

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

Option : Environnement

Sujet :

**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**

Présenté par :

- **BOUDJELLABA Djamel**
- **DEHANE Djema**

Soutenu le 18/07/2012 devant le jury suivant :

Mr BELKESSA. R	Maitre de conférences A (ENSSMAL)	Président
Mr BOULAHIDID. M	Professeur (ENSSMAL)	Examineur
Mr INAL. A	Attaché de recherche (CNRDPA)	Examineur
Mme BENTCHIKOU. L	Maitre assistante A (ENSSMAL)	Promotrice

Session juillet 2012

Remerciements

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

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à:

Mr BELKESSA qui à très aimablement accepté de présider le jury de notre ingéniorat.

Le grand Mr BOULAHIDID pour avoir accepté d'examiner ce travail d'une part, et d'autre part, pour l'importance particulière qu'il nous a réservé depuis le début jusqu'à la fin de notre travail.

Mes remerciements vont aussi, à monsieur INAL pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier d'une façon toute particulière notre promotrice Mme BENTCHIKOU d'avoir accepté de nous encadrer.

Nous associons à ces remerciements toute l'équipe de laboratoire de Sidi Fredj: Mme EDALIA, Mme Fariza et très particulièrement à Mr BOUDJELLAL pour son aide précieuse dans le laboratoire et même sur terrain.

Notre gratitude va également aux membre du laboratoire de Dely-Ibrahim, nous citons: Mr Mekki et Mr Youcef.

Nous réservons une sympathie amicale à tous nos ami(s)e qui nous ont aidé, ou été prêts a nous aider.

Enfin, nous souhaitons remercier du fond du cœur nos chères familles et leurs dire: merci et mille merci.

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Généralités

I. Pollution des eaux de mer	3
I.1. Définition de la pollution	3
I.2. Classification des polluants (selon la source et la nature de pollution)	3
I.2.1. Source de la pollution (origine)	3
I.2.2. Nature de la pollution.....	4
I.3. Paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution.....	5
I.3.1. La Température	5
I.3.2. Salinité (S) P.S.U (Practical Salinity Unit).....	6
I.3.3. Oxygène dissous (OD).....	6
I.3.4. Potentiel d'hydrogène (pH).....	6
I.3.5. Conductivité électrique (C)[unité (S/m)]	6
I.3.6. Transparence de l'eau (visibilité) :.....	6
I.3.7. Turbidité.....	7
I.3.8. Matières en suspension (MES)	7
I.3.9. La matière organique(MO)	7
I.3.10. La demande chimique en oxygène (DCO).....	7
I.3.11. La demande biologique en oxygène (DBO5)	8
II. Les hydrocarbures	8
II.1. Définition des hydrocarbures.....	8
II.2. Chimie des hydrocarbures	8
II.2.1. Les alcanes (ou paraffines) -aliphatiques	9
II.2.2. Les cyclanes (naphènes ou cyclo-paraffines) -aliphatiques	9
II.2.3. Les hydrocarbures aromatiques	9
II.2.4. Les asphaltènes et les résines (Polaires ou NSO).....	9
II.3. Le pétrole et les composés pétroliers.....	10
II.4. Physique des hydrocarbures	10
II.4.1.État naturel.....	10
II.4.2. La densité.....	10
II.4.3. La viscosité	11
II.4.4. Le point d'écoulement	11
II.4.5. Le point éclair	11
II.4.6. Le point d'ébullition	11
II.4.7. La tension superficielle.....	11
II.4.8. Tension de vapeur.....	12
II.4.9. Solubilité.....	12
II.5. Pollution des mers par les hydrocarbures	12
II.6. Les sources de pollution	12
II.6.1.Origine naturelle	12
II.6.2. Origine anthropique.....	13
II.7. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	14
II.7.1. Évaporation.....	15
II.7.2. Sédimentation	15
II.7.3. Solubilisation	16
II.7.4.Émulsification.....	16
II.7.5. Dispersion	16
II.7.6. Photo-oxydation.....	16

II.7.7. La biodégradation	16
II.8. Les impacts d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures	18
II.8.1. Impact sur les vivants	18
II.8.2. Impact sur les oiseaux.....	19
II.8.3. Impact sur les mammifères.....	19
II.8.4. Impact sur la santé humaine :	20

Zone d'étude

I. La Baie d'Alger	21
I.1. Cadre géographique	21
I.2. Bathymétrie.....	21
I.3. Etude sédimentologique.....	22
I.4. Réseau hydrographique.....	23
I.4.1. Oued El Harrach	23
I.4.2. Oued El Hamiz.....	24
I.5. Facteurs météorologiques	24
I.5.1. La température	24
I.5.2. La pluviométrie	24
I.5.3. Les vents	24
I.6. Facteurs hydrodynamiques	25
I.6.1. Les houles	25
I.6.2. Les courants	25
I.7. Origine des eaux marines de la baie d'Alger.....	25
II. La Baie de Bou Ismail	26
II.1. Situation géographique	26
II.2. Sédimentologie	27
II.3. Réseau hydrographique	27
II.4. Facteurs météorologiques	28
II.4.2. Les vents	29
II.4.3. Pluviométrie.....	29
II.5. Facteurs hydrodynamiques :.....	29
II.5.1. Houles	29
II.5.2. Les courants.....	29
II.6. Etat de la pollution :	31

Matériel et méthodes

I.1. Travaux effectués en mer	32
I.2. Choix et localisation des stations du prélèvement	32
I.3. Préparation du matériel	32
I.3.1. Lavage de matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures	32
I.4. Prélèvement et échantillonnage	35
I.4.1. Pour la mesure des paramètres physicochimiques.....	35
I.4.2. Pour l'extraction des hydrocarbures	35
I.4.3. Prélèvement des sédiments	35
I.5. Mesure des paramètres physicochimiques	35
I.5.1. Le potentiel d'hydrogène pH	35
I.5.2. La température (T)	36
I.5.3. La Salinité (S) et conductivité.....	36

