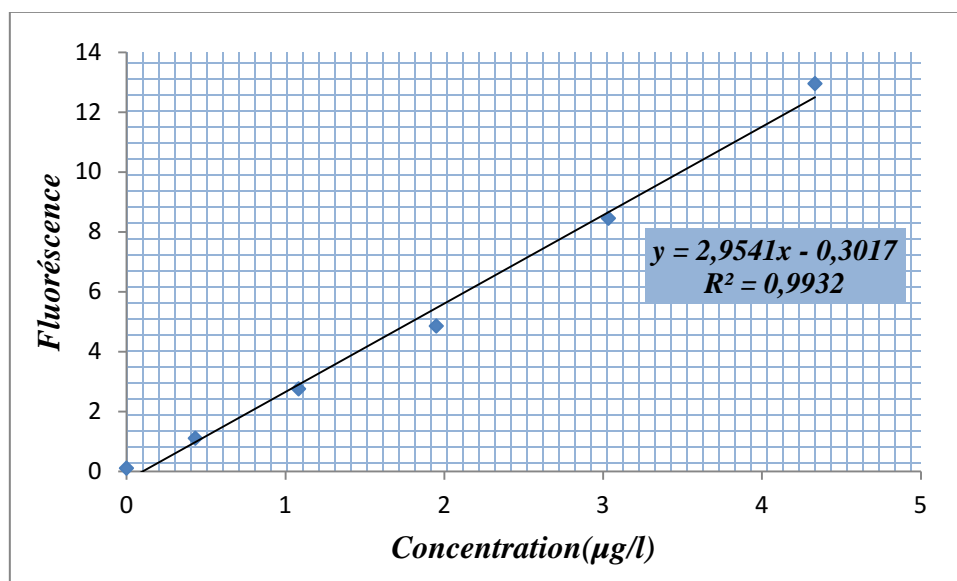
IF : L'intensité fluorescence.

K : coefficient d'étalonnage.

*Tableau 6: Les volumes de la solution mère à prélever pour préparer la gamme étalon.*

Étalon	1	2	3	5	6
Concentration (µg/l)	0.4334436	1.08360899	1.95049618	4.33443595	0
Volume prélevé de la solution mer (µl)	100	250	450	1000	0
Volume totale (ml)	5	5	5	5	5

On aura la droite d'étalonnage suivante :



**Figure 14:** Droite d'étalonnage de la chlorophylle "a"

**2.4.3.3.5 Expression des résultats:**

- **La concentration finale de la chlorophylle "a" se calcule par la formule suivante:**

$$[Chla](\mu g/l) = \frac{IF * v}{K * V}$$

**[Chla.] :** Concentration en chlorophylle" a" [ $\mu$ g/L].

**IF :** Fluorescence de l'échantillon.

**K :** Coefficient d'étalonnage du Spectrofluorimètre.

**v :** volume de l'extrait acétonique(10ml).

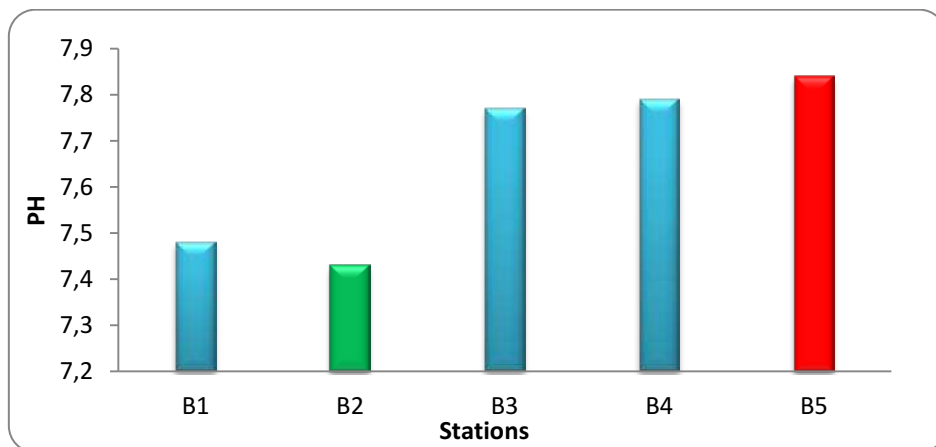
**V :** Volume de l'eau de mer filtré [ml].

CHAPITRE VI :  
RESULTATS ET  
DISCUSSIONS

## 1. Paramètres Physico-chimiques :

### 1.1 Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (AMINOT et KEROUEL, 2004). Le pH dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de  $\text{CO}_2$  (Respiration, photosynthèse, échange air- océan) entraînera donc une modification du pH. (RAMADE, 2000 in BACHARI -HOUMA, 2009).



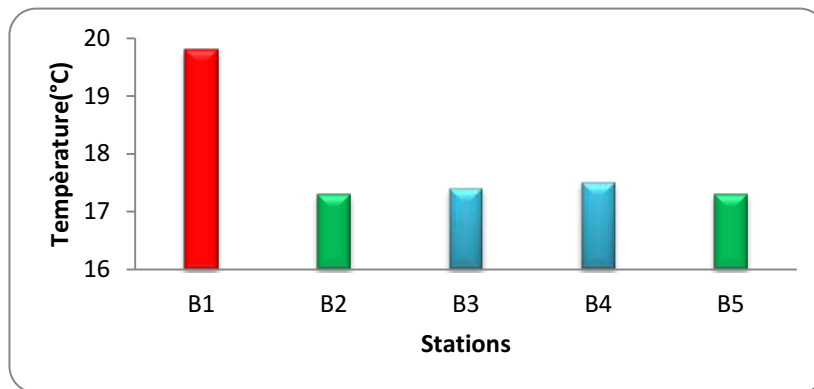
*Figure 15: Profil des variations du pH dans les différents points de la zone d'étude*

La figure 15 montre que les valeurs du pH varient entre un minimum de 7.48 et un maximum de 7.84; avec une moyenne de 7.66.

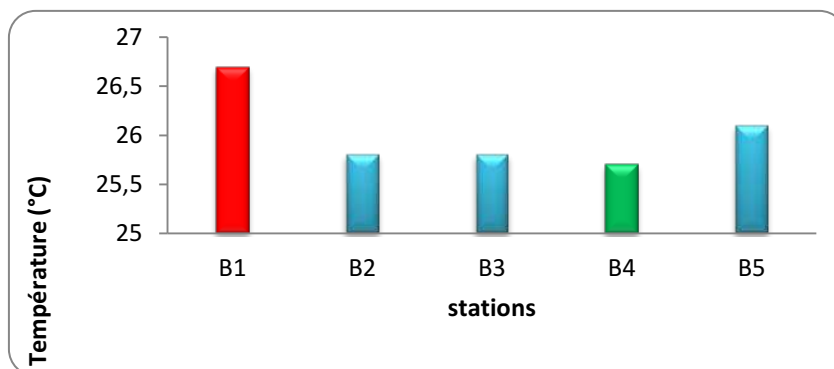
Ces valeurs restent faibles par rapport aux valeurs recommandées au pH de l'eau de mer qui normalement varient entre 7.9 et 8.3 selon (BARNABE et BARNABE, 1997) ; ceci est peut-être dû au pH-mètre portable que nous avons utilisé (problèmes d'étalonnage).

## 1.2 Température(T)

La température de la surface des mers est sans doute un des paramètres les plus fondamentaux de l'environnement en océanographie physique et biologique, elle dépend essentiellement du rayonnement solaire et du mélange des masses d'eau ainsi que d'autres phénomènes (BARNABE et BARNABE, 1997).



*Figure 16: Profil des variations de la température des eaux de surface de la saison printanière dans la zone d'étude*



*Figure 17: Profil de variation de la température de surface de la saison estivale dans la zone d'étude*

La figure 16 montre les valeurs de température des eaux de surface dans la zone d'étude au mois d'avril; elles varient entre un minimum de 17.3 °C enregistré au niveau de l'Îlot de Sidi-Fredj et au niveau du port de Sidi Fredj (stations B2 et B5), et un maximum de 19.8 °C marqué à l'embouchure d'Oued Mazafran (station B1), avec une moyenne de 17.86°C; Ces températures varient modérément (écart-type = 1.09).

Cependant en mois de juillet (Figure 17), les températures augmentent par rapport à celles du mois d'avril, elles varient entre un minimum de 25.7 enregistrée à l'embouchure d'Oued Béni Messouset un maximum de 26.7°C (B4) au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran (B1); On remarque donc que la température maximale dans les deux saisons est marquée au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran.

Cette valeur maximale pourrait être expliquée par les rejets des eaux usées de grand développement urbain et industriel dans l'Oued, qui font augmenter la température des eaux de surface.

D'après AMINOT (2004) les températures des eaux de surface dépendent essentiellement des phénomènes climatiques, et nos mesures dans deux saisons différentes (printemps-été) le confirment.

