

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



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

Option : Environnement

Thème :

Diagnostic de Contamination des Eaux du Littoral Algérois par les Hydrocarbures

Présenté par :

ARABI Imane
GUECHTOULI Meriem Battoul

Soutenu le 15/10/2017 devant le jury composé de :

M. MEZOUAR K.	Maître de Conférences A	ENSSMAL	Président
M. BOULAHID M.	Professeur	ENSSMAL	Examineur
M. AROUA M.	Doctorant	ENSSMAL	Examineur
Mme BENTCHIKOU L.	Maître-assistant A	ENSSMAL	Promotrice

Année universitaire : 2016 - 2017

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère reconnaissance à Madame **BENTCHIKOU Latifa** d'avoir accepté de nous encadrer et initier à la recherche. Nous la remercions vivement pour ces précieux conseils, ces aimables encouragements et sa cordiale confiance qui nous ont permis de réaliser et de mener à bien ce travail.*

*Nous remercions vivement Docteur **MEZOUAR Khoudir** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre vive gratitude et de nos sincères respects.*

*Nous exprimons notre gratitude et nos vifs remerciements au Professeur **BOULAHDIJ Mostefa** pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de nos sincères respects.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements à Monsieur **AROUA Mohamed** d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Qu'il trouve ici notre vive reconnaissance et respects.*

*Nous tenons à remercier vivement Monsieur **BOUDJELLAL Benyahia**, ainsi que tout le **Staff de la station de recherche de Sidi-Fredj** pour leur accueil si généreux, leur précieuse aide et leurs convenables conseils et encouragements.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos chaleureux remerciements et notre sincère reconnaissance à Monsieur **ZERROUKI Mohamed** pour tous les efforts déployés, allant des travaux de terrain et de laboratoire jusqu'à l'expression des résultats, afin de mener à bien ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de nos profonde gratitude et respects.*

*Nous exprimons tout le respect et la reconnaissance aux **Marins** qui nous ont accompagné durant la période de prélèvement ainsi qu'aux **Employés de la bibliothèque de l'ENSSMAL**. Nous les remercions vivement pour leur patience et leur aimable soutien.*

*Nous adressons nos sincères remerciements et reconnaissance à nos collègues aménagistes **Sawsen, Djazia, Nabila et Chrif** qui nous ont aidé à l'élaboration des cartes de la zone d'étude.*

Enfin, c'est un plaisir autant qu'un devoir d'exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance.

Je dédie ce travail :

A mes chères grands-parents « Bozetine Rabeih » et « Ouardia »

Vous qui m'avez donné tant de choses et vous continuez à le faire sans jamais vous plaindre. J'aimerais pouvoir vous rendre tout l'amour et la dévotion que vous m'avez offert, mais une vie entière n'y suffirait pas. J'espère au moins que ce mémoire y contribuera en partie.

A ma mère « Aldjia »

La plus douce et la plus merveilleuse de toutes les mamans. Sans toi, je ne suis rien, mais grâce à toi je deviens ingénieure d'état. Puisse Dieu te protéger afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois.

A mon père « Smail »

Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.

A mon frère « Amine » et à ma sœur « Yousra »

En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments.

A mon cher petit frère « Rahim »

Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux, Je te dédie ce travail.

A ma grande famille

Mes oncles « Mustapha », « Mohamed », « Ali » et « Aziz » et mes tantes « Saadia », « Farida », « Djamila », « Saliha », « Malika », et « Samia ».

A mes chères amies : « Kahina », « Rabiaa » et « Linda ».

A ma chère et meilleure binôme « Meriem-Battoul ».

A tous ceux dont l'oubli du nom n'est pas celui du cœur.

Imene

Dédicaces

A la mémoire de mon grand-père qui est toujours dans mon cœur et dans mon esprit. Tes prières et tes encouragements m'ont toujours été d'un grand secours. Que Dieu t'accueille dans son éternel paradis.

A ma chère grand-mère. Tes prière et bénédictions m'ont été d'un grand secours dans ma vie. Que Dieu te préserve santé et longue vie.

A mon cher père, avec tous mes sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleures conditions. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma chère mère, le symbole de la bonté, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma chère sœur "Nour El Houda", en témoignage de la fraternité qui nous a uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble.

A mon cher petit frère "Ilyes" qui entoure ma vie de joie. Je te souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite.

A mes chères cousines "Imene, Soumia, Romaiissa et Ikram", pour leur appui, leur encouragement et leur soutien moral. Vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. Je vous dédie ce travail en témoignage des souvenirs d'agréables moments qui nous ont réunis.

A toute ma famille. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

A tous les amis que j'ai rencontré durant mon parcours universitaire, et bien sûr la promotion 5ème année ENVIRONNEMENT ainsi qu'à ma chère binôme *Imene*.

Enfin, *aux enseignants* qui m'ont formé pour arriver à la réalisation de ce travail et m'ont inspiré à partir de leur amour, leur passion et leur croyance vis à vis de leur métier. Je leur dédie ce travail en témoignage de mes vifs respects et ma profonde gratitude.

Meriem Battoul

Liste des Acronymes

°C : Degré Celsius

AFNOR : L'Association Française de Normalisation

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques

API : American Petroleum Institute

APPL : Agence pour la promotion et la protection du littoral

C : Concentration

CE : Commission Européenne

CEDRE : Centre de Documentation de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux

COI : La Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO

CPG : Chromatographie à Phase Gazeuse

CEAEQ : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale de Québec

EGPP : Entreprise de Gestion des Ports & Abris de Pêche

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

ISO : The International Organization for Standardization (l'Organisation internationale de normalisation)

ITOPF : International Tanker Owners Pollution Federation (Fédération internationale de la pollution des propriétaires de pétroliers)

LEM : Laboratoire d'Études Maritimes

MAW : Modified Atlantic Water (l'Eau Atlantique Modifiée)

MES : Matières En Suspension

MO : Matière Organique

NRC : Nuclear Regulatory Commission (Commission de Réglementation Nucléaire)

OD : Oxygène Dissous

ODV : Ocean Data View

OMI : l'Organisation Maritime Internationale

ONM : Office National de Météorologique

ORE Poitou-Charentes : l'Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes

PAC : Plan d'Action Commercial

pH : Potentiel d'Hydrogène

PSU : Practical Salinity Unit (l'Unité de Salinité Pratique)

S : Salinité

SFUV : Spectrofluorimétrie à rayonnement Ultra-violet

SNC. LAVALIN INTERNATIONAL : "Surveyer, Nenniger et Chênevert. LAVALIN INTERNATIONAL" (groupe d'ingénierie et de construction)

T : Température

UNEP : the United Nations Environment Programme (le Programme d'environnement des Nations Unies)

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

Liste des Figures

Figure II.1 : Présentation de la zone d'étude (Support : Google Earth, 2017, modifié).....	29
Figure II.2 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Support : Google Earth, 2017, modifié)	30
Figure II.3 : Diagramme Ombrothermique (ONM 2006-2015)	33
Figure II.4 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (AOUAMEUR, 1991 in BACHARI-HOUMA, 2009).....	36
Figure II.5 : Situation géographique de la baie d'Alger (Support : Google Earth, 2017, modifié).....	37
Figure II.6 : Principaux rejets dans la baie d'Alger (HOUMA-BACHARI, 2009)	40
Figure III.1 : Carte des stations de prélèvement	42
Figure III.2 : Sonde multi-paramètre de type HANNA® HI 9828	46
Figure III.3 : Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décantier	48
Figure III.4 : Évaporateur rotatif	49
Figure III.5 : Colonne chromatographique	51
Figure III.6 : Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI 650-10s	52
Figure III.7 : Droite d'étalonnage	54
Figure III.8 : Titreur automatique de type TitroLine®6000	56
Figure IV.1 : Profil des variations de la température des eaux de surface dans les différents points de la zone d'étude	60
Figure IV.2 : Distribution spatiale des variations de la température dans la zone d'étude	61
Figure IV.3 : Profil des variations de la salinité dans les différents points de la zone d'étude	62
Figure IV.4 : Répartition spatiale de la salinité dans les eaux de surface de la zone d'étude	63
Figure IV.5 : Profil des variations du pH dans les différents points de la zone d'étude	64
Figure IV.6 : Répartition spatiale du pH dans de la zone d'étude	65
Figure IV.7 : Profil des variations de la concentration de l'Oxygène dissous dans les différents points de la zone d'étude	66

Figure IV.8 : Seuils des besoins en OD par les organismes vivants aquatiques (JEAN-LUC, 2002)	67
Figure IV.9 : Répartition spatiale de l'Oxygène dissous dans la zone d'étude (logiciel : ODV)	68
Figure IV.10 : Corrélation entre la Température et la Salinité des eaux de surface de la zone d'étude	69
Figure IV.11 : Corrélation Température - OD et Salinité - OD des eaux de surface de la zone d'étude	70
Figure IV.12 : Corrélation entre le pH et la teneur en OD des eaux de surface de la zone d'étude	71
Figure IV.13 : Profil des variations de la concentration des HAP dans les différents points de la zone d'étude	72
Figure IV.14 : Répartition spatiale des HAP dans la zone d'étude	76
Figure IV.15 : Corrélation entre les concentrations en HAP et les Températures des eaux de surface de la zone d'étude	77
Figure IV.16 : Corrélation entre la Salinité et la teneur en HAP des eaux de surface de la zone d'étude	78
Figure IV.17 : Corrélation entre la teneur en OD et la concentration des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude	79

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (source : IEWT-MATE, 2002 in SNC.LAVALIN INTERNATIONAL, 2008)	35
Tableau III.1 : Liste du matériel utilisé dans les différentes manipulations	42
Tableau III.2 : Matériel de la sortie	44
Tableau III.3 : Concentrations de gamme d'étalonnage	53
Tableau IV.1 : Concentrations en HAP dans les eaux surface obtenues des résultats de travaux antérieurs	80

Liste des Équations

Équation I.1 : Expression de détermination du pH en fonction de la concentration en H^+	8
Équation I.2 : Équation de la densité en degré API (American Petroleum Institute)	15
Équation III.1 : Équation de la droite d'étalonnage pour le calcul de la concentration des HAP en fonction de IF	53
Équation III.2 : Équation de calcul de la concentration finale des HAP dans un échantillon d'eau de mer	54
Équation III.3 : Équation de calcul de la concentration du Thiosulfate	56
Équation III.4 : Expression de détermination du blanc chimique	57
Équation III.5 : Équation de calcul de la concentration de l'Oxygène Dissous contenu dans l'échantillon d'eau de mer	57
Équation III.6 : Équation de saturation en oxygène	57
Équation III.7 : Expression du Pourcentage (degré) de saturation (%OD)	58

Table des Matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Liste des Acronymes	iv
Liste des Figures	vi
Liste des Tableaux	viii
Liste des Équations	ix
INTRODUCTION	1
Chapitre I : GENERALITES	
1. La pollution marine	5
1.1. Définition	5
1.2. Types de pollutions	5
<i>1.2.1. La pollution chimique</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2. La pollution biologique</i>	<i>5</i>
<i>1.2.3. La pollution physique</i>	<i>6</i>
1.3. Sources de pollutions	6
<i>1.3.1. La pollution domestique</i>	<i>6</i>
<i>1.3.2. La pollution agricole</i>	<i>6</i>
<i>1.3.3. La pollution industrielle</i>	<i>7</i>
1.4. Descripteurs du milieu	7
<i>1.4.1. La température (T) (°C)</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2. La salinité (S) (PSU)</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3. L'oxygène dissous (OD) (mg/l)</i>	<i>8</i>
<i>1.4.4. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)</i>	<i>8</i>
<i>1.4.5. La turbidité (NTU)</i>	<i>8</i>
<i>1.4.6. Les matières en suspension (MES) (mg/l)</i>	<i>8</i>
2. Les hydrocarbures	9
2.1. Définition	9
2.2. Classification	9
<i>2.2.1. Hydrocarbures saturés</i>	<i>9</i>

2.2.1.1. <i>Les paraffines (alcanes) : aliphatiques</i>	9
2.2.1.2. <i>Les cycloparaffines ou naphènes (cycloalcanes)</i>	10
2.2.2. Les hydrocarbures insaturés	10
2.2.2.1. <i>Les alcènes (oléfines)</i>	10
2.2.2.2. <i>Les alcynes</i>	10
2.2.3. Les hydrocarbures aromatiques (arènes)	10
• <i>Les hydrocarbures polyaromatiques (HAP)</i>	11
2.2.4. Les asphaltènes et les résines	11
2.2.4.1. <i>Les asphaltènes</i>	11
2.2.4.2. <i>Les résines</i>	11
3. Les origines de la pollution marine par les hydrocarbures	11
3.1. Les apports atmosphériques	12
3.2. Les eaux de ballast	12
3.3. Les eaux de cale	12
3.4. Les terminaux maritimes	12
3.5. La démolition et le recyclage des navires	13
3.6. Les accidents des pétroliers	13
3.7. Les accidents de navires non-pétroliers	13
3.8. La production de pétrole en mer	13
3.9. Le déversement autorisé en mer	13
3.10. Les sources naturelles	14
3.10.1. <i>Suintements naturels des sous-sols marins</i>	14
3.10.2. <i>Biosynthèse</i>	14
4. Les propriétés physiques des hydrocarbures	14
4.1. La densité	14
4.2. La viscosité	15
4.3. Le point d'écoulement	15
4.4. Le point d'éclair	16
4.5. La tension superficielle	16
4.6. La solubilité	16
4.7. La pression de vapeur	16
4.8. Le point d'ébullition	17
5. Le comportement des hydrocarbures dans le milieu marin	17
5.1. Les modifications physiques	17

5.1.1. <i>Étalement</i>	17
5.1.2. <i>Evaporation</i>	18
5.1.3. <i>Dissolution</i>	18
5.1.4. <i>Emulsification</i>	19
5.1.5. <i>Floculation</i>	19
5.1.6. <i>Sédimentation</i>	20
5.2. La dégradation chimique	21
5.2.1. <i>Photo-oxydation</i>	21
5.2.2. <i>Biodégradation</i>	22
6. Les impacts des hydrocarbures	22
6.1. Impact des hydrocarbures sur les littoraux	22
6.2. Impact des hydrocarbures sur les organismes marins	23
6.2.1. <i>Oiseaux marins</i>	23
6.2.2. <i>Mammifères et reptiles marins</i>	24
6.2.2.1. <i>Mammifères marins</i>	24
6.2.2.2. <i>Reptiles marins (tortues)</i>	24
6.2.3. <i>Poissons</i>	25
6.2.4. <i>Invertébrés benthiques (mollusques et crustacés)</i>	25
6.2.5. <i>Plancton</i>	26
6.2.6. <i>Végétation marine</i>	26
6.3. Impacts économiques des déversements d'hydrocarbures en mer	27
• <i>Impact sur le tourisme</i>	27

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. La Baie de Bou-Ismail	29
1.1. Situation géographique	29
1.2. Facteurs hydrodynamiques	30
1.2.1. <i>Vent</i>	30
1.2.2. <i>Courants</i>	31
1.2.3. <i>Vagues et houles</i>	31
1.3. Réseau hydrographique	32
1.3.1. <i>Oued Mazafran</i>	32
1.3.2. <i>Oued Nador</i>	32

1.3.3. <i>Oued Beni Messous</i>	32
1.4. Météorologie	33
1.5. Quelques exemples sur les différentes infrastructures de la baie de Bou-Ismaïl ...	34
1.5.1. <i>Le port de Bouharoun</i>	34
1.5.2. <i>Le port de Sidi-Fredj</i>	34
1.6. Sources de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl	34
2. La baie d'Alger	36
2.1. Situation géographique	36
2.2. Facteurs hydrodynamiques	37
2.2.1. <i>La houle</i>	37
2.2.2. <i>Les courants</i>	37
2.3. Réseau Hydrographique	38
2.3.1. <i>Oued El Harrach</i>	38
2.3.2. <i>Oued El Hamiz</i>	38
2.4. Infrastructures de la baie d'Alger	39
• <i>Le port d'Alger</i>	39
2.5. Sources de pollution dans la baie d'Alger	39

Chapitre III : MATERIEL ET METHODES

1. Matériel utilisé	42
2. Conditionnement de la verrerie destinée au dosage des hydrocarbures	43
3. Préparation des adsorbants pour le dosage des hydrocarbures	41
4. Travaux effectués en mer	41
4.1. Préparation du matériel de la sortie	41
4.2. Prélèvement et échantillonnage	45
4.2.1. <i>Les hydrocarbures (HC)</i>	45
4.2.2. <i>L'Oxygène Dissous (OD)</i>	45
4.3. Mesure des paramètres physicochimiques (T, S, pH)	46
5. Travaux effectués au laboratoire	47
5.1. Dosage des hydrocarbures polyaromatiques (HAP) dans l'eau de mer par spectrofluorimétrie à rayonnement Ultrat-Violet	47

5.1.1. Extraction	47
5.1.1.1. 1 ^{ère} extraction (en mer)	48
5.1.1.2. 2 ^{ème} extraction (au laboratoire)	48
5.1.2. Concentration	49
5.1.2.1. Concentration à l'évaporateur rotatif	49
5.1.2.2. Concentration sous jet d'azote	50
5.1.3. Purification/fractionnement	50
5.1.3.1. Préparation de la colonne chromatographique	50
5.1.3.2. Purification et fractionnement	50
5.1.4. Analyse des hydrocarbures polyaromatiques	51
5.1.4.1. Principe de la spectrofluorescence UV	51
5.1.4.2. Présentation de l'appareil d'analyse (le Spectrofluorimètre)	52
5.1.4.3. Étalonage et préparation des standards	52
5.1.4.4. Mesure des intensités de fluorescence	53
5.1.4.5. Expression des résultats	54
5.2. Dosage de l'Oxygène Dissous (OD) par la méthode de Winkler (1888)	54
5.2.1. Principe	54
5.2.2. Préparation du matériel et des réactifs	55
5.2.3. Préparation des échantillons	55
5.2.4. Titrage potentiométrique	55
5.2.5. Étalonage de thiosulfate	56
5.2.6. Détermination du blanc chimique	57
5.2.7. Expression des résultats	57
5.2.7.1. Équation de calcul de La concentration de l'Oxygène Dissous contenu dans l'échantillon d'eau de mer	57
5.2.7.2. Équation de saturation en oxygène	57
5.2.7.3. Pourcentage (degré) de saturation(%OD).....	58

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Paramètres Physico-chimiques	60
1.1. La Température (T)	60
1.2. La Salinité (S)	62
1.3. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)	63

1.4. L'Oxygène Dissous (OD)	66
2. Analyse Corrélative entre les Paramètres Physico-chimiques	68
2.1. Température - Salinité (T-S)	69
2.2. Température - pH (T-pH)	69
2.3. Température - OD (T-O.D) et Salinité - OD (S - OD)	70
2.4. pH - OD	71
3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	72
4. Analyse Corrélative entre les teneurs d'eau en HAP et les Paramètres Physico-chimiques	77
4.1. Température - HAP (T - HAP)	77
4.2. Salinité - HAP (S - HAP)	78
4.3. OD - HAP	79
5. Analyse Comparative des HAP : Comparaison avec les Travaux Antérieurs	80
CONCLUSION	84
BIBIOGRAPHIE	87
ANNEXES.....	95

INTRODUCTION

Le milieu marin a été souvent considéré comme un réservoir inépuisable et inaltérable. Ceci a fait de lui le réceptacle mondial de l'ensemble des déchets de l'humanité.

Hélas, l'immensité de ce milieu est déjà modifiée par les activités humaines qui ont généré de nombreux types de pollution, notamment la pollution chimique qui résulte de l'introduction dans ce milieu de diverses substances susceptibles de menacer la vie aquatique, mais également la survie de l'espèce humaine à travers leurs multiples incidences ainsi qu'au manque de connaissance sur leurs effets à long terme.

Les hydrocarbures constituent l'une des catégories des polluants chimiques les plus abondants des mers et des océans, reflétant ainsi l'augmentation des besoins en énergie fossile nécessaire pour satisfaire le développement des activités industrielles et économiques.

Les déversements des hydrocarbures sont considérés comme une question environnementale alarmante à cause de leur ampleur et leur effet sur la biodiversité marine.

Torrey Canyon en 1967, Amoco Cadiz en 1978, Exxon Valdez en 1989, Erika en 1999, Prestige en 2002, Deep-water Horizon en 2010, autant de noms qui incarnent de lourdes pollutions du milieu marin. Mais ces déversements accidentels, étant les plus médiatisés, ne constituent que la partie apparente d'un état beaucoup plus grave mais moins visible. En effet, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (l'UNEP) estime un pourcentage des sources de la pollution marine par les hydrocarbures de 8% pour les déversements liés aux accidents technologiques et seulement 3% pour l'extraction offshore (**GOEURY, 2014**). Alors qu'un pourcentage de 35% est attribué aux différentes activités liées à la consommation humaine, 12% reviennent au transport de pétrole par les navires-citernes et les pipe-lines et enfin 23% pour les déversements liés au transport maritime en général (**COHEN, 2013**).

En revanche, la zone côtière présente une sensibilité assez élevée envers la pollution par ces substances du fait que les activités industrielles et économiques ainsi que l'urbanisation se concentrent sur cette étroite bande littorale, notamment au niveau des baies où le développement économiques est le plus important et dans lesquelles de nombreux polluants, y compris les HAP en provenance du continent sont filtrés et piégés.

La côte algéroise constitue l'une des zones côtières où l'altération de la qualité des eaux est la plus perceptible dont les hydrocarbures en participent en grande proportion à cause de la forte pression anthropique qui s'y exerce. Dans notre étude nous avons choisi la partie Ouest et Centre de cette côte (baie d'Alger et baie de Bou-Ismaïl) comme objet de recherche pour savoir quel est l'état de pollution actuel de cette zone par rapport aux HAP, comment il s'est développé par rapport aux années précédentes et quels sont les origines et les sources potentiels de ces contaminants dans cette même zone.

Ainsi, pour répondre à ces objectifs, les chapitres suivants ont été accomplis :

- Le premier chapitre sert à donner des notions générales sur les hydrocarbures, leurs types et caractéristiques physiques, leurs origines dans le milieu marin, leur comportement une fois déversés et leurs effets, après déversement, sur la vie aquatique, sur les littoraux et sur les activités économiques liées à la mer ;

- Dans le second chapitre on verra quelques indications sur la zone d'étude portant une démonstration de sa position géographique, son réseau hydrologique, sa météorologie et son hydrodynamisme, ainsi qu'une mise au point sur quelques infrastructures fondées au niveau de cette zone et sur les apports de pollution dans cette dernière ;
- Le troisième chapitre constitue la partie pratique de la présente étude, dans lequel on trouve le détail des travaux effectués sur le terrain et dans le laboratoire. Ce chapitre comporte la stratégie d'échantillonnage prise en compte dans le choix des stations de prélèvement d'eau, la procédure d'échantillonnage, les différentes étapes de préparation du matériel et des produits chimiques utilisés dans les manipulations mais aussi sur le terrain et les protocoles suivis pour le traitement des échantillons ;
- Le quatrième chapitre concerne le traitement et l'analyse des résultats de manipulations. Dans cette partie on verra une discussion des résultats des paramètres analysés, des corrélations entre ces paramètres ainsi qu'une analyse spatiale de chacun de ces derniers. Pour les HAP, une analyse spatio-temporelle et une corrélation avec les paramètres physico-chimiques ont été adaptées.

CHAPITRE I : GENERALITES

1. La pollution marine

1.1. Définition

La commission Océanographique Internationale de l'UNESCO définit la pollution marine comme étant «... *l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin pouvant entraîner des effets délétères, tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes, y compris les pêcheries, détérioration des qualités de l'eau de mer pour son utilisation et réduction des possibilités dans le domaine des loisirs* » (**LEDIREACH, 2013**).

1.2. Types de pollutions

La multiplicité des polluants rejetés dans l'environnement a fait l'objet de nombreuses classifications en se basant sur différents critères. Cependant, la classification la plus connue se base sur la nature des polluants.

Il faut noter que les différents types de pollution sont mélangés et agissent en synergie les uns sur les autres (**LEDIREACH, 2013**).

On distingue alors :

1.2.1. La pollution chimique

Cette pollution provient des déversements de substances chimiques telles que les hydrocarbures, les métaux lourds, les détergents et les biocides (**LEDIREACH, 2013**).

1.2.2. La pollution biologique

Les eaux littorales peuvent être polluées par des microorganismes pathogènes (bactéries, virus, champignons, ... etc.) issus de rejets d'émissaires ou d'égouts. Cette pollution est majoritairement d'origine fécale. Elle est liée aux eaux usées insuffisamment traitées, aux déjections d'animaux, aux rejets d'effluents d'élevages, ... etc. (**ORE POITOU-CHARENTES, 2015**).

On peut souvent détecter du phytoplancton toxique dont la prolifération est favorisée par certaines conditions d'ensoleillement, de température et de composition des eaux littorales. Une massive prolifération est conjuguée en phénomènes inhabituels « d'eaux colorées » (phénomène d'eutrophisation). Certaines algues peuvent sécréter des toxines induisant des troubles de santé à certaines concentrations (**ORE POITOU-CHARENTES, 2015**).

Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (ex. : *Caulerpataxifolia*) (**LEDIREACH, 2013**).

1.2.3. La pollution physique

On parle de ce type de pollution lorsque le milieu est modifié par rapport à sa structure physique (température, salinité, pH, turbidité, ... etc.). Cette pollution peut être causée par un rejet d'eau douce qui fait diminuer la salinité, par rejet d'eau chauffée qui fait augmenter la température des eaux ou par un rejet de substances modifiant la turbidité du milieu ... etc. (**LEDIREACH, 2013**).

1.3. Sources de pollutions

Les pollutions accidentelles, telles que les marées noires, sont souvent les plus médiatisées, alors qu'elles ne représentent que peu de choses, en termes d'impact, par rapport aux pollutions chroniques qui sont d'origine terrestre.

En effet, d'après **GOEURY (2014)**, 80 % de la pollution marine est d'origine terrestre : les polluants sont transportés en mer par ruissellement des eaux suivants la dynamique des bassins versants et par dépôt atmosphérique sur la surface marine par l'intermédiaire du régime des vents.

Les principales sources de pollution d'origine terrestre sont les suivantes :

1.3.1. La pollution domestique

Elle constitue le principal émetteur de phosphore. C'est un mélange d'eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments et déjections humaines contenant : des graisses, des savons, des détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes organiques et/ou minérales (**ORE POITOU-CHARENTES, 2015**).

1.3.2. La pollution agricole

C'est le principal émetteur d'azote et le second émetteur de phosphore. Cette pollution est due à l'utilisation massive des engrais et des produits phytosanitaires et à l'épandage des effluents d'élevage (**ORE POITOU-CHARENTES, 2015**).

1.3.3. La pollution industrielle

Ces rejets se distinguent des rejets urbains par la forte concentration et la grande homogénéité des polluants.

L'activité industrielle engendre une pollution chimique (par l'apport de métaux lourds, les hydrocarbures, les solvants chlorés, ... etc.), une pollution thermique (lors du refroidissement des installations par les eaux marines) et une pollution radioactive (liée aux rejets de déchets radioactifs), ajoutant à cela les rejets de polluants volatils et persistants (pesticides, métaux lourds, PCB-polychlorobiphényles-) qui rejoignent la mer sous forme de dépôts atmosphériques (**GOEURY, 2014 ; ORE POITOU-CHARENTES, 2015**).

1.4. Descripteurs du milieu

Ces descripteurs permettent d'évaluer l'état du milieu. La variation de ces paramètres offre la possibilité de détecter une pollution et d'estimer son ampleur.

Parmi ces paramètres on distingue :

1.4.1. La température (T) (°C)

La température constitue un descripteur de base pour la connaissance du milieu marin.

En milieu océanique, ce paramètre, associé à la salinité, est utilisé pour la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique.

La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation et au traitement d'autres paramètres tels que la saturation des gaz dissous et le pH (**AMINOT et KEROUEL, 2004**).

1.4.2. La salinité (S) (PSU)

La salinité constitue aussi un descripteur de base du milieu marin et se trouve normalement combinée à la mesure de la température.

SØRENSEN (1902) définit la salinité comme étant « *la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toutes la matière organique oxydée* » (**AMINOT et KEROUEL, 2004**).

En milieu côtier et estuarien, la salinité présente un traceur idéal des mélanges « eau douce-eau de mer ».

Elle sert aussi à l'interprétation et au traitement de la plupart des autres paramètres (**AMINOT et KEROUEL, 2004**).

1.4.3. L'oxygène dissous (OD) (mg/l)

La mesure concerne l'oxygène moléculaire O₂ en solution dans l'eau de mer.

Ce paramètre constitue un facteur important dans l'évaluation de la qualité du milieu car il peut indiquer l'aptitude du milieu à maintenir la vie ou à absorber une pollution.

Sa mesure est recommandée pour les zones sensibles, les zones semi-fermées ou les zones d'activité aquacole pouvant recevoir des rejets (AMINOT et KEROUEL, 2004).

1.4.4. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH reflète l'acidité d'un milieu que SØRENSEN (1909) définit comme étant « *le cologarithme décimal de la concentration en ions H⁺* » ($pH = -\log_{10} [H^+]$) (AMINOT et KEROUEL, 2004).

Le pH de l'eau de mer influe sur de nombreux processus chimiques (spéciation des espèces mineurs : précipitation, dissolution, complexations) et biologiques (réactions enzymatiques).

La variation du pH naturel peut indiquer certaines pollutions directes ou indirectes tels que l'accumulation des matières organiques d'origine continentale et les rejets urbains et industriels (AMINOT et KEROUEL, 2004).

1.4.5. La turbidité (NTU)

Elle est définie selon la norme ISO 7027 comme étant « *la réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes* » (AFNOR, 1999b in AMINOT et KEROUEL, 2004).

La turbidité des milieux côtiers et estuariens peut indiquer la présence de rejets chargés en particules, un apport continental de matériel solide, une remise en suspension de dépôts sédimentaires ou une poussée phytoplanctonique intense due à des apports nutritifs continentaux (AMINOT et KEROUEL, 2004).

1.4.6. Les matières en suspension (MES) (mg/l)

Les MES en milieu marin impliquent toutes les particules, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne ou météorique (IVANOFF, 1972 in AMINOT et KEROUEL, 2004).

Cette définition indique que la mesure des MES est un paramètre non spécifique. Cependant, cette mesure est importante pour l'interprétation des concentrations des substances particulières surtout dans les milieux côtiers et estuariens qui sont soumis aux apports de matériel solide continental et à la remise en suspension et le transport des dépôts sédimentaires (AMINOT et KEROUEL, 2004).

2. Les hydrocarbures (HC)

2.1. Définition

Les hydrocarbures sont composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (C et H).

Un atome de carbone a une valence de quatre, il peut être relié à quatre atomes d'hydrogène ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples ou doubles. Dans ce dernier cas, les chaînes carbonées (enchaînement d'atomes de carbone) peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques.

En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires tels que les atomes de soufre, d'azote et d'oxygène qui rentrent dans la composition de certains hydrocarbures (résines et asphaltènes) (FATTAL, 2008).

2.2. Classification

Les différentes caractéristiques de linéarité, d'insaturation et de cyclisation des molécules hydrocarbonées sont retrouvées en combinaison multiples, ce qui permet au groupe des hydrocarbures d'être particulièrement riche et varié (PICOT et MONTANDON, 2013).

Donc on peut les classer selon leur degré de saturation (saturés ou insaturés) et aussi selon la structure de leur chaîne hydrocarbonée (linéaires ou cycliques).

Dans le groupe des composés cycliques, les atomes de carbone forment un ou plusieurs cycles fermés. Une attention toute particulière sera accordée au groupe des composés cycliques insaturés que sont les hydrocarbures aromatiques ou arènes (PICOT et MONTANDON, 2013).

2.2.1. Hydrocarbures saturés

Dans cette classe, toutes les liaisons sont simples (FATTAL, 2008).

Les hydrocarbures saturés sont constitués par les paraffines et les cycloparaffines.