I.6. Traitement des échantillons pour l'analyse des hydrocarbures	36
I.6.1. Matériels utilisés pour l'analyse des hydrocarbures	36
I.6.2. Hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer	36
I.6.3. Hydrocarbures dans les sédiments superficiels.....	39
I.7. Analyse quantitative des hydrocarbures aromatique	41
I.7.1. Spectrofluorimétrie UV (SFUV).....	42

Résultats et discussion

I. La Baie d'Alger	47
I.1. Variation des paramètres physico-chimiques	47
I.2. Résultats des analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'eau	50
I.3. Les concentrations des HAP dans les sédiments superficiels	54
II. La baie de Bou-Ismaïl	56
II.1. Les Paramètres physiques et chimiques	56
II.2. Les concentrations des HAP dissous/dispersés dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl.....	60
II.3. Les concentrations des HAP dans les Sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl	62
III. Etude comparative entre la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl	66
Conclusion générale	68
Bibliographie	
Les listes	
Annexes	

AIEA: International Atomic Energy Agency (Agence Internationale de l'Énergie Atomique).

API : American Petroleum Institute

C.O.I (I.C.O) : Commission Océanographique Intergouvernementale.

GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Pollution.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HC : Hydrocarbure Aromatique

IRS : Impact Référence System

LEM : Laboratoire d'Études Maritimes.

ONM : Office National de Météorologie.

PAC : Programme d'Aménagement Côtier Algérois

S : Standard

SFUV : Spectrofluorimétrie Ultrat-Violet

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observations.

ST : Station

UA : Unité Arbitraire.

UNEP : United Nations Environment Programme

ZET : Zone d'Expansion Touristique

Figure 1: Devenir du pétrole déversé dans l'eau (la source : le CERDRE, 2006).....	15
Figure 2: Effets des hydrocarbures sur les organismes marins (source: le CEDRE, 2006).....	20
Figure 3: Délimitation de la baie d'Alger	21
Figure 4: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007)	22
Figure 5: Carte sédimentaire de la baie d'Alger (Maouche, 1987).....	23
Figure 6 : Délimitation de la baie de Bou-Ismaïl.....	26
Figure 7: Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (Bakalem <i>in</i> Grimes, 2004).	27
Figure 8: Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismaïl	28
Figure 9: Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Source LEM 2001)	30
Figure 10: Pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bousmaïl.....	31
Figure 11: Positionnement des stations de prélèvement à la Baie d'Alger.....	32
Figure 12: Positionnement des stations de prélèvement à la Baie de Bou Ismaïl.....	33
Figure 13: Etapes suivies pour le lavage de matériel utilisé pour l'extraction des hydrocarbures	34
Figure 14: Procédure d'extraction des hydrocarbures dans l'eau de mer	37
Figure 15: Procédure d'extraction des hydrocarbures dans les sédiments.	40
Figure 16 : la courbe d'étalonnage 1 à 360nm pour les échantillons d'eau de mer.....	44
Figure 17 : la courbe d'étalonnage 2 à 360nm pour l'eau de mer.	44
Figure 18 : la courbe d'étalonnage à 360nm pour les sédiments.	46
Figure 19: Variation de la température dans la baie d'Alger.....	48
Figure 20: Variation de la salinité dans la baie d'Alger.	48
Figure 21: Variation de la conductivité dans la baie d'Alger.	49
Figure 22: Variation du pH dans la baie d'Alger.....	50
Figure 23: Concentrations des HAP dans les eaux marines de la Baie d'Alger.	51
Figure 24: Distribution spatiale des HAP dans les eaux de la baie d'Alger.....	52
Figure 25: Concentrations des HAP dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.	54
Figure 26 : Distribution spatiale des concentrations en HAP dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.....	55
Figure 27: la variation de la salinité à la baie de Bou-Ismaïl.....	57
Figure 28: Variation de la température à la baie de Bou-Ismaïl.	58
Figure 29: Histogramme de variation du pH dans la baie de Bou-Ismaïl.....	58
Figure 30: variation de la conductivité à la baie de Bou-Ismaïl	59
Figure 31: Concentration des HAP dans l'eau de mer de la Baie de Bou Ismaïl.....	60
Figure 32: Distribution des HAP dans les eaux de la baie de Bou-Ismaïl.....	62
Figure 33: la concentration des HAP dans le sédiment de la Baie de Bou-Ismaïl.....	63
Figure 34: Distribution spatiale des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.....	64
Figure 35: Comparaison entre les teneurs en HPA dans les eaux marines des deux baies.....	66
Figure 36: Comparaison entre les concentrations des HPA dans les sédiments de deux baies.	67

Tableau1 : Sensibilité de quelques populations (source : d'après O'sullivan et Jacques, 2001 <i>in</i> Fattal, 2008).....	20
Tableau 2: Concentrations des standards d'étalonnage.	43
Tableau 3: Les paramètres physico-chimiques enregistrés à la baie d'Alger.	47
Tableau 4: Valeurs des paramètres physico-chimiques à la baie de Bou-Ismaïl.	56
Tableau 5: Comparaison des concentrations des HAP des eaux de la baie de Bou-Ismaïl avec des eaux des autres sites.....	62
Tableau 6: Comparaison des concentrations des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl avec les sédiments des autres sites.	65
Tableau 7: Comparaison des concentrations des HAP trouvés dans la colonne d'eau pour les deux baies.....	66
Tableau 8: Récapitulation des valeurs de deux baies.....	67

Les zones côtières représentent un enjeu considérable en termes de développement socioéconomique et cela depuis l'avènement de l'ère industrielle.

La zone côtière est très sollicitée et exploitée (la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme,...), par conséquent les effets de pollution se sont faits rapidement sentir dans toutes les mers et les océans, telle que la mer méditerranée qui est soumise à un problème grave de pollution, dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation.