### 1.3 L'Oxygène Dissous (OD)

Les concentrations en oxygène sont influencées principalement par les processus biologiques (photosynthèse, respiration) (AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983).

Les ressources en oxygène constituent un facteur particulièrement important dans la biodégradation des hydrocarbures (CERNIGLIA, 1993).

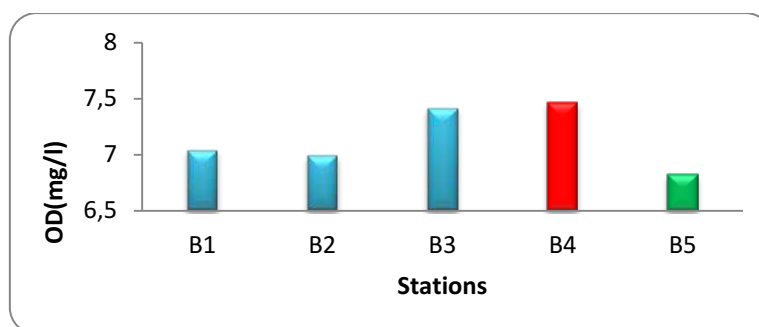


Figure 18: profil des variations de l'OD des eaux de surface dans la zone d'étude

La teneur minimale en OD est enregistrée au niveau du port de Sidi Fredj (B5) est de l'ordre de 6.8mg/l; la plus forte teneur en oxygène se trouve au niveau de l'embouchure d'Oued Beni-Messous (B4) est de l'ordre de 7.4mg/l. avec une moyenne de 7.15mg/l et un écart -type de 0.28 qui signifie une différence négligeable de concentration en oxygène entre ces stations (Figure 18).

On remarque que les teneurs en OD sont importantes sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces teneurs sont supérieures à 5mg/l (la valeur minimale d'une vie aquatique normal)(HUBICHE, 2002), cela prouve qu'il ya une importante activité photosynthétique, constatée surtout dans la station B3 du port d'El Djamila (BACAHRI HOUMA, 2009).

La valeur minimale en OD est localisée à quelques mètres de la sortie du port de Sidi Fredj, cela est peut-être dû aux rejets du port (la station d'essence, le trafic maritime qui conduit à une perte de déchets des bateaux principalement l'huile). Ces rejets flottent à la surface de l'eau peuvent ralentissent ou même entraver la ré-oxygénation par l'atmosphère (AMINOT et KEROUEL,2004).

En outre, la pollution par les hydrocarbures empêche l'oxygène de l'atmosphère de se dissoudre dans l'eau de mer, de plus, le processus de biodégradation de l'huile rend certains micro-organismes plus actifs et réduit la quantité d'oxygène dans l'eau, ainsi que les rejets des eaux usées domestiques riche en matières organique qui consomment l'oxygène pour son oxydation(BELKESSA et al., 2008); Cela explique la faible concentration en OD dans cette station.

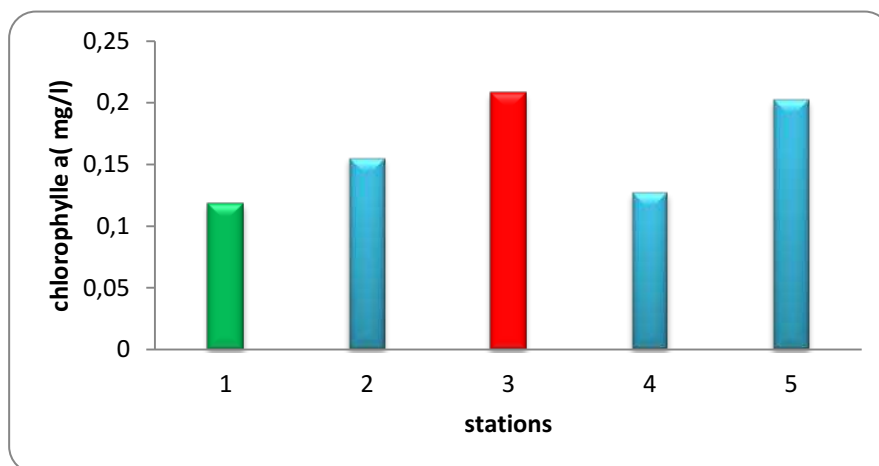
Par ailleurs, la valeur maximale en OD pourrait être expliquée par l'effet d'agitation de la mer sous l'effet du vent le jour du prélèvement.

## 2. Chlorophylle "a"(Chl.a)

L'estimation de concentration en Chlorophylle "a" (Chl.a) est utilisée comme un indice de la productivité et de condition d'eutrophisation des estuaires, des eaux côtières et océaniques (STEELE, 1962 in JOSEPH et al., 2008 ; CEAQ, 2003).

Les écosystèmes côtiers présentent les taux de production primaire les plus élevés (des teneurs importantes en Chl.a). Cette originalité est directement liée à la proximité des continents et aux apports d'eau douce riche en éléments nutritifs (N, P, Si). Selon la localisation

géographique, cette production est très variable, elle est principalement influencée par l'importance des flux nutritifs, la turbidité, et le temps de séjour des eaux marines (QUEGUINAIRE,2013).



*Figure 19: Profil des variations de la chlorophylle "a" des eaux de surface dans la zone d'étude*

Sur notre zone d'étude les valeurs varient entre 0.11µg/l au niveau de Mazafran (B1) et 0.20 µg/l à la station du port d'El Djamila (B3) comme le montre la figure 19 avec une moyenne de 0.16.

On constate que les teneurs en Chl.a en surface sont plus ou moins importantes, puisque on a travaillé sur des eaux côtières riche en apport nutritif dans une saison où il ya un éclaircissement solaire suffisant pour le processus de photosynthèse, ces taux varient notamment en fonction des apports de nutriments d'origine continentale. Ces valeurs sont considérées normales d'après l'EPM, 2013.

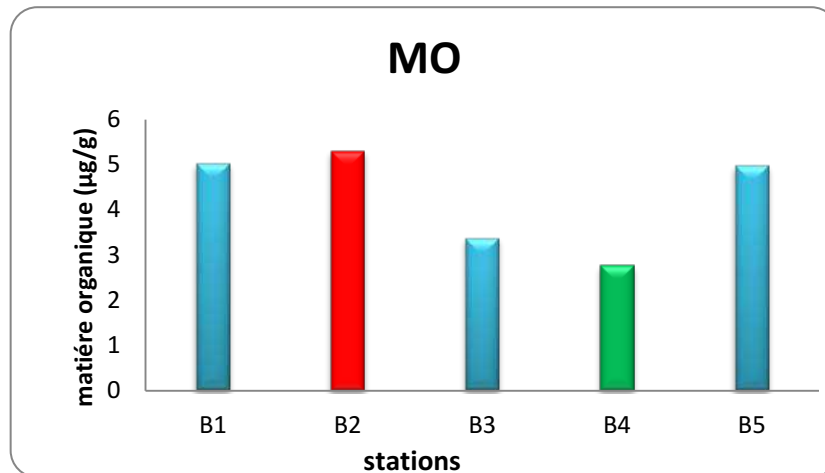
La plus forte teneur en **Chl.a** se trouve au niveau de la station B3 (port El- Djamila) ; cette production primaire est probablement dûe aux apports chargés en sels nutritifs qui proviennent d'Oued Beni-Messous transportés par l'effet de la houle vers l'Est, et les rejets de la station d'épuration.

### **3. Matière organique(MO)**

La matière organique est un composant ubiquiste de sédiment marin, elle est d'origine autochtone (production interne) et allochtone (origine anthropique).

Une fraction de la MO peut être dégradée par les processus chimiques et biologiques dans la colonne d'eau, cependant une quantité plus significative 10 à 60% arrive à la surface des sédiments où elle sera soumise à d'autres transformations chimiques et biologiques.

La quantification de la MO peut fournir des informations complémentaires sur l'état de la pollution, puisque elle a la capacité d'avoir des interactions avec les hydrocarbures (De Perre, 2009).



*Figure 20: Profil des variations de la MO de sédiment superficiel dans la zone d'étude*

Les teneurs en MO sur notre zone d'étude varient entre 5.30 µg/g à la station B2 au large de Sidi-Fredj à la profondeur de 16m et 2.7µg/g à la station B4 qui se trouve en face de l'embouchure d'Oued Beni-Messous à 9m de profondeur avec une moyenne 4.27µg/g (Figure 20).

D'après CHAMLEY (1987) ces teneurs dépassant 1 % sont considérées comme teneurs très élevées pour la mer méditerranée.