2.2.1.1. Les paraffines (alcane) : aliphatiques

Les paraffines sont des hydrocarbures légers à chaîne droite (n-alcane) ou ramifiés (iso-alcane).

Ils représentent environ 30 % du poids des pétroles brutes. Ils sont peu nocifs (sauf pour les plus légers d'entre eux, à moins de 12 atomes de carbone) (FATTAL, 2008).

2.2.1.2. *Les cycloparaffines ou naphènes (cycloalcanes)*

Les chaînes hydrocarbonées peuvent se fermer sur elles-mêmes en formant des cycles. Chaque atome de carbone du cycle est lié à 2 atomes d'hydrogène ou à des ramifications (**LEFEBVRE, 1978 ; FATTAL, 2008**).

Ces cycloalcanes représentent en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts et ils sont peu toxiques (**FATTAL, 2008**).

2.2.2. *Les hydrocarbures insaturés*

Alors que dans les alcanes et dans les cycloalcanes, la molécule comportait le nombre maximal d'atomes d'hydrogène, les hydrocarbures insaturés présentent un déficit en hydrogène, donc ils ne sont pas saturés.

Les hydrocarbures insaturés sont représentés par les alcènes et les alcynes (**LEFEBVRE, 1978**).

2.2.2.1. *Les alcènes (oléfines)*

Ils comportent dans leurs molécules deux atomes d'hydrogène de moins que les hydrocarbures saturés correspondants. Le déficit en hydrogène est localisé au niveau des doubles liaisons (**LEFEBVRE, 1978**).

2.2.2.2. *Les alcynes*

Ces hydrocarbures insaturés sont caractérisés par la présence dans leurs molécules d'une triple liaison (**LEFEBVRE, 1978**).

2.2.3. *Les hydrocarbures aromatiques (arènes)*

Cette classe d'hydrocarbures qui, bien que présentant certains caractères chimiques des hydrocarbures saturés (réaction de substitution), bien qu'étant insaturés, se distinguent de l'un et de l'autre de ces deux groupes (**LEFEBVRE, 1978**).

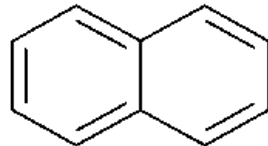
Le squelette de base des hydrocarbures aromatiques est le benzène (nom générique du 1, 3,5-cyclohexatriène) : composé en 6 carbones présentant trois doubles liaisons conjuguées (une alternance de liaisons doubles et simples).

Ces composés peuvent présenter un seul cycle (mono-arènes) ou plusieurs cycles (polyarènes ou polyaromatiques (**PICOT et MONTANDON, 2013**)).

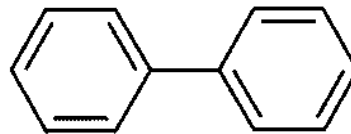
- *Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)*

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques se caractérisent par l'assemblage de plusieurs cycles benzéniques, ceux-ci peuvent être accolés seulement par un de leur sommet (**PICOT et MONTANDON, 2013**).

Les HAP forment généralement 40 % des pétroles bruts, ils sont toxiques et persistants. La toxicité est due à leur insolubilité qualifiée comme « Unresolved Complex Mixture » (UCM) (**AMIARD, 2005 in FATTAL, 2008**).



Naphtalène



Biphényle

2.2.4. Les asphaltènes et les résines

2.2.4.1. Les asphaltènes

Ce sont des composés stables de très haut poids moléculaire, qui en plus des atomes de carbone et d'hydrogène contiennent des hétéroatomes d'azote, de soufre ou d'oxygène, ainsi que d'autres composants à l'état de trace tels que le Nickel et la Vanadium (**MARCHAND, 1998 in FATTAL, 2008**).

2.2.4.2. Les résines

Elles sont riches en carbone, composées d'enchevêtrement de plus de 6 cycles benzéniques (**FATTAL, 2008**).

Les résines sont très stables et persistants, elles forment des goudrons sur les littoraux (**FATTAL, 2008**).

3. Les origines de la pollution marine par les hydrocarbures

Les hydrocarbures entrent dans la mer à partir d'une variété de sources, ils ont soit une origine anthropique ou une origine naturelle.

3.1. Les apports atmosphériques

Les apports atmosphériques en hydrocarbures dans le milieu marin proviennent des différentes émissions continentales issues de la forte combustion des combustibles fossiles (**CHOISEUL et al., 1998 ; WESTERHOLM et al., 1988 in BACHOUCHE, 2017**). Ces apports présentent de loin les apports les plus importants dans les systèmes ouverts (**TSAPAKIS et al., 2003 in AZOURY, 2013**).

Ils comprennent les dépôts secs et humides qui concernent particulièrement les HAP à 4 cycles aromatiques ainsi que les échanges gazeux à l'interface eau / air qui concernent surtout les HAP à 2 et 3 cycles aromatiques (**TSAPAKIS et al., 2006 in AZOURY, 2013**).

3.2. Les eaux de ballast

Après qu'un pétrolier décharge sa cargaison de pétrole, il doit prendre de l'eau de mer comme ballast pour le voyage de retour. Ce ballast, habituellement stocké dans les compartiments de cargaison qui contenait précédemment l'huile lors du déchargement, piège une certaine quantité d'huile. Cette eau de ballast sale qui est déversée en mer pendant le voyage de retour, est responsable d'une grande partie de la pollution accidentelle des océans (**CLARK, 2011**).

3.3. Les eaux de cale

Tous les navires, y compris les pétroliers, nécessitent une mise en cale sèche pour l'entretien, la réparation, le nettoyage de la coque...etc. Il est essentiel que toute l'huile soit retirée des compartiments de cargaison des pétroliers et des réservoirs de carburant de tous les navires afin d'éviter le risque d'explosion des gaz de pétrole. Ces eaux de cale sont directement déversées en mer puisque, d'une manière générale, beaucoup de chantiers n'ont pas fourni des installations de réception, mais la situation s'est améliorée et la quantité d'huile atteignant la mer a été ramenée de 30000 t en 1981 à moins de 10000 t en 2000 (**CLARK, 2011**).

3.4. Les terminaux maritimes

Les terminaux maritimes représentent les installations de pompage et de stockage à l'extrémité d'un pipeline.

Le record mondial des marées noires est détenu par un déversement au niveau d'un terminal lors de la première guerre du Golfe au Koweït (**CEDRE, 2006**).

Les accidents liés à l'erreur humaine et au niveau du pipeline sont un accompagnement inévitable pour le chargement de l'huile sur les pétroliers et le déchargement sur les terminaux pétroliers (**CLARK, 2011**).

3.5. La démolition et le recyclage des navires

Une industrie locative, en particulier sur la côte de l'Inde et le Sud-est de l'Asie, est la mise au rebut des navires, ceux-ci sont amenés à terre et brisés pour récupérer les métaux,... etc. L'huile et les matières toxiques restant dans les navires sont généralement rejetées en mer. La quantité totale d'huile, estimée à 1500 t/an, n'est pas énorme, mais provoque des dommages locaux (CLARK, 2011).

3.6. Les accidents de pétroliers

Les intrants d'huile à la mer provenant des accidents de pétroliers ont été considérablement réduits au cours des 20 dernières années, mais continuent d'être fréquents et plusieurs exemples d'accidents catastrophiques existent (CLARK, 2011) :

- En mars 1978, l'Amoco Cadiz, transportant 223 000 t de pétrole brut a été détruit sur la côte de Bretagne et a perdu toute sa cargaison, causant des dégâts immenses sur une vaste zone ;
- Le pétrolier Exxon Valdez s'est échoué en Alaska, en mars 1989 et a déversé 37 000 t de pétrole brut, qui a débarqué sur près de 800 km de côte ;
- The tanker Braer en Grande Bretagne (1993) ;
- Erika dans les côtes Breagnes de France (1999).

3.7. Les accidents de navires non-pétroliers

Quand un navire non-pétrolier fait un accident, son carburant est déversé directement en mer. Certains navires de charge, en particulier les vraquiers, sont maintenant énormes et transportent autant de pétrole qu'un pétrolier des années 1960 qui transportait du pétrole brut. Donc cette source de contamination des mers par les hydrocarbures n'est pas négligeable (CLARK, 2011).

3.8. La production de pétrole en mer

Les hydrocarbures extraits du fond marin contiennent invariablement de l'eau (eau de production) qui doit être extraite avant que les hydrocarbures ne soient transportés dans la raffinerie. Cela se fait par des séparateurs d'huile sur la plate-forme, cette eau est ensuite déchargée en mer. Elle porte habituellement une concentration en HC inférieure à 40 ppm, ce qui présente au total une quantité substantielle (CLARK, 2011).

3.9. Le déversement autorisé en mer

Les chenaux de navigation dans les estuaires et les ports ont souvent besoin d'un dragage régulier en raison de leur envasement. Les déchets de dragage, qui est généralement rejetés au large, contiennent des résidus d'hydrocarbures.

De nombreux types de déchets solides urbains et industriels, qui sont autorisés à être déversés en mer, peuvent également contenir des hydrocarbures pétroliers (CLARK, 2011).

3.10. Les sources naturelles

Ces sources représentent tous les hydrocarbures biogéniques produits par les organismes marins, ainsi que ceux qui proviennent de suintements naturels.

3.10.1. Suintements naturels des sous-sols marins

Ce phénomène est observé lorsqu'il y a une remontée des hydrocarbures fossiles contenues dans certains gisements dans des zones où l'activité sismique est importante. Ce sont des dépôts de pétrole situés près de la surface de la Terre. Les lacs de Trinidad sont le produit d'infiltrations naturelles et des infiltrations d'hydrocarbures côtiers dans de nombreuses parties du monde (CLARK, 2011).

3.10.2. Biosynthèse

Les dépôts de pétrole sont produits par des restes végétaux fossilisés dans des conditions maritimes (le charbon résulte de conditions d'eau douce). Ces hydrocarbures sont soit des produits de synthèse de la matière vivante, soit des métabolites issus de l'ingestion d'hydrocarbures par les organismes vivants. Les principaux producteurs d'hydrocarbures biogènes sont le phytoplancton, le zooplancton, les algues benthiques, les macrophytes des eaux côtières, les bactéries ainsi que les plantes terrestres. Les estimations de la production annuelle d'hydrocarbures biogéniques qui sont déversés dans la mer sont inévitablement vagues (CLARK, 2011).

4. Les propriétés physiques des hydrocarbures

Chaque type d'hydrocarbures possède ses propres caractéristiques physiques qui le distinguent des autres types d'hydrocarbures. Ces propriétés influent sur le comportement des hydrocarbures dans le milieu et permettent donc de décrire leur état de vieillissement.

Ces propriétés physiques sont principalement :

4.1. La densité

Elle permet de déterminer la flottabilité des hydrocarbures dans l'eau en distinguant les hydrocarbures légers et lourds (OMI, 2005 ; FATTAL, 2008 ; CEAEQ, 2015).

Cette propriété est généralement exprimée en unité de masse par unité de volume ou en degré API (American Petroleum Institute) qui ajuste la densité des hydrocarbures pétroliers à 15,5°C (60°F) selon la formule suivante :

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{densité} - 131,5$$

De sorte que l'eau possède un degré API égale à 10 (équivalent de 1 g/cm³). Ainsi, les hydrocarbures ayant des degrés API supérieurs à 10 sont moins denses que l'eau et auront tendance à flotter, alors que les autres auront tendance à couler (**FATTAL, 2008 ; CEAEQ, 2015**).

La densité des hydrocarbures peut varier dans le milieu sous l'influence d'un certain nombre de facteurs tels que la température et l'association avec d'autres particules (**FATTAL, 2008**).

Elle peut donner des indications sur d'autres propriétés telles que la viscosité et la teneur en composants volatils (**ITOPF, 2012**).

4.2. La viscosité

La viscosité d'un fluide est définie comme sa résistance à l'écoulement. Elle est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres (**FATTAL, 2008**). Elle est exprimée en centistokes (cSt = mm².s⁻¹) (viscosité cinématique) (**ITOPF, 2012**) et essentiellement déterminée par la proportion des composés légers et lourds que contiennent les hydrocarbures (**CEAEQ, 2015**).

Cette propriété influe sur la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis sur le degré de pénétration dans le sédiment lorsqu'elle arrive à la côte (**FATTAL, 2008**).

La viscosité est principalement influencée par la température, mais aussi par l'évaporation des composés volatils, la photo-oxydation et l'émulsification (**FATTAL, 2008**).

4.3. Le point d'écoulement

Le point d'écoulement représente la température au-dessous de laquelle un hydrocarbure commence à s'écouler (**CEAEQ, 2015**).

Cette température est fortement liée à la viscosité et à la teneur en paraffines et asphaltènes cependant elle augmente avec l'accroissement de cette teneur (**ITOPF, 2012 ; CEAEQ, 2015**). Ainsi, les composés paraffiniques peuvent former des structures cristallines en atteignant une certaine température appelée « *point trouble* ». Lorsque cette température baisse, ces structures vont compromettre l'écoulement de l'hydrocarbure (**ITOPF, 2012**).

4.4. Le point d'éclair

Le point d'éclair est la plus basse température à laquelle un produit dégage suffisamment de vapeur pour former avec l'air un mélange qui s'enflamme en contact d'une étincelle (**CEAEQ, 2015**).

Ainsi, beaucoup d'hydrocarbures nouvellement déversés peuvent s'enflammer facilement tant que les composés volatils ne se sont pas évaporés (**FINGAS, 2013 in CEAEQ, 2015**).

4.5. La tension superficielle

La tension superficielle correspond à la force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce à l'interface eau-hydrocarbure. Plus cette tension est faible, plus les hydrocarbures se répandront facilement sur l'eau, même sans intervention des courants de vent et d'eau. De plus, les hydrocarbures sont plus susceptibles de se propager dans les eaux plus chaudes que dans les eaux très froides, parce que des températures accrues peuvent réduire la tension superficielle d'un liquide (**USEPA, 1993 in EINARSSON, 2009 ; FINGAS, 2013 in CEAEQ, 2015**).

4.6. La solubilité

La solubilité est la capacité d'une substance à se dissoudre dans la colonne d'eau. Cette propriété est importante chez les hydrocarbures, car certains, une fois solubilisés, peuvent devenir toxiques pour les organismes aquatiques (**FINGAS, 2013 in CEAEQ, 2015**).

4.7. La pression de vapeur

Cette propriété donne une autre indication sur la volatilité d'un hydrocarbure. Elle est généralement citée en pression de vapeur Reid et mesurée à 37,8°C. Dans la plupart des conditions, une pression de vapeur supérieure à 3 kPa (23 mmHg) est requise pour que l'évaporation se produise (**ITOPF, 2012**).

4.8. Le point d'ébullition

Chaque fraction d'hydrocarbure a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures relativement basses, inférieures à 20°C. Contrairement aux fractions lourdes qui leur faut des températures supérieures à 100°C pour s'évaporer (**FATTAL, 2008**).

5. Le comportement des hydrocarbures dans le milieu marin

Comprendre le comportement des hydrocarbures déversés en mer est une étape primordiale pour déterminer les opérations de lutte antipollution les plus efficaces.

En effet, un hydrocarbure déversé en mer est modifié physiquement et chimiquement par différents processus entraînant soit son élimination de la surface de l'eau, ou bien sa persistance.

5.1. Les modifications physiques

5.1.1. Étalement

Une fois déversé, le pétrole a immédiatement tendance à s'étaler à la surface de l'eau, cet étalement est un phénomène extrêmement complexe qui dépend des caractéristiques physico-chimiques du pétrole (densité, viscosité, ...etc.), puisque les hydrocarbures fluides à faible viscosité s'étalent beaucoup plus rapidement que les hydrocarbures à haute viscosité. Ce processus dépend aussi des conditions environnementales au moment et à l'endroit du déversement (LACAZE, 1980 ; ITOF, 2012 ; CEAEQ, 2014).

Les hydrocarbures s'étalent sous forme de nappe continue mais se fragmentent vite. Au fur et à mesure qu'ils s'étalent et que leur épaisseur diminue, leur couleur évolue du noir ou brun foncé des zones épaisses (de 100µm à quelques mm ou même cm) à une irisation iridescente et argentée en bordure de la nappe (de l'ordre de 5 µm à moins de 0,1 µm) (BOCARD, 2006 ; ITOF, 2012).

L'étalement d'une nappe met en jeu des forces motrices et des forces d'opposition (résistantes), qui sont :

- Forces gravitationnelles ;
- Forces de tension de surface : Tensions superficielles aux interfaces eau-air, hydrocarbure-air, eau-hydrocarbure ;
- Forces de viscosité : Frottement visqueux à l'interface eau-pétrole ;
- Forces d'inertie : Quantité de mouvement dans la nappe d'hydrocarbures.

Une étude de **FAY (1970)**, vérifiée expérimentalement, montre qu'il existe, après un déversement, trois phases d'étalement en fonction du temps :

Tableau I.1 : Phases d'étalement d'un hydrocarbure (FAY, 1971 in GOEURY, 2012)

Phase	Force motrice	Force résistante
1	Gravité	Inertie
2	Gravité	Viscosité
3	Tension superficielle	Viscosité

La théorie de FAY ne permet pas d'estimer l'étalement de façon réaliste, puisqu'elle n'est valable que pour un étalement circulaire sans vent. De nombreuses propositions ont été alors

formulées pour améliorer cette théorie, mais il semble difficile de rendre compte de l'ensemble des phénomènes **(BOCARD, 2006)**.

5.1.2. Évaporation

L'évaporation présente le premier et le plus important processus de transformation impliqué dans le transfert de masse (c.à.d. élimination du pétrole de la mer) qui se produit lors des deux premiers jours d'évolution de la nappe **(EINARSSON, 2009 ; GOEURY, 2012)**.

Ce processus fait que les composants ayant une faible température d'ébullition vont être rapidement éliminés, ce qui réduit le volume de la nappe elle-même. Et plus il y a des composants qui ont des points d'ébullition faibles, plus l'évaporation est importante **(SEBASTIÃO et GUEDES-SOARES, 1995 in EINARSSON, 2009)**.

Il a été estimé que durant les quelques premiers jours qui suivent l'accident de déversement, les nappes légères peuvent perdre jusqu'à 75% de leur volume initial, les nappes moyennes environ 40%, mais les nappes lourdes ne perdent pas plus que 10% de leur volume initial **(KITSIOU et KARYDIS, 2014)**.

Ce phénomène est aussi favorisé par les vents forts, les températures élevées, les vagues, mais il est ralenti par l'épaisseur de la nappe. Donc le degré d'étalement initial de celle-ci affecte le taux d'évaporation **(LACAZE, 1980 ; ITOPF, 2012)**.

5.1.3. Dissolution

On estime qu'une très faible partie de la masse d'hydrocarbure déversée va se dissoudre dans l'eau, puisque la solubilité de la plupart des composants du pétrole est faible **(LACAZE, 1980 ; GOEURY, 2012)**.

La dissolution augmente à mesure que le poids moléculaire diminue, que la température augmente, que la salinité décroît et que les concentrations de matière organique dissoute augmentent **(CEAEQ, 2014)**.

Les composants lourds des pétroles sont pratiquement insolubles dans l'eau tandis que les composants plus légers, particulièrement les aromatiques comme le benzène et toluène, sont légèrement solubles. Or, ces composées sont également les plus volatils et se perdent très rapidement par évaporation, soit généralement 10 à 1000 fois plus vite qu'ils ne se dissolvent **(ITOPF, 2012)**.

Les concentrations des HC dissous excèdent rarement 1 ppm et la dissolution ne contribue pas significativement à la disparition de la nappe de pétrole de la surface de la mer. Donc le transfert de masse dû à l'évaporation prédomine sur celui dû à la dissolution. Néanmoins, la dissolution

est l'un des principaux processus régissant les effets toxicologiques d'un déversement de pétrole brut (ITOPF, 2012 ; GOEURY, 2012 ; CEAEQ, 2014).

5.1.4. *Emulsification*

L'émulsification est un processus d'incorporation de gouttelettes d'eau dans les hydrocarbures pétroliers. Ceci augmente le volume du produit déversé (multiplié par 3 ou 4), et modifie certaines propriétés physiques des hydrocarbures, telles que la viscosité et la densité (qui tend vers celle de l'eau). Par conséquent, les autres processus qui dissiperaient le pétrole sont retardés (SEBASTIÃO et GUEDES-SOARES, 1995 in EINARSSON, 2009 ; GOEURY, 2012 ; FINGAS, 2013 in CEAEQ, 2015).

Les émulsions peuvent être stables ou instables (ITOPF, 2012) :

- Celles qui sont stables peuvent contenir jusqu'à 70 à 80% d'eau, sont souvent semi-solides, et ont une couleur intense rouge / brune, orange, ou jaune. Elles sont hautement persistantes et peuvent rester émulsionnées indéfiniment ;
- Les émulsions moins stables peuvent se séparer en huile et eau sous l'effet de la chaleur solaire, par mer calme, ou par échouement sur le littoral.

En mer, le phénomène d'émulsification est le processus le plus défavorable au regard de l'impact des pollutions et des possibilités de traitement en raison de l'augmentation du volume du polluant et de l'augmentation de la viscosité (GOEURY, 2012).

5.1.5. *Floculation*

La floculation résulte de l'agrégation des fines ou pélites (très fines particules de taille $< 4 \mu\text{m}$), contenue dans l'eau de mer, sur les gouttelettes d'hydrocarbures (FATTAL, 2008 ; ITOPF, 2012).

Un mouvement suffisant de l'eau donne naissance aux gouttelettes d'hydrocarbures et les dispersent. Ces dernières s'adhèrent par la suite aux fines par interactions de charges électriques (ponts cationiques) entre la surface des particules et les composés polaires des hydrocarbures, ce qui provoque la formation d'agrégats HC-MES (BANDARA et al., 2011 in CEAEQ, 2015).

Ces agrégats peuvent être formés également par interaction des hydrocarbures dissous avec les sédiments par agrégation directe ou par adsorption (LEE, 2002 in CEAEQ, 2015).

Les principaux facteurs influençant l'agrégation sont (GONG et al., 2014 ; FITZPATRICK et al., 2015 in CEAEQ, 2015) :

- La composition chimique des hydrocarbures ;
- Les propriétés physiques des hydrocarbures (notamment la viscosité, la taille des gouttelettes, la densité et la concentration) ;

- Les propriétés physiques des MES (telles que la composition, la granulométrie, la teneur en matière organique, la densité, l'hydrophobicité et la concentration) ;
- Les conditions environnementales (la température, le pH, la salinité, l'hydrodynamisme).

Ces agrégats contribuent au devenir des hydrocarbures dans le milieu aquatique par **(FITZPATRICK et al., 2015 in CEAEQ, 2015)** :

- Stabilisation des gouttelettes d'hydrocarbure ;
- Augmentation de la densité spécifique des gouttelettes recouvertes de particules provoquant la dispersion des hydrocarbures dans la colonne d'eau ou leur sédimentation ;
- Augmentation de la surface de contact entre les hydrocarbures et les microorganismes qui les dégradent.

Si la densité des agrégats devient suffisamment élevée, les hydrocarbures auront alors tendance à sédimenter (c'est le cas dans les zones littorales). Et si leur densité n'augmente pas significativement, les particules en suspension vont devenir un moyen de transport pour les hydrocarbures. C'est particulièrement le cas en milieu marin **(VOICE et al., 1983, WU et GSCHWEND, 1986 in CEAEQ, 2015)**.

5.1.6. Sédimentation

La sédimentation représente l'un des principaux processus qui aboutissent à l'accumulation à long terme des hydrocarbures déversés dans le milieu marin **(ITOPF, 2012)**.

Elle est définie comme « *le passage du pétrole de la masse d'eau ou de la surface vers le fond ; elle se présente lorsque la densité des résidus goudronneux excède celle de l'eau de mer* » **(LACAZE, 1980)**.

Les facteurs responsables de la sédimentation des hydrocarbures sur le fond marin sont principalement **(FATTAL, 2008)** :

- L'adsorption ;
- La dégradation physico-chimique ;
- L'évaporation et la solubilisation des composés légers.

Ce processus n'est observé que dans des eaux peu profondes, à proximité du littoral à cause de l'interaction des hydrocarbures avec celui-ci. Les gouttelettes d'hydrocarbure dispersé s'adsorbent sur les matières en suspension (MES) et la matière organique (MO) créant ainsi des conditions favorables à leur sédimentation. Le dépôt des particules éoliennes sur l'hydrocarbure flottant favorise aussi sa sédimentation **(ITOPF, 2012)**.

Au large, ce processus peut se réaliser par ingestion des hydrocarbures par les organismes planctoniques et leur incorporation dans les pelotes fécales qui tombent ensuite sur le fond marin **(ITOPF, 2012)**.

5.2. La dégradation chimique

Ce type de dégradation atteint la structure des molécules et la modifie, ce qui provoque la modification et le vieillissement du pétrole déversé.

La modification chimique des hydrocarbures inclue la photo-oxydation et la biodégradation.

5.2.1. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une réaction d'oxydation favorisée par la lumière solaire dont elle présente un facteur important dans la réduction d'une nappe d'hydrocarbures (**EINARSSON, 2009 ; CEAEQ, 2014**).

La réaction des hydrocarbures avec l'oxygène entraîne leur décomposition en produits solubles et/ou leur combinaison pour former des goudrons persistants.

Les films minces d'hydrocarbures tendent à se décomposer lentement à des taux ne dépassant pas 0,1% par jour. Alors que les couches épaisses d'hydrocarbures très visqueux ou d'émulsions eau-dans-l'huile ont tendance à s'oxyder en résidus persistants plutôt qu'à se dégrader. C'est l'exemple des boulettes de goudron échouées sur le littoral qui sont constituées généralement d'une croute externe solide composée d'hydrocarbure oxydé et des particules sédimentaires entourant un intérieur plus mou et moins altéré par le vieillissement (**EINARSSON, 2009 ; ITOPF, 2012**).

L'altération des hydrocarbures dans les systèmes aquatiques par photo-oxydation augmente avec l'intensité du soleil. Mais, bien qu'elle se produit pendant toute la durée de déversement, son effet global reste minime en comparaison avec d'autres processus d'altération (**EINARSSON, 2009 ; ITOPF, 2012 ; CEAEQ, 2014**).

5.2.2. Biodégradation

L'eau de mer contient divers micro-organismes (bactéries, moisissures, levures, champignons, micro-algues et protozoaires) pour lesquels les hydrocarbures peuvent présenter une source de carbone et d'énergie. La coexistence de ceux-ci joue un rôle crucial dans la décontamination des milieux pollués par ces substances.

La biodégradation ne se produit que sur une interface « Eau-HC », puisque les micro-organismes vivent dans des eaux contenant suffisamment d'oxygène et de nutriments (**ITOPF, 2012**).

Chaque type de micro-organismes impliqués dans ce processus tend à dégrader des composés spécifiques d'hydrocarbures. Ainsi, pour les bactéries, on constate *Cycloclasticus spp.* qui décomposent les HAP et *Alcanivorax spp.* qui décomposent les alcanes (**révision de McGENITY et al., 2012 in CEAEQ, 2014**). Pour cela, une large gamme de micro-organismes devant agir ensemble ou successivement pour que la biodégradation puisse continuer (**ITOPF, 2012**).

Au cours de la réaction de biodégradation, divers composés intermédiaires sont produits, mais les produits finaux sont le dioxyde de carbone et l'eau (**ITOPF, 2012**).

Presque tous les hydrocarbures sont biodégradables, allant du méthane jusqu'aux résidus lourds. Cependant la vitesse de dégradation est très variable et peu connue dans les conditions naturelles en raison de la diversité des facteurs qui l'influent (**KITSIOU et KARYDIS, 2014**). Ainsi la vitesse de dégradation décroît comme suit : n-alcanes > n-isolcanes > cyclo-alcanes > aromatiques (**LACAZE, 1980**).

Parmi les principaux facteurs influençant la biodégradation, on constate :

- *Le poids moléculaire de l'hydrocarbure* : plus il est élevé, plus la dégradation devient difficile (**KITSIOU et KARYDIS, 2014**) ;
- *La température* : c'est un facteur limitant dont la biodégradation évolue proportionnellement à ce paramètre ;
- *La teneur en oxygène* : qui est souvent critique dans les zones confinées (baies, lagunes, fonds marins). Ce facteur est aussi limitant pour la biodégradation ;
- *Les éléments nutritifs* : notamment l'azote et le phosphore (facteur limitant) (**LACAZE, 1980**) ;
- *Autres facteurs* : tels que la nécessité de l'existence d'autres substances organiques, la présence d'autres sources de carbone et la présence de prédateurs se nourrissant au détriment de ces micro-organismes (**NAS, 1975 in LACAZE, 1980**).

La biodégradation constitue donc l'un des mécanismes fondamentaux qui assurent l'élimination, à long terme, des dernières traces d'hydrocarbures sur des littoraux fréquemment submergés (**ITOPF, 2012**).

6. Les impacts des hydrocarbures

6.1. Impact des hydrocarbures sur les littoraux

Les côtes les plus vulnérables à la pollution par les hydrocarbures sont celles qui sont influencées par les marées, notamment les plages abritées et peu pentues. Cette pollution est limitée à une bande étroite proche de la laisse de haute mer où les hydrocarbures échoués peuvent avoir différentes formes allant des flaques liquides aux boulettes éparées en passant par tous les degrés intermédiaires.

La persistance des hydrocarbures sur les littoraux dépend :

- Du type du littoral (côtes rocheuses, côtes sableuses, marais vaseux abrités) ;
- De la nature des hydrocarbures échoués ;
- Des processus d'élimination naturels qui sont l'abrasion et la dispersion naturelle accélérée par la température et l'exposition aux vagues ;
- Des taux de biodégradation et d'oxydation à long terme.

Sur les plages sableuses, les hydrocarbures échoués seront rapidement recouverts par le sable par l'effet des vents. Les hydrocarbures liquides à faible viscosité peuvent imbiber le sable et atteindre des profondeurs importantes selon la granulométrie du substrat et l'humidité dont un sable fin et humide absorbera moins qu'un sable grossier et sec. Ces hydrocarbures enfouis persistent longtemps car ils sont protégés contre la dégradation par manque d'oxygène et contre l'action des vagues.

Dans les côtes rocheuses, le problème concerne une autre forme d'hydrocarbures échoués, c'est celui des boulettes des hydrocarbures qui sont très résistantes au vieillissement. Sur un substrat meuble et sous une forte lumière, ces boulettes peuvent se dégrader facilement, mais sur des surfaces dures, telles que les rochers et les quais, la lumière intense favorise l'adhésion et l'engluement des hydrocarbures sur ces substrats, ce qui rend leur collecte difficile.

Dans les littoraux abrités (tels que les marais), le problème de persistance est intensifié à cause de la faible énergie des vagues dans ces endroits (ITOPF, 2013a).

6.2. Impact des hydrocarbures sur les organismes marins

L'exposition des organismes aux hydrocarbures peut avoir diverses implications. Commencant par les interférences physiques du comportement (locomotion, nutrition, ... etc.), aux phénomènes de colmatages et d'étouffements, arrivant aux infections et aux phénomènes de toxicité létale dus à l'exposition ou à l'ingestion des composés toxiques comme les HAP.

Mais le risque ne s'arrête pas ici, il est suivi par une série d'effets indirects qui atteint l'équilibre des communautés, soit par manque de nourriture dû à l'élimination des proies (par les HC) ou bien par la prolifération de certains organismes suite à l'élimination du prédateur.

Ce déséquilibre peut aussi avoir lieu au sein d'une même communauté par l'élimination ou l'affaiblissement d'espèces clés qui gèrent les interactions à l'intérieur de cette communauté (SEMELIN, 2004).

6.2.1. Oiseaux marins

Les oiseaux marins sont exposés aux hydrocarbures soit en se posant sur une nappe d'hydrocarbures, en nageant sur la nappe ou en la traversant et faisant surface (CEAEQ, 2014).

Ce contact avec les hydrocarbures provoque une modification physique des plumes causant ainsi (CE, 1998 in SEMELIN, 2004 ; CEAEQ, 2014) :

- Des pertes de chaleur induisant une dépense d'énergie en réponse au besoin d'augmentation du métabolisme pour maintenir la température corporelle. Et cela peut conduire à la mort par faim ou hypothermie ;
- Des problèmes de flottabilité conduisant à la mort par noyade ou prédation.