À l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux (Mennad, 2008). La région algéroise n'échappe pas à cette réalité occasionnée par un bassin versant particulièrement industrialisé où le risque prédominant en terme de pollution est le pétrole, du fait qu'elle possède une façade maritime qui assure de plus en plus le transport de grande quantité de marchandise de toute sorte y compris les hydrocarbures. Le risque de les y retrouver aussi bien dans l'eau que dans le sédiment marin n'est guère nul. En effet, on assiste souvent à des accidents pétroliers spectaculaires et très graves, dans toutes les régions du monde, ainsi qu'à des relargages illicites des composés pétroliers issus des navires (déballastage, eaux de cale,...) ou des rejets d'usines parvenant à la mer par l'intermédiaire des cours d'eau.

Lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement, les constituants des produits pétroliers sont altérés par des mécanismes de biodégradation, d'évaporation, de lixiviation, etc. et présentent, à l'analyse, des patrons chromatographiques tout à fait différents de ceux des mélanges frais. Les composés observés après la dégradation correspondent alors aux fractions les plus persistantes du mélange original.

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

L'objectif général de ce travail, est l'évaluation du degré de contamination par les hydrocarbures sur la côte de la baie de Bou-Ismaïl et la baie d'Alger, afin de révéler les éventuelles sources de pollution et de permettre sa prise en charge par les dispositifs disponibles et les moyens nécessaires et adéquats.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composée de plusieurs chapitres. Un premier chapitre consacré à une synthèse bibliographique sur les hydrocarbures rappelant, leur : classification, principales caractéristiques physico-chimiques, ainsi que les impacts et conséquences de leur présence en milieu marin. Le deuxième chapitre évoque une description générale de la zone d'étude, le réseau hydrographique, la morphologie sous-marine, la géomorphologie, la sédimentologie ainsi que les conditions météorologiques dans les baies de Bou-Ismaïl et d'Alger, concernées par ce travail.

Le matériel utilisé et les méthodes appliquées pour l'extraction et l'analyse des hydrocarbures polyaromatiques dans les deux matrices (l'eau ainsi que le sédiment marin) sont abordés dans le troisième chapitre.

Le quatrième chapitre présente dans un premier temps une interprétation des résultats relatifs aux paramètres physicochimiques à savoir le pH, la température, la salinité et l'oxygène dissous, puis les résultats obtenus à l'issue de l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau et le sédiment marin.

Enfin une conclusion générale clôturera ce mémoire.

I. Pollution des eaux de mer

I.1. Définition de la pollution

La pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans, en conséquence de l'activité humaine. Elle comprend la pollution de l'eau, des biotes et celle des sédiments, plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par les rejets de substances nuisibles par leurs natures ou leurs quantités.

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

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « pollution marine » parmi lesquelles, on note :

La définition admise par le Groupe d'Expert chargé d'étudier les Aspects Scientifiques de la Pollution des Mers (**GESAMP**), qui définit la pollution marine comme l'introduction par l'homme dans le milieu marin, y compris les estuaires, directement ou indirectement des substances ou d'énergie pouvant entraîner des effets délétères tels que dommage aux ressources biologiques, danger pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (pêche), diminution de la qualité de l'eau de point de vue son utilisation et réduction de possibilités offertes dans le domaine des loisirs.

De même, l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) fournit la définition suivante : « la pollution des milieux aquatiques est définie comme étant, toute modification des propriétés physique, chimique ou biologiques ou tout rejets de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau d'une façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue de la santé, de la sécurité et du bien être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique.

I.2. Classification des polluants (selon la source et la nature de pollution)

La source et la nature de la pollution, sont les deux principaux critères utilisés pour classer la pollution du milieu marin (Galaf et Ghannam, 2003).

I.2.1. Source de la pollution (origine)

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories: pollution urbaine, pollution industrielle et pollution agricole.

I.2.1.1. Pollution urbaine

Ce type de pollution est dû essentiellement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, matières fécales...etc.). Elle est liée aux grandes concentrations urbaines.

Le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité.

La pollution domestique se caractérise par :

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

I.2.1.2. Pollution industrielle

La pollution industrielle constitue la principale source de pollution des eaux.

Toutes les industries (usines) utilisent l'eau (en quantité différente) principalement celles installées au niveau du rivage à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour refroidir leurs machines (industrie alimentaire, industrie agricole industrie chimique et pétrochimique...).

I.2.1.3. Pollution agricole

L'agriculture est responsable du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans l'eau de mer, cette pollution se caractérise par de fortes teneurs en azote, phosphore, potassium et nitrate provenant des engrais commerciaux, des purins et des lisiers (Gaujous, 1995).

I.2.2. Nature de la pollution

A partir de la nature prédominante de la pollution, nous distinguons trois (03) classes:

I.2.2.1. Pollution chimique:

Ce type de pollution est engendré par des rejets de produits chimiques d'origine industrielle et domestique dans l'eau de mer, ces polluants sont de deux catégories :

- Les micropolluants chimiques organiques : hydrocarbures, pesticides, détergents et autres, ces polluants sont appelés les polluants organiques permanents (POPs).
- Les micropolluants chimiques inorganiques : ils sont représentés essentiellement par les métaux lourds et des substances à concentrations excessives.

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

I.2.2.2. Pollution physique

Ce type de pollution existe lorsque il ya une introduction d'une substance modifiant la turbidité du milieu, d'une source radioactive où d'un rejet d'eau réchauffée.

La pollution physique est due essentiellement à la pollution urbaine et industrielle. La pollution physique est répartie en trois types (03) :

I.2.2.3. Pollution mécanique: qui est due essentiellement à des substances solides, comme les boues, les solides flottants (sac en plastique, morceaux de bois), ces rejets ont comme première conséquence l'augmentation de la turbidité de l'eau.

1.2.2.4. Pollution thermique

La majorité des usines sont implantées d'une manière volontaire sur le littoral où sur les bassins versants littoraux, ce type d'installation est à l'origine d'apports notables d'eaux résiduelles au milieu marin.