La valeur maximale est observée à la station B2 sur un sédiment prélevé à 16m de profondeur, cela est peut être dû :

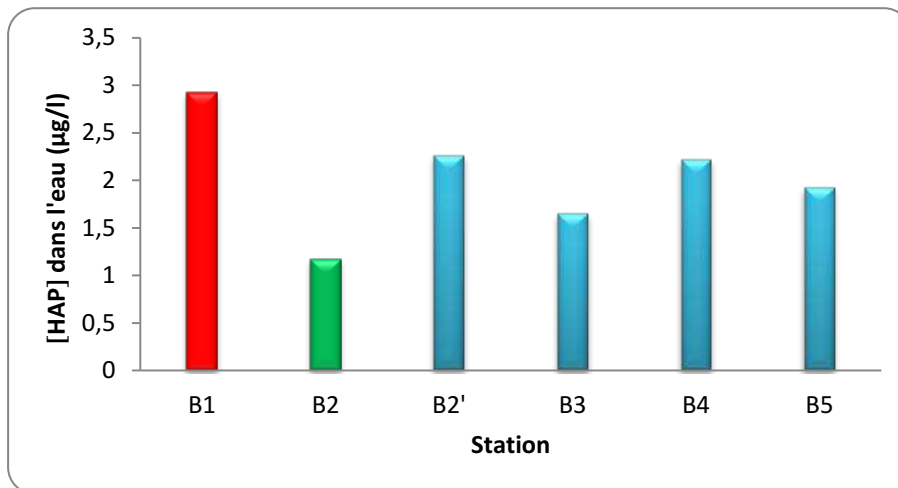
- Au bloom phytoplanctonique qui se produit particulièrement en printemps, l'accumulation de son détritit et l'excrétion d'organisme dans le fond.
- La faible oxydation dans les eaux les plus profondes.
- Un enfouissement rapide de la MO dans le fond, qui va la préserver des oxydations (CHAMLEY.H, 1987).

#### 4. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

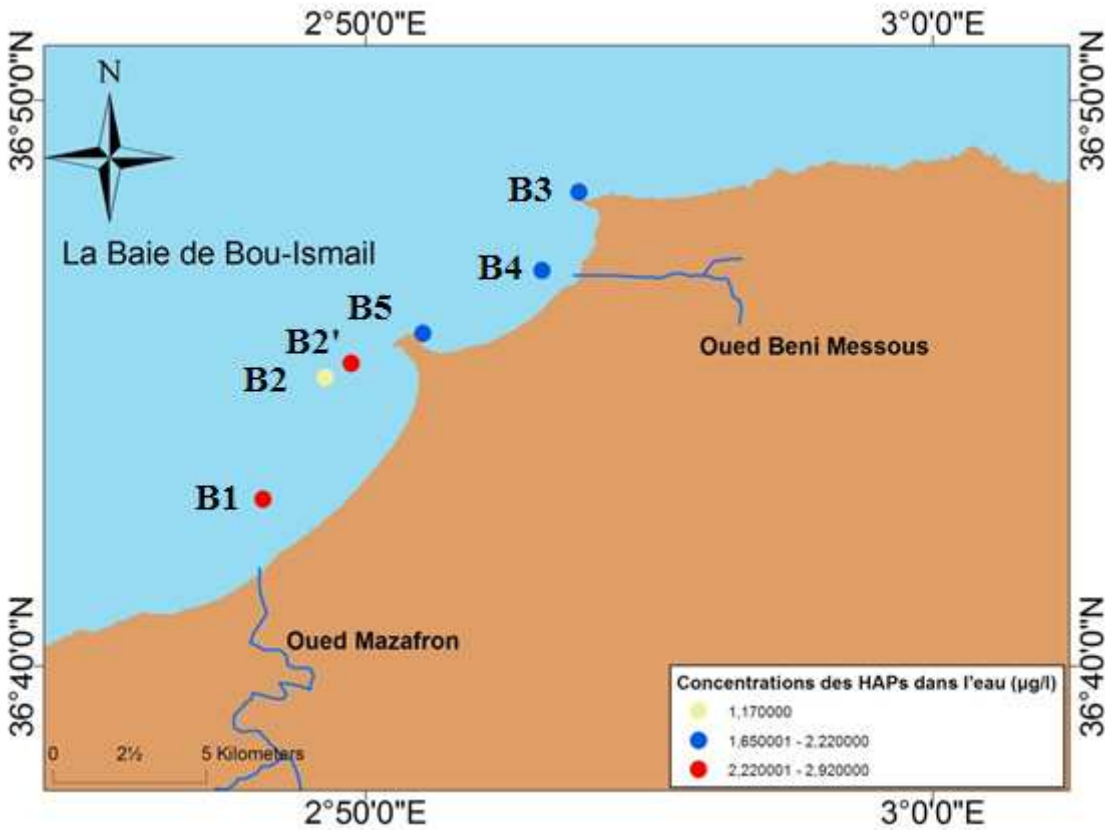
##### 4.1 Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans l'eau

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) constituent une proportion relativement importante de polluants nocifs libérés dans les écosystèmes marins, et par conséquent, la toxicité des HAP pour tous les organismes, y compris les humains. Leurs sources, leur répartition et leur devenir dans l'environnement ont été étudiés de manière intensive (BAUSSANT et al., 2009, BROOKS et al., 2011 in AGAH H., 2016).

Les caractéristiques lipophiles et hydrophobes des HAP accélèrent leurs accumulations dans les matrices solides et notamment les matières organiques, le sol, les sédiments et matériaux huileux, tels que les tissus des organismes marins (ROUSSEL, 2002).



*Figure 21: Profil des variations de la concentration des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude*



*Figure 22: Carte de distribution des concentrations en HAP dans les eaux de surface sur la zone d'étude.*

La distribution des HAP marquée au niveau des eaux superficielles de la zone d'étude au mois d'Avril (à l'exception de la station B2 au mois de juillet), varie entre 1.17µg/l et 2.92µg/l (Figure 22) avec une moyenne de 2.02µg/l.

On constate que la variation de ces teneurs se rapproche (écart-type =0.6) ;

Dans l'ensemble des valeurs, les concentrations en HAP sont plus ou moins importantes, cela est peut être dû à la période d'échantillonnage (printemps) où la température de l'eau reste un peu froide, ce qui engendre un taux d'évaporation et de dissolution relativement lent des HAPs (COHEN, 2013).

La valeur maximale 2.92µg/l, est enregistrée en face l'embouchure d'Oued Mazafran (B1), ce dernier est considéré comme le plus important des Oueds qui débouche dans cette baie (BACHARI, 2009), ceci s'explique probablement par le lessivage de son bassin versant, qui s'étale sur trois wilayas : l'Est de Wilaya d'Alger, sud de Wilaya de Blida et Médeà et l'Ouest de la Wilaya de Tipaza (BOURASS, 2012).

A savoir aussi, Les rejets des eaux usées domestiques non traitées préalablement, qui proviennent de l'urbanisation anarchique au bord d'Oued, et les rejets des eaux usées industrielles qui augmentent suite au développement de l'industrie à Blida jusqu'à la mer avec un fort débit pendant notre période d'échantillonnage.

Le processus de biodégradation constitue l'un des mécanismes fondamentaux qui assurent l'élimination des HAPs, dans cette station ce processus est probablement faible suite à l'influence de la basse température dans la saison du printemps et la moins importante teneur en oxygène dissous au niveau de la colonne d'eau (voir Figure 18).

La station B2' au niveau de l'île de Sidi-Fredj, présente ainsi une concentration relativement élevée en HAPs  $2.26\mu\text{g/l}$ , affecté par la pollution des rejets des ouvrages de l'enssmal et le centre de repos de TALASSO, des eaux liée aux échappements des carburants des activités de navigation; surtout le transport du pétrole brute et les produits raffinés (COHEN, 2013).

Cependant, sur le fond de cette station on a rencontré une nature de sédiment vaseux différente des autres stations qui pourrait présenter une faculté d'adsorption/désorption de quantité appréciable en hydrocarbures (BUSCAIL, 1998).

On a marqué des concentrations relativement élevées en face de l'embouchure d'Oued Beni-Messous (B4)  $2.22\mu\text{g/l}$  et à la sortie du port de Sidi-Fredj (B5)  $1.92\mu\text{g/l}$ , cela est probablement dû aux rejets du port de Sidi-Fredj, spécialement les fuites de carburant qui provient de la station d'essence et du fuel de l'unité NAFTAL à la sortie du port, ainsi que les opérations portuaires reliées aux navires (déballastage, dégazage) (BAILLACHE et al., 1974 in REMILI et al., 2010), le lavage des citernes et la pollution causée par les eaux de cale.

A ces impacts s'ajoute celui d'Oued Beni-Messous qui draine les rejets domestiques et industriels des communes d'El-Djamila et Sidi-Fredj vers la mer.

Par ailleurs, la concentration marquée à la station B4 est influencée par sa position entre deux ports (Sidi-Fredj et El-Djamila) d'où les HAPs proviennent d'une part de ces deux ports à travers l'hydrodynamisme et d'autre part de la circulation des navires à proximité d'Oued Beni-Messous, provoquant ainsi une contamination des eaux par leurs moteurs.