Selon **LEIGHTON et al. (1985)**, **CHARDINE (1995)** **WEISE et RYAN (1999)** et **IRON et al. (2000)**, les espèces d'oiseaux plongeurs sont les plus sensibles aux effets d'une nappe d'hydrocarbures par rapport aux autres espèces d'oiseaux (**CEAEQ, 2014**).

Les oiseaux marins sont aussi vulnérables aux hydrocarbures à cause de l'ingestion de ces composés lors de nettoyage de plumage ou suite à la consommation d'aliments ou d'eau contaminés. Cela peut :

- Affecter leur physiologie interne provoquant ainsi des dommages au foie, aux reins et des interférences avec l'excrétion de sel. Et à long terme, ces changements physiologiques peuvent conduire à la mort (**CE, 1998 in SEMELIN, 2004 ; CEAEQ, 2014**) ;
- Provoquer une dépression temporaire de la ponte d'œufs et une réduction du succès d'éclosion des œufs pondus (**CE, 1998 in SEMELIN, 2004**).

Enfin, d'après **NEFF (1985)**, la bioaccumulation des composés pétroliers chez les oiseaux est limitée car les espèces de vertébrés peuvent suffisamment les métaboliser pour minimiser leur bioaccumulation (**HARTUNG, 1995 in CEAEQ, 2014**).

6.2.2. Mammifères et reptiles marins

6.2.2.1. Mammifères marins

Les mammifères marins rencontrent des problèmes similaires à ceux des oiseaux de mer. Les hydrocarbures affectent les mammifères marins par le biais des mécanismes suivants (**O'SULLIVAN A.J. et JAKES T.J., 2003 ; ENGLEHARDT, 1983, GUBBAY et EARLL, 2000, SCHWACKE et al., 2013 in CEAEQ, 2014**) :

- Perte de la chaleur corporelle à la suite du mazoutage de leur pelage (thermo-isolation) ;
- Lésions cutanées, léthargie, intoxication et dommages aux tissus mous comme les muqueuses des yeux et les voies respiratoires, causés par le contact direct avec les hydrocarbures (respiration en surface) ;
- Pathologies des organes internes (foie et reins) provoquée par l'ingestion d'hydrocarbures (proies contaminées) dues à l'exposition à long terme.

6.2.2.2. Reptiles marins (tortues)

Les hydrocarbures flottants peuvent être une menace pour les reptiles marins, tels que les tortues, les iguanes marins et les serpents de mer. Les tortues sont plus particulièrement vulnérables pendant la saison de ponte.

La voie majeure d'exposition aux hydrocarbures pour les tortues de mer est l'inhalation de vapeurs toxiques lorsqu'elles remontent en surface pour prendre de l'air (**NOAA, 2010 in DUPUIS et UCAN-MARIN, 2015**).

Alors que l'ingestion des hydrocarbures est la 2^{ème} voie d'exposition pour les tortues de mer (**LUTCAVAGE et al., 1995 in DUPUIS et UCAN-MARIN, 2015**).

Au rivage, les femelles, les juvéniles et même les œufs peuvent être exposés aux hydrocarbures (car c'est l'endroit où elles pondent leurs œufs) par contact avec les sédiments contaminés (**NOAA, 2010 in DUPUIS et UCAN-MARIN, 2015**).

6.2.3. Poissons

Chaque poisson peut être atteint **directement** par un déversement à travers :

- L'ingestion de gouttelettes de pétrole ou de proie contaminée par les hydrocarbures ;
- L'aspiration de composés du pétrole dissous par les branchies et autres surfaces du corps ;
- Des troubles de la viabilité des œufs et la survie des larves.

En outre, les poissons peuvent être affectés **indirectement** par des modifications causées par les hydrocarbures à leur habitat ou à l'écosystème qui les soutient (**O'SULLIVAN A.J. et JAKUES T.G., 2003**).

Il n'y a pas d'exemples de poissons morts en mer ouverte à cause d'un déversement accidentel d'hydrocarbures. Les poissons pélagiques et benthiques adultes qui vivent en eaux relativement profondes courent un moins grand risque d'exposition parce qu'ils sont mobiles, capables d'éviter les zones contaminées et ont une grande sensibilité aux odeurs pouvant ainsi sentir les hydrocarbures même à des concentrations très faibles (ng/l) (**BØRRESEN, 1993 in EINARSSON, 2009 ; IRWIN, 1997 in CEAEQ, 2014**).

Les larves et les jeunes des poissons pélagiques et benthiques courent un plus grand risque d'exposition parce qu'ils sont moins mobiles que les adultes et parce qu'ils n'ont pas des mécanismes de détoxification. Dans ce cas, c'est les poissons à nageoires qui sont les plus vulnérables aux déversements d'hydrocarbures. Par exemple le saumon rose (**HEINTZ et al, 1999 in KITSIOU et KARYDIS, 2014 ; RICE, 1985 in CEAEQ, 2014**).

6.2.4. Invertébrés benthiques (mollusques et crustacés)

L'immobilité des communautés benthiques augmente leur risque d'exposition aux hydrocarbures dans le cas d'un déversement.

La toxicité sur ces communautés est associée aux fractions persistantes des hydrocarbures (**NRC, 2003 in KITSIOU et KARYDIS, 2014**).

Les crustacés sont les plus affectés. En effet, les hydrocarbures s'adhèrent à la surface de leurs corps et provoque le bouchage des branchies et des mécanismes de nutrition. Ils peuvent aussi pénétrer à l'intérieur de l'organisme à travers les branchies ou la surface du corps ou par ingestion de la nourriture contaminée. Ceux-ci mènent à :

- Des perturbations du comportement reproducteur basé sur l'échange de phénomènes, ce qui aboutit à la diminution des taux de rencontre pour l'accouplement ;
- Des contaminations des œufs (en réduisant le taux d'éclosion) et des larves (en altérant le temps de développement).

La sensibilité des mollusques aux hydrocarbures dépend de leur mode de nutrition (filtreurs, dépositivores, suspensivores, prédateurs, brouteurs, ... etc.). Les bivalves, en particulier, peuvent bioaccumuler des HAP en raison de leur incapacité de les métaboliser, cela mène par la suite à des altérations du métabolisme, de la nutrition, de la filtration, de la croissance et de la formation de la coquille (**SEMELIN, 2004**).

6.2.5. *Plancton*

La couche superficielle où vivent les populations planctoniques est la plus exposée à des concentrations significatives d'hydrocarbures (**CE, 1998 in SEMELIN, 2004**).

Cependant, le phytoplancton semble être plus résistant aux composés pétroliers. Des travaux sur la productivité primaire au niveau du canal de Santa Barbara (Californie) ont signalé que certaines espèces de phytoplancton prospéraient dans des zones à forte teneur en hydrocarbures (**McCAULEY, 1966 in KITSIOU et KARYDIS, 2014**).

Par contre pour les flagellées, **SOTO et al. (1975)** signalaient une perte de mobilité des flagelles après l'exposition aux hydrocarbures, donc ils semblent être beaucoup plus sensibles. Ainsi, des anomalies morphologiques des diatomées et des flagellées ont été marquées (**SMITH, 1968 in KITSIOU et KARYDIS, 2014**) et une diminution de 45 à 50% des concentrations de la chlorophylle a été rapportée par **LEE et al. (2009)** pendant 2 semaines du déversement de pétrole de Hebei Spirit en Corée du Sud provoquant ainsi l'inhibition de la photosynthèse chez ces organismes (**GONZALEZ-MELER et al., 2009 in KITSIOU et KARYDIS, 2014**).

D'autres ont montré que bien que les microalgues et les ciliés étaient résistants aux hydrocarbures, les copépodes (zooplancton) étaient plutôt sensibles. **DAHL et al. (1983)** ont signalé une inhibition de la croissance des copépodes (**KITSIOU et KARYDIS, 2014**).

Globalement, une sensibilité plus élevée a été rapportée chez les hétérotrophes plutôt que chez les autotrophes (**BATTEN et al., 1998 in KITSIOU et KARYDIS, 2014**).

6.2.6. *Végétation marine*

Des dommages aux plantes peuvent se produire pendant les phases aiguës du déversement. De tels effets ont été enregistrés pour le phytoplancton, les algues attachées et les plantes à fleurs (**UNITED STATES MINERALS MANAGEMENT SERVICE ATLANTIC OCS REGION, 1984**).

Les algues benthiques (phytobenthos) ont une faible sensibilité aux hydrocarbures, l'effet se traduit par l'engluage ou la brûlure des tissus dans le cas d'un contact direct avec le pétrole. Les

conséquences économiques sont alors importantes pour les espèces exploitées. Les effets à long terme sont peu importants. En générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disposition de la perturbation (**FATTAL, 2008**).

6.3.Impacts économiques des déversements d'hydrocarbures en mer

Les déversements d'hydrocarbures peuvent causer des dommages sérieux aux ressources de pêche et de mariculture, sous forme de contamination physique, d'effets toxiques sur les stocks et de perturbation des activités commerciales.

La perturbation des activités de pêche et de mariculture, ainsi que le potentiel de pertes économiques importantes (sur toute la chaîne des ventes, des ports de débarquement aux détaillants) comptent souvent parmi les conséquences les plus graves d'un déversement d'hydrocarbures (**ITOPF, 2013b**).

Beaucoup d'autres secteurs qui utilisent l'eau de mer pour les opérations de routine peuvent aussi être affectées par les hydrocarbures (notamment les centrales énergétiques, la navigation, la production de sel ou le dessalement de l'eau de mer).

- ***Impact sur le tourisme***

Le tourisme constitue un secteur économique capital pour la plupart des zones côtières.

Une pollution des eaux et du littoral par les hydrocarbures induit la fermeture des plages pour effectuer les opérations de nettoyage et le secteur de tourisme se trouve alors perturbé.

Cette pollution affecte, de manière directe, les activités du bord de mer telles que la baignade, la voile, la pêche et la plongée. Par conséquent, des répercussions et des pertes financières vont se manifester sur les hôtels, les restaurants, les écoles de voile, les terrains de camping-caravaning, ainsi que des perturbations des entreprises et des individus vivant du tourisme.

Cependant l'impact matériel dû à un déversement d'hydrocarbure ne prend qu'une courte durée pour que les activités puissent reprendre une fois les littoraux nettoyés. Or, l'attention accordée à l'évènement par les médias peut nuire à l'image touristique de la région et aggraver les pertes économiques en contribuant à une fausse impression publique de pollution prolongée (**ITOPF, 2013c**).

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe dans la partie côtière du centre algérien. Celle-ci est délimitée à l'Ouest par le mont du Chenoua et à l'Est par Tamenfoust (terminaison Est de la baie d'Alger).

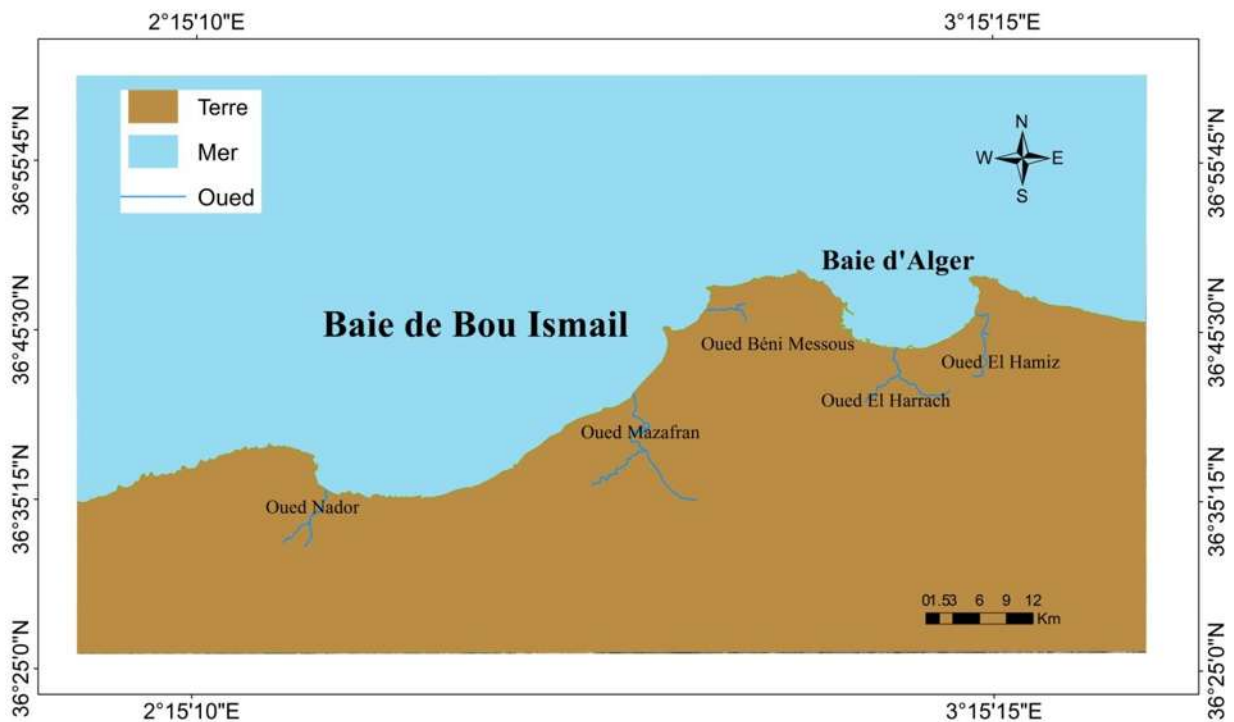


Figure II.1 : Présentation de la zone d'étude (Support : Google Earth, 2017, modifié)

1. La Baie de Bou-Ismaïl

1.1. Situation géographique

La baie de Bou-Ismaïl (ex. baie de Castiglione) est située à l'Ouest d'Alger entre 2° 24' et 2° 54' Est et 36° 38' et 36° 48' Nord. De ce fait, elle possède une orientation du SW au NE.

Elle se limite à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua couvrant ainsi une superficie de 509 km².

Suite à sa forme très ouverte, atteignant les 40 km, la baie de Bou-Ismaïl se trouve soumise fortement aux influences du large.

Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'El Djamilia qui présente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl avec environ 6 km de côte. Elle est située exactement entre 2° 50' 54,744" et 2° 53' 42,792" Est et 36° 45' 43,092" et 36° 48' 5,796" Nord. Cette petite baie est délimitée par Ras-Acrata à l'Est et la presqu'île de Sidi Fredj à l'Ouest dont le rivage est orienté de SW) au NE.

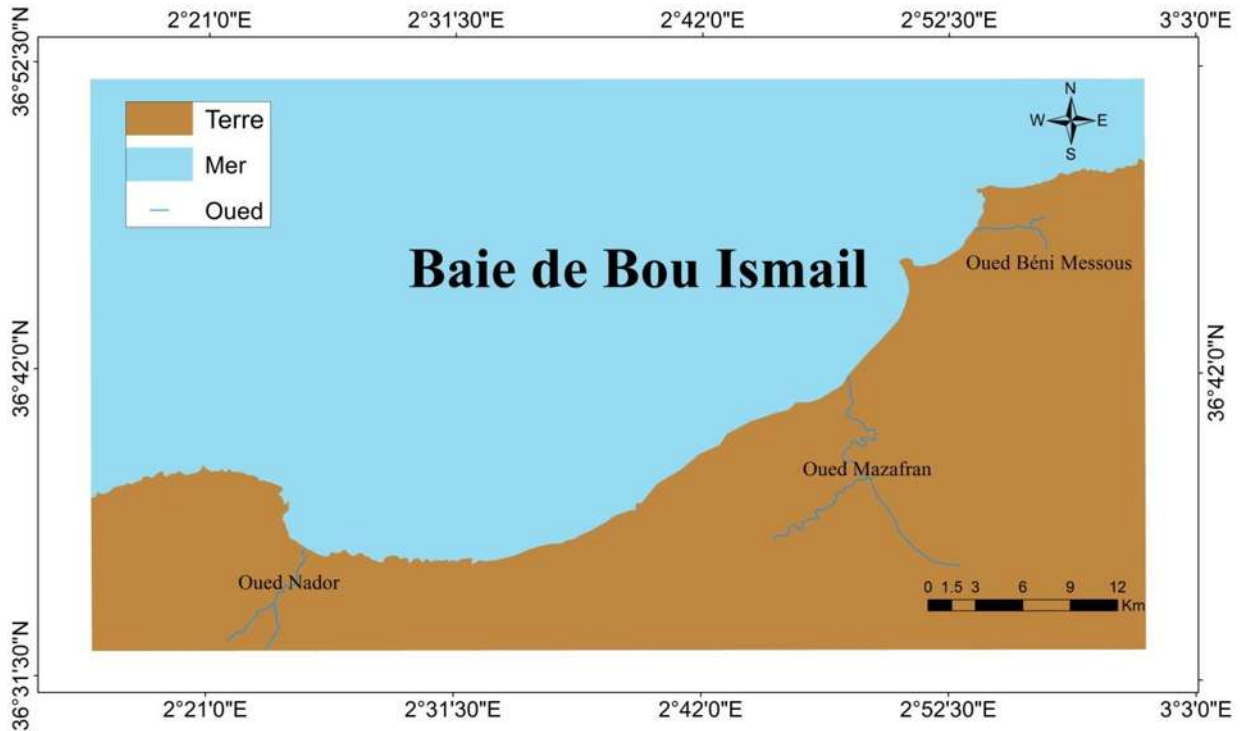


Figure II.1 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Support : Google Earth, 2017, modifié)

1.2. Facteurs hydrodynamiques

1.2.1. Vent

L'action du vent sur la surface des mers génère les vagues et les courants, et lorsque le vent souffle d'une manière continue sur une surface marine, il donne naissance à la houle.

En baie de Bou-Ismaïl, le vent d'Est souffle du mois de juin au mois de septembre et peut être violent avec une force pouvant atteindre 15 à 20 m/s durant 3 à 4 jours consécutifs (**LACOMB, 1965 in BACHOUCHE, 2010**). Alors que les vents les plus violents proviennent de l'Ouest et soufflent de décembre à mars (**ASSO, 1982 in BACHOUCHE, 2010**).

Ainsi, au large des côtes algéroises (notamment les baies de Bou-Ismaïl et d'Alger), on distingue deux périodes différentes durant l'année selon les résultats des observations effectuées par l'US naval weather service command (SSMO) (**LEM, 1998 in BACHARI-HOUMA, 2009**) :

- *Une période hivernale (Octobre – Mars)* : les vents dominants sont de secteur Ouest et NW avec des fréquences allant de 60 à 88% pour le secteur Ouest et des fréquences de 90 à 99% pour le secteur NW.
- *Une période estivale (Avril – Septembre)* : les vents dominants sont de secteur Est et NE avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur NE.

1.2.2. Courants

Ce facteur hydrodynamique possède une grande importance dans la détermination et dans l'évolution de la morphologie des côtes. Cela ce fait grâce au phénomène de transport sédimentaire qu'il s'exerce sur ces dernières conduisant ainsi à des ensablements, des envasements ou des érosions.

Selon CAULET (1972) on distingue :

- *Les courants liés aux vents (courants de surface)* : dans la baie de Bou-Ismaïl, une bonne proportionnalité s'établi entre "la fréquence et la direction des vents dominants" et "l'intensité des courants". Ceci est très bien illustré 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 dont les directions de ces derniers présentent une variabilité saisonnière spécifique avec celle des houles inductrices ;
- *Les courants de retour* : ils sont créés par le déferlement des houles à direction oblique sur la côte (houles à orientation NW et NNW par rapport à la côte), ces courants sont à l'origine de la distribution du sédiment côtier 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.

1.2.3. Vagues et houles

Bien que l'orientation générale du trait de côte soit bien définie, celui-ci est localement très irrégulier, ce qui rend l'action des vagues très variable le long du littoral de la zone d'étude.

A ce sujet, l'observation détaillée et locale de la morphologie côtière (orientation du trait de côte) montre que la baie de Bou-Ismaïl est exposée aux vagues / houles du secteur (HEMDANE et al.,2016) :

- *Nord et Ouest* : dans la région comprise entre le massif de Chenoua et Ain Tagourait ;
- *Ouest et NW* : dans la région comprise entre Ain Tagourait et Ain Benian.

En ce qui concerne les vagues au large, deux directions sont privilégiées. Elles concernent les vagues du secteur WNW (300°) dans la période hivernale et du secteur NNE (20 - 40°) durant la période estivale (HEMDANE et al, 2016) :

- Les vagues du secteur NNE sont à moindre degré sur le littoral de Bou-Ismaïl ;
- Les vagues du secteur WNW sont avec moins de dissipation sur la région comprenant Bou-Ismaïl, Zéralda et Ain Benian.

La zone d'étude est régulée par une agitation hydrodynamique non négligeable. Les hauteurs des vagues fréquentes varient entre 1 et 2 m (BOCCOTTI, 2000, FILIANOTI et al., 2015 in HEMDANE et al., 2016).

En clair, les vagues et les houles sont moins amorties au niveau des côtes rocheuses (caps), contrairement aux zones côtières dites d'accumulation (sableuses) où les vagues et les houles sont relativement plus amorties par l'effet des hauts fonds (HEMDANE et al., 2016).

1.3. Réseau hydrographique

Sur le plan hydrographique, cette zone constitue le réceptacle d'un ensemble d'oueds à régime irrégulier. Ces derniers apportent avec eux des quantités importantes de particules dissoutes ou particulières d'origine terrigène (BACHARI-HOUMA, 2009).

On distingue dans cette baie trois oueds :

1.3.1. Oued Mazafran : est formé de l'association des oueds Chiffa, Djer et Bouroumi. il constitue l'oued le plus important débouchant dans la baie, avec un bassin versant de 1850 km², un débit solide d'environ 3 millions t/an et un débit liquide 43,8 millions m³/an .

Les apports du matériel solide dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued marqué par un long étiage :

- *Période Juin-début Décembre* : des débits de 17,38 % du débit liquide annuel ;
- *Période Décembre-Avril* : des débits de 82,61 % du débit liquide annuel.

L'oued Mazafran débouche au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zéralda avec un débit journalier de 7,566 m³/s (BENZOHRRA, 1993 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; ANRH, 2003 in BACHOUCHE, 2010).

1.3.2. Oued Nador : se situe dans la partie occidentale de la baie avec un bassin versant de 200 à 300 km². Il prend source à la jonction des oueds Bou-Yersen, Bouharoun, et oued Merad et débouche dans la petite baie de Chenoua. Il présente un débit liquide de 28 millions m³/an (soit 0,89 m³/s) (BENZOHRRA, 1993 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; ANRH, 2003 in BACHOUCHE, 2010 ; AOIDAD, 1997 in BOUGHRIRA, 2012).

1.3.3. L'Oued Beni Messous : se situe à 18 km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et Club des Pins. Il prend source dans le grand Chéraga et traverse les communes de Chéraga au Nord, Bouzaréah au Nord-est, Dely-Brahim à l'Est et Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage faisant partie de la baie d'El Djamila appelée "les dunes".

Son bassin versant est réduit et souvent sec sauf lors des périodes pluvieuses. Il est composé essentiellement d'eaux usées domestiques et industrielles avec un débit

faible par rapport aux débits des oueds précédemment cité estimé à 7,7 millions m^3/an (soit $0,245 m^3/s$) (BENZOHRRA, 1993 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; ANRH, 2003 in BACHOUCHE, 2010 ; DEHANE, 2016).

1.4. Météorologie

Les observations climatiques ont été réalisées par l'ONM au niveau de la station de Dar El Beida sur une dizaine d'années (de 2006 à 2015). Les données (voir Annexe 01) sont présentées dans le graphique suivant.

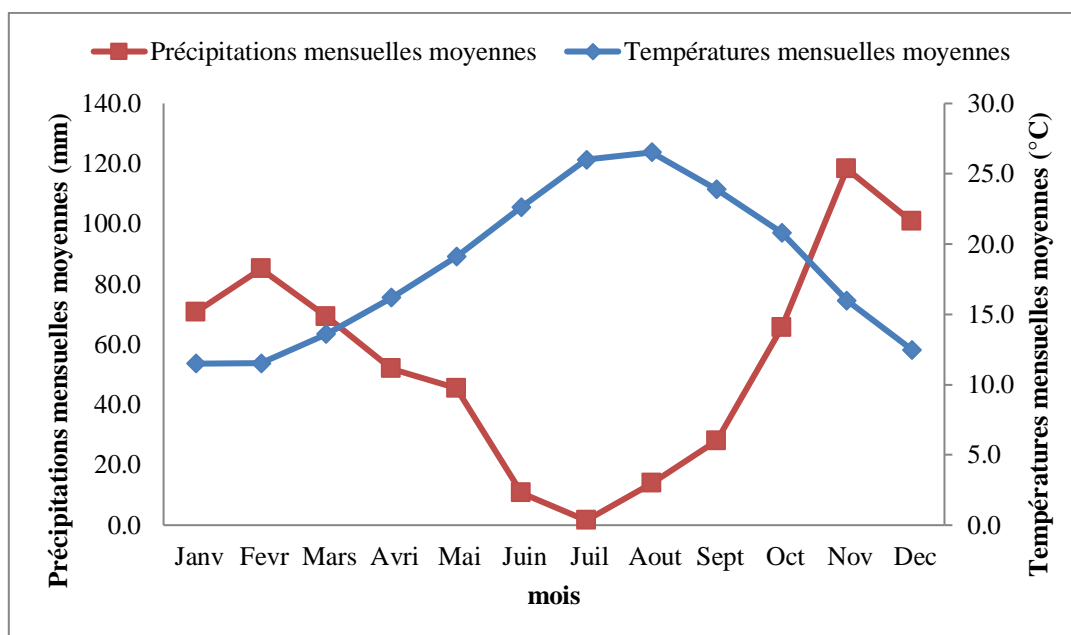


Figure II.3 : Diagramme Ombrothermique (ONM, 2006 - 2015)

Cette région est caractérisée par deux périodes dans le cycle annuel : une période chaude qui s'étale de Mai à Octobre et une période relativement froide qui couvre les autres mois de l'année.

Selon ce diagramme, on observe que les moyennes mensuelles de la température varient entre un minimum de 11,5 °C, enregistré aux mois de Janvier et de Février, et un maximum de 26,5 °C au mois d'Aout.

Concernant la pluviométrie, on remarque l'existence de deux saisons :

- **Une saison humide** qui s'étale du mois d'Octobre au mois de Mars avec une moyenne mensuelle enregistrée de 65,5 mm au mois d'octobre. Cette moyenne s'élève à un maximum de 118,2 mm au mois de Novembre. La précipitation diminue à une valeur de 69,3 mm au mois de Mars.
- **Une saison sèche** qui s'étale du mois d'Avril avec une moyenne mensuelle de 52 mm jusqu'au mois de Septembre avec une moyenne mensuelle de 28,1 mm.

1.5. Quelques exemples sur les différentes infrastructures de la baie de Bou-Ismaïl

1.5.1. Le port de Bouharoun

Le port de Bouharoun constitue, au niveau de la délégation maritime de Cherchell, le principal port de pêche auquel s'ajoute les ports d'El Djamila, de Tipaza et de Khmisti.

S'orientant du NE au SW, ce port est situé à 45 km à l'Ouest d'Alger, au centre de la baie de Bou-Ismaïl (**EGPP, 2006 in BACHOUCHE, 2010**). Les coordonnées géographiques du port d'après le **LEM (2006)** sont 2° 39' Est et 36° 37' Nord (**BACHOUCHE, 2010**).

Il est constitué de deux bassins : l'un couvrant une superficie de 15 500 m² est destiné aux sardiniers, palangriers et petits métiers, l'autre d'une superficie de 14 280 m² est réservé aux chalutiers uniquement (**BOUGHRIRA, 2012**).

Ce port est considéré comme étant le premier port de pêche dans la région centre et comme l'un des principaux producteurs des produits de pêche en Algérie, surtout en poisson bleu (**EGPP, 2006 in BACHOUCHE, 2009 ; BOUGHRIRA, 2012**).

1.5.2. Le port de Sidi-Fredj

Implanté en 1969, le port de Sidi-Fredj est un port de plaisance se situant au niveau de la petite baie d'El Djamila, à 24 km à l'Ouest d'Alger et plus exactement à 36° 45' 54" Nord et 2° 50' 54" Est (**LEM, 1998 in BOUGHRIRA, 2012**).

La constitution de ce socle rocheux avec une forme semi-fermée lui offre une fondation très stable. Il est doté d'une superficie de 4 ha, et il comprend (**BOUGHRIRA, 2012**) :

- Un plan de masse d'eau qui est répartie en 5 bassins ;
- Des appontements qui jouent le rôle d'une passerelle pour assurer une occupation équilibrée du plan d'eau ;
- Des épis qui jouent le rôle de protection contre la houle et les apports solides du littoral.

1.6. Sources de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl

Le littoral de la baie de Bou-Ismaïl, comparativement à celui de la baie d'Alger, est peu urbanisé et moins industrialisé.

En effet, la région de Bou-Ismaïl est à vocation touristique faisant partie des ZET (Zone d'Expansion Touristique). De ce fait, sa principale source de pollution est d'origine domestique provenant de l'évacuation des eaux usées des villes et des complexes touristiques directement dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable, ceci s'accroît notamment en période estivale (**SELLALI, 1996 in GRIMES et al., 2005 ; BOUGHRIRA, 2012**).

Tableau II.1 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (source : IEWT-MATE, 2002 in SNC.LAVALIN INTERNATIONAL, 2008)

Communes	Nombre de rejets	Débits (m ³ /j)	Lieu de rejet
Bou-Ismaïl	9	4000	Mer
Bouharoun	4	320	Mer
Khmisti	6	400	Oued Khmisti et Mer
Fouka	5	3600	Mer
Douaouda	5	1600	Oued Mazafran et Mer
Tipaza	8	7140	Mer
Cherchell	8	3600	
Sidi-Ghiles	2	480	
H.Ennous	2	160	
Meselmoun	3	1100	
Gouraya	3	900	
Larhat	3	312	
Damous	3	960	
Ain-Tagourait	6	320	
Total	67	24892	

À partir de ce tableau, on peut percevoir l'immense pression des flux anthropiques, sur le milieu marin dans cette baie, qui est due principalement à l'urbanisation et à la littoralisation connues depuis les dernières années.

Le littoral et l'arrière pays de la baie de Bou-Ismaïl sont connus aussi par leur vocation agricole. Le développement agricole, que connaît cette région dans les dernières années, a engendré des effets nuisibles suite au recours à l'utilisation abusive des engrais chimiques et des produits phytosanitaires. (BOUGHRIRA, 2012 ; DEHANE, 2016).

En plus de ces activités, s'ajoute les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et se déversent en mer (BOUDJELLAL et al., 1995 in GRIMES et al., 2005 ; BOUGHRIRA, 2012). Les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Beni Mered sont entraînés à l'oued Macta-Makhlouf qui n'est que la continuité de l'oued Beni Azza où se déversent les eaux usées de la tannerie du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique et d'industrie agro-alimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique située à Beni Mered (BOUGHRIRA, 2012).

A tous cela s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : port de pêche de Bouharoun, port de Khmisti, port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, abri de pêche d'El Djamila, port de plaisance de Sidi Fredj, port de plaisance de Palm-Beach (BOUGHRIRA, 2012).