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

Il entraîne un réchauffement qui peut être brutal où progressif. Ce réchauffement a un impact direct qui se traduit par la substitution de la faune et de la flore du milieu marin; ou indirect tels que le développement bactérien et l'augmentation de la toxicité de certaines substances. (Fruget, 1999).

1.2.2.5. Pollution atomique: due aux centrales nucléaires et des usines de traitement des combustibles irradiés. Elle est due à un apport de radionucléide lié à l'utilisation de l'énergie atomique.

La pollution atomique à un impact direct aussi bien sur les organismes aquatiques que sur la santé humaine, qui se traduit par le dérèglement du comportement des êtres vivants.

1.2.2.6. Pollution biologique :

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ses agents causals :

- Les microorganismes pathogènes tels que les bactéries (la plus répandus et la plus étudiées) et les virus : ils sont apportés par les eaux usées qui sont directement rejetées en mer.

Dans le milieu marin, les bactéries servent de nourriture à de nombreux organismes marins, elles favorisent la fixation d'algues où de larves sur certains substrats, et permettent également la dégradation de certains polluants tels que les pesticides et les hydrocarbures.

Cependant leurs effets peuvent être nuisibles. Certaines bactéries ont la capacité de concentrer des polluants tels que les métaux lourds (mercure), leur consommation par des mollusques filtreurs où des vers peut contaminer la chaîne alimentaire (Equinoxe, 1990).

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

I.3. Paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution

1.3.1. La Température

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans :

- la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique (Aminot *et* Kerouel, 2004)
- la solubilité des sels et des gaz,
- la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels.
- la détermination du champ de densité et des courants (Rodier, 1997).

- les cycles biologiques du fait de son influence sur l'activité biologique (reproduction, maturation, cycle sexuel et migration) et influe sur la répartition des espèces (Millot, 1987)

D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air, tandis qu'elle diminue progressivement avec la profondeur (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

1.3.2. Salinité (S) P.S.U (Practical Salinity Unit)

Elle représente la teneur en sels dissous de l'eau de mer et peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (Rodier, 1996).

La salinité est une propriété fondamentale pour l'étude du milieu marin, par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires. Il forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

1.3.3. Oxygène dissous (OD)

C'est un paramètre très important pour la vie marine mais qui peut subir des variations importantes car sa teneur dépend :

- des facteurs physiques : température, échange à l'interface air-mer, diffusion et mélange au sein des écosystèmes aquatiques.
- des facteurs chimiques : phénomène de photo oxydation et les réactions chimiques d'oxydoréductions.
- des facteurs biologiques: la photosynthèse, la respiration et la régénération (Gaujous, 1995).

1.3.4. Potentiel d'hydrogène (pH)

Un paramètre chimique qui résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (Aminot et Kerouel, 2004), et qui caractérise l'acidité ou la basicité d'un milieu.

Il est défini par l'équation suivante :

$$\mathbf{pH = - \log a} \qquad \mathbf{a: \text{activité de l'ion H}^+}$$

En moyenne, le *pH* de l'eau de mer est voisin de 8.2, il tend vers un milieu basique.

1.3.5. Conductivité électrique (C)[unité (S/m)]

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm (Rodier, 2005). Son unité est le Siemens par mètre (S/m) (1S/m=104uS/cm=103mS/m).

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

1.3.6. Transparence de l'eau (visibilité) :

Elle est exprimée par la profondeur de pénétration verticale de la lumière dans l'eau (épaisseur de la couche photosynthétique).

Elle est obtenue par la mesure de la profondeur de disparition du disque de *Secchi*, "profondeur de Secchi" (Rodier, 2005).

1.3.7. Turbidité

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

La connaissance de la turbidité a une double importance :

- déterminer l'intensité lumineuse pénétrante sous la surface.
- permettre également une approche de la qualité des particules en suspension.

1.3.8. Matières en suspension (MES)

D'après Lynove (1972), en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origine minérale ou organique vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène éolienne et enfin météorique. Elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires. Les matières en suspension comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45µm et elles peuvent être un indice de pollution.

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer un déséquilibre entre diverses espèces.

La matière en suspension influe sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, ou elle construit une voie de pénétration des éléments toxiques (Rodier, 1997).

1.3.9. La matière organique(MO)

la matière organique est une substance nutritive considérée comme une source d'énergie pour les micro-organismes (bactéries, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (Boulaïdid, 1987).

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques (disponibilité d'éléments nutritifs) contrôlent l'activité biologique des espèces trophiques primaires de l'environnement marin.

1.3.10. La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné.

La demande chimique en oxygène constitue la mesure de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en partie les sels minéraux oxydables, les sels de métaux et la

majeure partie des composés organiques. Elle permet donc d'évaluer la quantité totale de la pollution organique.

1.3.11. La demande biologique en oxygène (DBO5)

La mesure de DBO5 (mg/l), correspond à la consommation d'oxygène d'une masse d'eau conservée à l'obscurité en tube fermé à 20C° pendant 05 jours. Cette consommation est proportionnelle à la quantité de matière organique biologiquement oxydable contenue dans l'eau, et donc à son niveau de pollution (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

La demande chimique en oxygène représente l'ensemble des matières organiques et la demande biologique en oxygène représente la part des matières organiques biodégradables, la différence entre les deux représente la charge en matières organiques peu ou pas biodégradable.

II. Les hydrocarbures

II.1. Définition des hydrocarbures

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

II.2. Chimie des hydrocarbures

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

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

(Selon la manière dont les atomes de carbones sont liés les uns aux autres, on distingue deux types d'hydrocarbures : *les saturées* et *les insaturées*.)

- *Les hydrocarbures saturées* : dans les quels toutes les liaisons C-C sont des liaisons simples résultant de la mise en commun de deux électrons (-C : C-). On les appelle saturés car ils ne peuvent pas fixer d'éléments supplémentaires à ceux qui constituent leur molécule.
- *Les hydrocarbures insaturés* : dans les quels une ou plusieurs liaisons C-C sont des liaisons multiples, résultant de la mise en commun de quatre ou de six électrons, ils peuvent fixer certains éléments grâce aux électrons supplémentaires de leurs liaisons multiples (Lefebvre, 1978).