Pour la station de la sortie du port d'El-Djamila (B3), on a marqué une teneur moins importante ( $1.65\mu\text{g/l}$ ), on rappelle que c'est un petit port de pêche, dont la circulation des navires n'est pas intense et les rejets du port restent moins importants comparant avec ceux de

Sidi-Fredj, d'autant plus que notre station se situe dans un endroit exposé à un fort hydrodynamisme, qui pourrait provoquer la dispersion de la nappe d'hydrocarbures.

La plus faible teneur en HAP est enregistrée à la station B2 qui se trouve un peu plus large que les autres stations, dont l'échantillonnage était au mois de juillet. On a marqué une concentration de 1.17 µg/l. Ceci est conforme aux attentes, et pourrait se traduire par la température élevée dans cette saison, qui favorise :

- le processus d'évaporation des HAPs volatils et semi-volatils ;
- le processus de la biodégradation des hydrocarbures, qui généralement décroît avec la température en raison de la diminution de l'activité enzymatique des microorganismes présents (YANG et al., 2009) ;

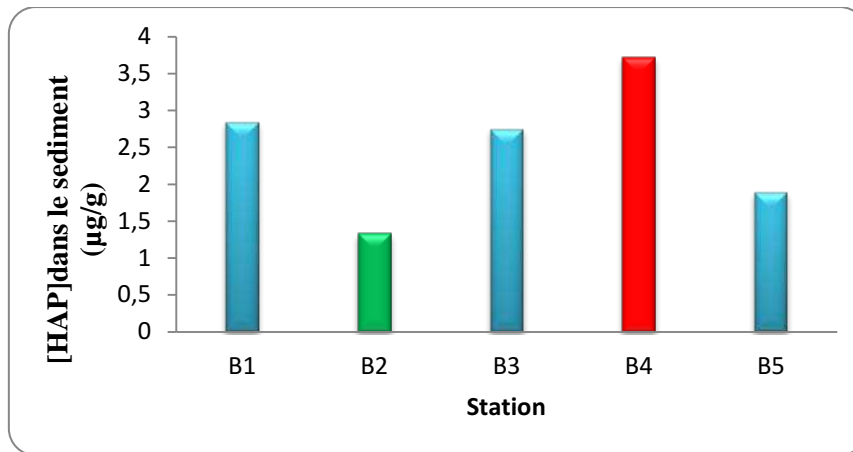
Ces deux processus sont considérés comme les plus importants processus qui éliminent les HAPs à bas poids moléculaire comme les naphthalènes dans la colonne d'eau (LACAZE, 1980) diminuant ainsi la concentration des HAPs en eau de surface ; les organismes marins peuvent éventuellement éliminer des fractions importantes des HAPs. Ils peuvent assimiler directement les HAPs de la colonne d'eau. (RCPQE, 1999).

#### **4.2 Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans le sédiment :**

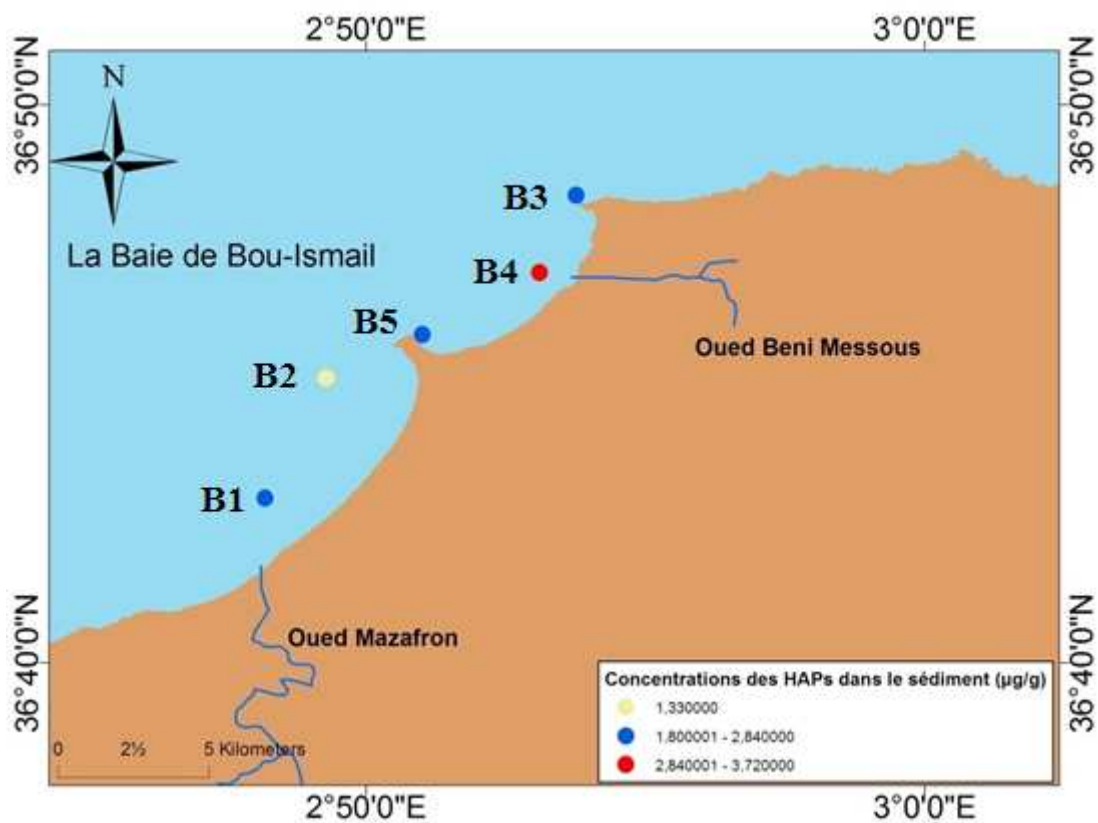
Un grand nombre de substances chimiques rejetées dans l'environnement s'accumulent dans les sédiments des fonds marins, par conséquent, ils sont souvent contaminés par un mélange de composés (HURSTHOUSE, 2001).

Les dégâts écologiques, sanitaires et sociaux causés par la contamination des sédiments sont multiples. Il s'agit par exemple, de la dégradation de la qualité d'eau (par relargage ou remise en suspension), ce qui induit la diminution de la diversité des communautés marines.

L'analyse chimique des polluants dans les sédiments est, cependant, un moyen d'investigation performant pour détecter les zones de dégradation de la qualité des eaux (LACAZE et PAQUET, 1989). Elle peut fournir également, des renseignements sur les effets d'un rejet d'hydrocarbure (C.O.I, 1983).



*Figure 23: Profil des variations de la concentration des HAPs dans le sédiment superficielle de la zone d'étude*



*Figure 24: Carte de distribution des concentrations des HAPs dans le sédiment superficiel de la zone d'étude*

La répartition des concentrations des HAPs dans le sédiment de surface de la zone d'étude présentent des niveaux de contamination plus ou moins élevés. Ces teneurs fluctuent entre un maximum de  $3.72\mu\text{g/g}$  marqué en face de l'embouchure d'Oued Beni-Messous (B4), et un minimum de  $1.33\mu\text{g/g}$  au large de la plage de Sidi-Fredj (B2) (Figure 24). Avec une moyenne de  $2,5\mu\text{g/g}$  et un écart type de  $0,92$ .

Cette situation peut être expliquée par la sédimentation des HC surtout les plus lourds et les plus persistants dans le sédiment.

La valeur maximale est probablement liée à :

- L'impact de l'activité portuaire de Sidi-Fredj.
- L'accroissement de populations et des activités industrielles qui rejettent principalement dans la mer par le biais d'Oued Beni-Messous.
- La nature de sédiment (sable fin légèrement vaseux) dans cette station qui présente une capacité élevée d'adsorption des fractions pétrolières.

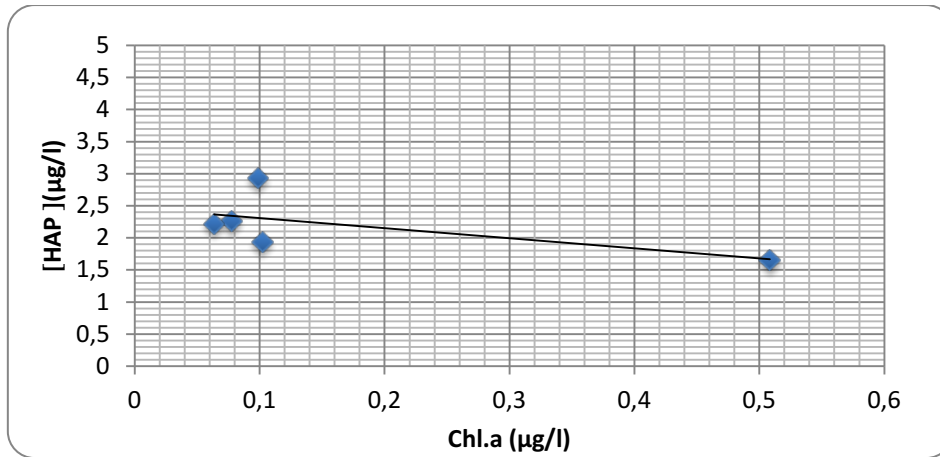
Les stations B1 et B3 présentent des valeurs moyennes dans le sédiment. La teneur en HAP trouvée au niveau de la station B1(Mazafran) dans la colonne d'eau (Figure21) témoigne d'une forte contamination anthropique de ce site par ces composées dûe principalement aux rejets terrestres introduits par les affluents d'oued Mazafran, surtout les rejets industriels qui ne sont pas traités au préalable.