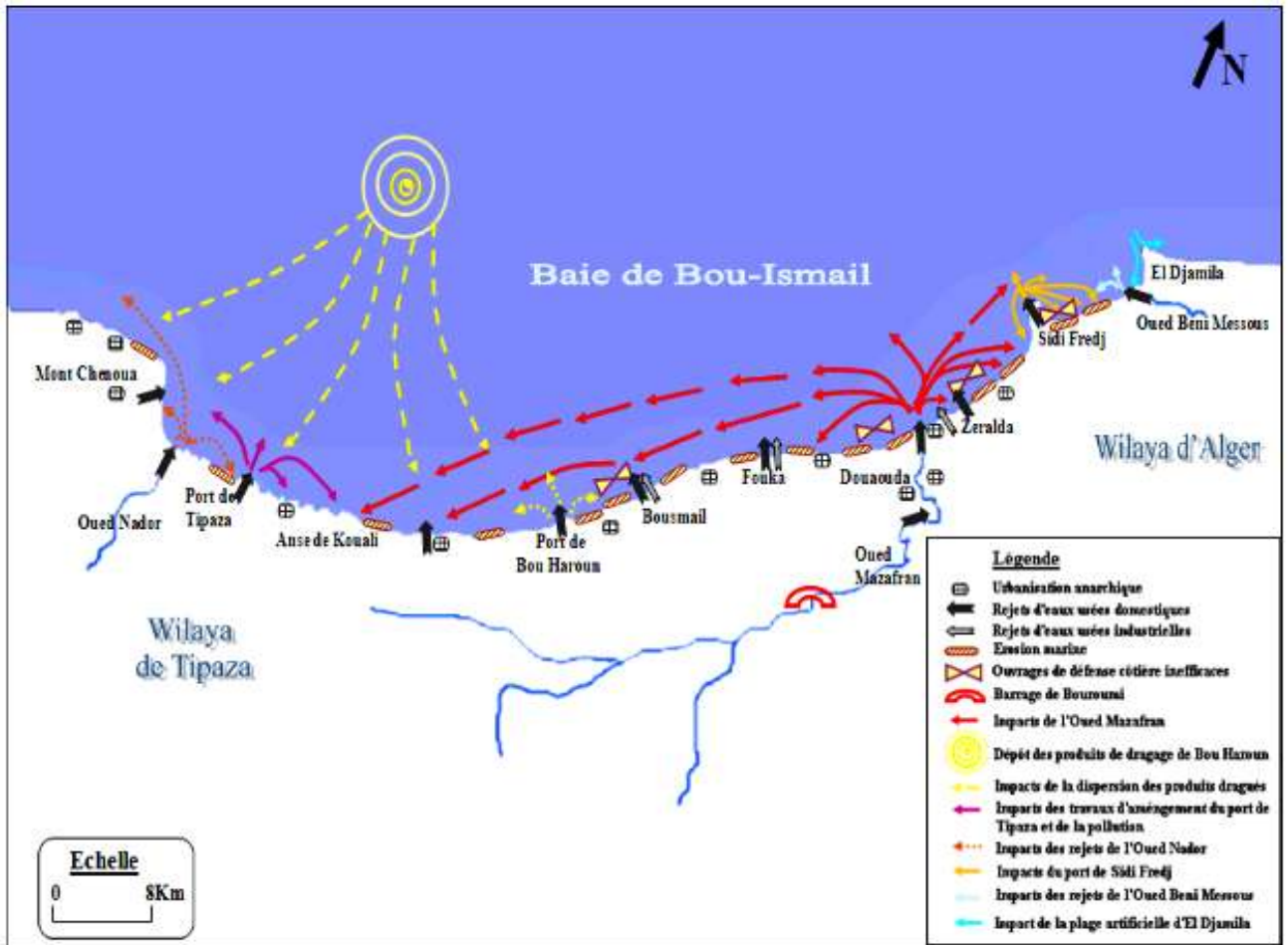


Figure II.4 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (AOUAMEUR, 1991 in BACHARI-HOUMA, 2009)

2. La baie d'Alger

2.1. Situation géographique

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. Elle est de forme semi-circulaire et d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km².

Cette baie est délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El Bahri) à l'Est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 3° 14' 50" à 3° 00' 40" et une latitude Nord 36° 49' 35" à 36° 49' 50".

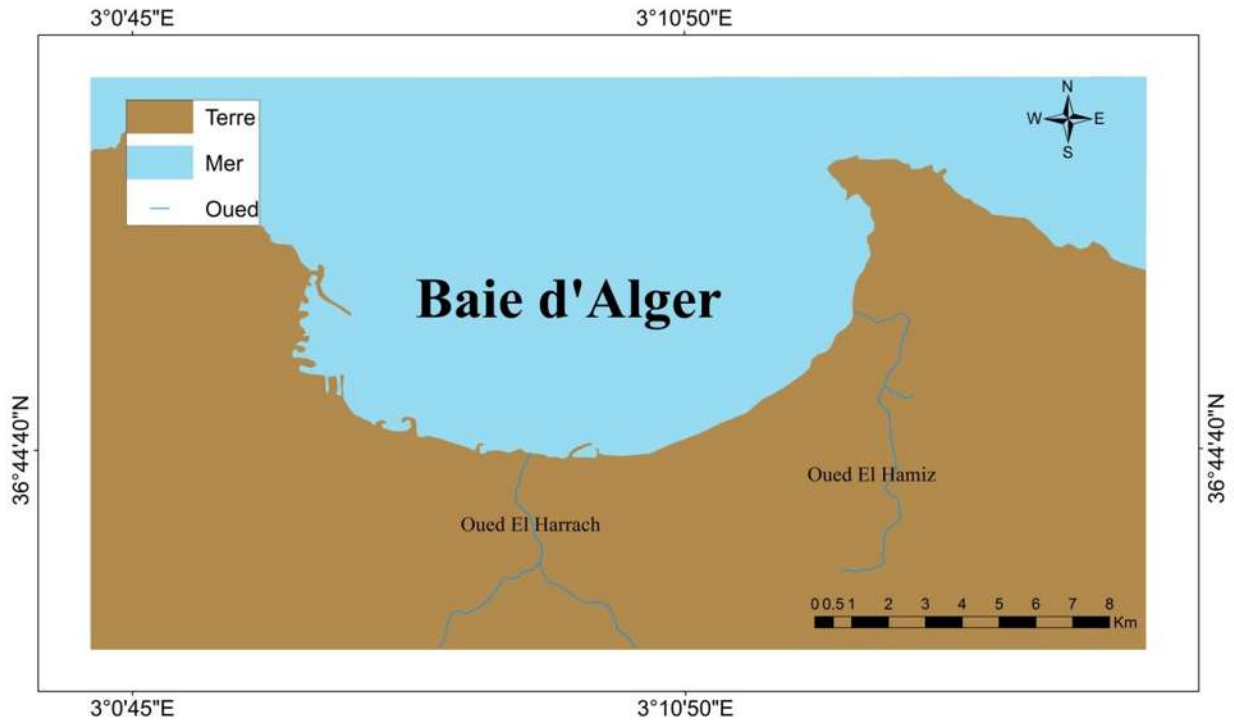


Figure II.5 : Situation géographique de la baie d'Alger (Support : Google Earth, 2017, modifié)

2.2. Facteurs hydrodynamiques

2.2.1. La houle

Selon **LECLAIRE (1972)**, la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents qui est saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne. Ce régime saisonnier se caractérise par deux directions privilégiées :

- *En hiver* : Les houles prédominantes sont WNW (pour plus de 80 %) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes. Des périodes pouvant atteindre parfois 13 secondes ont été relevées lors des grandes tempêtes ;
- *En été* : Les houles sont de direction NNE. Elles se caractérisent par une période moyenne plus faible (6 à 7 secondes) et des amplitudes moins élevées de 0,5 à 1 m.

Les houles dans cette baie jouent un rôle très important notamment dans le transport et dans la dispersion des apports terrigènes fins des oueds El Harrach et El Hamiz, et également des polluants issus de l'ensemble de l'agglomération algéroise et des villes côtières de la baie (**DEHANE, 2016**).

2.2.2. Les courants

La mer Méditerranée est déficitaire en eau. Ce déficit est compensé par l'eau Atlantique entrant en surface via le détroit de Gibraltar. Ce courant d'eau entrant subit des modifications de ses

caractéristiques au fur et à mesure de son déplacement vers l'Est le long des côtes algériennes. Il est alors appelé "le Courant Algérien".

Les côtes algériennes sont plus ou moins influencées par ce courant qui a une influence sur la distribution des facteurs physico-chimiques, nutritifs, biologiques voire même la dispersion des polluants (**BACHARI-HOUMA, 2009**).

Le courant général allant de l'Ouest vers l'Est crée dans la plupart des baies un contre-courant littoral (dérive littorale) vers l'Ouest, tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (**BAKALEM, 2008 in DEHANE, 2016**).

Il existe aussi des courants de retour, qui correspondent à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu d'un déferlement de la houle. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large (**BACHARI-HOUMA, 2009**).

2.3. Réseau Hydrographique

Deux oueds représentent le réseau hydrographique de la baie d'Alger : Oued El Harrach et Oued El Hamiz.

2.3.1. *Oued El Harrach*

Il traverse la ville d'Alger et présente l'un de ses principaux oueds. Son bassin versant s'étend sur une superficie de 970 km² avec un débit moyen de 10,45 m³/s en 2012 (**ANRH, 2013 in BACHOUCHE, 2017**). Notant ici que ce bassin est difficile d'accès, caractérisé par de fortes dénivelées, une pluviométrie importante et un caractère torrentiel qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important. Cet oued débouche au centre de la baie (**ANRH, 2013 in BACHOUCHE, 2017**).

Oued El Harrach reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles de la région d'Alger, provoquant ainsi une influence sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie et donc une rupture de l'équilibre du milieu naturel (**BACHARI-HOUMA, 2009**).

À cet égard, Oued El Harrach constitue un baromètre de l'environnement et de l'état écologique de la ville d'Alger.

2.3.2. *Oued El Hamiz*

La superficie de son bassin versant est de 160 km² et son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer et régule le débit (**LEM, 1998 in BACHARI-HOUMA, 2009**). L'activité industrielle y est réduite et il présente une charge polluante peu importante (**BACHARI-HOUMA, 2009**).

2.4. Infrastructures de la baie d'Alger

- *Le port d'Alger*

Le port d'Alger a été construit à l'Ouest de la baie d'Alger. Il est situé entre 3° 3' 44" et 3° 4' 60" Est et 36° 45' 44" et 36° 47' 43" Nord.

Il constitue un milieu semi-fermé et comprend une importante zone industrielle et commerciale à aire de stockage et de manutention et une zone de pêche et de plaisance. Il couvre un plan d'eau de 179 ha et il est subdivisé en trois bassins : bassin du Vieux port, bassin d'Agha et bassin de Mustapha (**BACHOUCHE, 2010**).

C'est le port le plus important du pays car il assure le tiers des échanges commerciaux qui s'effectuent par voie maritime avec l'étranger en volume du trafic national des marchandises diverses (céréales, denrées alimentaires, produits pétroliers, ciments, produits métalliques, engrais, produits chimiques, transactions, biens d'équipements) (**BACHOUCHE, 2010**).

Il avitaille en moyenne 20 navires par jour. 16 millions de tonnes de marchandises y transitent annuellement dont plus de 600 000 t/an de véhicules roulants, remorques, bus, engins, ... etc. et plus de 250 000 conteneurs en 2001 (**REBZANI-ZAHAF, 2003 in BACHOUCHE, 2010**).

2.5. Sources de pollution dans la baie d'Alger

La zone côtière algéroise (surtout le port d'Alger et la baie d'Alger) constitue le réceptacle de plusieurs types de pollutions du fait que la baie d'Alger est soumise aux perturbations anthropiques de différentes origines. Près de mille entreprises se partagent cette baie et y exercent leurs activités dans différents domaines : métallurgie, construction, pétrochimie, production pharmaceutique, industries mécaniques, électriques et électroniques, alimentation, production de papier ... etc. (voir Annexe 02).

Les eaux usées urbaines de la ville d'Alger et des unités industrielles et agricoles sont drainées par les Oueds El Harrach et El Hamiz. Ces eaux sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes générant ainsi des pollutions organiques et chimiques. Cette situation est aggravée par l'absence de traitement de ces eaux (**HOUMA et al., 2004, PAC, 2005, LEM, 1998 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; BACHARI et al., 2011**).

Les eaux usées industrielles sont celles provenant des diverses usines de fabrication ou de transformation. On peut toutefois admettre trois catégories d'eaux résiduaires industrielles (**DEHANE, 2016**) :

- Les eaux résiduelles à caractère minéral (industrie chimique minérale, métallurgique et les mines) ;
- Les eaux à caractère organique (des industries alimentaires et des abattoirs) ;
- Les eaux mixtes comme celles des industries textiles, de la distillation, du bois et les papeteries).

Parmi les zones urbanisées et / ou industrialisées, nous pouvons citer entre autres (LEM, 1998 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; LEM, 2005 in BACHOUCHE, 2010) :

- *Hussein Dey* : zone principalement soumise aux rejets urbains et à l'influence des activités portuaires ;
- *El Harrach* : point de déversement de l'Oued El Harrach ;
- *El Hamiz* : point de déversement de l'Oued El Hamiz ;
- *Bordj El Kiffan* : Située à une dizaine de kilomètre à l'Est d'Alger, ce secteur connaît un développement industriel et urbain qui l'expose à une pollution assez accentuée selon le sens du courant Est ou Ouest par l'influence des Oueds El Harrach et El Hamiz.

Parmi les principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger, nous citons (APPL, 2010 in CHOUCANE, 2010) :

- Le port d'Alger : il constitue une source inépuisable de pollution qui, au-delà de son activité portuaire même, reçoit un grand nombre d'égouts (24 égouts) qui drainent les eaux usées de la ville d'Alger et dont l'influence est étalée dans l'espace et le temps. De plus, des pollutions ponctuelles très localisées sont engendrées par les navires en rade dans la baie ;
- Les apports des émissaires urbains situés dans le secteur de l'Hussein-Dey engendrent, eux aussi, une forte influence sur la qualité du milieu marin de la baie.

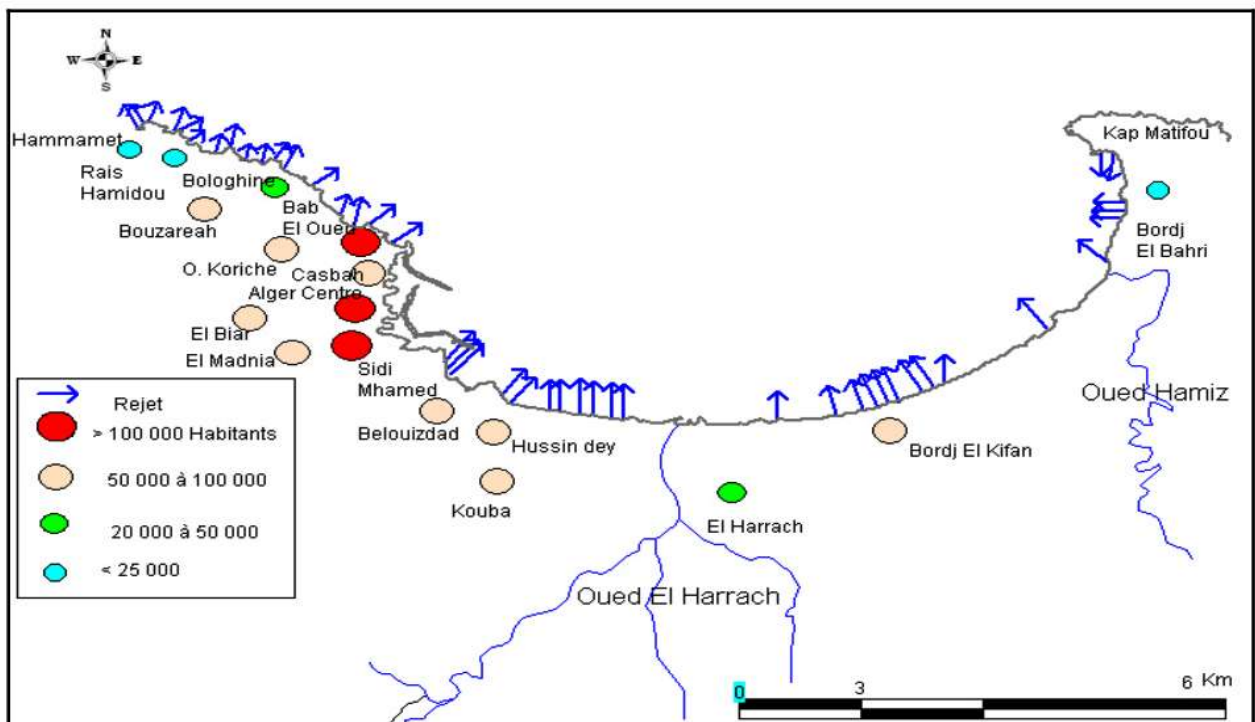


Figure II.6 : Principaux rejets dans la baie d'Alger (LEM, 1998 in BACHOUCHE, 2010)

Les flux de pollution sont importants dans le secteur Ouest de la baie, secteur soumis à une triple influence : la première est due aux nombreux et importants émissaires débouchant dans ce secteur ; la seconde émanant de l'oued El Harrach et la dernière du port d'Alger qui est un milieu fortement pollué de la passe Sud (BAKALEM, 2008 ; GRIMES et al., 2008 in DEHANE, 2016).

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Dans le but d'évaluer l'état de pollution des eaux du littoral algérois par les hydrocarbures (particulièrement les HAP), des prélèvements d'eau dans différents points du littoral ont été effectués.

Pour cela, 3 sorties en mer ont été programmées à bord de l'embarcation AURES, à savoir :

- Le 10 et le 11 mai 2017 : sorties à la baie de Bou-Ismaïl ;
- Le 14 mai 2017 : sortie à la baie d'Alger.

Les stations de prélèvement sont présentées dans la carte suivante (Figures III.1) (voir l'Annexe 03).

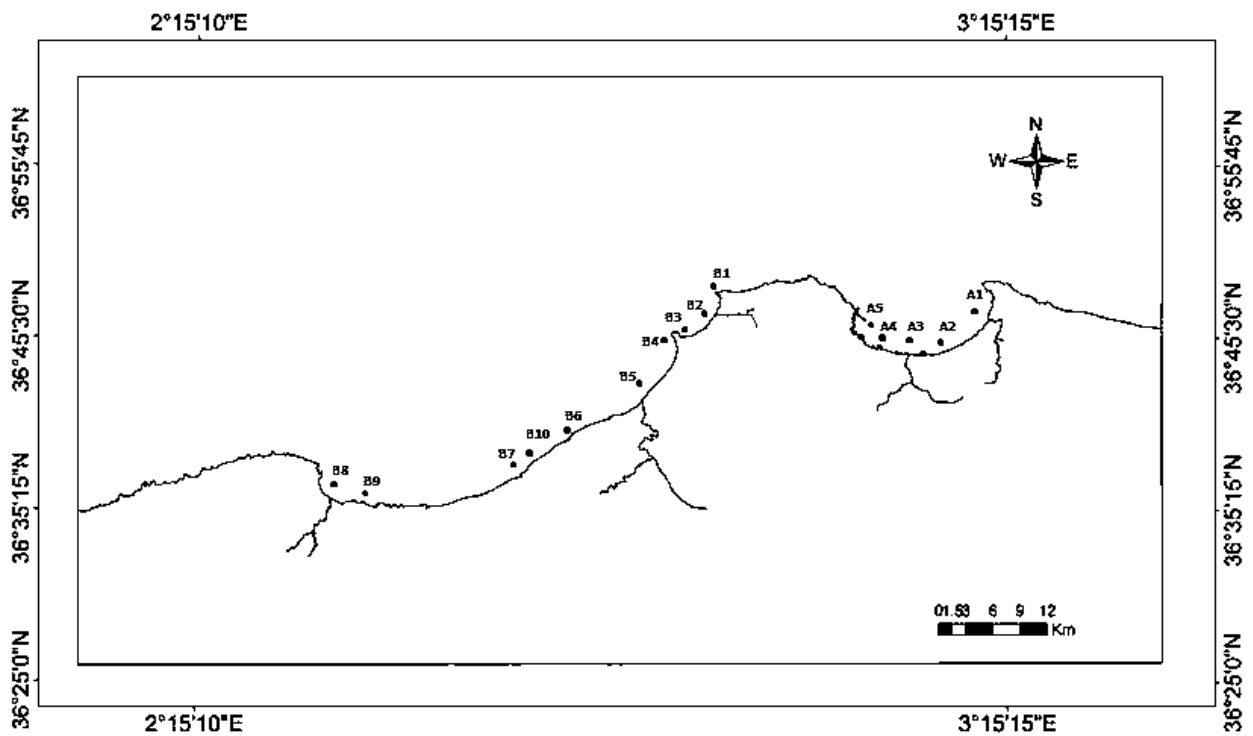


Figure III.1 : Carte des stations de prélèvement

1. Matériel utilisé

Tableau III.1 : Liste du matériel utilisé dans les différentes manipulations

	Dosage des hydrocarbures	Dosage de l'oxygène dissous
Verrerie	Bouteilles en verre fumé de 2,5 L	Flacons d'oxygène (flacon en verre borosilicaté à colle rodé et à bouchon plongeant)
	Ampoule à décanter de 2 L	/
	Ballons à évaporation à colle rodé de 250 ml	/
	Burettes de 50 ml à robinet en téflon	/

	Tubes à essais	/
	Béchers en verre	/
	Entonnoirs en verre	/
	Éprouvettes en verre (1 L et 100 ml)	/
	Fioles en verre de 10 ml	/
	Tige en verre (environ 7,5 mm de diamètre)	/
Produits chimiques	n.Hexane (C ₆ H ₁₄)	Chlorure de manganèse tétrahydraté (MnCl ₂ , 4H ₂ O)
	Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂)	Iodure de sodium (NaI)
	Chrysène (C ₁₈ H ₁₂)	Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) (95-97% ; 1,84 kg/l)
	Acétone (C ₃ H ₆ O)	Iodate de potassium (KIO ₃)
	Gel de silice	Thiosulfate de sodium (Na ₂ S ₂ O ₃ , 5H ₂ O)
	Alumine	/
	Sulfate de sodium anhydre (Na ₂ SO ₄)	/
Appareillage	Laine de verre	
	Spectrofluorimètre (SFUV) équipé de cuves en quartz de 1cm de trajet optique	Titreur automatique
	Évaporateur rotatif (Rotavapor)	Thermomètre
	Générateur d'azote (Jet d'azote)	Balance de précision
	Balance de précision	/
	Agitateur mécanique	/
	Potence (support d'ampoules à décanter)	/
	Four à moufle	/
	Dessiccateur	/
	Étuve	/
	Bac à ultrasons	/
Micropipette	/	

Les références des produits chimiques utilisés ainsi que l'appareillage sont indiqués dans l'Annexe 04.

2. Conditionnement de la verrerie destinée au dosage des hydrocarbures

- Lavage au détergent ;
- Rinçage à l'eau de robinet ;
- Rinçage à l'eau bi-distillée ;
- Rinçage à l'eau acidulée à 10% ;
- Rinçage à l'eau bi-distillée ;
- Rinçage à l'acétone ;
- Mise à l'étuve à 70°C pendant une nuit ;

- Rinçage à l'Hexane ;
- Couverture avec du papier aluminium préalablement conditionné.

Note : le conditionnement du papier aluminium utilisé dans la couverture de la verrerie consiste à sa mise au four à moufle à 550°C pendant 2 heures pour éliminer toutes traces de matières organiques susceptibles de contaminer les échantillons en plus d'un rinçage à l'Hexane.

3. Préparation des adsorbants pour le dosage des hydrocarbures

Ces adsorbants sont l'alumine et le gel de silice. Ces derniers servent en chromatographie à colonne ouverte dans l'étape de « purification-fractionnement » des échantillons destinés à l'analyse des hydrocarbures.

Leur préparation se fait en deux étapes :

- **Une étape d'activation :** qui consiste à peser une quantité d'adsorbants et la mettre dans le four à moufle à 125°C pendant une nuit ;
- **Une étape de désactivation partielle :** cette étape consiste à désactivé les adsorbants partiellement en leur ajoutant quelques gouttes d'eau distillée à leur sortie du four à moufle.

4. Travaux effectués en mer

4.1. Préparation du matériel de la sortie

Tableau III.2 : Matériel de la sortie

Matériel	Utilité	Paramètre
Flacons en verre brin de 2,5 L préalablement conditionnés et étiquetés	Prélèvement d'eau destinée à l'analyse des HC	HAP
Système de prélèvement (constitué d'un filet, d'un lest et d'une corde)	Support de la bouteille de prélèvement	HAP
Flacons en verre de 50 ml contenant de l'Hexane	Première extraction des HC	HAP
Papier aluminium	Couverture des bouteilles de prélèvement et isolement du goulot de la bouteille de son bouchon qui est en plastique (risque de contamination)	HAP
Bouteille NISKIN	Prélèvement d'eau	OD
Flacons d'oxygène propres et étiquetés	Échantillonnage destinée au dosage d'oxygène dissous	OD
Réactif 1 : MnCl ₂ ,	Piégeage d'oxygène dissous	OD

Réactif 2 : NaI, NaOH	dans les flacons	
Valise multi-paramètre	Mesure des paramètres physicochimiques in situ	T, S, pH
Glacière + blocs réfrigérants	Conservation des échantillons au frais et à l'abri de la lumière	HC
Caisse de rangement	Rangement des échantillons	OD
GPS	Positionnement des stations de prélèvement	/
Cahier de station	Marquage des observations générales au niveau de chaque station	/

4.2. Prélèvement et échantillonnage

Les prélèvements d'eau pour l'analyse des hydrocarbures dissous dispersés ont concernés la couche de surface comprise entre 0 et 1 m de profondeur. Il faut noter que sur cette même couche le prélèvement d'eau destinée au dosage de l'OD ainsi que la mesure des paramètres physicochimiques ont été effectués.

Le flaconnage utilisé doit être préalablement conditionné et étiqueté.

4.2.1. Les hydrocarbures (HC)

Le prélèvement d'eau destinée à l'analyse des hydrocarbures dissous dispersés s'effectue à l'aide d'une bouteille en verre brin, de capacité de 2,5 L, placée sur un support lesté.

Afin d'éviter les risques de contamination dus au moteur du bateau, le prélèvement doit se faire à l'avant du navire en station, et le système de prélèvement doit immédiatement être lancé dès que le navire s'arrête dans la station voulue (**DANIEL et LAMPERT, 2016**).

Une fois le système de prélèvement remonté, un certain volume d'eau est éliminé de la bouteille pour pouvoir ajouter 50 ml du solvant organique qui est l'Hexane afin d'effectuer une première extraction des hydrocarbures à bord, tout en assurant une agitation manuelle pendant 5 à 10 minutes.

La bouteille est ensuite fermée, par un bouchon isolé de la bouteille par du papier aluminium, et conservée au frais et à l'abri de la lumière dans la glacière.

4.2.2. L'Oxygène Dissous (OD)

Le prélèvement d'eau destinée à l'analyse de l'Oxygène Dissous se fait à l'aide d'une bouteille NISKIN. Suivant la zone, il est préférable de fixer au câble un lest adapté à la courantologie du lieu. Il faut armer la bouteille puis la plonger à la profondeur souhaitée, la laisser se rincer

quelques instants puis la refermer à l'aide du messageur. La bouteille est ensuite remontée à la surface pour effectuer l'échantillonnage (**DANIEL et LAMPERT, 2016**).

Les premiers échantillonnages effectués, une fois la bouteille remontée, concernent le paramètre Oxygène Dissous. Ils se font vigoureusement en respectant une certaine technique afin d'éviter la formation des bulles d'air qui risquent de fausser les résultats (**AMINOT et KEROUEL, 2004**) :

- Adapter à la bouteille de prélèvement un tuyau souple transparent ;
- Purger le tuyau pour éliminer les bulles d'air ;
- Introduire le tuyau jusqu'au fond du flacon et faire remplir à faible débit puis plus rapidement sans provoquer une turbulence ;
- Laisser déborder au moins une fois le volume du flacon ;
- Remonter le tuyau lentement sans arrêter l'écoulement jusqu'à ce que son extrémité soit à environ 1cm sous la surface de l'eau puis arrêter l'écoulement et retirer le tuyau du flacon ;
- Ajouter immédiatement 2 ml du réactifs 1 ($MnCl_2$) et 2 ml du réactif 2 (NaI, NaOH) ;
- Boucher sans emprisonner l'air et agiter ;
- Conserver dans une caisse de rangement.

4.3. Mesure des paramètres physicochimiques (T, S, pH)

La mesure a été faite in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètre de type "**HANNA® HI 9828**".



Figure III.2 : Sonde multi-paramètre de type HANNA® HI 9828

L'appareil est muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans l'eau à environ 50 cm de profondeur lorsque le moteur du bateau est arrêté. La lecture de sub-surface se fait après stabilisation de l'appareil (**DANIEL et LAMPERT, 2016**).

Les valeurs de température sont affichées en °C, de salinité en PSU, avec une précision de $\pm 0,15^\circ C$ pour la température, de $\pm 0,01$ PSU pour la salinité et $\pm 0,02$ pour le pH.

5. Travaux effectués au laboratoire

5.1. Dosage des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) dans l'eau de mer par spectrofluorimétrie à rayonnement Ultraviolet

Il existe plusieurs techniques d'analyse des hydrocarbures dans l'eau de mer : les méthodes chromatographiques (chromatographie en phase gazeuse), les méthodes spectroscopiques (spectrofluorescence Ultra-Violet) et les méthodes couplées. Chacune présente des avantages et des inconvénients. Le choix de la technique est fonction de sa sensibilité et du but de la recherche.

Dans la présente étude qui a pour but d'analyser et de quantifier les HAP dans les eaux marines de surface, dans lesquelles ces substances sont généralement présentes en très faibles quantités, la technique d'analyse par Spectrofluorescence UV est la mieux appropriée.

Cette dernière constitue une méthode qualitative et quantitative, qui est environ 20 fois plus sensible que la Spectrofluorimétrie Infrarouge (IR), puisqu'elle présente l'avantage d'être extrêmement sensible aux hydrocarbures aromatiques, qui sont représentatifs d'une pollution pétrolière dans l'environnement. C'est aussi une méthode suffisamment sélective et très sensible pour l'eau (identification de traces d'hydrocarbures dans l'eau typiquement jusqu'à 0,1 µg/l).

La spectrofluorimétrie UV est appliquée par **LEVY (1977)**, est préconisée par la Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) de l'UNESCO (1977) pour la surveillance de la pollution par les hydrocarbures en mer (**BODENNEC et al., 1981 ; COI, 1983 ; MARCHAND, 1983 ; ITOFF, 2013b**).

Et comme pour toutes les méthodes d'analyse, la Spectrofluorescence UV nécessite un traitement préalable des échantillons qui doit comprendre une purification après extraction.

5.1.1. Extraction

On procède en première étape par une extraction par un solvant organique approprié. Cette extraction a une double finalité : faire passer les hydrocarbures dans une phase compatible avec la méthode d'analyse considérée et réaliser une concentration volumique permettant de multiplier la sensibilité de la technique (**MARCHAND, 1983 ; BOCARD, 2006**).

L'extraction dite "liquide-liquide" (ELL) est la première méthode rapportée dans la littérature pour extraire les contaminants organiques de l'eau (**MANOLI et SAMARA, 1996 in PIMSEE, 2014**).

Elle consiste à mélanger l'échantillon d'eau à un solvant organique, qui est le n-Hexane pour lequel les HAP ont une affinité importante. Cette technique est très robuste mais elle est très consommatrice de solvant et de temps (**PIMSEE, 2014**).

5.1.1.1. 1^{ère} Extraction (en mer)

L'extraction des échantillons doit être pratiquée dès que le prélèvement est effectué, à bord de l'embarcation, afin d'éviter les altérations par la flore microbienne contenue dans ces échantillons (COI, 1983).

Ces derniers doivent être gardés au frais et dans l'obscurité.