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

II.2.1. Les alcanes (ou paraffines) -aliphatiques

On les appelle aussi paraffines. Leur nom vient du grec *aleiphar* qui signifie huile ou graisse ; cette nomenclature vient du fait que les graisses sont des composés à chaîne ouverte (Lefebvre, 1978).

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés, à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée.

Ils possèdent deux caractéristiques importantes : (Michel, 1983 *in* Sellali, 1996)

- Toxicité moindre par rapport aux autres hydrocarbures.
- Biodégradabilité rapide, en particulier des n-alcanes.

Ces alcanes représentent environ 30% du poids des pétroles bruts (Fattal, 2008).

II.2.2. Les cyclanes (naphènes ou cyclo-paraffines) -aliphatiques

Il s'agit des cyclanes dont les chaînes hydrocarbonées sont fermées. Ils sont des hydrocarbures saturés, dont chaque cycle est constitué au minimum de trois atomes de carbone, qui en plus peuvent être ramifiés (Lefebvre, 1978, Fattal, 2008).

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

Ils sont en générale peu toxiques, mais plus rémanents que les alcanes et moins que les composés aromatiques dans le milieu (Sellali, 1996).

II.2.3. Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques sont des hydrocarbures insaturés qui contiennent au moins un cycle benzénique.

Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbones et d'une conjugaison de liaison simple et double, sa formule brute est C_6H_6 (Fattal, 2008).

Ils sont persistants et toxiques due à leur insolubilité qualifiée comme « Unresolved Complex Mixture » (UCM). Ils forment généralement 40% (entre 15 et 40 %) des pétroles bruts.

Certains composés à plusieurs noyaux aromatiques tels que le benzo(a)pyrène sont doués d'une grande stabilité et sont reconnus comme mutagènes, cancérigènes et se bio-accumulent fortement (Fattal, 2008).

II.2.4. Les asphaltènes et les résines (Polaires ou NSO)

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

Les asphaltènes sont en partie responsable de la viscosité et de la densité élevée des pétroles bruts lourds (Wauquier, 1994).

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

Lors d'un accident pétrolier en mer, les asphaltènes et les résines représentent la fraction majeure qui subsiste après quelques mois d'exposition aux agents naturels de dégradation. Et comme ces composés renferment certains constituants majeurs et mutagènes, ils représentent un réel ganger environnemental (Bentchikou, 2005).

b) Les résines : sont des composées à poids moléculaire élevé, constituées de molécules hétérocycliques qui confèrent au pétrole un caractère légèrement tensioactif (Marchand et Kantin, 1996 *in* Mechekef, 2009) ; et leur conférant un caractère polaire marqué qui se traduit par une rétention sélective sur des adsorbants de séparation chromatographique (Bocard, 2006).

Ils entrent pour 5 à 25% dans la constitution des pétroles bruts (Marchand et Kantin, 1996 *in* Mechekef, 2009).

Ce groupe de composés très stables est généralement le plus persistant sur les littoraux car ils forment des goudrons (Fattal, 2008).

II.3. Le pétrole et les composés pétroliers

Le pétrole brut est constitué de différentes familles des composés dont la composition chimique varie énormément selon leur origine géographique et géologique. Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts. Les composés pétroliers peuvent être classés en quatre familles principales qui sont présentes en proportions variables selon l'origine: les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques (20 à 40 %), les composés polaires (5 à 25 %) et les asphaltènes (0 à 10 %).

II.4. Physique des hydrocarbures

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

II.4.1. État naturel

Dans la nature, les hydrocarbures se présentent le plus souvent sous la forme d'un liquide que l'on appelle le pétrole brut. Il existe cependant des gisements d'hydrocarbures gazeux, et plus exceptionnellement des gisements d'hydrocarbures solides sous forme de sables ou de schistes bitumeux (Lescole, 2002).

II.4.2. La densité

C'est un facteur qui détermine la flottabilité, elle est déterminée par les grosses molécules de carbone qui y sont présentes et elle se mesure en Kilogramme par mètre cube ou en degré sur l'échelle d'American Petroleum Institut (API) (Ait Abbas et Lauani, 2002).

Les paraffiniques ont tendance à rester en surface, alors que les naphtènes ou les asphaltènes, plus lourds, peuvent couler.

La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par en voie de conséquence flottent. Dès que le poids moléculaire augmente (entre 1 et 1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau. Plusieurs facteurs contribuent à modifier la densité comme le poids moléculaire, la température, l'évaporation, ou l'association avec d'autres particules (Fattal, 2008).

II.4.3. La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Elle est représentée par la résistance à l'écoulement et elle est exprimée en centistokes (cSt, viscosité cinétique) pour une température donnée. La vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbures puis le degré de pénétration dans les sédiments lors qu'elle arrive à la cote est régit par cette propriété. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (Owens, 1994 in Fattal, 2008).

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

II.4.4. Le point d'écoulement

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

Le point d'écoulement est lié corrélativement à la teneur en alcanes (paraffine) et plus le pourcentage en paraffine augmente, plus la température du point d'écoulement augmente (<5% pour des températures <5°C ; <15% pour des températures ≤20°C) (Fattal, 2008).

II.4.5. Le point éclair

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

II.4.6. Le point d'ébullition

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

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

II.4.7. La tension superficielle

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

II.4.8. Tension de vapeur

Les vapeurs d'hydrocarbures exercent dans une enceinte fermée, une pression déterminée et constante pour chaque température. C'est ce qu'on appelle " Tension de vapeur ". Elle augmente rapidement avec la température.

Lorsque la température est stable, l'évaporation de liquide cesse dès que la tension de vapeur est atteinte (Lescole ,2002).