Concernant la station B3 qui se trouve à la sortie du port d'El-Djamila, cela est peut être expliqué par l'influence de l'activité portuaire. Cette station présente des concentrations moins importantes que les autres stations dans la colonne d'eau (Figure 21) et une concentration importante dans le sédiment, cela est probablement dû à la sédimentation des HAPs les plus lourds et persistants dans le sédiment.

On constate pour la station B2 au large de la plage de Sidi Fredj une concentration minimale en HAPs dans l'eau et le sédiment. Cela pourrait témoigner de la faible présence de source de contamination par les HAPs, cela pourrait s'expliquer à un bon processus de dégradation de ces substances connu par l'autoépuration des eaux au niveau de ce site.

## 5. *Analyse corrélative*

### 5.1 **Analyse corrélative entre concentration des hydrocarbures et la chlorophylle "a" (Chl.a-HAP)**

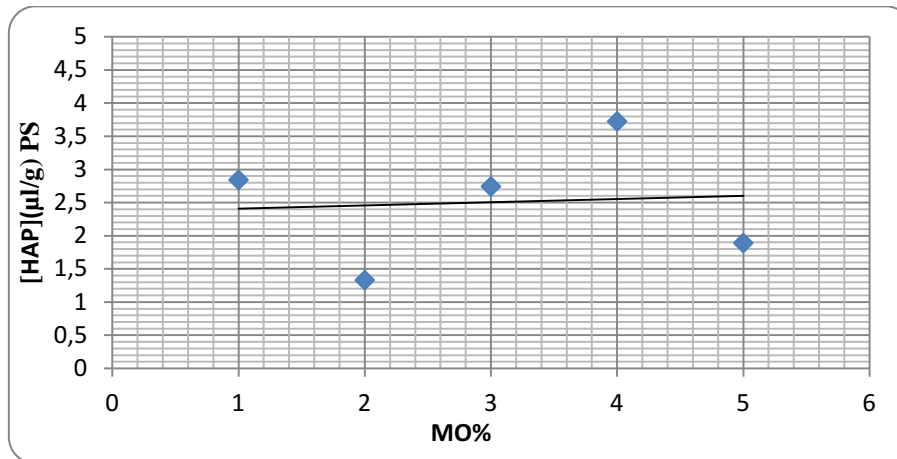


*Figure 25: Corrélation entre les concentrations en HAP et la chlorophylle "a" des eaux de surface de la zone d'étude*

D'après la figure ci-dessus, on voit qu'il ya une corrélation non significative et les points ne sont t pas linéaires.

Les résultats trouvés sont en désaccord ave les résultats des travaux de **NGUY et al., 2013**, ceci pourrait être expliquée par le nombre de points non suffisants considérés pour vérifier l'existence de cette corrélation.

## 5.2 Analyse corrélatrice entre concentration des hydrocarbures dans le sédiment et la matière organique :



*Figure 26: Corrélation entre les concentrations en HAP et la MO dans le sédiment superficiel de la zone d'étude*

D'après la figure 26 on voit qu'il y a une corrélation non significative.

## 6. Analyse Comparative des HAP : Comparaison avec les Travaux Antérieurs dans les eaux de surface et le sédiment

### ➤ L'eau

**Tableau 7 :** Concentrations en HAP dans les eaux surface obtenues des résultats de travaux antérieurs

Période d'échantillonnage	[HAP] dans l'eau à l'Est de la baie de Bou-Ismaïl (µg/l)		Référence
	Min	Max	
10/05/2017 et 1/05/ 2017	0.61	0.91	ARABI et GUECHTOULI ,2017
21/04/2018 e t19/07/2018	1.65	2.92	Présent travail

Dans le but d'évaluer les concentrations des hydrocarbures au cours du temps sur la partie Est de Bou-Ismaïl, on a établi un tableau récapitulatif des concentrations du travail antérieur sur la même zone.

D'après le tableau, on peut dire que les concentrations en hydrocarbures fluctuent considérablement à l'échelle temporelle; les teneurs trouvées cette année sont importantes à celles de l'année passée .Ceci peut être expliqué par l'augmentation des rejets terrestres domestiques et industrielles, surtout ceux qui proviennent des Oueds Mazafran et Beni-Messous, en particulier cette année dont le climat était pluvial; ce qui a favorisé un drainage des quantités non négligeables des HAPs vers la mer.

La période d'échantillonnage (conditions météorologiques) et les courants sont des facteurs qui participent à la modification de la disponibilité des HAP dispersés dans l'eau (mobilité). Les apports en hydrocarbures sont très importants surtout en période hivernale, car l'introduction des HAPs au milieu marin est favorisée par les eaux de pluie ainsi que la forte consommation des produits pétroliers en hiver (dans les activités de chauffage), et le faible taux de biodégradation (à cause des faibles températures) (ODABASI et al., 1999 in ABDERRAHMANI, 2011).

➤ **Sédiment****Tableau 8:** Concentrations en HAP dans le sédiment obtenues des résultats de travaux antérieurs

Période d'échantillonnage	[HAP] dans le sédiment à l'Est de la baie de Bou-Ismaïl (µg/g)		Référence
	Max	Min	
13/05/2013 et 20/05/2013 et 06/20/2013	15.07	2.60	IDIR SIHEM 2013
21/04/2018 et 19/07/2018	3.72	1.33	Présent travail

D'après le tableau, on constate une diminution importante de taux des HAPs dans le sédiment de l'année 2013 à 2018.

Cette différence de concentration au niveau du sédiment est peut être dû à la nature de sédiment des stations d'échantillonnage, les quantités de rejets ainsi qu'aux propriétés (la densité) d'hydrocarbures rejetées.

# CONCLUSION

## *Conclusion*

Le but de cette étude était d'évaluer l'état de pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les matrices eau et sédiment à l'Est de Bou-Ismaïl, ainsi que la quantification de la production primaire par l'analyse des la **chlorophylle "a"**. On a effectué comme première étape deux sorties en mer pour prélever les échantillons en eau et sédiment à analyser.

Après l'analyse des HAPs dans les deux matrices, nous avons obtenu des résultats qui montrent que la variation de ces teneurs se rapproche. Dans l'ensemble, les valeurs les concentrations en HAPs sont plus ou moins importantes avec un maximum à l'embouchure de Oued Mazafran  $2.92\mu\text{g/l}$  dans la matrice eau et un maximum à l'embouchure de Oued Beni-Messous  $3.72\mu\text{g}$  au niveau du sédiment.

Leur disponibilité est affectée principalement par la quantité et à la nature du rejet, la température et le taux d'oxygène dissous, cependant dans la matrice sédiment, leurs disponibilité est affectée par le taux de matière organique montré par une analyse corrélative entre ces deux paramètres et la nature du sédiment (le sable vaseux qui a la capacité d'accumuler et stocker les contaminants organiques).

A propos des teneurs en chlorophylle "a", les valeurs trouvées sont considérées normales d'après (**EPM, 2013**) ; l'intensité lumineuse et l'apport anthropique en élément nutritif sont les facteurs qui influent sur la photosynthèse donc la production primaire dans la saison d'échantillonnage.

Par ailleurs, l'analyse corrélative entre la chlorophylle "a" et les HAPs dans la colonne d'eau montre qu'il y a une faible corrélation négative entre ces deux paramètres, étant donné que les HAPs qui flottent à la surface de l'eau diminuent la pénétration de la lumière causant une faible activité photosynthétique.

L'analyse de nos résultats a montré une variation du taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques par rapport aux années précédentes, une croissance de ces polluants dans l'eau (de  $0.91$  à  $2.92\mu\text{g/l}$ ), et une diminution au niveau du sédiment (de  $15.07$  à  $3.72\mu\text{g/g}$ ).

Il est recommandé de mettre en place un système d'évaluation de l'état de l'environnement en collaboration avec le Ministère de l'environnement, afin d'actualiser en permanence les diverses méthodes d'analyses selon un point de vue scientifique et technique.

Au cours des années à venir, l'accroissement de l'activité en mer demandera un surcroît d'efforts de la part des chimistes à la fois pour analyser les échantillons recueillis in situ et pour effectuer des recherches en laboratoire afin de résoudre des questions telles que la solubilité des hydrocarbures aromatiques, en général, et les variations dans le temps de la solubilité des différents composants aromatiques des sédiments.