5.1.1.2. 2^{ème} Extraction (au laboratoire)

Elle s'effectue comme suit :

- Placer l'ampoule à décanter, robinet fermé, sur un support de type anneau ;
- Introduire le mélange (échantillon à traiter + Hexane) dans l'ampoule à l'aide d'un entonnoir ;
- Ajouter 50 ml du solvant d'extraction approprié (n.Hexane) ;
- Boucher l'ampoule en graissant le bouchant rodé ;
- Prendre l'ampoule et la retourner en plaçant une main près du robinet et l'autre main sous le bouchon en tenant aussi le col fortement sans lâcher ;
- Agiter 10 à 15 minutes modérément en ouvrant le bouchon avec « la main bouchon » de temps en temps pour permettre le dégazage ;
- Répéter l'opération jusqu'à ce que le dégazage ne soit plus perceptible (attention à l'orientation du dégazage) ;
- Replacer l'ampoule sur son support puis laisser décanter environ 5 minutes jusqu'à l'apparition franche des deux phases, la phase organique au-dessus de la phase aqueuse ;
- Ôter le bouchon avant de procéder à l'écoulement ;
- Récupérer la phase aqueuse dans une éprouvette graduée de 1 L, mesurer et noter le volume (volume d'extraction) ;
- Récupérer la phase organique dans un ballon à évaporation rodé ;
- Refaire cette extraction en rajoutant du solvant à la phase aqueuse récupérée ;
- Ajouter une petite quantité de Na_2SO_4 anhydre à l'aide d'une spatule en inox afin d'éliminer d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait.



Figure III.3 : Extraction des hydrocarbures dans une ampoule à décanter

5.1.2. Concentration

La fraction récupérée de l'extraction est un mélange du solvant (n.Hexane) et des HC contenus dans l'échantillon. Une concentration de cet échantillon est alors primordiale pour réduire le volume du solvant.

Cette concentration se fait en deux étapes : une première concentration à l'évaporateur rotatif et une deuxième concentration sous jet d'Azote.

5.1.2.1. Concentration à l'évaporateur rotatif

Donc pour concentrer l'échantillon :

- Placer et fixer le ballon de 250 ml ;
- Allumer l'évaporateur rotatif et régler la température du bain à 45°C ;
- Mettre la pompe à vide en marche et s'assurer de la fermeture du bouchon de réfrigérant ;
- Faire plonger le ballon de l'échantillon dans le bain marie ;
- Évaporer sous vide le contenu de ce ballon de 250 ml jusqu'à réduction du volume à 10 - 12 ml.

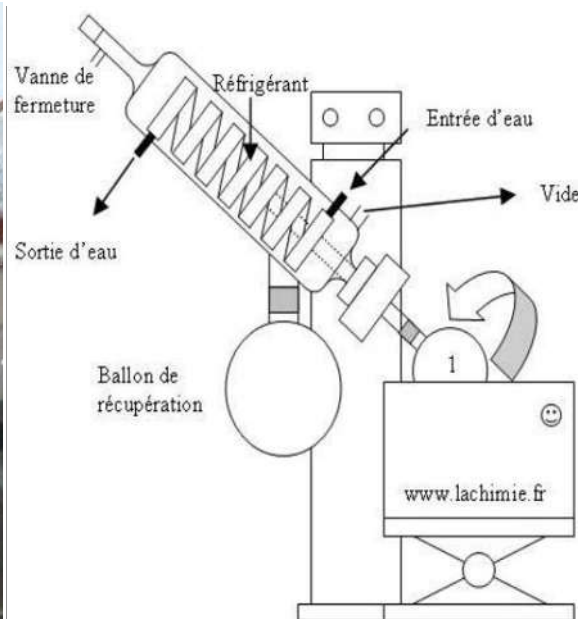


Figure III.4 : Évaporateur rotatif

5.1.2.2. *Concentration sous jet d'azote*

Les 10 ml d'échantillon récupérés du Rotavapor sont ensuite transvasés dans un tube à essai puis passés à la deuxième concentration qui est une évaporation à sec sous jet d'Azote jusqu'à avoir un volume de 3 à 5 ml.

C'est une étape très délicate vu le faible volume final récupéré et vu les risques de perte d'échantillon au-dessous d'un volume de 200 µl comme le souligne le protocole de la COI (COI, 1983).

5.1.3. *Purification / fractionnement*

Les échantillons concentrés contiennent deux fractions, la première constitue la fraction Aliphatique (F₁) qui présente les hydrocarbures légers, alors que la deuxième (F₂) présente les hydrocarbures polyaromatiques.

Après l'étape de concentration, vient alors l'étape de "purification-fractionnement" qui se fait dans une colonne chromatographiques ouverte. L'objet de cette étape est :

- L'élimination des lipides Co-extraits avec les hydrocarbures (purification) ;
- La séparation des deux fractions F₁ et F₂ (fractionnement).

Les adsorbants utilisés dans cette opération sont l'alumine pour la purification et le gel de silice pour le fractionnement.

5.1.3.1. *Préparation de la colonne chromatographique*

- Peser sur une balance de précision 5g de gel de silice et 5g d'alumine dans des béchers propres notés respectivement « S » et « A » ;
- Placer la burette avec son robinet sur la potence ;
- Prendre un peu de laine de verre à l'aide d'une pince et la mettre au fond de la burette à l'aide d'une tige sans trop la tasser ;
- Verser un peu d'Hexane pour vérifier le bon fonctionnement de la burette ;
- Verser le contenu du bécher S puis A dans la burette et faire tasser à chaque fois en tapant légèrement la burette avec la spatule ;
- Ajouter une pincée de Na₂SO₄ dans la burette et faire tasser ;
- Vider la burette de l'Hexane en laissant environ 1 ml au-dessus des adsorbants afin d'éviter leur séchage.

5.1.3.2. *Purification et fractionnement*

- Mesurer sous la hotte 20 ml d'hexane à l'aide d'une éprouvette ;
- Agiter l'échantillon contenu dans le tube à essai sur un agitateur mécanique ;

- Verser l'échantillon dans la burette ;
- Ajouter les 20 ml d'Hexane ;
- Récupérer dans un tube à essai, propre et étiqueté, le contenu de la burette en laissant toujours 1 ml pour garder la colonne humide. Soit F₁ cette fraction ;
- Mesurer sous la hotte 20 ml du mélange Hexane / Dichlorométhane (proportions : 50/50) à l'aide d'une éprouvette et les verser dans la burette ;
- Récupérer le contenu de la burette dans un autre tube à essai propre et étiqueté. Soit F₂ cette fraction.

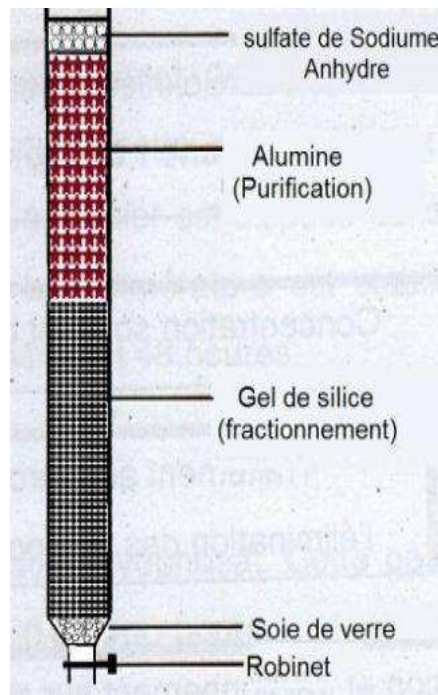


Figure III.5 : Colonne chromatographique

Chaque tube contenant les fractions récupérées est fermé avec du papier aluminium puis avec le bouchon et le tout est enrobé avec du téflon en ruban pour éviter toute contamination ou perte d'échantillon. Les tubes sont enfin conservés au frais et prêts à être analysés dans la SFUV.

5.1.4. Analyse des hydrocarbures polyaromatiques (HAP)

5.1.4.1. Principe de la spectrofluorescence UV (SFUV)

Le principe de cette méthode est fondée sur les analogies que présentent les spectres d'excitation et d'émission de fluorescence des substances organiques non polaires extraites de l'eau de mer et ceux des substances entrant dans la composition de la plupart des pétroles bruts et des fuels résiduels. Ces dernières se caractérisent par une excitation maximale au voisinage de 310 nm et une crête large vers 360 nm dans le spectre d'émission, les deux phénomènes étant dus essentiellement au fait qu'il s'agit d'un mélange complexe de composés contenant deux ou plusieurs noyaux aromatiques (COI, 1983).

La matière à analyser est exposée à des fréquences de rayonnement ultraviolet spécifique, qui excitent les molécules aromatiques. Celles-ci émettent alors une lumière de plus basse énergie (fluorescence) qui peut être détectée par le spectromètre. La réponse de fluorescence des substances excitées est fonction de leur structure moléculaire. Elle ne s'applique qu'aux molécules qui possèdent des liaisons doubles conjuguées, par conséquent aux hydrocarbures aromatiques des pétroles et parmi les composés les plus fluorescents figurent les hydrocarbures polyaromatiques (MARCHAND, 1983).

5.1.4.2. Présentation de l'appareil d'analyse (le Spectrofluorimètre)

L'appareil d'analyse utilisé est un Spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10s, équipé d'une lampe à Xénon qui représente la source lumineuse la plus performante avec des fentes de 1,5 nm à 20 nm, un monochromateur d'excitation, un balayage allant de 220 à 830 nm grâce à un monochromateur d'émission (car après excitation, l'échantillon émet dans toutes les directions), un photomultiplicateur (qui transforme la lumière émise en courant électrique) et un système de lecture du signal.

L'appareil fonctionne avec 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 III.6 : Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI 650-10s

5.1.4.3. Étalonnage et préparation des standards

La matière extraite de l'eau de mer n'est pas constituée par du "pétrole" mais par l'accumulation des produits de la dégradation du pétrole, parfois accompagnés de composés aromatiques non polaires dérivés d'autres sources. Étant donné la complexité de cette matière et son caractère mal défini à l'heure actuelle, il est recommandé aux laboratoires d'utiliser le Chrysène ($C_{18}H_{12}$) comme principale substance de référence. D'autres produits pétroliers étant également utilisables le cas échéant (COI, 1983).

La préparation des standards est effectuée à partir d'une solution mère d'une concentration de 100µg/ml, obtenue à partir de la dissolution de 1mg de chrysène dans 10 ml d'Hexane. A partir de cette solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir à une gamme d'étalonnage préparé selon le principe de neutralisation :

$$C_1V_1=C_2V_2$$

Ainsi, Des volumes de 10, 20, 50, 80, 100 µl sont prélevés de la solution mère à l'aide d'une micropipette, et dilués dans 10 ml d'Hexane afin d'obtenir des solutions filles dont les concentrations sont mentionné dans le tableau suivant (Tableau III.3).

Les fioles contenant les solutions standards sont placées dans un bac à ultrasons pendant deux minutes pour leur assurer une bonne homogénéisation.

Tableau III.3 : Concentrations de la gamme d'étalonnage

Standards	S1	S2	S3	S4	S5
Concentrations (C ₂) (µg/ml)	0,1	0,2	0,5	0,8	1

5.1.4.4. Mesure des intensités de fluorescence (IF)

La lecture des intensités de fluorescence (IF) nécessite les conditions suivantes :

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

On fait passer tous les standards et les échantillons ainsi que l'Hexane dans l'appareil et on fait la lecture de l'Intensité de Fluorescence (IF).

En utilisant les résultats de la gamme d'étalonnage, on trace une droite d'étalonnage $IF=f(C)$. L'intensité de fluorescence (**IF**) est proportionnelle à la concentration (**C**).

Cette droite d'étalonnage a la forme suivante :

$$IF = aC + b$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire (UA) ;

C : concentration en HAP (en µg/ml) ;

a : pente de la droite ;

b : ordonnée à l'origine.

Droite d'étalonnage

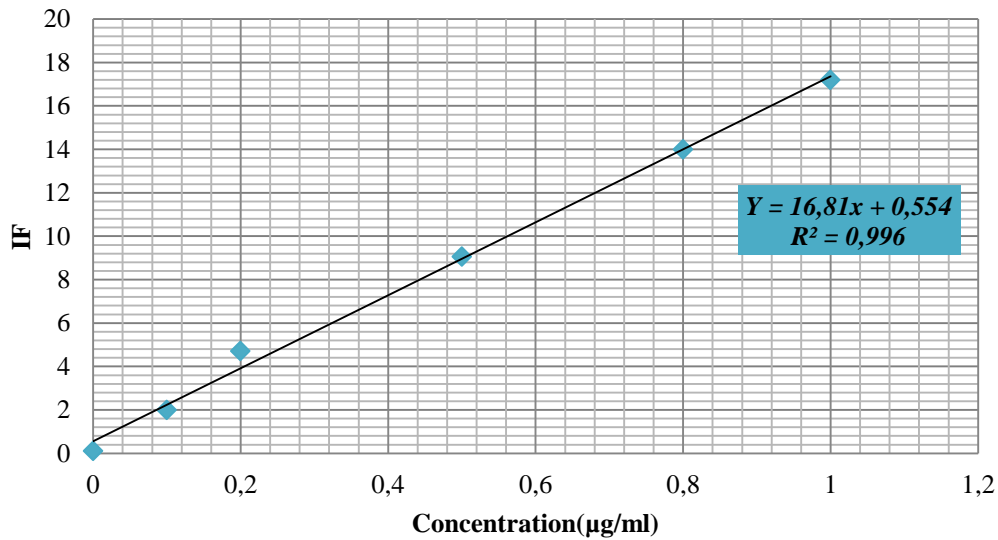


Figure III.7 : Droite d'étalonnage

5.1.4.5. Expression des résultats

La concentration finale des HAP dans un échantillon d'eau de mer se calcule de la manière suivante :

$$[HAP](\mu g/l) = \frac{C * V_p}{V_{Ech}}$$

C : Concentration de l'échantillon en HAP ($\mu g/ml$) ;

V_p : Volume de purification (20ml) ;

V_{Ech} : Volume d'eau extrait de l'échantillon d'eau de mer (L).

5.2. Dosage de l'Oxygène Dissous (OD) par la méthode de Winkler (1888)

Malgré le développement des électrodes à oxygène dissous et les sondes de mesure in situ, la méthode Winkler (méthode chimique) reste la méthode la plus précise et reproductible pour le dosage d'oxygène dissous tout en respectant un certain nombre de points méthodologiques (AMINOT et KEROUEL, 2004).

5.2.1. Principe

En milieu très basique, le dioxygène dissous dans l'eau oxyde les ions Mn^{2+} . Lorsque l'on revient en milieu acide, les ions Mn^{3+} formés au cours de la première étape oxydent les ions iodure. On dose le diiode ainsi formé à l'aide d'une solution de thiosulfate de titre connu.

Les coefficients stœchiométriques des réactions successives sont tels que 1 mole de dioxygène correspond à 4 moles d'ions thiosulfates.

L'analyse des échantillons est réalisée par titrimétrie avec détection du point d'équivalence par une méthode potentiométrique avec utilisation d'un titreux (AMINOT et KEROUEL, 2004).

5.2.2. Préparation du matériel et des réactifs

La préparation du matériel consiste à faire un calibrage des flacons afin de déterminer leur volume. Cette opération est nécessaire pour le calcul de la concentration finale de l'Oxygène Dissous dans l'échantillon d'eau de mer. Cette opération est indiquée dans l'Annexe 05.

Les réactifs utilisés, dont la préparation est indiquée dans l'Annexe 05, sont les suivants (AMINOT et KEROUEL, 2004) :

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

5.2.3. Préparation des échantillons (AMINOT et KEROUEL, 2004)

- Attendre au moins 6 heures après l'ajout des réactifs 1 et 2 ;
- Une fois le précipité est rassemblé dans la moitié inférieure du flacon, éviter toute remise en suspension et ajouter 2 ml du réactif 3 ;
- 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.

5.2.4. Titrage potentiométrique (AMINOT et KEROUEL, 2004)

- Après acidification et dissolution du précipité, faire introduire un barreau magnétique à l'intérieur du flacon et mettre sur l'agitateur magnétique à 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.

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



Figure III.8 : Titreur automatique de type TitroLine® 6000

5.2.5. *Étalonnage de thiosulfate* (AMINOT et KEROUEL, 2004)

Puisque le thiosulfate est une solution instable (sa concentration change beaucoup), il faut avant tout titrage déterminer sa concentration qui va servir au calcul de la concentration de l'échantillon en Oxygène Dissous. La procédure est la suivante :

- Remplir un bécher avec 100 ml d'eau déminéralisée ;
- Rajouter les réactifs inversement (1ml du réactif 3 puis 1ml du réactif 2) ;

Note : Ne pas rajouter le réactif 1 pour éviter la formation de précipité de Mn et donc le piégeage d'oxygène.

- Ajouter 1 ml de la solution de KIO_3 ;
- Faire 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) ;

$$[thio] = \frac{[KIO_3]V_{KIO_3}}{V_e}$$

$[KIO_3]$: Concentration de la solution de KIO_3 (1N) ;

V_{KIO_3} : Volume de la solution de KIO_3 ajouté (1ml) ;

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

5.2.6. Détermination du blanc chimique

Le blanc chimique est dû à la présence d'impuretés dans les réactifs. Ces impuretés peuvent être constituées de substances oxydantes ou réductrices. Par conséquent, le blanc chimique peut être positif ou négatif (AMINOT et KEROUEL, 2004).

On opère de la manière suivante :

- Remplir un bécher avec de l'eau déminéralisée ;
- Ajouter les réactifs inversement (1 ml du réactif 3 puis 1 ml du réactif 2) ;
- Ajouter 1 ml de la solution de KIO_3 ;
- Titrer immédiatement par le thiosulfate et noter le volume d'équivalence. Soit V_1 ce volume ;
- Rajouter à nouveau 1 ml de KIO_3 et titrer. Noter le volume d'équivalence. Soit V_2 ce volume.

La valeur du blanc chimique est donnée par cette expression :

$$b = V_1 - V_2$$

5.2.7. Expression des résultats

5.2.7.1. Équation de calcul de La concentration de l'Oxygène Dissous contenu dans l'échantillon d'eau de mer :

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

[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 : Blanc chimique (ml).

5.2.7.2. Équation de saturation en oxygène (AMINOT et KEROUEL, 2004)

$$\ln C_s(\mu\text{mol/l}) = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3} + \frac{E}{T^4} - S * (F + \frac{G}{T} + \frac{H}{T^2})$$

C_s : Concentration d'O₂ à saturation ($\mu\text{mol/l}$)

T : Température thermodynamique (K) = t (°C) + 273,15

S : Salinité sur l'échelle pratique de salinité (PSU)

A : -135,90205

B : 157570,1

C : -66423080

D : 12438000000

E : -862194900000

F : 0,017674

G : -10,754

H : 2140,7

Note : domaine d'application de cette équation $t = 0 - 40^\circ\text{C}$; $S = 0 - 40$ PSU.

5.2.7.3. *Pourcentage (degré) de saturation (%OD)*

$$\%OD = 100 * \frac{C_m}{C_s}$$

C_m : Concentration d'O₂ mesurée ($\mu\text{mol/l}$)

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Paramètres Physico-chimiques

Les caractéristiques physicochimiques de l'eau de mer déterminent la "qualité" biologique, ainsi que d'autres qualités très importantes (**BARNABE et BARNABE-QUET, 1997**).

1.1. La Température (T)

Les eaux de surface des mers et des océans en contact avec l'atmosphère sont soumises à différents phénomènes tel que les rayonnements solaires, l'évaporation, la mise en mouvement par les vents et à d'autres phénomènes (**BARNABE et BARNABE-QUET, 1997**).

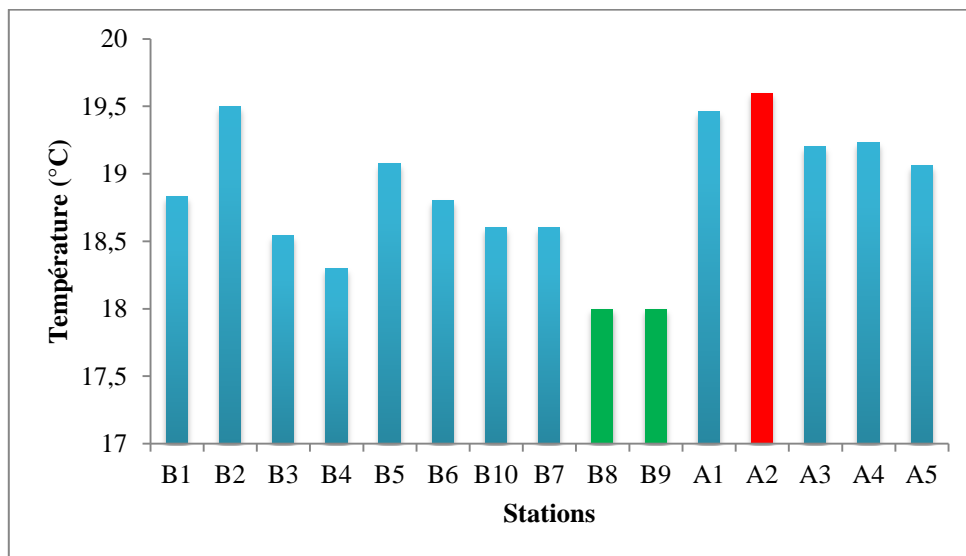


Figure IV.1 : Profil des variations de la température des eaux de surface dans les différents points de la zone d'étude

La figure IV.1 montre que la température des eaux de surface varie très peu dans la zone d'étude (écart-type faible de 0,51) avec une moyenne de 18,85°C reflétant la période saisonnière qui est la saison printanière durant laquelle les mesures ont été effectuées.

Ces températures fluctuent entre un minimum de 18°C marqué à Oued Nador et à l'extérieur du port de Tipaza (stations B8 et B9) et un maximum de 19,6°C à Bordj El Kiffan (station A2). En effet, les deux stations B8 et B9 sont proches l'une de l'autre et se situent à proximité de Oued Nador. Leurs températures relativement basses sont probablement dues aux mélanges avec les eaux continentales provenant de cet oued.

Pour la station A2, la température relativement élevée pourrait être expliquée par le grand développement industriel et urbain dans la région de Bordj El Kiffan, d'où le grand nombre de rejets d'eaux usées qui pourraient avoir des températures relativement élevées. Il est à noter aussi

que l'effet de l'anthropisation atteint cette station du fait de son emplacement entre les deux oueds El Harrach et El Hamiz qui sont connue par leur degré de pollution.

Nous avons une autre valeur relativement élevée au niveau de la station A1 (Oued El Hamiz) avec une température atteignant 19,46 °C due probablement aux eaux de cet oued qui pourraient aussi présenter des températures relativement élevées.

D'une façon générale, les fluctuations de la température des eaux de surface seraient probablement dues à l'influence des facteurs météorologiques (température de l'air, vents) suivant ainsi la période saisonnière dans laquelle les mesures ont été effectuées et hydrodynamiques qu'elles subissent. En effet, **BARNABE et BARNABE-QUET (1997)** justifient ces variations de température des eaux de surface en disant que les eaux littorales peu profondes, et à fortiori les eaux confinées reflètent plus vite et plus intensément, que les eaux du large, les variations de température de l'atmosphère, surtout lorsque les vents favorisent les échanges thermiques par brassage des eaux sous l'effet des vagues.

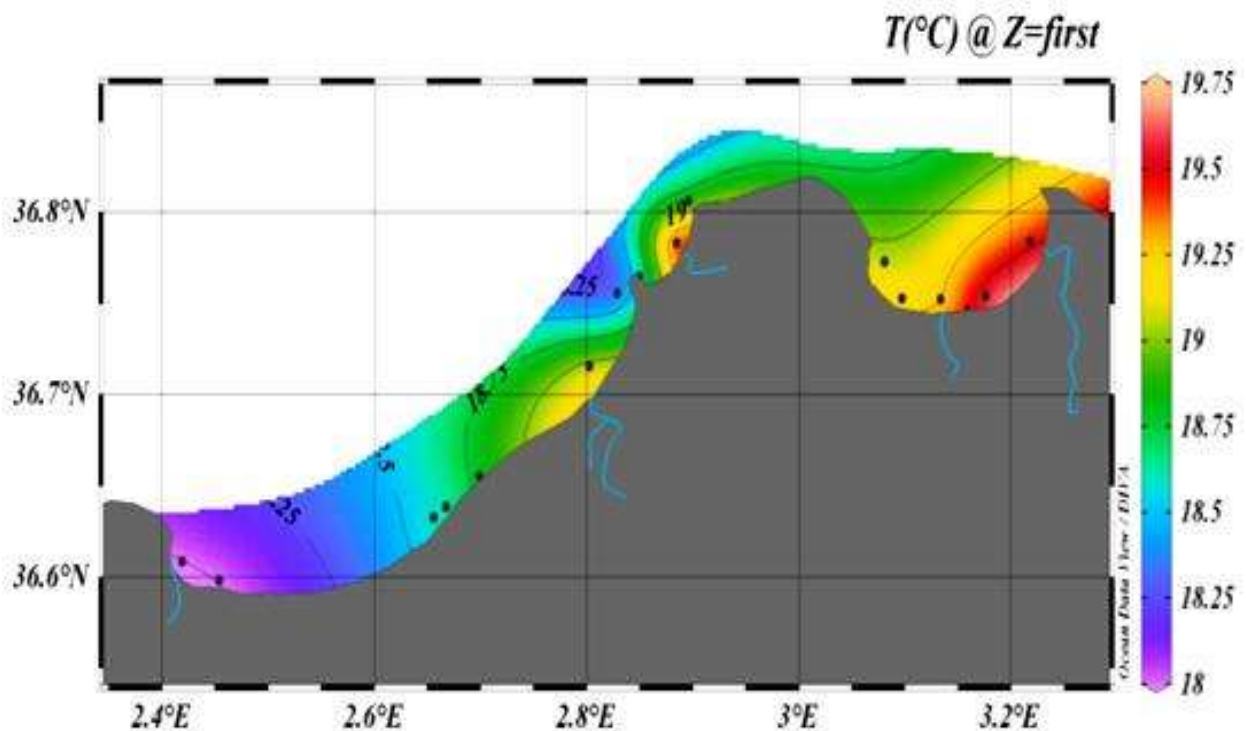


Figure IV.2 : Distribution spatiale des variations de la température dans la zone d'étude

D'après cette carte (Figure IV.2), on voit clairement l'existence d'un gradient croissant de température allant de l'Ouest vers l'Est.

On remarque aussi que les températures relativement élevées se trouvent au niveau des embouchures des oueds El Hamiz et El Harrach dans la baie d'Alger et au niveau des embouchures des oueds Beni Messous et Mazafran dans la baie de Bou-Ismaïl. Cela pourrait être expliqué par la grande influence des eaux de ces oueds qui font augmenter la température des eaux de surface. Cette influence diminue au fur et à mesure de l'éloignement des embouchures.

1.2. La Salinité (S)

La salinité est un facteur important dans le milieu marin, du fait de 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 comme à la côte ou dans les estuaires. C'est une propriété fondamentale à l'étude du milieu marin (AMINOT et KEROUEL, 2004).

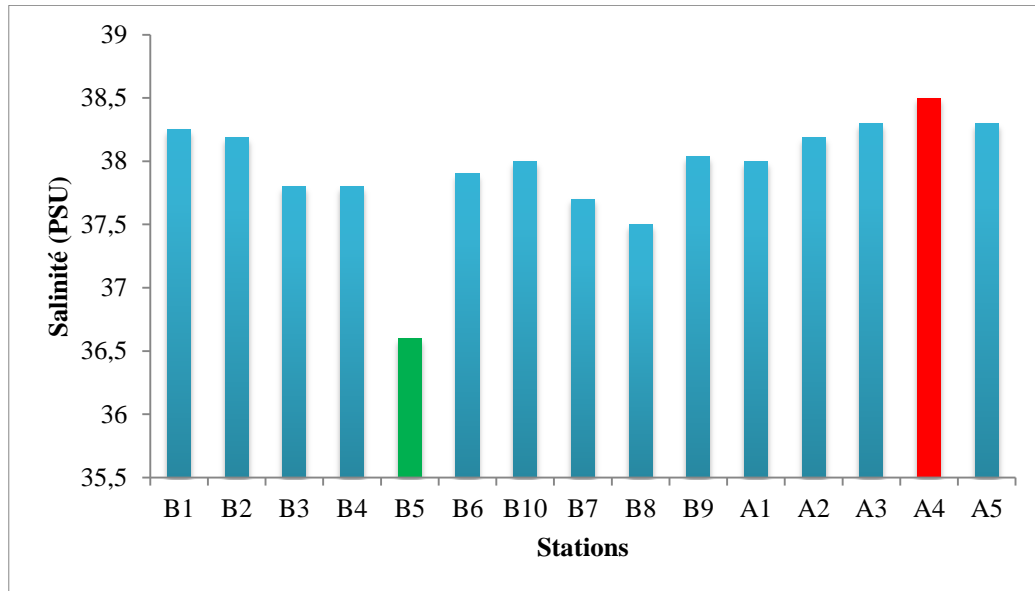


Figure IV.3 : Profil des variations de la salinité dans les différents points de la zone d'étude

La salinité des eaux de surface fluctue entre un minimum de 36,6 PSU à la station B5 (Oued Mazafran) et un maximum de 38,5 PSU à la station A4 (Sablette), avec une moyenne de 37,94 et un écart-type de 0,46 reflétant la faible variation de ce paramètre dans la zone d'étude (Figure IV.3).

Du fait que la Méditerranée constitue un bassin d'évaporation déficitaire en eau, l'eau atlantique qui rentre par le détroit de Gibraltar à une salinité de 35 à 35,5 PSU subira une salinisation le long de son parcours dans la Méditerranée pour arriver à des salinités de l'ordre de 36,5 à 38 PSU constituant ainsi l'essentiel du courant algérien (TALEB, 1970 ; AMINOT et KEROUEL, 2004 ; HOUMA-BACHARI, 2009). Cette eau atlantique modifiée est à l'origine des eaux appartenant à la zone d'étude. Elle est très marquée dans le baï de Bou-Ismaïl entre 2,4 °E et 2,85 °E par des salinités comprises entre 36,5 et 38 PSU. Au fait, BENZOHRRA (1993) a déjà signalé cette MAW dans le bassin algérien (BENZOHRRA, 1993 in BACHOUICHE, 2010).

En effet, dans le domaine côtier, la salinité varie beaucoup par rapport aux eaux du large, surtout dans les zones soumises à l'influence direct d'un apport d'eau douce (AMINOT et KEROUEL, 2004). Dans notre cas, la valeur la plus faible de salinité est située au niveau de la station B5 qui correspond à l'embouchure de l'Oued Mazafran où il est clairement apparu l'influence des apports d'eau douce sur les propriétés hydrographiques des eaux marines de la zone d'étude. De ce fait, la salinité est connue comme un traceur idéal des mélanges entre l'eau douce et l'eau de mer (AMINOT et KEROUEL, 2004).

Vu que l'Oued Mazfran fait partie des grands oueds de la zone d'étude avec son immense bassin versant et son débit liquide important, son effet sur la salinité était très bien marquée. Par contre, l'effet du reste des oueds de la zone d'étude (Nador, Beni Messous, El Harrach, El Hamiz) sur la salinité était moindre, ceci est peut être dû à la période de mesure qui correspond à la fin de la saison printanière, caractérisée par les fortes températures favorisant l'évaporation, la sécheresse et l'étiage des oueds.

Il est à noter que les valeurs les plus élevées de salinité correspondent aux stations situées loin de l'influence des eaux continentales.