II.4.9. Solubilité

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

II.5. Pollution des mers par les hydrocarbures

Le pétrole est une source de pollution des environnements marins qui peut largement influencer les équilibres écologiques et par extension les activités économiques des régions sinistrées. "The National Research Council" a estimé dans la revue "Oil in the sea: inputs, fates and effects, 2002", la quantité de pétrole introduite annuellement dans les océans par les diverses voies à 1,3 millions de tonnes / an, sachant qu'une tonne de pétrole peut couvrir environ une surface de 12 kilomètres carrés. Les hydrocarbures pétroliers qui arrivent dans l'environnement marin peuvent avoir quatre origines majeures.

Les hydrocarbures pétroliers qui arrivent dans l'environnement marin peuvent avoir quatre origines majeures:

- Les sources géochimiques 47% ;
- Consommation 38% ;
- Le transport 12% ;
- Production 3% (Soltani, 2004).

II.6. Les sources de pollution

La présence des hydrocarbures en mer n'est pas toujours d'origine anthropique. Aussi, on distingue des hydrocarbures d'origine naturelle, organismes animaux, végétaux, suintement sous marin (Martin et al 1976 in Tounsi, 1989).

Mais, les sources essentielles de pollution hydrocarbonée dans ces milieux sont le pétrole brut et ses dérivés (Vandecasteele, 2005).

II.6.1.Origine naturelle

a) Suintements sous marins

Ce sont des phénomènes naturels dû à la remonté d'hydrocarbures fossiles du contenu de certains gisement situés sous le plateau continental dans les zones à activités sismiques importantes. (Debiche, 1991)

b) Hydrocarbures biogéniques

Il est communément admis que beaucoup d'hydrocarbures peuvent être synthétisés par la matière vivante et notamment par les plantes.

En mer, les algues benthiques ou phytoplanctoniques sont également riches en hydrocarbures puisque selon Younjblood Et Blumer (1973), certaines d'entre elles contiennent de 100 à 200ppm d'hydrocarbures par rapport au poids sec.

II.6.2. Origine anthropique

Ces sources sont multiples, caractérisées par les apports liés à l'activité humaine. On distingue :

II.6.2. A. Pollution chronique

Elle est la cause principale liée au :

➤ *Le transport maritime*

Il est une source importante de pollution en milieu marin, comporte plusieurs causes de pollution :

- Le déballastage des eaux remplissant les citernes du rejet des pétroliers vers le port de chargement ; très sale jusqu'aux années 1970 où les navires n'utilisent pas le chargement sur résidus, dit aussi Load On Top ou LOT, il est devenu sensiblement plus propre avec la génération de ce procédé.
- Le déchargement aux terminaux.
- Le soutage et l'élimination des eaux de Cole.
- Le nettoyage en cale sèche (Bertrand, 2000).

➤ *L'exploitation de gisements marins*

Elle peut provoquer des déversements lors de ses trois principales opérations : forage, production et transport par oléoduc sous-marin, mais compte peu dans le bilan global (Bertrand, 2000).

➤ *Retombés atmosphérique*

Elles concernent les imbrûlés produits lors de combustion (échappement des automobiles, incendie de navires et de déversement pétrolier, etc.) ou les hydrocarbures gazeux vaporisés lors de fuites ou de manipulation. Ces composés sont pour la plupart rapidement oxydés. Seule une faible fraction retombe en mer, le plus souvent à proximité de lieu d'émission. L'estimation de ces retombés au cours de la période 1970-1985 est de 0,3 à 9Mt/an (Bertrand, 2000).

➤ *Apports continentaux*

Ils concernent les rejets terrestres drainés jusqu'à la mer par les rivières, les émissaires côtiers servant d'exutoires aux :

- Raffineries côtières.
- Industrie côtières diverses (pétrochimie et autre).
- Les eaux usées urbaines chargées d'hydrocarbures résiduels en particulier au voisinage des garages et ateliers de réparation d'automobiles, des stations d'essences, des aéroports ... (Tounsi, 1989).

II.6.2. B. Pollution accidentelles

Cette pollution est généralement due aux navigations aboutissant aux collisions entre pétroliers ou à leur échouage. Ces accidents sont spectaculaires et peuvent avoir localement des conséquences dramatiques.

Parmi ces accidents nous citons les plus désastreux :

Le cas de Torry Canyon

Le 18 mars 1967, le pétrolier libérien Torrey Canyon chargé de 119000 tonnes de pétrole brut s'échoue entre les îles Sorlingues et la côte britannique. Malgré une mobilisation de tous les moyens de lutte disponibles plusieurs nappes de pétrole dérivent en Manche et touchent au fil des semaines les côtes britanniques et puis françaises. En mer, les dispersants utilisés pour atténuer la pollution se sont avérés plus toxiques que le pétrole déversé.

Il donne naissance aux premiers éléments de politique européenne de prévention et de lutte contre les marées noires et la mise en place de la convention internationale d'indemnisation des victimes (CEDRE, 2006).

Le cas de PRESTIGE

Le 13 novembre 2002, le pétrolier Bahamien Prestige en route vers Singapour avec 77000 tonnes de fioul lourd demande assistance suite à une avarie de coque au large du cap Finisterre (Espagne). L'équipage est hélitreuillé et le navire pris en remorque. Après 6 jours de remorquage à la recherche d'un port de refuge, le navire se brise en deux et plus de 60000 tonnes de fioul dérivent en mer.

Des opérations de lutte sans précédent permettent d'en récupérer le tiers en mer. Le reste vient polluer au fil des semaines plus de 1000km de littoral en Espagne, puis en France déclenchant la plus vaste opération de lutte en Europe (CEDRE, 2006).

II.7. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

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

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

- Les processus à court et moyen terme : vont débiter dès le déversement du pétrole et ne durent qu'une courte période.
- Les processus d'évolution à long terme : le pétrole déversé commence à subir d'autres transformations physiques et modifications chimiques qui vont durer dans le temps, pour aboutir, à terme, à sa disparition complète (Raoul-Duval et *al*, 2005)

On fait généralement référence à l'ensemble de ces processus sous le terme générique d'altération (weathering) qui comprend les phénomènes suivants (figure 1) (Jenkins et al, 1991 in Vandecasteele, 2005):

II.7.1. Évaporation

Ce phénomène touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température,...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone, qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (Soltani, 2004).