De plus, le développement de technique d'analyse tel que l'utilisation Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) qui permet l'identification précise des composés séparés. Elle a également l'avantage de détecter les marqueurs moléculaires qui sont présents en concentrations relativement faibles, et mieux comprendre la nature de ces polluants ainsi que de préciser leurs sources.

REFERANCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

**Abderrahmani, K. (2011).** *Les hydrocarbures poly aromatiques dans la baie de Bou-Ismaïl : Surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur.* Thèse de Magister. Gestion et Surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger: ENSSMAL, 99 p.

**Abrajano, Jr; Yan, B. (2003).** *High-Molecular-Weight Petrogenic and Pyrogenic Hydrocarbons in Aquatic Environments.* Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, 50 p.

**Agah, H; Darvish, B; Rahmanpour, S. (2016).** *Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in the surface water and sediments of Chabahar Bay, Oman Sea.* *Marine Pollution Bulletin* [enligne]. 10p. Disponible sur le web : <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.032>.

**Al sidchikh, S; Belkessa, R; Houma, F; Amrouche, L. (2009).** *Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée.* *The 5th International Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco 19-23 October 2009.*

Alger : ENSSMAL, 64 p.

**Asso, A. (1982).** *Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger.* Thèse de 3ème cycle, Université Science Technologique.

Languedoc : 316 p.

**Aminot, A., Chaussepied, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris : CNEXO. 169 p.

**Aminot, A., Kérouel, R. (2004).** *Hydrologie des écosystèmes marins "paramètres et analyses".* Paris: Ifremer. 220 p.

**Arabi, I ; Guechtouli, B. (2017).** *Diagnostic de Contamination des Eaux du Littoral Algérois par les Hydrocarbures,* Mémoire d'Ingénieur .environnement. Alger : ENSSMAL, 119 p.

**Ayad, F. (2009).** *Evaluation de la pollution métallique par trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans les organes (Foie, gonades et muscle) chez le Sar *Diplodussargus* (Linné, 1758) pêché dans les baies de Béni Saf et d'Oran.* Mémoire de Magister: Biologie et Pollution Marine. Oran : université d'Oran, 102 p.

**ANRH (2006-2015).** *Données statistiques des paramètres météorologiques (vent, humidité, température, précipitation) mesurés au niveau de la station météorologique de Dar-El-Beid.* document non publier. Alger : ANRH.

- Bachari-houma, F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire.* Thèse de Doctorat. Sciences de l'Univers et Environnement. Paris : Université Paris-Est, 272 p.
- Braik, D. J. (1989).** *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail ; Sédimentologie, problèmes d'érosion du littoral, aménagement.* Thèse de Magister. Géologie. Alger: USTHB. 174 p.
- Baghdadimazini, D. (2012).** *Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et Impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain.* These de doctorat Biochimie. Centre d'Etudes Doctorales, 184 p.
- Barnabe, G ; Barnabe-quet, R. (1997).** *Ecologie et aménagement des eaux côtières.* Paris: Lavoisier, 391 p.
- Bekenniche, N. (2014).** *Caractérisation des activités de biodégradation des hydrocarbures par différents germes microbiens isolés de sites contaminés.* Thèse de Magister. Biologie : Université d'Oran ,80 p.
- Belkessa, R; Houma, F;Ciortan, R;Mezouar, K. (2008).** *Protection Works Of The Sea Coast In Algéria.*Copedec VII, Dubai,UAE, Paper No: S-26.
- Benabdellah, H. (2015).** *Technique d'extraction, de purification et de conservation.* Mémoire de master. Analyse biochimique. Sétif : Université Ferhat Abbas de Sétif, 77p.
- Bentchikou, L. (2005).** *Extraction et analyse d'un asphaltène issu d'un pétrole brut algérien.* Thèse Magister. Pollution : USTHB : 120 p.
- Benzohra, M. (1993).** *Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes.* Centre d'Océanologie de Marseille, 33 p.
- Bertrand, A. (2000).** *Transport maritime et pollution accidentelle par le pétrole.* Faits et chiffres (1951-c).Paris : ed, 48 p.
- Bertrand, J.C ; Mille, G. (1989).** *Devenir de la matière organique exogène. Un modèle: les hydrocarbures.* In: Bianchi, M., Marty, D, 59 p.
- Bocard, C. (2006).** *Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures.* Paris : TECHNIP, 295p.
- Boughrira, A. (2012).** *Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bousmail.* Thèse de Magister. Gestion et Surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 128 p.

- Boulahdid, M. (1987).** *Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude de mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan.* Thèse de doctorat. Géochimie fondamentale. Paris : Université de Paris VII, 190 p.
- Bourasse, F. (2012).** *Approche géochimique d'un hydro système côtier algerois : transfert de matière organique de l'Oued Mazafran vers la Bai de Bou-Ismaïl.* Thèse de doctorat. Géologie marine. Alger, USTHB, 178 p.
- Buscail, R ; Bourasse, F ; PAUC, h. (1998).** *Matière organique et pollution par les hydrocarbures dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (mer Méditerranée, Algérie).* Centre de formation et de recherche sur l'environnement marin : université de Perpignan, 15p.
- CAULET, J. (1972).** *Les sédiments organogènes du précontinent algérien.* Coll. "Sciences de la Terre". T. XXV. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle. 289 p.
- CE. (1998).** Commission Européenne. *Impact Reference System, Effects of oil in the marine environment: Impact of hydrocarbons on fauna and flora.* Community Information System for the Control and Reduction OF POLLUTION bruxelle (cedre, brest), 80 p.
- CEAEQ. (2003).** *Détermination de la chlorophylle a : méthode par fluorométrie.* Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 16 p.
- CEAEQ. (2015).** *Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale – Études GENV222 et GENV23, Évaluation environnementale stratégique globale sur les hydrocarbures.* Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 41 p.
- CEAEQ. (2014)** Détermination de la demande biochimique en oxygène : méthode électro-métrique, MA.315-DBO1.1, Rev. 3, Ministère du développement durable de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec, 11p.
- Cerniglia, C. (1993).** *Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons.* National Center for Toxicological Research: USA, 8 p.
- Chalghmi, H. (2017).** *La pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur la palourde de Ruditapes sp.* Thèse de doctorat. Géochimie et écotoxicologie. Université de Bordeaux, 318p. Disponible sur web <<https://tel.archives-ouvertes.fr/te-01583022>>
- Chamleyh. (1971).** *Recherche sur la sédimentation argileuse en méditerranée.* Paris. 179 p.

- Cohen, MA. (2013).** *Water pollution from oil spills*. In: Encyclopedia of Energy, Natural Resource and Environmental Economics [en ligne], P. 121-226. Disponible sur web <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00094-2>>.
- COI. (1983).** *Manuel et guides N°11, Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO*. La détermination des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments.
- Cojan, I ; Renard, M. (1997).** *Sédimentologie*. Dunod, Paris, 2ème édition, collection Sciences Sup., p. 481.
- Consoglobe. (2012).** *Statistique mondiale en temps réel*, encyclopédie. [en ligne] Disponible sur web <<https://www.planetoscope.com/petrole/209-consommation-mondiale-de-petrole.html>>.
- Colas. (2011).** *Environnement littoral et marin*. Commissariat général au développement durable. Service de l'observation et des statistiques .France, 166 p.
- Dagorne, A. (1973).** *Sédimentologie et bionomie benthiques en Baie de Bou-Ismaïl*. Pelagos, 4 (2). p. 40-53.
- Dalemont, E. (1998).** *Le pétrole*. France : Presses universitaires de France, 135 p.
- Dandonneau, Y. (1978).** *Effets biologiques de la pollution des mers par les hydrocarbures*. océanographie biologiste a l'ORSTOM, 4p. [en ligne] Disponible sur le web <[www.ird.fr](http://www.ird.fr)>.
- Daniel ; Lampert. (2016).** *Consigne pour le prélèvement d'échantillon d'eau en vue de mesure hydrologique*. Document de mesure hydrologie.version2 : IFREMER. 15p, **C. (2009).** *Étude des interactions matière organique dissoute-Contaminants organiques dans l'environnement aquatique*. Thèse doctorat d'Université Bordeaux, 309 p.
- DE Perre. C. (2009).** *Étude des interactions matière organique dissoute-Contaminants organiques dans l'environnement aquatique*. Thèse doctorat d'Université Bordeaux, 309 p.
- Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée; The 5th International Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco 19-23 October 2009.
- EPM. (2013).** *Environnement en principauté de Monaco*, Guide de direction de l'environnement, 50 p.
- Fattal, P. (2008).** *Pollution des côtes par les hydrocarbures*. France : PUR. 395 p.
- Feknous, N. (2016).** *Essais d'isolement et d'identification des souches bactériennes à pouvoir auto-épuration vis-à-vis des hydrocarbures*. Thèse de doctorat. Microbiologie. Université de Annaba, 159 p.