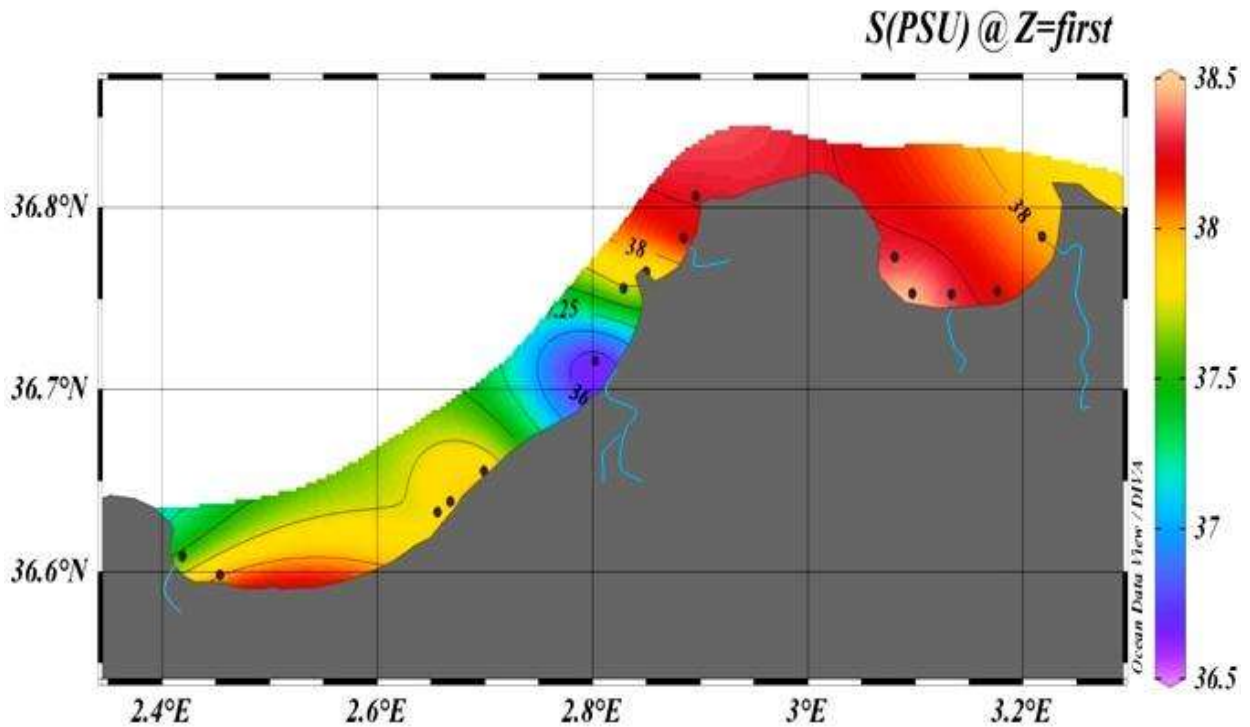


Figure IV.4 : Répartition spatiale de la salinité dans les eaux de surface de la zone d'étude

On remarque aussi d'après la distribution spatiale de la salinité (Figure IV.4) que les valeurs les plus élevées se situent dans la baie d'Alger. Cela peut être expliqué par la morphologie de la baie qui semble être abritée par rapport à la baie de Bou-Ismaïl, ce qui favorise l'évaporation et diminue l'agitation et le mélange avec les eaux du large. Par conséquent, un gradient croissant de salinité s'installe d'Ouest en Est de la zone d'étude.

On conclue que la salinité dans la zone cotière est généralement influencée par : la température, les apports d'eaux douces et de la circulation océaniques (**BACHARI-HOUMA, 2009**).

1.3. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau de mer résulte de sa composition ionique, particulièrement de la présence des carbonates issus de l'échange de gaz carbonique (CO_2) à l'interface air-mer, et de la dissolution

du calcaire. Le pH des eaux de surface reste dans une étroite fourchette de l'ordre de 8,3 avec des variations dépassant rarement 2 à 3 dixièmes d'unité de pH.

Ce paramètre dépend essentiellement de la teneur en CO_2 qui varie en fonction des processus naturels d'origine biologique (tels que les poussées phytoplanctoniques consommatrice de CO_2 , la respiration des êtres vivants et la photosynthèse) et géochimiques (tels que les échanges air-mer) entraînant ainsi le déplacement des équilibres du système carbonique. Des processus anthropiques, tels que l'accumulation des matières organiques d'origine continentale ou la contamination par des rejets urbains, contribuent également à la modification du pH naturel (AMINOT et KEROUEL, 2004 ; RAMADE, 2000 in BACHARI-HOUMA, 2009 ; BACHARI-HOUMA, 2009).

Le pH reflète donc, l'équilibre entre les espèces chimiques majeures du milieu, mais constitue aussi un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes (AMINOT et KEROUEL, 2004).

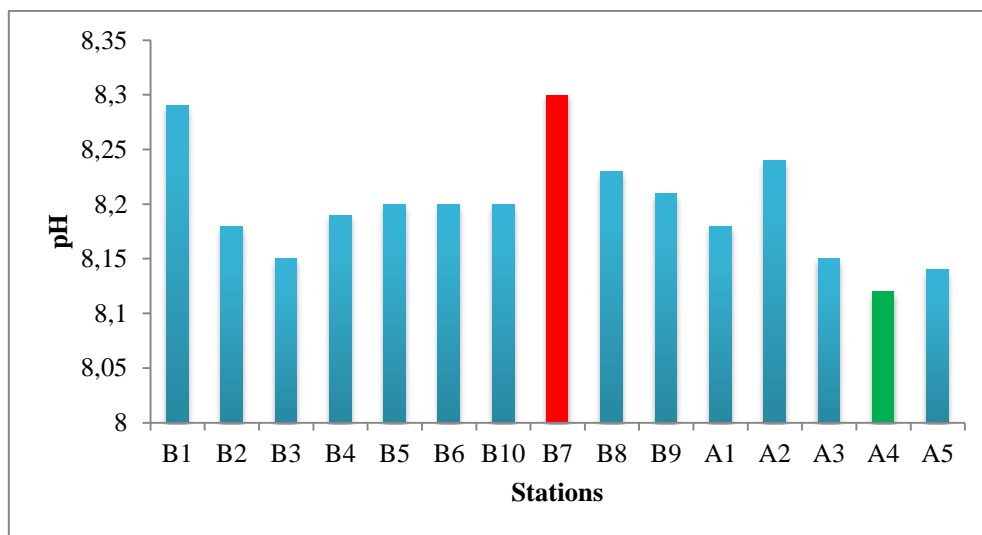


Figure IV.5 : Profil des variations du pH dans les différents points de la zone d'étude

D'après la figure IV.5, le pH moyen au niveau de la zone d'étude est d'environ 8,2 reflétant ainsi un pH légèrement basique caractéristique des eaux marines (RODIER et al., 2005), et indiquant globalement un état normal des eaux de surface de cette zone. Ce paramètre varie très peu (écart-type = 0,05) entre un minimum de 8,12 localisé au niveau de la station Sablette (A4) et un maximum de 8,3 à Bouharoun (station B7).

Selon SKIRROW (1965) et WETZEL (1983) ces valeurs sont habituellement mesurées dans les eaux superficielles en raison du rayonnement solaire. Celui-ci a un effet double sur le pH : il favorise la photosynthèse et accroît la température en surface, deux phénomènes qui réduisent la quantité d'acide carbonique libre et font donc augmenter le pH (SKIRROW, 1965 et WETZEL, 1983 in CCME, 1999a).

Dans le cas des baies, il se produit une importante dilution de l'eau de mer par des eaux douces mais le pouvoir tampon de l'eau de mer est suffisant pour que le pH demeure stable (CCME, 1999a).

Les valeurs relativement faibles ($8,12 < \text{pH} < 8,15$) sont situées au niveau des stations B3 (extérieur du port de Sidi-Fredj), A5 (extérieur du port d'Alger), A4 (Sablette) et A3 (Oued El Harrach).

Ces valeurs sont expliquées par plusieurs phénomènes. Généralement les fluctuations de pH dans les milieux aquatiques sont d'origine anthropique et sont attribuables en grande mesure à l'activité industrielle et aux véhicules qui émettent du Dioxyde de Soufre (SO_2) et des Oxydes d'Azote (NO_x) faisant ainsi baisser le pH (CCME, 1999a ; KNUTZEN, 1981 et KAUFMANN et al., 1992 in CCME, 1999a). Des variations de pH peuvent en outre survenir dans les milieux aquatiques sous l'effet d'apports directs d'acides attribuables à certains lixivants de déchets industriels (MCNEELY et coll., 1979 in CCME, 1999a). Dans notre cas c'est surtout au niveau de l'Oued El Harrach où nombreuses industries déversent directement leurs rejets sans aucun traitement préalable.

Le processus de minéralisation des matières organiques présente une autre origine de diminution de pH qui pourrait aussi expliquer les valeurs relativement faibles trouvées dans certaines stations. Ces matières organiques prennent source essentiellement des rejets d'eaux usées chargées en matières organiques issues des ports et des complexes touristiques et urbains, mais aussi industriels (plus précisément l'industrie agro-alimentaire).

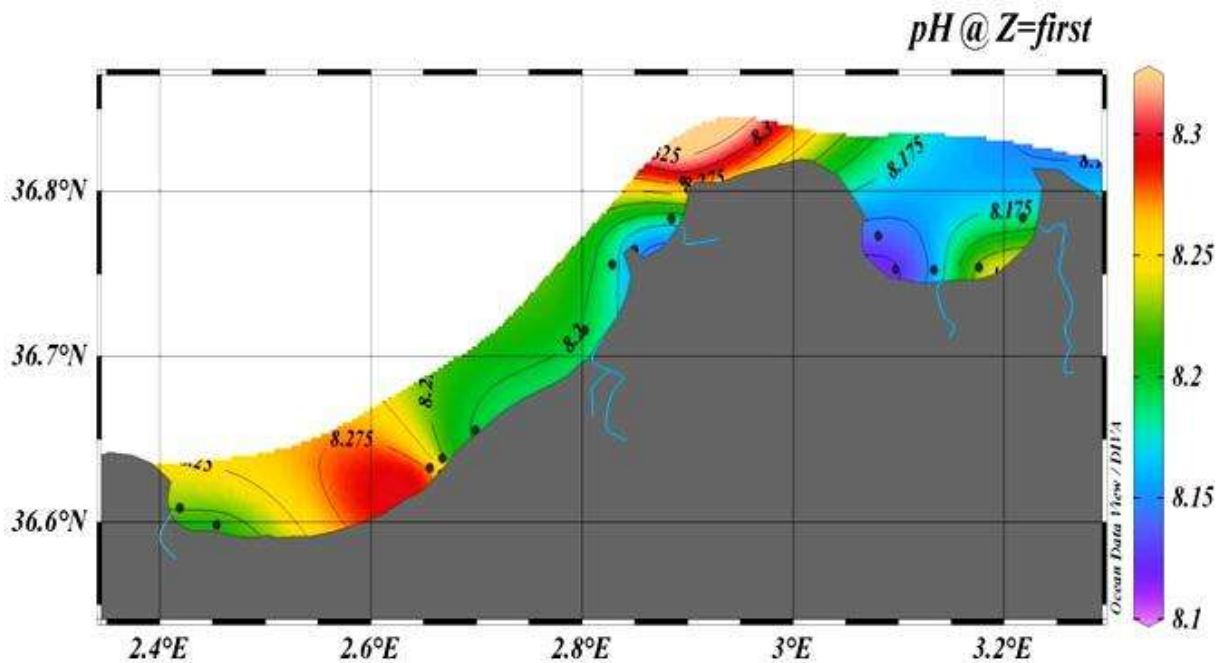


Figure IV.6 : Répartition spatiale du pH dans de la zone d'étude

La distribution spatiale du pH sur la zone d'étude (Figure IV.6) est relativement homogène. La baie d'Alger présente les valeurs les plus faibles de pH par rapport à la baie de Bou-Ismaïl. Ceci est dû probablement à la pression anthropique exercée sur cette baie en comparaison avec ceux de la baie de Bou-Ismaïl. Cette pression est illustrée par les nombreux rejets urbains et industriels qui s'y effectuent.

1.4. L'Oxygène Dissous (OD)

L'Oxygène dissous (OD) est un paramètre important dans le milieu marin dans lequel il gouverne la majorité des processus biologiques (RODIER et al., 2005) et maintient les phénomènes d'autoépuration (BACHARI-HOUMA, 2009), mais aussi renseigne sur l'état de santé de ce dernier et constitue donc un bon indicateur de pollution (AMINOT et KEROUEL, 2004).

En absence d'activités biologiques, la concentration en OD dans le milieu tend vers la saturation (AMINOT et al., 1997 in BACHARI-HOUMA, 2009). Cependant, cette concentration subit des variations importantes dues à des processus physiques, chimiques et biologiques : échanges air-mer (gain ou perte) ; diffusion au sein de la masse d'eau (gain) ; photo-oxydation (perte) ; respiration des organismes aquatiques (perte) ; minéralisation de la matière organique (MO) (perte) ; nitrification (perte) et photosynthèse (gain) (AMINOT et KEROUEL, 2004).

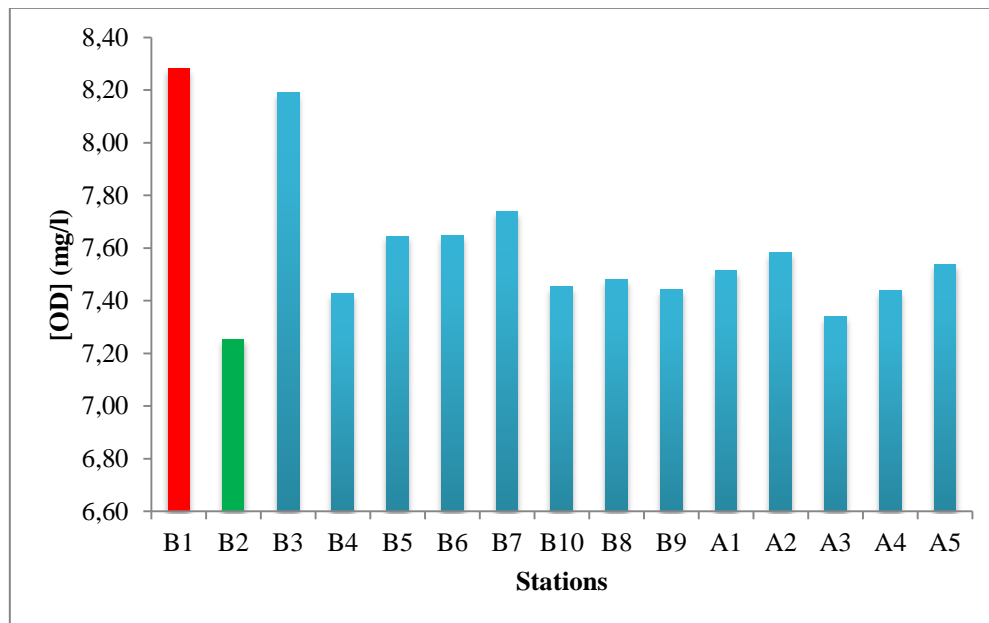


Figure IV.7 : Profil des variations de la concentration de l'Oxygène dissous dans les différents points de la zone d'étude

La concentration en OD des eaux de surface dans la zone d'étude fluctue autour d'une moyenne de 7,6 mg/l (Figure IV.7). Cette concentration varie modérément (écart-type = 0,29) entre un

minimum de 7,25 mg/l enregistré à la station se trouvant face à l'embouchure de Oued Beni Messous (B2) et un maximum de 8,28 mg/l enregistré à l'extérieur du port El Djamila (B1) avec des degrés de saturation de 99,04% et 111,71% respectivement.

On remarque que les teneurs en OD sont élevées sur l'ensemble de la zone d'étude et sont au-dessus du seuil sensible des besoins de la vie aquatique en oxygène (5 mg/l) et même supérieures à la concentration de saturation définie, selon **AMINOT et KEROUEL (2004)**, à 7,3 mg/l (à 35 PSU et à 20°C), permettant donc un développement normal aux organismes aquatiques selon leurs besoins en Oxygène (Figure IV.8).

Vie aquatique et besoins en O ₂		
Seuil sensible	Développement normal	Plus de 5 mg/l
	Développement perturbé	de 4 à 5 mg/l
Seuil critique	Faune et flore en difficulté	de 3 à 4 mg/l
		de 2 à 3 mg/l
Seuil létal		de 1 à 2 mg/l
	Asphyxie et mortalité	Moins de 1 mg/l

Figure IV.8 : Seuils des besoins en OD par les organismes vivants aquatiques (**HUBICHE, 2002**)

Ces résultats témoignent de la période d'échantillonnage (printemps-été) durant laquelle les poussées phytoplanctoniques sont les plus abondantes par rapport au reste de l'année. Ces poussées phytoplanctoniques contribuent à un enrichissement endogène des eaux de surface en Oxygène grâce au processus de photosynthèse. En plus de la photosynthèse, le phénomène de brassage des eaux, sous l'effet de l'hydrodynamisme, accélère les échanges gazeux à l'interface air-mer et participe à une oxygénation exogène du milieu.

Les teneurs les plus élevées en OD sont enregistrées à l'extérieur des ports d'El Djamila et de Sidi-Fredj. Ces valeurs témoignent le fort hydrodynamisme connu dans ces endroits.

Alors que les teneurs les moins élevées se trouvent au niveau des embouchures des oueds avec un minimum enregistré à oued Beni Messous. Ceci s'explique par la consommation d'OD dans ces milieux par les bactéries (aérobies) qui oxydent la MO ou bien par les réactions chimiques d'oxydation de différentes substances oxydables charriées par ces oueds ou provenant des rejets d'eaux usées urbaines, industrielles et agricoles. Ces faibles valeurs peuvent aussi être la conséquence d'une turbidité qui empêche la pénétration de la lumière le long de la couche euphotique, ce qui provoque la diminution de l'activité photosynthétique, diminuant par conséquence l'apport endogène d'OD. Ces teneurs relativement faibles augmentent au fur et à mesure de l'éloignement des embouchures vers le large (**TOPPING, 1976 in CCME, 1999b**).

Pour ce qui est des degrés de saturation de l'OD, les eaux de surface de la zone d'étude sont légèrement sursaturées avec un pourcentage moyen de 102,34%. Un minimum de 98,72% est enregistré à l'extérieur du port de Tipaza et un maximum de saturation correspond à la zone qui

présente un maximum de concentration en OD (extérieur du port d'El Djamil) avec 111,71%. En effet, l'OD des eaux de surface est généralement légèrement saturé, voire même sursaturé grâce à l'activité photosynthétique et aux échanges gazeux à l'interface air-mer (BOULAHIDJ, 1987 ; BARNABE et BARNABE-QUET, 1997). De ce fait, le problème de limitation d'Oxygène dans cette couche est inexistant (BOUGHRIRA, 2012).

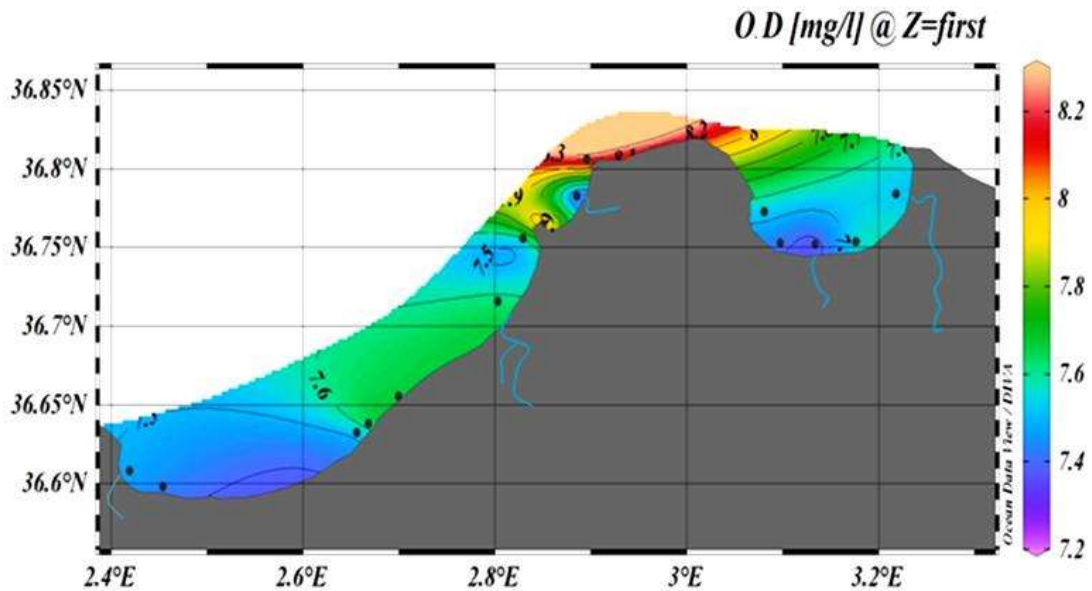


Figure IV.9 : Répartition spatiale de l'Oxygène dissous dans la zone d'étude

La distribution spatiale de ce paramètre (Figure IV.9) montre une certaine homogénéité sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'exception de la région reliant les deux baies, comprise entre Ras-Acrata et cap Caxine où les teneurs en OD sont plus fortes par rapports aux deux baies. Ceci revient (en plus de la photosynthèse connue sur toute la zone d'étude pendant cette période) au fort hydrodynamisme connu dans cet endroit qui est moins abritée contre l'énergie des vagues et des houles et ouvert sur le large ce qui confère une forte agitation des eaux et donc une importante diffusion de l'oxygène moléculaire vers ces dernières.

On remarque aussi que les valeurs les moins élevées sont au niveau de la baie d'Alger et à l'Ouest de la baie de Bou-Ismaïl à proximité de l'Oued Nador. Ces valeurs relativement faibles apparaissent aussi dans la baie d'El Djamil juste en face de l'Oued Beni Messous. Ceci s'explique encore une fois par l'apport des matières oxydables par ces oueds et aussi par la pression anthropique exercée sur la baie d'Alger en comparaison avec la baie de Bou-Ismaïl.

2. Analyse Corrélative entre les Paramètres Physico-chimiques

2.1. Température - Salinité (T-S)

La salinité détermine, avec la température, la densité des masses d'eau qui est un paramètre clé dans l'océanographie physique pour la détermination des masses d'eau et donc de la circulation océanique.

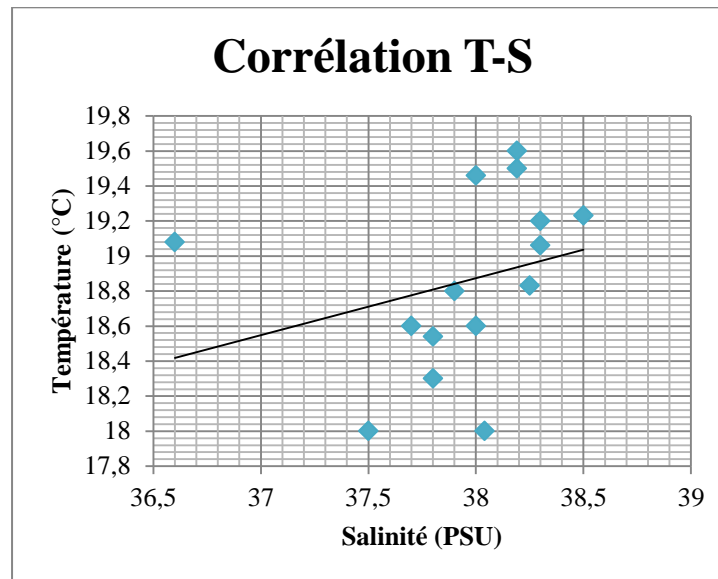


Figure IV.10 : Corrélation entre la Température et la Salinité des eaux de surface de la zone d'étude

D'après la corrélation effectuée entre la salinité et la température des eaux de surface de la zone d'étude (Figure IV.10), il semble que les valeurs de salinité se concordent avec les valeurs de températures.

La salinité est affectée par la température dont les plus fortes provoquent l'évaporation de l'eau de mer et par conséquent, l'augmentation de la salinité et vis versa (**TALEB, 1970**). Mais un certain paradoxe est présenté par des eaux relativement chaudes avec des salinités faibles. Ceci attire l'attention vers un autre facteur, autre que la température, qui affecte la salinité des eaux côtières. Il s'agit du mélange avec l'eau douce provenant des apports continentaux. Ce phénomène a lieu beaucoup plus devant les embouchures des oueds, on peut citer à titre d'exemple la station se trouvant face à l'embouchure de l'Oued Mazafran, où la salinité est à son minimum par rapport au reste de la zone d'étude (36,6 PSU), alors que la température est relativement élevée (19,08°C).

Nous pouvons aussi distinguer des eaux relativement froides avec des salinités fortes qui laissent supposer une présence d'upwelling faisant remonter des eaux froides et salées vers la surface (**BACHOUCHE, 2017**). On peut citer comme exemple, la station B9 correspondant à l'extérieur du port de Tipaza qui porte un minimum de température (18°C) par rapport au reste des stations avec une valeur relativement élevée de salinité estimée à 38,04 PSU.

On peut conclure que la salinité varie selon la température et les apports en eaux douces continentales ainsi que la circulation océanique (**BACHARI-HOUMA, 2009 ; BACHOUCHE, 2017**).

Cette analyse confirme l'origine des eaux de notre zone d'étude présentée sous forme d'eaux côtières composées de l'eau atlantique modifiée "MAW" venant du large et contenant une empreinte des eaux douces continentales (ABDERRAHMANI, 2011).

2.2. Température - pH (T-pH)

On peut parler d'une certaine corrélation entre le pH et la température du fait qu'il existe une relation entre ces deux paramètres et le gaz carbonique (CO₂).

En effet, le CO₂ pénètre dans l'océan essentiellement par diffusion de l'atmosphère via l'interface air-mer et comme tous les autres gaz, sa solubilité dans l'eau est inversement proportionnelle à la température de sorte que lorsque la température augmente, le CO₂ devient moins soluble dans l'eau, et donc sa teneur dans l'eau décroît, provoquant ainsi l'augmentation du pH.

2.3. Température - OD (T-OD) et Salinité - OD (S - OD)

D'après les diagrammes T-OD et S-OD (Figure IV.11), il s'avère qu'une certaine corrélation existe entre la teneur des eaux de surface en OD et la température ainsi que la salinité. En effet, la solubilité de l'Oxygène dans l'eau de mer qui dépend de la température ainsi que de la salinité est inversement corrélée à ces deux paramètres (BARNABE et BARNABE-QUET, 1997 ; CCME, 1999b).

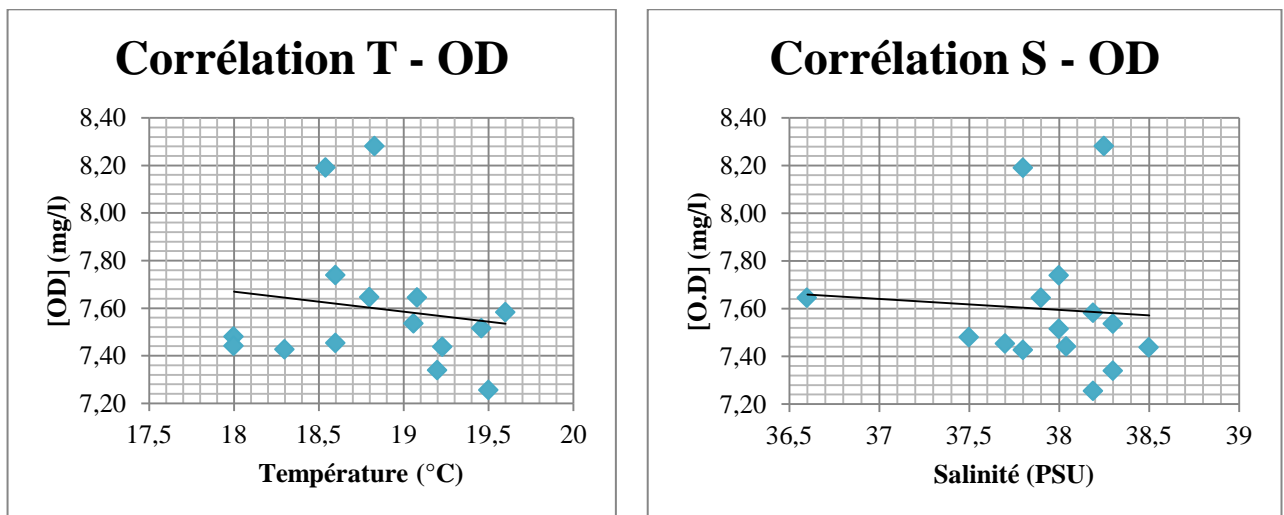


Figure IV.11 : Corrélation Température - OD et Salinité - OD des eaux de surface de la zone d'étude

La distribution horizontale dans la zone d'étude de ces trois paramètres témoigne cette corrélation. Ainsi, la comparaison montre que la distribution est inversée, de sorte que les zones

où les températures sont relativement élevées, présentent les teneurs en oxygène les plus faibles et vis-versa. Ceci nous mène à dire que les valeurs faibles en oxygène pourrait être dues à la diminution de la solubilité de ce gaz à cause des températures élevées. Autrement dit, quand la température augmente, la solubilité de l'oxygène décroît, diminuant avec elle la teneur en oxygène dissous dans le milieu (**BACHARI-HOUMA, 2009**). C'est le même cas pour la distribution horizontale de salinité, sauf pour la zone située entre 2,9 °E et 3,05°E (zone comprise entre Ras-Acrata et cap Caxine) où les salinités sont relativement plus fortes alors que les teneurs en OD sont aussi importante, ceci parait normal puisque ça revient à l'hydrodynamisme important dans cet endroit qui est moins abrité contre l'énergie des vagues et des courants et qui est ouvert sur le large, ce qui confère une forte agitation et donc une importante diffusion de l'oxygène moléculaire vers ces eaux.

On peut conclure enfin que la teneur en OD dans les eaux côtières peut subir de nombreuses variations dépendamment de l'état de ce milieu. Ainsi, en plus des facteurs biologiques (photosynthèse, respiration, ... etc.), elle résulte des facteurs physiques (température, salinité, échanges air-mer et agitation sous l'effet de l'hydrodynamisme).

2.4. pH - OD

Une corrélation entre la concentration des eaux de surface en OD et les variations de pH pourrait exister (Figure IV.12). Ceci est témoigné par la distribution spatiale des valeurs de pH dans la zone d'étude qui est superposable à celle de l'OD. C'est-à-dire que les régions où il y a des valeurs élevées de pH correspondent aux régions où les concentrations en OD sont aussi élevées et vis-versa.

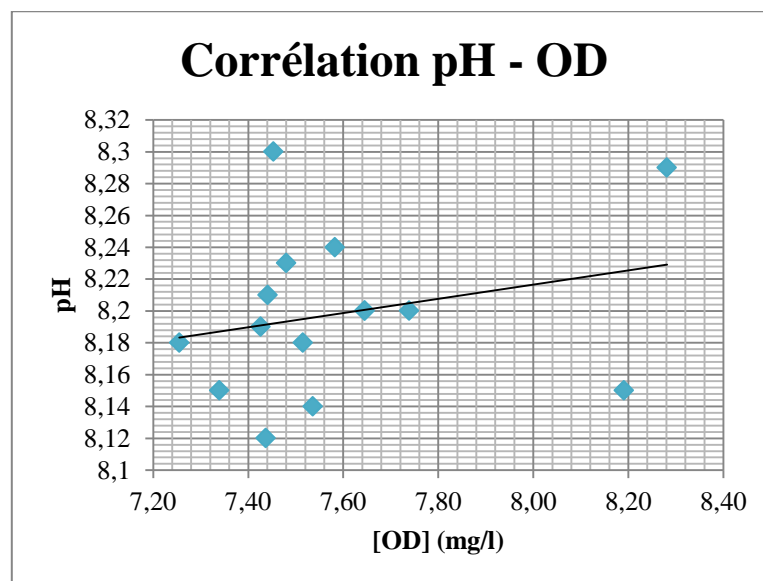


Figure IV.12 : Corrélation entre le pH et la teneur en OD des eaux de surface de la zone d'étude

Les concentrations en OD relativement élevées sont justifiées précédemment par l'activité phytoplanctonique intense dans ces régions durant cette période de l'année. En effet l'activité phytoplanctonique est consommatrice de CO₂, donc elle fait diminuer la concentration de ce gaz dans le milieu, faisant ainsi augmenter les valeurs de pH.

La même chose pour les valeurs relativement faibles, qui se trouvent au niveau des embouchures des oueds, où existe le phénomène inverse de la photosynthèse, qui est la respiration, et ici il s'agit de la consommation bactérienne de l'OD pour la dégradation de la matière. Dans ce cas, les concentrations en OD et les valeurs de pH se concordent indirectement.

3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les HAP constituent une famille de composés distribués de façon ubiquiste dans l'environnement (aérosols, colonne d'eau lacustre et marine, sols et sédiment marin) (FERNANDEZ et al., 2000 in AZOURY, 2013). Ils sont néanmoins répertoriés comme substances ayant une persistance environnementale (CEAEQ, 2014) et un potentiel de transport à grande distance par voie atmosphérique (PICOT et MONTADON, 2013). Ils sont considérés de ce fait comme étant d'excellents traceurs d'anthropisation d'un milieu (AZOURY, 2013).