Le taux d'évaporation dépend en premier lieu de la volatilité des différentes fractions de l'hydrocarbure mais également d'autres facteurs, tels que la quantité déversée, les températures de l'eau et de l'air, l'agitation du plan d'eau, le vent et le taux d'étalement de la nappe (Le CEDRE, 2009).

II.7.2. Sédimentation

La sédimentation est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Elle se réalise lorsque la densité de l'hydrocarbure dépasse celle de l'eau

La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradables par voie naturelle (in Koroghli, 2010).

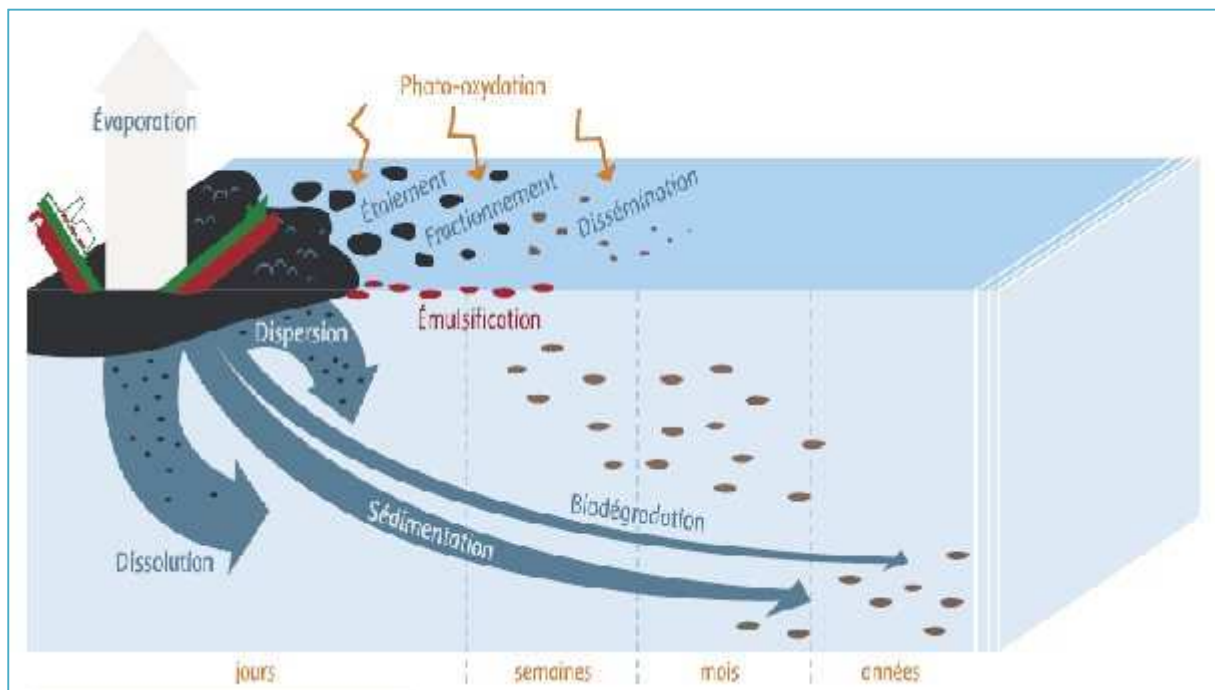


Figure 1: Devenir du pétrole déversé dans l'eau (la source : le CERDRE, 2006)

II.7.3. Solubilisation

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

Il est importants de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (Le CEDRE, 2009).

II.7.4.Émulsification

Deux types d'émulsions peuvent se former : eau-dans-huile appelée "mousse chocolat" et huile-dans-eau.

Elle dépend de type d'HC et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des HC mais, si celui-ci devient trop important on assisterait à une dispersion parce que les émulsions deviennent instables. (*in* Abderrahmani, 2011)

Les émulsions eau-dans-huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaires. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages, alors que les émulsions huile dans- eau conduisent à la dispersion dans la colonne d'eau et facilitent l'élimination des hydrocarbures (Soltani, 2004).

II.7.5. Dispersion

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

II.7.6. Photo-oxydation

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

L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés. Ainsi, elle touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les *n*-alcanes.

La photo-oxydation conduit à la formation de composés solubles dans l'eau (acides, alcools, cétones, peroxydes et sulfoxydes) et certains travaux de recherche ont montré leur toxicité pour les communautés microbiennes alors que Rontani et *al* (1987, 1992), ont montré l'existence d'interactions entre la photo-oxydation et la biodégradation pour l'élimination des alkyl-benzènes et de l'anthracène. L'action simultanée de ces deux phénomènes permet une élimination plus rapide de ces deux familles de composés (Soltani, 2004).

II.7.7. La biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement marin. Les microorganismes en sont responsables, en particulier les bactéries. La biodégradation des hydrocarbures par les microorganismes appelés *hydrocarbonoclastes* a été mise en évidence dès 1946 par *Zobell*. Depuis cette date le nombre d'espèces bactériennes identifiées possédant cette propriété n'a cessé d'augmenter. En se basant sur la fréquence d'isolement, les genres bactériens prédominants sont *Pseudomonas*,

Acinetobacter, *Alcaligènes*, *Vibro*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Corynebacteria*, et *Nocardia*.

L'activité humaine, au travers des multiples sources de pollution et par la mondialisation des déplacements, favorise l'apparition de nouvelles souches aptes à la dégradation des hydrocarbures. Ainsi, même si les conditions de température, aération, pH, toxicité ou nutriments sont défavorables, une dépollution intrinsèque reste possible avec une efficacité amoindrie.

La capacité de se développer sur les hydrocarbures ne se limite pas uniquement aux bactéries, certains sites contaminés contiennent également de nombreux champignons et levures capables de les dégrader. Signalons enfin que certaines micro-algues sont capables d'attaquer les hydrocarbures, citons l'exemple de *Protatheca zopfii* qui dégrade 40 % du pétrole brut.