- Fingas. (2013).** *The Basics of Oil Spill Cleanup*. Third edition, New York: CRC press 211p.
- Gabos,S;Ikonou, MG. et al .(2001).** Characteristics of PAHs, PCDD/Fs and PCBs in sediment following forest fires in northern Alberta. *Chemosphere, university of Alberta, Alta, Canada, 11p.*
- Galaf, F ;Ghannam, S. (2003).** *Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin*. Mémoire de troisième cycle, Institut agronomique et vétérinaire, Hassan II Rabat : 113 p.
- Gaujous, D. (1995).** *La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. Technique et documentation*, ISMAL : 41p.
- Goery, D. (2014).** *La pollution marine*. 15 p. citées par WOESSNER Raymond, Mers et Océans [en ligne]. Paris : Atlande, 445p. Disponible sur le web : <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01091818>>.
- Gourlay, C. (2004).** *Biodisponibilité des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans les écosystèmes aquatiques*. Influence de la matière organique naturelle et anthropique. thèse de doctorat : Géosciences et Ressources Naturelles. Paris, 213 p.
- Groizeleau, V. (2010).** L'exploitation pétrolière offshore : enjeux maritime .article scientifique publié sur ISEMAR (L'Institut Supérieur d'Economie Maritime), France.
- Hissel, F. (2013).** *Evolution de la pollution par les hydrocarbures entre 1970 et 2000*.petroliers.[Consulté le 18/06/2018]. [en ligne]. Disponible sur le site web <[http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Evolution de la pollution par les hydrocarbures entre 1970 et 2000](http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Evolution_de_la_pollution_par_les_hydrocarbures_entre_1970_et_2000)>
- Hubiche, J-L. (2002).** *L'Oxygène de l'eau*. Cahier Indicateur N° 1. Ed. Loire Estuaire Cellule de Mesures et de Bilans : [En ligne]. 5p. Disponible sur le web : <[http://www.loireestuaire.org/upload/iedit/1/pj/43686\\_2866\\_L2A1\\_juil2012.pdf](http://www.loireestuaire.org/upload/iedit/1/pj/43686_2866_L2A1_juil2012.pdf)>.
- Hursthouse, A.(2001).** *The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements - an overview and examples from Central Scotlan* , *Journal of Environmental Monitoring*.UK, 60 p.
- Iddir, S. (2013).** *Evaluation de l'état de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques dans les eaux et sédiments de la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL. 102 p.
- Ipieca ; Imo ; Iogp. (2015).** *Aerial Observation of Marine Oil Spills – Technical Information*.Paper N°.1.International Tanker Owners Pollution Federation Limited, Londres, Royaume-Uni, 51p.

- Itopf. (2012).** *Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer.* Londres: Guide d'informations techniques N°2. [En ligne], 12 p. Disponible sur le web : [http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP\\_2\\_FR\\_Fate\\_of\\_Marine\\_Oil\\_Spills.pdf](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP_2_FR_Fate_of_Marine_Oil_Spills.pdf).
- Itopf. (2013).** *Echantillonnage et suivie d'hydrocarbures en mer.* Guide d'information technique N°14. 16 p
- Itopf. (2013a).** *Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement.* [En ligne]. Guide D'informations techniques N°13. [Consulté le 20/05/2018]. 11p. Disponible sur le web : [http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP\\_13\\_FR\\_Effects\\_of\\_Oil\\_Pollution\\_ont\\_he\\_Environment.pdf](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP_13_FR_Effects_of_Oil_Pollution_ont_he_Environment.pdf).
- Jeannot, R ;Lumiere, B ; Hiron, S. (2001).** *Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués, direction de la prévention des pollutions et des risques.* BRGM.France, 85 p.
- Joseph, N. (2008).** *Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass asan indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA,* 12 p.
- Kanna, T;Emmanuel, T;Gregoire, M. (2015).** *Pollution Marine par les Hydrocarbures. Méthodes de Détection dans les Images Radar à Synthèse d'Ouverture,* 226 p.
- Kuony, S. (2005).** Caractérisation d'AreneDioxygenases impliquées dans la biodégradation deshydrocarbures aromatiques polycycliques chez *Mycobacterium*sp. 6PY1. Doctorat en Virologie, Microbiologie, Immunologie de l'Université Joseph Fourier-GRENOBLE, 90 P.
- Lacaze,J-C ; Paquet, F. (1989).** *Tests d'évaluation du degré de pollution des sédiments marins : effets sur la production de larves et la consommation d'algues chez le copépode Tigriopusbrevicornis.*Revue des sciences de l'eau. Université du Québec, 113 p.
- Lacaze, J-C. (1980).** *La pollution pétrolière en milieu marin.* Paris : MASSON, 118 p.
- Larbi ; S. (2010).** *Impact des eaux usée et les embouchures des oueds des eaux de la baie de bous -Ismail.* Mémoire d'Ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 76 p.
- Ledireach, L. (2013).** *Pollutions marines. Les définitions.* [En ligne]. Disponible sur : <https://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie/?p=352>.
- Lefebvre, G. (1978).** *Chimie des hydrocarbures.* Paris: TCHNIP.284 p.
- Lipiatou, E ;Salot, A. (1991a).** Fluxes and transport of anthropogenic and natural polycyclic aromatic hydrocarbons in the western Mediterranean sea.Marine Chemistry.l'Universit Pierre et Marie Curie,paris., **21p.**
- Marchand, M. (2003).** *Les pollutions marines accidentelles au-delà du pétrole brut, les produits chimiques et autres déversement en mer.* Article scientifique. Ifremer centre de Nantes .Biogéochimie et écotoxicologue, 20 p.

**Mille, G; Laurence, A;Guiliano, M;Malleret, et al. (2007).***Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea* (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin* 54: 566-575 p.

**NGUY, T-N; DONG, K-L; NGUY, C-H. (2013).** *Development of Water Quality Index for Coastal Zone and Application in the H\_ Long Bay.* *VNU Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8 p.

**Pascal, S.(2003).***Futurascienes* disponible sur le web <<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geographie-region-martinique-sanctuaires-coralliens-cimetieres-sous-marins-96/page/3/>>

**Pierre, M. (1983).** *Impacts des hydrocarbures sur la faune et la flore marine.* « Synthèse des informations relatives à l'impact des hydrocarbures sur la flore et la faune marine ». Institut Scientifique et Technique des pêches maritimes. CEE/ISTPM.).France ,227 P.

**Queguiner, B. (2013).** *Structure et fonctionnement des écosystèmes pélagiques marins.* MASTER d'Océanographie Biologique. Université de Marseille ,96 p.

**RCPQE. (1999) :** *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique : HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP).* CANADA ,15 p.

**Remili, S; Miloud, A; Kerfouf, A. (2010).** *Les déversements d'hydrocarbures en méditerranée : diagnostic, moyens de lutte et prévention* [en ligne]. Actes de la 5ème Colloque International "Energies, Changements climatiques et développement durable ", Juin 2010, Hammamet (Tunisie). Disponible sur le web :<[http://www.gipm.fr/sites/default/files/pollution\\_mediterranee\\_les\\_deversements\\_dhydrocarbures\\_en\\_mediterranee\\_diagnostic\\_moyens\\_de\\_lutte\\_et\\_prevention.pdf](http://www.gipm.fr/sites/default/files/pollution_mediterranee_les_deversements_dhydrocarbures_en_mediterranee_diagnostic_moyens_de_lutte_et_prevention.pdf)>, 8p.

**Rodier, J. et al. (2005).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* Paris: DUNOD, 1387 p

**Rontani; Giusti. (1987).** *Photosensitized oxidation of pristine in sea water: effect of photochemical reactions on tertiary carbons.* *Journal of Photochemistry and Photobiology A.* 40, 107-120.

**Rouidi, S. (2014).** *Evaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien).* Analyse statistiques, 208 p.

**Roussel, B. (2002).** *Contribution à l'étude de la partition des HAP entre les phases gazeuse et particulaire : validation de la technique de prélèvement par tube dénuder annulaire.* Thèse

de doctorat. Biosciences de l'environnement, Chimie et Santé. Marseille : université de Provence - Aix Marseille, 210 p.

**Semelin, J. (2004).** *Synthèse bibliographique à propos des impacts écologiques et des aspects réglementaires de l'exploitation pétrolière en mer* [en ligne]. Arles : PRCM/FIBA. Disponible sur le web : <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2004-139.pdf>>

**Soltani, A. (2004.)** *Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries gram-négatives hydrocarbonoclastes*. Variation en fonction de la source de carbone.

**U.S. Congress. Office of Technology Assessment. (1991).** *Bioremediation of Oil Spills – Background Paper*, OTA-BP70 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office), 70 p.

**Vincent, G. (2010).** *L'exploitation pétrolière offshore : Enjeux maritimes*. Article scientifique.

**Wagener, T ; Moutin, T ; Lagadec, V. (2015).** *Travaux de pratique chimie océanographique*. Master Océanographie, 40 p.