Ces substances constituent une fraction du pétrole brut possédant des propriétés toxiques, mutagènes et cancérigènes. (GONNELLI et al., 2016 ; SIU et al., 2004 et KUMOSANI et al., 2013 in AGAH et al., 2016) susceptibles de menacer l'intégrité des écosystèmes aquatiques (WOODHEAD et al., 1999 et TRONCZYNSKIET et al., 2004 in AZOURY, 2013) même à faibles concentrations (habituellement aux niveaux des nano-grammes ou microgrammes par litre) (JOUANNEAU, 2002).

Ils sont également considérés comme hydrophobes et lipophile. Ceci provoque leur persistance dans les écosystèmes à cause de leur faible solubilité aqueuse (CRONE, 2000).

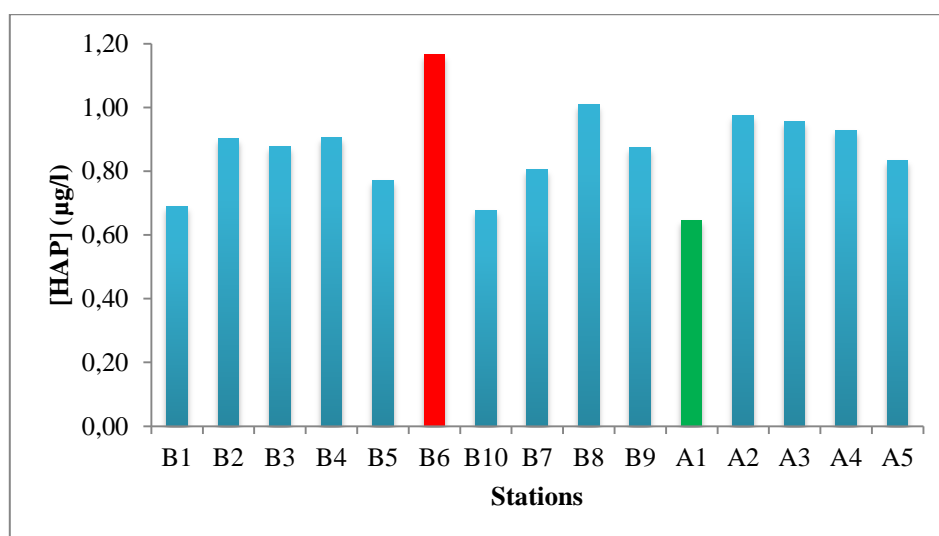


Figure IV.13 : Profil des variations de la concentration des HAP dans les différents points de la zone d'étude

L'ensemble des résultats révèle une faible présence des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude où les valeurs fluctuent autour d'une moyenne de 0,87 µg/l (Figure IV.13). Ainsi, une faible variation des concentrations des HAP a été marquée sur l'ensemble de cette zone (écart-type = 0,14) avec un minimum de 0,64 µg/l enregistré au niveau de la station A1 qui correspond à l'embouchure de Oued El Hamiz et un maximum de 1,17 µg/l signalé à Bou-Ismaïl (station B6).

Ces faibles teneurs en HAP dans l'ensemble de la zone pourraient être expliquées par la caractéristique de la période d'échantillonnage, qui est le début de la saison chaude. Ainsi, les HAP présents dans les eaux de surface subissent une dégradation accélérée due aux températures élevées qui peuvent influencer les taux de biodégradation et de photo-oxydation (**WITT, 2002 in AGAH et al., 2016**).

Le maximum enregistré au niveau de la station se trouvant face à la ville de Bou-Ismaïl (B6) peut être expliqué par la forte pression anthropique que connaît cette ville depuis les dernières années. En effet, la forte urbanisation dans cette ville fait d'elle la région la plus importante dans la côte Ouest d'Alger, générant ainsi des rejets domestiques plus importants qui se déversent directement en mer sans aucun traitement préalable. En plus de la forte urbanisation, Bou-Ismaïl constitue aussi la ville la plus industrialisée de la wilaya de Tipaza en accueillant dans sa dynamique zone industrielle 27 entreprises dans différents domaines dont cinq sont mises en cause des rejets toxiques : il s'agit de *Novapharm, Céramique Hippocampe, Driouche Cosmétiques Laboratoires, Prochimal* et le géant papetier *Tonic Emballages* (**CHERRIH, 2017**). Il est à noter que ces industries rejettent toute leur charge polluante en mer sans aucun traitement, y compris les HAP provenant des pertes de lubrifiants. Ces rejets constituent alors une source directe de la pollution des eaux de surface en HAP dans cette station. A cela s'ajoute l'apport indirect, sous l'effet de l'hydrodynamisme, des HAP en provenance des ports de Bouharoun et de Khimisti du fait de leur proximité à cette station, ainsi qu'une pollution ponctuelle probable des eaux, issue des navires circulant au large de cette zone.

On remarque que les valeurs relativement élevées correspondent aux stations qui se situent à l'extérieur des ports et des oueds se trouvant dans la zone d'étude (à l'exception des ports Khmisti et El Djamila et des oueds Mazafran et El Hamiz).

Les fortes teneurs en HAP trouvées au niveau des ports reviennent essentiellement à la circulation de navires, surtout ceux qui transportent le pétrole brut et les produits raffinés (**OMI, 1998 in GONNELLI et al., 2016**). Ces concentrations peuvent aussi être dues aux opérations portuaires (déballastage et dégazage) reliées à ces navires (**BAILLACHE et al, 1974 in REMILI et al., 2010**).

Le port d'Alger, au-delà des pollutions liées aux activités portuaires, reçoit un nombre important d'égout (27) en provenance de la ville d'Alger. Cependant, d'après **ABDERRAHMANI (2011)**, la mémoire faible de l'eau, sur une échelle spatiotemporelle moyenne ou longue, fait que, en un temps donné, la concentration décelée dans une station n'est guère la même après un laps de temps très réduit. Ceci revient à l'importante dynamique des eaux et aussi aux conditions météorologiques locales. Ce qui explique la concentration en HAP relevée de la station qui

correspond à l'extérieur du port d'Alger le jour du prélèvement où la forte agitation a provoqué la dispersion des nappes d'hydrocarbures.

Une attention toute particulière pour les deux ports d'El Djamila et de Khmisti (B1 et B10) où les concentrations en HAP (0,69 et 0,68 µg/l respectivement) sont relativement faibles en comparaison avec les autres ports de la zone d'étude. En fait, ces derniers représentent des petits ports de pêche dont la circulation des navires est relativement faible (en comparaison avec le port d'Alger par exemple). Ainsi, l'hydrodynamisme fort marqué au niveau de la station B10 (extérieur du port de Khmisti) le jour du prélèvement pourrait alors avoir un rôle dans la dispersion des HAP dans cette station et donc expliquer la valeur trouvée. Alors que pour la station B1 (extérieur du port d'El Djamila), le fait qu'elle se trouve dans un endroit non abrité contre l'hydrodynamisme (entre la baie d'Alger et la baie d'El Djamila), pourrait être à l'origine de cette concentration.

En effet, les Oueds constituent des collecteurs d'eaux usées issues des différentes activités humaines (décharges domestiques et industrielles) pouvant ainsi affecter le niveau de pollution des HAP dans ces endroits (AGAH et al., 2016).

Globalement, les oueds de la zone d'étude transportent, de leurs bassins versants à la mer, une importante charge polluante issue des rejets des centres urbains, mais aussi des rejets des unités industrielles installées à bords de ces oueds ou implantées dans leurs bassins versants. Ces unités constituent une source importante des HAP provenant de rejets de résidus pétroliers (issus des machines).

L'activité industrielle est beaucoup plus marquée dans la baie d'Alger, ce qui témoigne la valeur élevée trouvée à l'embouchure d'Oued El Harrach en comparaison, à titre d'exemple, avec Oued Mazafran (baie de Bou-Ismaïl). Cependant, la concentration minimale des HAP enregistrée dans les eaux de surface de la station qui correspond à Oued El Hamiz peut être expliquée par l'intervention d'autres facteurs susceptibles de varier la concentration liée à la source :

- Le premier facteur est l'adsorption de ces substances à la surface des particules en suspension plutôt que se dissoudre dans l'eau. ce phénomène est favorisé par l'hydrophobicité des HAP qui finissent par une déposition sur le sédiment marin suite à l'augmentation de la densité de ce complexe (CHIOU et al., 1998 in JOUANNEAU, 2002 ; AGAH et al., 2016) ;
- Le deuxième facteur est l'incorporation des HAP dans les tissus animaux grâce à leur propriété lipophile et leur bioaccumulation dans la chaîne alimentaire (CHIOU et al., 1998 in JOUANNEAU, 2002 ; AGAH et al., 2016) ;
- Le troisième facteur est l'activité biologique des eaux de surfaces qui conditionne le transport des HAP de haut poids moléculaire vers les sédiments marins (DACHSET al., 2002 in AZOURY, 2013). Cette activité est plus prononcée devant les embouchures des oueds à cause des apports massifs des MO par ces derniers. Ceci est témoigné par la présence d'une grande quantité d'émulsions lors du traitement de l'échantillon destiné à l'analyse des HAP dans cette station. Ces émulsions signifient la présence de résidus lipidiques provenant d'une activité biologique ;
- Un quatrième facteur peut intervenir, celui de l'évaporation par photo-oxydation des composés légers. D'après PIMSEE (2014), ce processus constitue le principal

mécanisme de perte des composés volatils et semi-volatils (dans notre cas les HAP les plus légers), lorsque des produits pétroliers entrent en contact avec l'eau de surface.

La concentration de 0,77 µg/l trouvée à l'embouchure de l'Oued Mazafran paraît normale, reflétant une activité industrielle moindre au niveau du bassin versant de ce dernier et une influence faible des ports du fait de l'éloignement de cet oued des ports. Il est à noter la présence d'une grande quantité d'émulsion (résidus lipidique) au cours du traitement de l'échantillon destiné à l'analyse des HAP dans cette station, ce qui y reflète une forte activité biologique faisant consommer une partie des HAP. A cela s'ajoute le phénomène d'adsorption des HAP aux particules en suspension qui les font transporter de la masse d'eau vers le fond marin.

Une teneur en HAP relativement forte (1,01 µg/l) est enregistrée au niveau de la station B8 qui correspond à l'embouchure de l'Oued Nador. Cette valeur est supérieure à celles rencontrées devant les embouchures des oueds les plus pollués dans la zone d'étude (tel que Oued El Harrach) à savoir que la baie de Bou-Ismaïl est moins industrialisée en comparaison avec la baie d'Alger. Ce résultat peut probablement être causé par une contamination des eaux due à un largage ponctuel de composés pétroliers (eaux de calle, fuites des moteurs, ... etc.) provenant des navires qui circulent à proximité de cette station (**ABDERRAHMANI, 2011**) du fait de sa proximité du port de Tipaza.

Ainsi, la teneur relativement élevée (0,90 µg/l) marquée à l'embouchure de l'Oued Beni Messous (B2) est due, en plus des apports d'eaux usées par ce dernier, à sa position entre deux ports (Sidi-Fredj et El Djamilia) d'où les HAP proviennent d'une part de ces deux structures portuaires via l'hydrodynamisme et d'autre part de la circulation des navires de pêche et de plaisance à proximité de l'oued, provoquant ainsi une contamination des eaux par leurs moteurs.

Des teneurs relativement élevées en HAP ont été également enregistrées dans les eaux de surface des stations A4 (0,93 µg/l) et A2 (0,98 µg/l) (correspondant respectivement à Bordj El Kiffan et Sablette). Ceci revient en premier lieu aux rejets de la localité et ses environs du fait de la forte urbanisation connue dans ce secteur, mais aussi la proximité de ces deux stations à Oued El Harrach constitue une deuxième et importante source de contamination (**SELLALI, 1996**). Selon **SELLALI (1996)**, cet oued constitue la seconde source de pollution par les HC dans la baie d'Alger (après le port d'Alger) dont les apports affectent les secteurs central et oriental de la baie du fait de l'extension des particules contaminées, véhiculées par cet oued, particulièrement au moment des crues et immédiatement après les crues ou remobilisées, à partir du fond, par l'agitation et les courants.

La teneur de 0,91 µg/l en HAP enregistré dans les eaux de surface de la station B4 relative aux îlots de Sidi-Fredj peut être reliée à une pollution indirecte provenant du port de Sidi-Fredj (port de plaisance) via l'hydrodynamisme marqué le jour de prélèvement du fait de la proximité de cette station au port. A cela s'ajoute une pollution ponctuelle provoquée par la circulation des navires de pêche et de plaisance qui fréquentent cet endroit et qui contaminent les eaux par leurs moteurs.

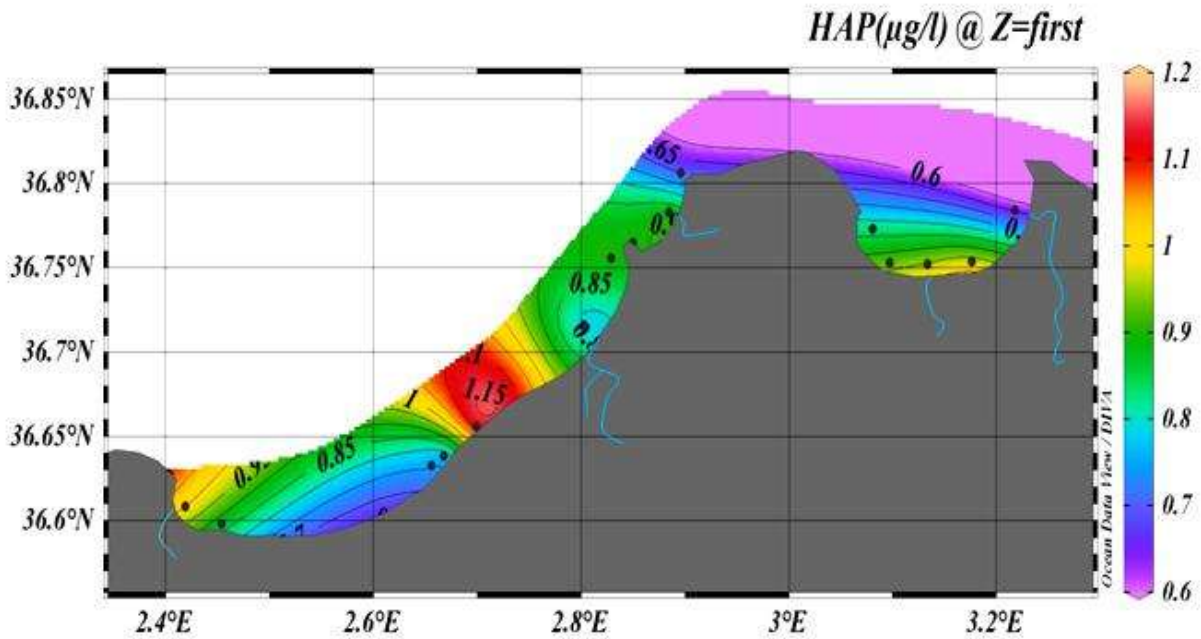


Figure IV.13 : Répartition spatiale des HAP dans la zone d'étude

La répartition spatiale des teneurs des eaux de surface en HAP (Figure IV.13) montre une distribution plus ou moins hétérogène dans la zone d'étude où on voit l'influence des ports et des oueds sur l'ensemble des deux baies.

Dans la baie d'Alger, on peut remarquer un gradient décroissant de la côte vers le large, montrant l'influence des apports de l'Oued El Harrach sur l'ensemble de la baie. Ceci confirme la conclusion des travaux de **SELLALI (1996)** que cet Oued constitue la deuxième source de pollution par les hydrocarbures dans cette baie après le port d'Alger et les émissaires du secteur se trouvant à proximité de ce dernier.

La même chose pour la distribution spatiale de ces polluants dans les eaux de surface de la baie de Bou-Ismaïl qui semble être affectée par les apports continentaux déversés directement dans la baie, surtout les rejets de la zone industrielle dans la ville de Bou-Ismaïl, ou indirectement par le biais des oueds (**BOUDJELLAL et al., 1995 ; SELLALI et al., 1995b in GRIMES et al., 2005**), mais aussi par la pollution issue des ports implantés dans cette baie et transportée par la force de l'hydrodynamisme vers les régions adjacentes.

Selon **SELLALI (1996)**, des pollutions ponctuelles des eaux de surface, dans certains sites restreints, peuvent provenir soit des panaches des eaux côtières soumises à l'influence des sources décrites précédemment, soit des navires en rade dans les baies ou alors issues du trafic maritime au large. Ces pollutions ne suivent pas un schéma de distribution particulier car elles sont étroitement liées à l'hydrodynamisme complexe et à son important rôle dans le transport des HAP en milieu marin au-delà de leurs sources.

Généralement, la variabilité spatiale des HAP dans l'eau de mer peut s'expliquer, en plus des apports potentiels de pollutions, par une élimination simultanées à la surface marine (par adsorption, évaporation ou biodégradation) provoquant ainsi une diminution de ces teneurs par rapport à la source (BOUGHRIRA, 2012 ; HALMANN, 1996 et LACAZE, 1980 in BACHOUCHE, 2017).

4. Analyse Corrélative entre les teneurs dans l'eau des HAP et les Paramètres Physico-chimiques

4.1. Température - HAP (T - HAP)

Selon GORDON et al. (1973), les concentrations des HAP dans l'eau de mer varient inversement à la température (GORDON et al., 1973 in LACAZE, 1980).

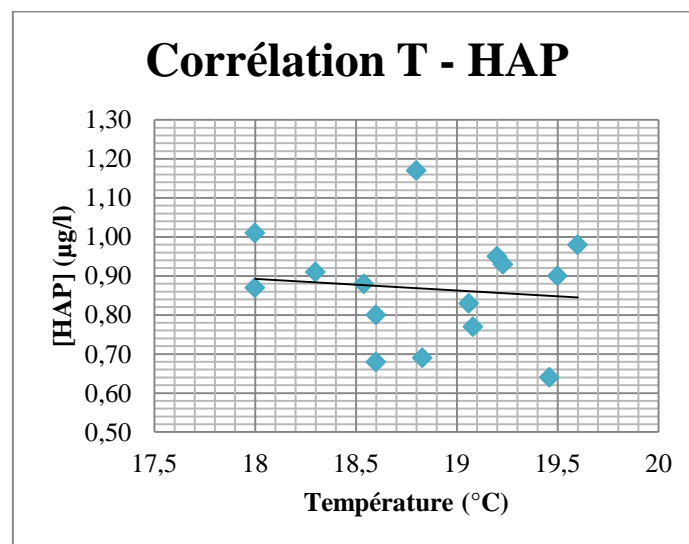


Figure IV.15 : Corrélation entre les concentrations en HAP et les Températures des eaux de surface de la zone d'étude

D'après le figure IV.15, on voit qu'il y a une faible corrélation négative entre ces deux paramètres. Autrement dit, les concentrations en HAP évoluent dans le sens inverse de l'évolution de la température.

L'évaporation et la biodégradation sont les deux processus les plus importants impliqués dans l'élimination des hydrocarbures de l'eau de mer. Ils se présentent à des taux plus élevés pour des températures plus hautes (LACAZE, 1980), diminuant ainsi les concentrations des HAP dans les eaux de surface.

En effet, la température peut avoir différents effets sur la dégradation des hydrocarbures :

- Changement de la nature même du pétrole : Lorsque les températures sont basses, la volatilisation des composés de faibles poids moléculaires, toxiques pour les microorganismes, ralentit, la viscosité du pétrole augmente et l'émulsification devient

plus difficile. Ce phénomène diminue l'étalement des nappes et donc leur dégradation (BIANCHI et al., 1988 in SAURET, 2011) ;

- Effet sur la physiologie des microorganismes : Si la température est trop basse, l'énergie à fournir pour le métabolisme des molécules doit être plus grande et si elle est trop élevée la stabilité des enzymes bactériens est compromise. Certains auteurs proposent que la biodégradation soit plus efficace en été qu'en hiver (ATLAS et al., 1973 in SAURET, 2011).

4.2. Salinité - HAP (S - HAP)

D'une manière globale, il convient de noter la faible relation qui lie la salinité de l'eau de mer aux teneurs en HAP. Néanmoins, il apparaît que les fortes concentrations en HAP coïncident avec les valeurs élevées de salinité (voir figure IV.16).

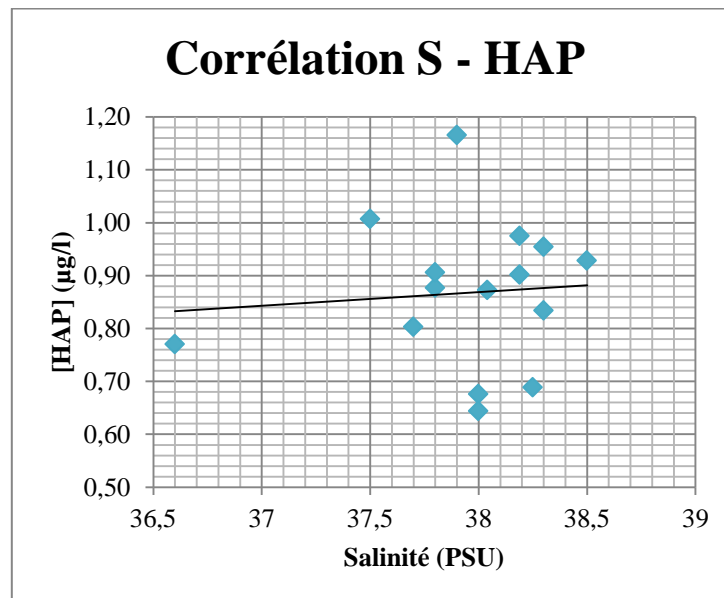


Figure IV.16 : Corrélation entre la Salinité et la teneur en HAP des eaux de surface de la zone d'étude

D'après PIMSEE (2014), ce paramètre a tendance à limiter la solubilité des HAP dans l'eau et à diminuer le phénomène d'évaporation des hydrocarbures.

En revanche, il semblerait que la salinité n'ait que peu d'impact sur la biodégradation des hydrocarbures. Le métabolisme de ces molécules est compatible avec des salinités très faibles (eaux douces) ou plus élevées (eau de mer) puisqu'il concerne, dans ces deux types de milieux, des microorganismes adaptés à ces salinités. Seules de très fortes salinités comme celles des marais salants seraient un frein à la dégradation en raison du manque d'oxygène régnant dans ces zones (WARD et al. 1978 in SAURET, 2011).

4.3. OD - HAP

Les HAP, comme les hydrocarbures paraffiniques, sont susceptibles d'une oxydation microbienne (KATOR et al., 1973 in LACAZE, 1980). Par ailleurs, cette biodégradation concerne principalement les HAP dont le nombre de noyaux est supérieur ou égal à 2, alors que les HAP monocycliques sont éliminés par évaporation (LACAZE, 1980).

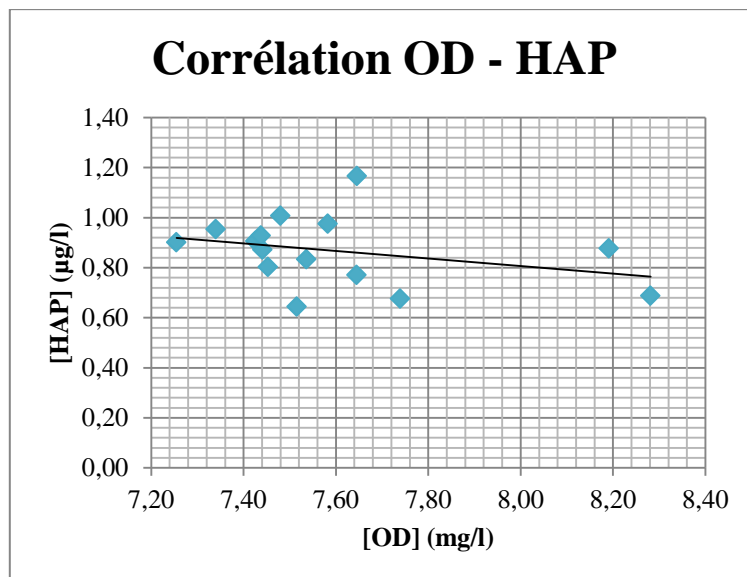


Figure IV.17 : Corrélation entre la teneur en OD et la concentration des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude

Également pour cette partie, il existe une faible corrélation entre la teneur en OD et celle des HAP dans les eaux de surface de la zone d'étude. Cependant, on peut remarquer que lorsque la teneur en OD croît, la concentration des HAP diminue (voir figure IV.17). Ceci peut être expliqué par une augmentation du processus de biodégradation qui consomme l'OD pour oxyder ces molécules. Ce qui confirme que les ressources en oxygène constituent un facteur particulièrement important dans la biodégradation des hydrocarbures.

L'étape du catabolisme des hydrocarbures par les bactéries et les champignons inclut l'oxydation de ces substances par l'intermédiaire d'hydroxylases et d'oxygénases (enzymes), pour lesquelles l'oxygène moléculaire est indispensable (ATLAS, 1981, BERTRAND et MILLE, 1989, LEAHY et COLWELL, 1990 in BOUGHRIRA, 2012). Ainsi, plus la teneur des eaux en OD augmente, plus cette activité biologique croît et plus la concentration en HAP diminue dans les eaux de surface.

En ce qui concerne la dégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), plus le nombre de cycles augmente dans la molécule, plus celle-ci est difficilement dégradable. Ainsi de nombreuses bactéries ont été répertoriées pour la dégradation de molécules comme le benzène ou le naphthalène alors qu'à ce jour, seules quelques espèces sont connues pour dégrader les HAP de plus de 4 cycles tel que le benzo[a]pyrène (RODRIGUEZ-BLANCO et al., 2010 in SAURET, 2011).

5. Analyse Comparative des HAP : Comparaison avec les Travaux Antérieurs

Tableau IV.1 : Concentrations en HAP dans les eaux surface obtenues des résultats de travaux antérieurs

Période d'échantillonnage	[HAP] dans la baie d'Alger (µg/l)		[HAP] dans la baie de Bou-Ismaïl (µg/l)		Référence
	Min	Max	Min	Max	
/	0,9	6	/	/	TOUNSI, 1989
/	0,35	5,74	/	/	KEMMOUM, 1989 in CHOUCANE, 2014
31/03/1988	1,08	4,64	/	/	SELLALI, 1996
20/11/1988	0,9	6	/	/	
02/01/1989	0,35	5,74	/	/	
05 et 06 /05/1989	0,81	4,91	/	/	
/	0,23	4	/	/	HOUMA-BACHARI, 2007 in BACHOUCHE, 2017
12/2010 et 06/2011	/	/	0,37	1,29	ABDERRAHMANI, 2011
/	0,97	11,7	/	/	BAY et AYACHE, 2011
/	0,87	5,02	0,66	5,06	BOUDJELLABA et DEHANE, 2012
/			1,58	5,09	IDDIR, 2013
27/06/2014	1,73	6,46			CHOUCANE, 2014
/	1,12	6,40	0,28	1,00	DJEBARA et TALBI, 2014
03/05/2015	/	/	0,42	0,93	REZGUI, 2015
10, 11 et 14 /05/2017	0,64	0,96	0,68	1,17	La présente étude

Afin d'établir un suivi temporelle de la concentration des HAP dans les eaux de surface de la côte Algéroise Ouest et Centre (baies de Bou-Ismaïl et d'Alger), une comparaison avec des résultats obtenus à partir des travaux antérieurs a été menée (Tableau IV.1).

À travers ces résultats, il convient de noter que les valeurs obtenues dans la présente étude au niveau de la baie d'Alger ont diminuées d'une façon très remarquable par rapports à la majorité des résultats précédents obtenus dans la même zone. Ceci pourrait être expliqué par :

- Une baisse de 8,42% des navires accueillis au port d'Alger, au premier trimestre de l'an 2017, par rapport à la même période de l'année 2016, indiqué par l'Entreprise du Port d'Alger (EPAL) (**CHERRIH, 2017**). Ceci aurait diminué le risque de contamination des eaux de surface de la baie d'Alger en hydrocarbures provenant du trafic maritime ;

- Le projet d'assainissement et d'aménagement d'Oued El Harrach, a atteint les 75%. Les eaux usées de l'oued sont alors traitées et épurées, ce qui a probablement permis la diminution de leur influence sur les eaux marines de la baie d'Alger. Selon le l'ex-ministre des Ressources en eau et de l'Environnement, **OUALI A. (2017)**, un accord a été signé entre son département ministériel et celui de l'Agriculture, du Développement rural et la Pêche pour la réutilisation des eaux usées traitées et épurées issus de cet oued à des fins d'irrigation agricole qui, selon lui, est devenue une nécessité (**MENDACI, 2017**).

Alors que les valeurs trouvées au niveau de la baie de Bou-Ismaïl sont légèrement supérieures à celles obtenues dans les années précédentes (2015, 2014 et 2011) (à l'exception des valeurs obtenues par **BOUDJELLABA et DEHANE (2012) et IDDIR (2013)**). Ceci pourrait être expliqué par une contamination des eaux de cette baie par les HAP découlant :

- De l'augmentation du nombre de rejets domestiques provenant de la forte pression anthropique que connaît cette région dans les dernières années ;
- Des rejets industriels issus des différentes unités existantes dans la région sans aucun traitement.

D'une façon générale, la variabilité spatio-temporelle des HAP, ainsi que le reste des hydrocarbures dissous / dispersés dans l'eau, est justifié par leur instabilité au sein de la masse d'eau et de la dynamique de cette dernière qui les fait déplacer loin de leurs sources. Ajoutant à cela l'influence de nombreux facteurs tels que les paramètres physico-chimiques qui conditionnent le comportement des hydrocarbures dans l'eau de mer et qui y rentrent en jeu pour varier la teneur et la nature de ces substances. Mais aussi, les pollutions ponctuelles des eaux de surface peuvent aussi être à l'origine de cette variabilité.

La période de prélèvement influe aussi sur la teneur des HAP dans l'eau, à laquelle on trouve des valeurs élevées en hiver par rapport à l'été à cause de la forte consommation des produits pétroliers en hiver (dans les activités de chauffage), le faible taux de biodégradation (à cause des faibles températures) (**ODABASI et al., 1999 in ABDERRAHMANI, 2011**) et l'apport intense des polluants par les cours d'eau (période de crue), les dépôts atmosphériques par l'intermédiaire des précipitations (**BACHOUCHE, 2017**) et par le ruissellement urbain des voies d'asphaltage, des parcs de stationnement, des eaux usées municipales et des produits pétroliers provenant d'une mauvaise utilisation ou élimination (**COHEN, 2013**).

Donc, la combinaison et la complexité de ces processus expliquent la variabilité des concentrations des HAP à la surface de l'eau de mer sur l'échelle spatiotemporelle.

À la fin de ce chapitre, il convient de dire que l'analyse des HAP dans les eaux de surface ne suffira jamais pour juger l'état de santé d'une zone concernant la pollution par les hydrocarbures. En revanche, pour s'en assurer, il est nécessaire de passer vers à l'analyse de ces polluants dans d'autres matrices, telles que le sédiment et le biote qui constituent de véritables indicateurs de cette pollution grâce à leur mémoire assez longue en ce qui concerne ce genre de substances.

Ainsi, pour avoir plus de précision sur la source et la nature de ces polluants dans une zone, il est recommandé de passer à des analyses plus pointues qui consistent à quantifier les différentes

fractions constituant ces substances. On cite par exemple la CPG (Chromatographie à Phase Gazeuse) et la HPLC (Chromatographie Liquide Haute Performance).

CONCLUSION

Ce mémoire avait pour objectif de déterminer l'état de pollution du littoral Algérois (Baie d'Alger et Baie de Bou-Ismaïl) par les hydrocarbures polyaromatiques dissous / dispersés dans l'eau de mer.

Il a fallu dans un premier temps définir la notion de pollution marine, ses types et sources, définir les descripteurs du milieu marin ainsi que la notion d'hydrocarbures polyaromatiques, leurs sources, propriétés, comportement et impacts dans le milieu marin.