**Yang, S ; Jin, H. (2009).** *Bioremediation of Oil Spills in Cold Environments*: Soil Science Society of China, 371 p.

**Yunker, M ; Macdonald, R ; Vingarzanc, R, et al. (2002).** *PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition*. Organic Geochemistry. University of Victoria, Canada, 27 p.

**Zaghden, H ; Tedetti, M ; Sayadi, S ; Serbaji, et al. (2007).** *Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Sfax, Tunisia, Mediterranean Sea*. Marine Chemistry 105: 70-89.

# ANNEXES

## Annexe 01

Données de températures et précipitations moyennes mensuelles extraites du site (fr.tutiempo.net), sur une dizaine d'années (de 2008 à 2017)

Mois	Températures (c°)	Précipitations (mm)
Janvier	11.88	85.17
Février	11.47	77.191
Mars	13.42	73.208
Avril	15.863	48.779
Mai	18.857	43.2
Juin	22.91	10.763
Juillet	26.16	1.952
Aout	26.56	9.042
Septembre	23.75	26.391
Octobre	20.31	53.185
Novembre	15,17	116,838
Décembre	11,76	110,13

## Annexe2.

### Stations de prélèvement de la baie de Bou-Ismaïl (colonne d'eau+ sédiment)

Station	Signe	Heure de prélèvement	Nature de sédiment
Mazafran	B1	10H45 :21/04/2018	Sable fin
Îlot de Sidi-Fredj	B2'	11H11 :21/04/2018	La vase
large de Sidi-Fredj	B2	13.30 : 19/07/2018	Sable fin
Port El-Djamila	B3	12H08 :21/04/2018	Sable fin
Oued Ben-Messous	B4	12H25 :21/04/2018	Sable légèrement vaseux
Port de Sidi-Fredj	B5	12H42 :21/04/2018	Sable fin

## Annexe 03

### Préparation du matériel et des réactifs pour le dosage d'oxygène dissous :

- **Préparation du matériel : calibrage des flacons d'oxygène**

Le calibrage des flacons sert à la détermination des volumes de ces derniers. Les volumes des flacons d'échantillonnage sont déterminés par pesé comme suite :

- Numéroter chaque flacon ainsi que son bouchon.
- Laver et rincer abondamment à l'eau de robinet ensuite à l'eau distillé. les flacons et leurs bouchons.
- Sécher à l'étuve et laisser revenir à la température ambiante.
- Peser chaque flacon muni de son bouchon ; soit poids P1 (poids en gramme).
- Remplir les flacons à l'eau distillé et les boucher sans emprisonner l'air, puis les essuyer parfaitement.
- Peser à nouveau soit le poids P2 (poids en gramme).
- Noter la température de l'eau distillée dans les flacons après chaque pesée.
- Calculer le volume selon la relation :

$$V(ml) = \frac{p2 - p1}{dt}$$

**dt** est la masse volumique de l'eau distillée à température (T°C). Elle est calculée par la formule suivante :

$$dt = 1.0003 - 0.000001t^2 + 0.000001t$$

### Préparation des réactifs

- **Réactif 1 (R1) : solution de manganèse II à 3 mol/l**

Dissoudre 30g de chlorure de manganèse tétrahydraté (MnCl<sub>2</sub>, 4H<sub>2</sub>O) dans 50ml d'eau distillée.

Cette solution se conserve indéfiniment à température ambiante.

- **Reactif 2 (R2) : solution basiqued'iodure (OH<sup>-</sup> : 8mol/l, I<sup>-</sup> : 4 mol/l)**

-Dissoudre 16g de soude (NaOH) dans un minimum d'eau 15ml.

-Dissoudre, en chauffant, 30g d'iodure de sodium dans le minimum d'eau 15 ml.

-Mélanger les deux solutions et ajuster à 50ml d'eau distillée.

Cette solution se conserve indéfiniment à température ambiante.

- **Réactif 3 R3 : acide sulfurique ( $H^+$  : 10 mol/l)**

-Dans un récipient de Pyrex, diluer avec précaution 14 ml d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) (95-97% ; 1,84 kg/l) dans 35ml d'eau distillée;

-Laisser refroidir et compléter à 50ml.

Cette solution se conserve indéfiniment à température ambiante en flacon bien hermétique.

- **Solution étalon d'iodate de potassium à 0,01N**

-Sécher l'iodate de potassium ( $KIO_3$ ) dans l'étuve à  $105^\circ C$  pendant 1 heure.

- Laisser refroidir au dessiccateur.

-Peser exactement 0,3567g pour 1 litre de solution préparée en fiole jaugée.

Cette solution est stable à condition d'éviter toute évaporation.

- **Solution de thiosulfate à 0.02N**

-Dissoudre 5g de thiosulfate de sodium ( $Na_2S_2O_3, 5H_2O$ ) dans 1 litre d'eau distillée.

Cette solution, maintenue à température ambiante, est instable. Elle doit impérativement être étalonnée avec précision avant chaque série de dosages.

## Annexe 04

### Résultats de différents paramètres analysés

Station	T (°C)	PH	[OD](mg/l)	MO	Chl''a''	[HAP](µg/l)	[HAP](µg/g)
B1	26.7	7.83	7.039	5.03	0.098	2.92	2.84
B2	25.8	7.83	6.99	5.30	0.077	1.17	1.63
B2'	17.3	7.73	/	/	/	2.26	/
B3	25.8	7.83	7.416	4.74	0.508	1.65	2.74
B4	25.7	7.81	7.468	2.76	0.063	2.22	3.72
B5	26.1	7.77	6.82	4.98	0.102	1.92	2.32



## Résumé

La présence d'hydrocarbures dans l'environnement que ce soit suite à un déversement accidentel de pétrole en mer ou suite à des apports chroniques, est une préoccupation majeure en raison de leur écotoxicité et de leur potentiel à être bioaccumulés. Par conséquent, ces molécules sont l'objectif de notre recherche dans la colonne d'eau et sédiment au niveau de l'Est de Bou Ismail, où le développement industriel et urbain est en croissance continue.

Nous avons effectuées l'analyse par la technique de la spectrofluorométrie UV. Les résultats obtenus montrent des concentrations plus ou moins importante dans la matrice eau-sédiment avec un maximum de 2.92µg/l dans la colonne d'eau et 3.72 µg/g PS dans la matrice sédiment au niveau des embouchures des Oueds Mazafran et Beni-Messouss successivement, ainsi que des valeurs moins importante a la sortie des ports ; La comparaison avec les résultats des études antérieures montrent une augmentation par la contamination de ces composées toxiques surtout au niveau de la colonne d'eau.

**Mots clés :**Baie de Bou-Ismaïl, Hydrocarbures polyaromatiques (HAP),Spectrofluorimétrie UV, Eaux de surface, sédiment superficiel.

## Summary:

The presence of hydrocarbons in the environment, whether as a result of an accidental oil spill at sea or as a result of chronic influx, is a major concern because of their ecotoxicity and potential for bioaccumulation. Therefore, these molecules are the goal of our research in the water column and sediment at the eastern bay of Bou Ismail, where industrial and urban development is in continuous growth.

We performed the analysis by the technique of UV spectrofluorometry. The results obtained show significant concentrations in the water-sediment matrix with a maximum of 2.92 µg / l in the water column and 3.72 µg / g PS in the sediment matrix at the mouths of WadisMazafran and BeniMessouss successively, as well as smaller values at the exit of the ports; The comparison with the results of previous studies shows an increase by the contamination of these toxic compounds on everything at the level of the water column.

**Key words:**Bou-Ismaïl bay, Polyaromatic hydrocarbons (PAHs), UV spectrofluorometry, Surface water, Surface sediment.

## ملخص:

إن وجود الهيدروكربونات في البيئة ، سواء كنتيجة لانسكاب النفط في البحر أو كنتيجة للتدفق المزمن ، هو مصدر قلق كبير بسبب السمية الإيكولوجية وإمكانات التراكم الأحيائي. ولذلك ، فإن هذه الجزيئات هي هدف بحثنا في الماء والرواسب على المستوى الشرقي لبو إسماعيل ، حيث النمو الصناعي والحضري في نمو مستمر.

أجرينا التحليل عن طريق تقنية قياس الأشعة فوق البنفسجية. وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها تركيزات أكثر إلى أقل أهمية في مصفوفة الرسوبيات المائية بحد أقصى 2.92 ميكروغرام / لتر في الماء و 3.72 ميكروغرام / غرام في مصفوفة الرواسب في أفواه وادي مزافران وبني مسوس على التوالي ، وكذلك القيم الأصغر عند مخرج الموانئ ؛ تظهر المقارنة مع نتائج الدراسات السابقة زيادة تلوث هذه الجزيئات السامة خاصة على مستوى الماء.

**الكلمات الدالة:** خليج بو اسماعيل ، الهيدروكربونات المتعددة النواة ، الأشعة فوق البنفسجية ، المياه السطحية ، الرواسب السطحية.