Ensuite, il convient de présenter la zone d'étude et ses caractéristiques pour avoir une idée sur les sources de pollution possibles par les HAP.

Après une étape de traitement des échantillons, issus des différentes stations choisies selon une stratégie d'échantillonnage bien définie et au moyen de leur analyse par spectrofluorométrie UV, il a été possible d'obtenir les résultats de la contamination des eaux de surface de la zone d'étude par les HAP.

Les résultats de l'analyse montrent que les HAP sont présents en faibles concentrations au niveau de toute la zone d'étude avec une moyenne de 0,87 µg/l. La distribution de ces concentrations était très variable, où l'influence des oueds et ports était très marquée.

L'analyse corrélative entre les concentrations en HAP et les autres paramètres (T, S, OD) montre l'effet de ces derniers sur la présence des HAP dans le milieu marin, de sorte que la température et l'oxygénation du milieu jouent les rôles les plus importants.

La baie d'Alger représente un réceptacle de plusieurs types de pollutions provenant des perturbations anthropiques intenses, avec deux sources de contamination principales : Oued El Harrach et le port d'Alger. On s'attend alors à avoir une forte pollution par les HAP comme déjà prouvé dans plusieurs études antérieures. Or que le suivi temporel des concentrations en HAP dans les eaux de surface de cette baie a permis de conclure que la pollution par ces substances a remarquablement diminué grâce aux travaux d'assainissement et d'aménagement d'Oued El Harrach ainsi qu'à la diminution du trafic maritime au niveau du port d'Alger.

Quant à la baie de Bou-Ismaïl, elle est considérée comme une zone touristique soumise aux rejets d'eaux usées domestiques et caractérisée par une activité industrielle très limitée et des oueds (Mazafran, Nador, Beni Messous) qui transportent les effluents non traités vers l'eau de mer. Le suivi temporel montre que la pollution de cette baie a légèrement augmenté vu l'augmentation des rejets domestiques provenant de la forte urbanisation dans ces dernières années ainsi qu'aux rejets non traités provenant des unités industrielles présentes dans cette région.

Donc cette étude a montré que l'état de pollution des eaux de surface a été inversé de sorte que la baie d'Alger va vers une diminution de la pollution par les HAP alors que la baie de Bou-Ismaïl risque une augmentation de cette pollution.

Cependant, l'analyse de la matrice eau ne permet pas de bien juger l'état de santé d'une zone par rapport à la pollution par les hydrocarbures. Et pour une meilleure appréciation, une analyse de ces contaminants dans les matrices sédiment et biote (en tant qu'un bio-indicateur) est recommandée du fait de leur longue mémoire et de leur stabilité relative.

Ainsi, l'utilisation des techniques pointues d'analyses et d'identification telles que la CPG et la HPLC contribueront à mieux comprendre la nature de ces polluants ainsi que de préciser leurs sources.

Enfin, il est important de sensibiliser la population sur l'importance de sauvegarder le milieu marin et littoral, sachant que la protection de ces espaces ne peut déboucher sur des résultats probants que si les habitudes et les comportements des personnes évoluent, et si une volonté solide des pouvoirs publics se concrétise sur cet enjeu.

Il est recommandé d'adopter et d'appliquer des réglementations adéquates, mais aussi il faudra favoriser le développement de l'urbanisation de manière équilibré sur l'ensemble de la région littorale. Une étude aussi complète que possible des bassins versants de la zone devra être effectuée pour pouvoir indiquer les mesures appropriées pour chaque secteur d'activités et surtout il faudra exiger et imposer rapidement l'implantation des stations d'épuration tout au long de la côte algéroise et au niveau des différentes unités industrielles.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDERRAHMANI, Khaled (2011).** *Les hydrocarbures polyaromatiques 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.
- AGAH, Houmira ; DARVISH BASTAMI, Kazem et al. (2016).** Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in the surface water and sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* [en ligne], 10p. [Consulté le 20/08/2017]. Disponible sur le web : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.032>>
- AMINOT Alain et KEROUEL Roger (2004).** *Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses.* France : IFREMER. 336 p.
- AMINOT, Alain et CHAUSSEPIED, Marcel (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Brest : CNEXO, 395 p.
- ANRH (2006-2015).** *Données statistiques des paramètres météorologiques (vent, humidité, température, précipitation) mesurés au niveau de la station météorologique de Dar-El-Beid.* Alger : ANRH.
- AZOURY, Sabine (2013).** *Etude de la contamination de la côte libanaise par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) et les éléments traces métalliques (ETMs) : Archives sédimentaires et biomonitoring suite à une marée noire* [en ligne]. Thèse de doctorat. Chimie analytique et Environnement. Bordeaux : L'Université Science et Technologie - Bordeaux 1. Disponible sur le web : < <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01182692>>
- BACHARI Nour El Islam, ABDELLAOUI Abdelkader et HOUMA Fouzia (2011).** *Modélisation des données multisources pour l'étude de la pollution de la baie d'Alger à base d'un système d'information géographique* [en ligne]. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. Ed2. Tanger. Maroc, p. 283-288. Disponible sur le web : < <http://www.paralia.fr>>
- BACHARI-HOUMA Fouzia (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.
- BACHIR BAY, Nassim et AYACHE Mohamed (2011).** *Impact de la pollution marine par les hydrocarbures sur la qualité de l'eau et des sédiments de la baie d'Alger.* Mémoire d'Ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 102 p.
- BACHOUCHE, Samir (2010).** *Les ports d'Alger et de Bouharoune : Etude des paramètres granulométriques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.* Thèse de Magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 160 p.
- BACHOUCHE, Samir (2017).** *Modélisation hydrodynamique et qualité des eaux et sédiments de la côte Centre algérienne.* Thèse de doctorat. Pollution et Environnement. Alger : ENSSMAL, 234 p.
- BARNABE Gilbert et BARNABE-QUET Régine (1997).** *Ecologie et aménagement des eaux cotières.* Paris : Lavoisier Techniques et documents, 391 p.

- BOCARD Christian (2006).** *Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures*. Paris : TECHNIP, 295 p.
- BODENNEC Guy, PIGNET Patricia et CAPRAIS Jean Claude (1981).** *Suivi chimique de la pollution pétrolière dans les eaux et les sédiments*. Paris : CNEXO, 108 p.
- BOUDJELLABA Djamel et DEHANE Djema (2012).** *Etat de la pollution par les hydrocarbures dans les eaux et les sédiments superficiels dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'Ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 78 p.
- BOUGHRIRA, Abdelhak (2012).** *Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bousmaïl*. Thèse de Magister. Gestion et Surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 128 p.
- BOULAHIDJ, Mostefa (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.
- CAULET, J. (1972).** *Les sédiments organogènes du précontinent algérien*. Coll. "Sciences de la Terre". T. XXV. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle. 289 p.
- CCME (1999a).** Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique - pH (eau de mer). In *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*. Winnipeg : [En ligne]. 3p. Disponible sur le web : < <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/115>>.
- CCME (1999b).** *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement : Winnipeg*. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique - oxygène dissous (eau de mer). [En ligne]. 5p. Disponible sur le web : < <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/90>>.
- CEAEQ (2014).** Caractéristiques du pétrole brut, devenir dans l'environnement, propagation et effets. In : *Projet Oléoduc Énergie Est, Vol 6 : Accidents et défaillances. Section 3* [en ligne]. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 40 p. Disponible sur le web <www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/oleoduc_energie-est/.../PR3.6.4.pdf>
- CEAEQ (2015).** *Hydrocarbures pétroliers : Caractéristiques, devenir et Criminalistique environnementale – Études GENV222 et GENV23, Évaluation environnementale stratégique globale sur les hydrocarbures*. Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [En ligne], 41 p. Disponible sur le web : <http://hydrocarbures.gouv.qc.ca/documents/etudes/GENV22-23.pdf>.
- CEDRE (2006).** *Mieux comprendre les marées noires* [en ligne]. Brest : CEDRE. [Consulté le 19/05/2017]. Disponible sur le web : <<http://wwz.cedre.fr/Nos-ressources/Documentation/Documents-pedagogiques-et-autres/Mieux-comprendre-les-marees-noires>>

- CHERRIH Mohamed (2017)**. Port d'Alger : Baisse de l'activité portuaire au premier trimestre de 2017. *ALG24* [En ligne]. [Consulté le 15/08/2017]. Disponible sur le web : <<https://www.alg24.net/port-alger-baisse-activite-portuaire-1er-trimestre-2017/>>
- CHOUCHANE, Salah Eddine (2014)**. *Etude de la pollution par les hydrocarbures dans les eaux et les sédiments de la baie d'Alger*. Mémoire d'Ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 83 p.
- CLARK R.B (2011)**. *Marine Pollution*. 5^e Ed. Royaume-Uni : OXFORD, 237 p.
- COHEN M.A., (2013)**. *Water pollution from oil spills*. In: Encyclopedia of Energy, Natural Resource and Environmental Economics [en ligne], P. 121-226. Disponible sur <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00094-2>>.
- COI (1983)**. *Manuel et guides N°13, Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO*. La surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. [En ligne], 21p. Disponible sur le web : <<http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000606/060618fo.pdf>>
- CRONE, Magalie (2000)**. *Diagnostic des sols pollués par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à l'aide de la spectrophotométrie UV* [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences et techniques du déchet. Saint-Etienne : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ; Lyon : INSA de Lyon. Disponible sur le web : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00837762>>
- DANIEL, Anne et LAMPERT, Luis (2016)**. *Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques* [en ligne]. Île-de-France : IFREMER. [Consulté le 10/05/2017]. Disponible sur le web : <http://envlit.ifremer.fr/.../doc_methode_hydrologie_prelevement_V2-novembre+2016.pdf>
- DEHANE, Djema (2016)**. *Les radioéléments et l'histoire de la contamination dans les sédiments de la côte algéroise*. Thèse de Magister. Environnement de l'hydrosphère. Alger : ENSSMAL, 182 p.
- DEPUIS, Alain et UCAN-MARIN, Francisco (2015)**. *Analyse documentaire de la toxicologie aquatique des huiles de pétrole : un aperçu des propriétés du pétrole et de ses effets sur le biote aquatique* [en ligne]. Ottawa : Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS). [Consulté le 10/04/2017]. Disponible sur le web : <http://publications.gc.ca/site/archives-archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/mpo-dfo/Fs70-5-2015-007-fra.pdf>
- DJEBARA, Younes et TALBI, Younes (2014)**. *Evaluation de la pollution marine par les hydrocarbures dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 84 p.
- EINERSSON Haukur (2009)**. *Oil pollution at Sea. Break-down and spreading of surface oil slicks-Environmental impacts. Model calculations*. Allemagne : VDM, 143 p.
- FATTAL Paul (2008)**. *Pollution des côtes par les hydrocarbures*. France : PUR. 395 p.

- GOEURY Cédric (2012).** *Modélisation du transport des nappes d'hydrocarbures en zone continentale et estuarienne*. Thèse de Doctorat. Mécanique des fluides. Paris : Université Paris-Est, 169 p.
- GOEURY, David (2014).** La pollution marine. 15 p. *cité par WOESSNER Raymond, Mers et Océans* [en ligne]. Coll. "Clefs Concours". Paris : Atlande, 445p. Consulté le 20/08/2017]. Disponible sur le web : < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01091818>>
- GONNELLI M., GALLETTI Y., MARCHETTI E., et al. (2016).** *dissolved organic matter dynamics in surface waters affected by oil spill pollution: results from the Serious Game exercise. Deep-Sea Research Part II*: 15 p
- GRIMES Samir et al. (2005).** *Biodiversité Marine et Littorale Algérienne*. Oran : Université d'ES Senia-Oran, 362 p.
- HEMDANE, Y. ; BOUHMADOUCHE, M. et ATROUNE F. (2016).** Identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine renouvelable (vagues/houles) à travers l'étude de la morphologie côtière et sous-marine et hydrodynamique. *Revue des Energies Renouvelables* [en ligne], Vol. 19, N°4 : pp 543 – 552. [Consulté le 18/07/2017]. Disponible sur le web : < www.cder.dz/spip.php?article3226>
- HUBICHE Jean-Luc (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.loire-estuaire.org/upload/iedit/1/pj/43686_2866_L2A1_juil2012.pdf >.
- 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, 64 p.
- 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>
- ITOPF (2013a).** *Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement*. Guide d'informations techniques N°13. [En ligne]. 11p. Disponible sur le web : < http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP_13_FR_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Environment.pdf>.
- ITOPF (2013b).** *Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les pêches et la mariculture*. Guide d'informations techniques N°11. [En ligne], 12 p. Disponible sur le web : < <http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/11-effets-de-la-pollution-par-les-hydrocarbures-sur-les-peches-et-la-mariculture/>>
- ITOPF (2013c).** *Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les activités sociales et économiques* [en ligne]. Guide d'information technique N°12. [Consulté le 19/05/2017]. Disponible sur le web : <<http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/12-effets-de-la-pollution-par-les-hydrocarbures-sur-les-activites-sociales-et-economiques/>>

- JOUANNEAU, Yves (2002).** *Devenir des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans un écosystème aquatique et impact sur les organismes vivants : Exemple du Pyrène* [en ligne]. Rapport de projet (2001-2002). Programme environnement vie et sociétés ; écosystèmes et environnement, CNRS, Paris : 126p. Consulté le 18/07/2017]. Disponible sur le web : < acquet.stephan.free.fr/Rapport_HAP.pdf>
- KITSIOU D et KARYDIS M (2014).** *Marine Pollution: Types, Environmental Significance and Management Strategies*. New York: Dominic E Jefferson. Chapitre N° 4, Oil Spills: Behavior of oil, Impact, Detection, Tracking and Management, p. 197-229.
- LACAZE Jean Claude (1980).** *La pollution pétrolière en milieu marin*. Paris : MASSON, 118 p.
- LECLAIRE L (1972).** *La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien)*. Paris : Muséum, 521 p.
- LEDIREACH, Laurence (2013).** *Pollutions marines. Les définitions*. [En ligne]. [Consulté le 28/05/2017]. Disponible sur : <<https://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie/?p=352>>
- LEFEBVRE, G. (1978).** *Chimie des hydrocarbures*. Paris : TCHNIP.284 p.
- MARCHAND M (1983).** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorométrie ultra-violet. In : AMINOT Alain, CHAUSSEPIED Marcel. *Manuel des analyses en milieu marin*. Paris : CNEXO : p. 329-332.
- MENDACI Mohamed (2017).** Aménagement d'Oued El Harrach : Réception fin 2017. *El MOUDJAHID* [En ligne]. [Consulté le 15/08/2017]. Disponible sur le web : < <http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/106743>>
- O'SULLIVAN A.J. et JACQUES T.G. (2003).** *Commission Européenne. Système d'information de la communauté pour la maîtrise et la réduction de la pollution. Système de Référence d'impacts*. Belgique. Effets des hydrocarbures sur l'environnement marin : Impact des hydrocarbures sur la faune et la flore, 80 p.
- OMI (2005).** *Manuel sur la pollution par les hydrocarbures Vol. IV - Lutte contre les déversements d'hydrocarbures* [en ligne]. Londres : IMO Publishing. [Consulté le 10/04/2017]. Disponible sur le web : < <https://books.google.dz/books?hl=fr>>
- ORE POITOU-CHARENTES (2015).** *L'environnement en Poitou-Charentes - L'eau* [en ligne]. Poitiers : Sipap-Oudin. [Consulté le 03/04/2017]. Disponible sur le web : <<http://www.observatoire-environnement.org/OBSERVATOIRE/l-Environnement-en-Poitou,1637.html>>
- PICOT André et MONTANDON Frédéric (2013).** *Écotoxicochimie appliquée aux hydrocarbures*. Paris : Lavoisier. 405 p.
- PIMSEE Pranudda (2014).** *Etude du comportement des hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) lors du déversement accidentel d'hydrocarbures en eaux continentales*[en

ligne]. Thèse de Doctorat. Sciences des Agroressources. Toulouse : Université de Toulouse. Disponible sur le web : < <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002886/01/pimsee.pdf>>.

REMILI, Sadia ; MILOUD, Abdelkrim et KERFOUF, Ahmed (2010). *Les déversements d'hydrocarbures en méditerranée : diagnostic, moyens de lutte et prévention* [en ligne]. Actes de la 5^{ème} 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._diagnostics_moyens_de_lutte_et_prevention.pdf>

REZGUI, Hammadi (2015). *Etat de la pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les eaux de la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 79 p.

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

SAURET Caroline (2011). *Ecologie des communautés bactériennes marines soumises à une pollution pétrolière : Influence des facteurs environnementaux, de la prédation et de la récurrence des pollutions*. Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale numéro129 (ED129). Microbiologie environnementale. Sciences de l'Environnement. Ile de France : Université de Pierre et Marie Curie.

SELLALI, Badreddine (1996). *La pollution par les hydrocarbures*. Thèse de Magister. Pollution. Alger : ISMAL, 133 p.

SEMELIN, Julien (2004). *Synthèse bibliographique à propos des impacts écologiques et des aspects réglementaires de l'exploitation pétrolière en mer* [en ligne]. Arles : PRCM/FIBA. [Consulté le 20/04/2017]. Disponible sur le web : <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2004-139.pdf>>

SNC.LAVALIN INTERNATIONAL (2008). *Etude de salubrité et classification des zones de pêche et d'aquaculture : Rapport de scooping "diagnostique et méthodologie" N°1*. Document non publié. Québec : SNC-Lavalin Environnement inc.

TALEB, Rachida (1970). *Acteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger*. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle. Océanographie biologique. Alger : Faculté des sciences de l'université d'Alger : 194 p.

UNITED STATES MINERALS MANAGEMENT SERVICE ATLANTIC OCS REGION (1984). *Final Environmental Impact Statement: Proposed 1985 Outer Continental Shelf Oil and Gas Lease Sale Offshore the South Atlantic States : OCS Sale : [En ligne]* . [s. l.] : The Region. [Consulté le 02/06/2017]. Disponible sur le web : <https://books.google.dz/books?id=Q1DGiChglOwC>.

ZAFRA-GOMEZ Alberto, JIMENEZ-DIAZ Inmaculada et al. (2014). *Marine Pollution: Types, Environmental Significance and Management Strategies*. New York : Dominic E

Jefferson. Chapitre N° 4, Marine pollution : types, Environmental significance and pollution control, p. 113-169.

ANNEXES

Annexe 01

Données de températures moyennes mensuelles et de précipitations moyennes mensuelles réalisées par l'ONM au niveau de la station de Dar El Beida sur une dizaine d'années (de 2006 à 2015)

Mois	Température moyenne mensuelle (°C)	Précipitation moyenne mensuelle (mm)
Janvier	11,50	70,80
Février	11,50	85,14
Mars	13,60	69,30
Avril	16,20	52,00
Mai	19,10	45,50
Juin	22,60	10,80
Juillet	26,00	1,60
Aout	26,50	13,90
Septembre	23,90	28,10
Octobre	20,80	65,50
Novembre	16,00	118,20
Décembre	12,50	100,80

Annexe 02

Principaux unités industrielles de la wilaya d'Alger

(source : Chambre de commerce wilaya de Tipaza, 1991 in SNC.LAVALIN INTERNATIONAL, 2008)

Zone	Unité industrielle	Volume des déchets solides produits
Zone industrielle de Rouiba-Réghaia	Entreprise de liants routiers d'Alger	/
	CAMMO	Peinture, chrome, huile
	BATICIM filiale de BATIMETAL	Chutes d'acier 300 t/an, mattes de zinc 60 t/an, pièces de rchange 2 t/an
	ENAD Shymeca unité lames	/
	Unité de production cosmétique filiale Shymeca	/
	Nouvelle conserverie d'Alger NCA	/
	ERC-UNF-Centre	263 000 kg/an
	Tannerie-Mégisserie	405 t/an
	MOBSCO	/
	ENAG	/
	LIMOPLAST	200 t/an
	Henkel ENAD Algérie-Unité détergents	/
	ANABIB-Unité Gros-tubes Réghaia	Brai de houille 110 t, Flux de soudage 110 t, révélateur fixateur 550 l/an
	ANABIB-Unité PAF	1444 t/an
	SAIDI PLAST	/
	SAFRI cuir	20 t/an
	EPBR-Réghaia	/
	Sarl Sirop OUAHIB	/
ETS SAFTI	/	
Zone industrielle de Oued Smar	Limonaderie MEIYA	20 t/an
	Granitex nouveaux produits	5t/an
	Société d'application d'élastomères SAEL	10 kg/j
	BELCOL	/
	EDENAL	200 kg/j
	ENEPAC groupe GIPEC	700 t/an
	ENPEC	/
	LITMOD	Fils d'acier 1.5 t/an, Tubes en fer 10 t/an, Coton 9 t/an, Feutre 2000 t/an
	POSAP	Plastique 2 t/an
	SAMAFI	/
	SEMCOR filiale ENTPL	Fils de fer 600 kg/an, Limaille de fer 10 kg/an, Sciure de bois 1000 kg/an
	SAPRODIL	/
	Aromes d'Algérie	/
	Société algérienne de tissage métallique	/
	Entrep.Nat.de charpente et chaudronnerie	Chutes de ferraille 300 t/an
	SIAD	Film 500 kg/an, Bouteilles 2400
Câblerie de télécommunication		

	d'Alger	
	ENAP	Sacs de poudres
	GGI	/
	Sarl algérienne de construction et de galvanisation	/
	Biscuiterie du Nord	/
	Epomebal	/
	MAMP	Film plastique 40 t/an
	Complexe de levure ERIAD	/
	Laboratoire de développement pharmaceutique d'Algérie LDPA	500 K
	SPSRS	/
	SPOCA	/
	SOFAP	/
	SITEP-Tuboplast	135 t/an
	Flash Algérie	/
	Centrale Thermique	/
Zone industrielle du port	COGRAL Filiale ENCG HRSA/UP5	Terre décolorante 30t/moi, pattes de neutralisation 50t/moi
	COGRAL RSA/UP6	Terre décolorante 3 t/j et déchets plastiques 1 t/j
	COGRAL UP1	10 t/j
	Raffinerie d'Alger NAFTAL	/
	Dépôt marine AVM	/
	Dépôt produits noirs 1B NAFTAL	/
	Dépôt de bitume NAFTAL	/
	ERENAV	/
Unité Bitume ELIROWA	/	
Zone industrielle d'El Harrach (à proximité d'oued El Harrach)	GIPEC	700 à 800 t/an
	Parfumerie et cosmétique de l'Oasi	/
	ERIAD Alger GIC Filiale Alger	/
	SOTRAPLAST	/
	EPBH	Dreches 10000 kg/j
	Plasti Bijouts	/
	ENMTP-UMB	Chutes de fer 50 t/an
	ENPC TP1G	/
	ALFEL Fonderie El Harrach	Sable usagé 400 t/an, laitier 250 t/an
Chaudronnerie et ferblanterie d'Alger	10 t/an	

Annexe 03

Stations de prélèvement

Baies	Dates de sortie	Stations	Signes
Bou-Ismaïl (Ouest)	10/05/2017	Port de Sidi-Fredj (extérieur du port)	B3
		Îlot de Sidi-Fredj	B4
		Oued Mazafran	B5
		Bou-Ismaïl	B6
		Bouharoun	B7
		Port de Khmisti	B10
	11/05/2017	Oued Nador	B8
		Tipaza (extérieur du port)	B9
Bou-Ismaïl (Est)	14/05/2017	Port El-Djamila (extérieur du port)	B1
Baie d'Alger		Oued Beni Messous	B2
Baie d'Alger		Oued El Hamiz	A1
Baie d'Alger		Bordj El Kiffan	A2
Baie d'Alger		Oued El Harrach	A3
Baie d'Alger		Sablette	A4
Baie d'Alger		Port d'Alger (extérieur du port)	A5

Annexe 04

Références de l'appareillage et des produits chimiques utilisés

	Matériel	Marque
Appareillage	Valise multiparamètre	HANNA HI 9828
	Bouteille NISKIN (5L)	GO7 (General Oceanics 7)
	Balance de précision	Denver Instrument M-220D
	Four à moufle	CARBOLITE OXF 1200
	Générateur d'azote	PEAK® SCIENTIFIC
	Évaporateur rotatif (Rotavapor)	LABOROTA 4000
	SFUV	HITACHI 650-10 S
	Micropipette	FORTUNA® Transferpipette® - digital 25µl
	Titreur d'oxygène	TitroLine® 6000
Produits chimiques solides	Sulfate de sodium anhydre (Na ₂ SO ₄ ; 99%)	LABOSI PROLABO OSI A4898801 I SIZE 1 kg
	Gel de silice (granulométrie : 0,063 – 0,200 mm)	MERK Art. 10180 I SIZE 1 kg
	Alumine (granulométrie : 50 – 160 µm)	PROLABO 21 012.291 I SIZE 1kg
	Chrysène (C ₁₈ H ₁₂ ; > 97%)	Fluka AG CH-9470 Buchs 27220 I SIZE 5g
Produits chimiques liquides	n.Hexane (C ₆ H ₁₄ ; 98% ; 0,66 kg/l)	AnalaR NORMAPUR® VWR CHEMICALS BDH PROLABO 24577.298 I SIZE 1L
	Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂ ; >99% ; 1,32)	GPR RETAPUR® VWR CHEMICALS BDH PROLABO 25631.327 I 2.5 L
	Acétone (C ₃ H ₆ O ; 99,5% ; 0,791 g/ml)	CHEM-LAB NV CL00.0114.1000 I SIZE 1L

Annexe 05

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. ces volumes sont obtenus par pesée de la manière suivante (AMINOT et KEROUEL, 2004) :

- Numéroter chaque flacon ainsi que son bouchon;
- Laver parfaitement flacons et bouchons, les rincer à l'eau distillée et les sécher à l'étuve, puis les laisser revenir à température ambiante;
- Peser chaque flacon muni de son bouchon. Soit P_1 ce poids en grammes;
- Remplir les flacons d'eau distillée et les boucher sans emprisonner de bulle d'air, puis les essuyer;
- Peser à nouveau les flacons pleins. Soit P_2 ce poids en grammes;
- Noter la température de l'eau distillée dans les flacons après chaque peser;
- Calculer le volume selon la relation suivante :

$$V (ml) = \frac{P_2 - P_1}{d_t}$$

d_t est la masse volumique de l'eau distillée à la température t ($^{\circ}\text{C}$). Elle est calculé par la formule suivante :

$$d_t = 1,0003 - 0,000005 t^2 + 0,000001 t$$

Préparation des réactifs (AMINOT et KEROUEL, 2004)

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

Dissoudre 600g de chlorure de manganèse tétrahydraté ($\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$) dans 1 litre d'eau distillée.

Cette solution se conserve indéfiniment à température ambiante.

- **Réactif 2 : solution basique d'iodure (OH^- : 8mol/l, I^- : 4 mol/l)**
 - Dissoudre 320g de soude (NaOH) dans le minimum d'eau (environ 300ml);
 - Dissoudre, en chauffant, 600g d'iodure de sodium (NaI) dans le minimum d'eau (environ 300ml);
 - Mélanger ces deux solutions et ajuster à 1 litre.

cette solution se conserve indéfiniment à température ambiante.

- **Réactif 3 : acide sulfurique (H^+ : 10 mol/l)**
 - Dans un récipient de Pyrex, diluer avec précaution 280 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) (95-97% ; 1,84 kg/l) dans 700ml d'eau distillée;
 - Laisser refroidir et compléter à 1000ml.

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°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 06

Résultats de différents paramètres analysés

Zone d'étude	Station	T (°C)	S (PSU)	pH	[OD] (mg/l)	% de Saturation en OD	[HAP] (µg/l)
Baie de Bou- Ismail	B1	18,83	38,25	8,29	8,28	111,71	0,69
	B2	19,50	38,19	8,18	7,25	99,04	0,90
	B3	18,54	37,80	8,15	8,19	109,60	0,88
	B4	18,30	37,80	8,19	7,43	98,93	0,91
	B5	19,08	36,60	8,20	7,64	102,59	0,77
	B6	18,80	37,90	8,20	7,65	102,86	1,17
	B10	18,60	38,00	8,20	7,74	103,80	0,68
	B7	18,60	37,70	8,30	7,45	99,78	0,80
	B8	18,00	37,50	8,23	7,48	98,91	1,01
	B9	18,00	38,04	8,21	7,44	98,72	0,87
Baie d'Alger	A1	19,46	38,00	8,18	7,52	102,41	0,64
	A2	19,60	38,19	8,24	7,58	103,70	0,98
	A3	19,20	38,30	8,15	7,34	99,72	0,95
	A4	19,23	38,50	8,12	7,44	101,22	0,93
	A5	19,06	38,30	8,14	7,54	102,12	0,83
	Moyenne	18,85	37,94	8,20	7,60	102,34	0,87
Ecart-type	0,51	0,46	0,05	0,29	3,85	0,14	

 Minimum
 Maximum

Diagnostic de Contamination des Eaux du Littoral Algérois par les Hydrocarbures

Résumé :

Le littoral algérois est l'espace où se concentrent d'importants enjeux environnementaux. C'est un milieu dont la démographie est dynamique, mais aussi une niche pour de nombreux secteurs d'activités liées à la mer. Cela fait de lui un espace très fragile qui risque d'être pollué par les hydrocarbures. Dans la présente étude, les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) ont été analysés dans les eaux de surface de diverses stations placées le long de la côte Ouest et Centre Algéroise (baie de Bou-Ismaïl et baie d'Alger) par la technique de la spectrofluorométrie UV. Les résultats obtenus montrent des concentrations faibles comprises entre 0,64 et 1,17 µg/l où les valeurs relativement élevées ont été enregistrées devant les grands centres urbains, face aux embouchures des oueds et à l'extérieur des ports. La comparaison avec les résultats des études antérieures montrent que la baie d'Alger présente une réduction de la pollution par les HAP, alors que la baie de Bou-Ismaïl présente une légère augmentation de cette pollution.

Mots clés : Baie d'Alger, Baie de Bou-Ismaïl, Hydrocarbures polyaromatiques (HAP), Spectrofluorimétrie UV, Eaux de surface.

Summary:

The Algerian coastline is the area where important environmental issues are concentrated. It is an environment with dynamic population demography, but also a niche for many sectors related to the sea. This makes it a very fragile space that risks being polluted by hydrocarbons. In this study, Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) were analyzed in the surface waters of several stations along the west and the Center of Algiers coast (Bou-Ismaïl bay and Algiers bay) by the UV spectrofluorometry technique. The results obtained show low concentrations between 0.64 and 1.17 µg/l where relatively high values were recorded in front of large urban centers, facing the mouths of the wadis and outside the ports. The Comparison with the previous result studies shows that the Algiers bay has a remarkable reduction in pollution by PAHs, whereas the Bou-Ismaïl bay shows a slight increase in this pollution.

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

ملخص:

يعتبر ساحل الجزائر منطقة ارتكاز أهم القضايا البيئية، حيث يمثل بيئة ذات كثافة سكانية كبيرة و مركز للكثير من القطاعات و الأنشطة المرتبطة بالبحر، مما يجعلها وسط جد هش و معرض للتلوث بالهيدروكربونات. أما بالنسبة لهذه الدراسة، فقد تم تحليل ، الهيدروكربونات المتعددة النواة على مستوى المياه السطحية في عدة محطات متواجدة على طول الساحل الجزائري الغربي والمركزي (خليج بوسماعيل وخليج الجزائر) بواسطة تقنية الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية. أظهرت النتائج أن التركيزات منخفضة بحيث تتراوح ما بين 0,64 و 1,17 ميكروغرام / لتر، في حين أن القيم العالية نسبيا سجلت أمام المراكز الحضرية الكبرى ومصبات الوديان وخارج الموانئ المتواجدة في هذه المنطقة. بينما تبين المقارنة مع نتائج الدراسات السابقة أن خليج الجزائر قد شهد انخفاضا ملحوظا في نسبة التلوث بالهيدروكربونات المتعددة النواة، أما بالنسبة لخليج بوسماعيل فقد شهد زيادة طفيفة.

الكلمات الدالة : خليج الجزائر، خليج بوسماعيل، الهيدروكربونات المتعددة النواة ، الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية (سبكروفلوروميترية)، المياه السطحية.