Cependant parmi les microorganismes aptes à se développer sur les hydrocarbures, les bactéries restent qualitativement et quantitativement prépondérantes pour métaboliser ces substrats (Soltani, 2004).

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

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

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

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

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

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

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

II.8. Les impacts d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures

Une marée noire génère des impacts sur le milieu, sur ses peuplements et sur les activités économiques. La quantité de polluant déversé pèse naturellement lourd sur cet ensemble d'impact. Mais, la nature de produit en cause, le lieu et le contexte jouent énormément un grand rôle.

Facteurs déterminant l'importance d'une pollution

Les conditions qui influent sur les impacts d'une pollution sont :

- Les types d'habitats.
- Le type et la quantité d'hydrocarbures (les hydrocarbures raffinés sont plus volatils et plus toxiques que les hydrocarbures lourds).
- Les espèces atteintes directement ou indirectement.
- La période du déversement (saison et stade d'évolution des espèces).
- Les conditions hydrométéorologiques.
- Le climat.
- La fréquence et la durée d'exposition aux hydrocarbures.
- L'efficacité des mesures d'intervention (Fattal, 2008).

II.8.1. Impact sur les vivants

Les produits pétroliers rejetés dans l'environnement ont des répercussions sur les plantes, animaux et êtres humains. Les conséquences de la contamination dépendent des organismes eux-mêmes et de la structure chimique des hydrocarbures. Certaines espèces éprouvent des changements de comportement à peine perceptibles ou des problèmes de santé à court terme, elles éprouvent des effets toxiques instantanés et aigus parfois mortels, tandis que chez d'autres espèces, les répercussions se manifestent lentement à long terme.

Les bactéries, nourriture de nombreuses espèces aquatiques, peuvent être des vecteurs de contamination par lesquels les hydrocarbures peuvent entrer dans la chaîne alimentaire (Soltani, 2004).

La nappe de pétrole constitue une barrière nette du transfert d'oxygène, réduction de la pénétration de la lumière et donc affecte le bon déroulement de la photosynthèse. Il entraîne aussi, l'élévation de la température et la prolifération des micro-organismes... (Tounsi, 1989).

II.8.1.1. Les espèces planctoniques

Elles sont le premier maillon de la chaîne trophique donc toute altération les affectant se répercutera sur les niveaux trophiques les plus élevées (Ait Abbas et Luani, 2002).

➤ **Phytoplancton**

Les huiles répandues en surface forment un filtre entre le soleil et le milieu aquatique pouvant réduire de 90% la pénétration de la lumière. Donc, il a pour conséquences immédiate : le ralentissement de l'activité photosynthétique et la production primaire (Hocini, 1991).

➤ **Zooplancton**

L'impact sur la communauté zoo-planctonique est moins évident car il est difficile de distinguer des phénomènes anormaux d'une variabilité naturelle qui est liée aux conditions

écologiques comme le brassage et la saisonnalité. Toutefois, une marée noire entraîne inévitablement des effets (Fattal, 2008).

II.8.1.2. Les espèces benthiques

- **Phytobenthos**

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

Les effets à long terme sont peu importants ; en générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (Fattal, 2008)

- **Zoobenthos**

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

En raison du piégeage des hydrocarbures dans les sédiments, les mortalités sont plus fortes pour la macrofaune des substrats meubles que pour celle des milieux rocheux.

A plus long terme, les mortalités sont probables mais difficiles à évaluer. Toutefois, une perturbation des peuplements macrobenthiques, due à l'inégale vulnérabilité spécifique, se traduit généralement par l'apparition d'espèces opportunistes et indicatrices de pollution.

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

II.8.2. Impact sur les oiseaux

Les effets d'un déversement sur les oiseaux, sont toujours difficiles à évaluer car d'une part, il existe une grande variabilité des groupes à cause de variabilité des facteurs naturelle. D'autre part, lorsqu'une pollution survient les animaux qui échouent sur le littoral ne représentent qu'une partie des mortalités.

La vulnérabilité des oiseaux dépend de plusieurs variables comme le type de l'espèce (son origine géographique, sa structure d'âge, les stratégies démographiques du groupe, et les modes de reproduction) ; le type d'HC ; l'étendue de la nappe ; le lieu de la pollution ainsi que la période où l'accident s'est produit. Concernant la quantité déversée et l'impact sur l'avifaune ; il n'y a pas de relation directe. En revanche, les espèces qui passent de longues périodes à la surface de l'eau, qui plongent, qui muent, ne volent pas, sont plus vulnérables que les autres. Les oiseaux de pleine mer dont plus spécifiquement les alcidés sont plus vulnérables que les oiseaux de rivage (Fattal, 2008).

II.8.3. Impact sur les mammifères

Il dépend des types des espèces, de leur mode de vie, mais aussi des facteurs comme la durée d'exposition, la surface du corps mazouté, le régime alimentaire, l'ingestion des hydrocarbures et l'inhalation. Ces deux derniers facteurs sont responsable d'irritation

diverses, d'inflammation des muqueuses, d'ulcérations gastro-intestinales et d'obstruction des poumons (Fattal, 2008).

- ✚ En conclusion, le tableau de synthèse suivant conclure la sensibilité des espèces, peuplements et populations. Il résulte de la mise en place de L'IRS (*Impact Reference System*), au sein de l'Union Européenne (O'sullivan et Jacquea, 2001 in Fattal, 2008).

Tableau1 : sensibilité de quelques populations (source : d'après O'sullivan et Jacques, 2001 in Fattal, 2008).

Sensibilité	Populations
Très forte sensibilité	Guillemots, puffins, oiseaux plongeurs, corail
Forte Sensibilité	Oursins, mammifères marins, larves de nombreux organismes
Sensibilité moyenne	Zooplancton, mollusques, polychètes
Sensibilité faible	Phytoplancton
Sensibilité très faible	Poissons adultes

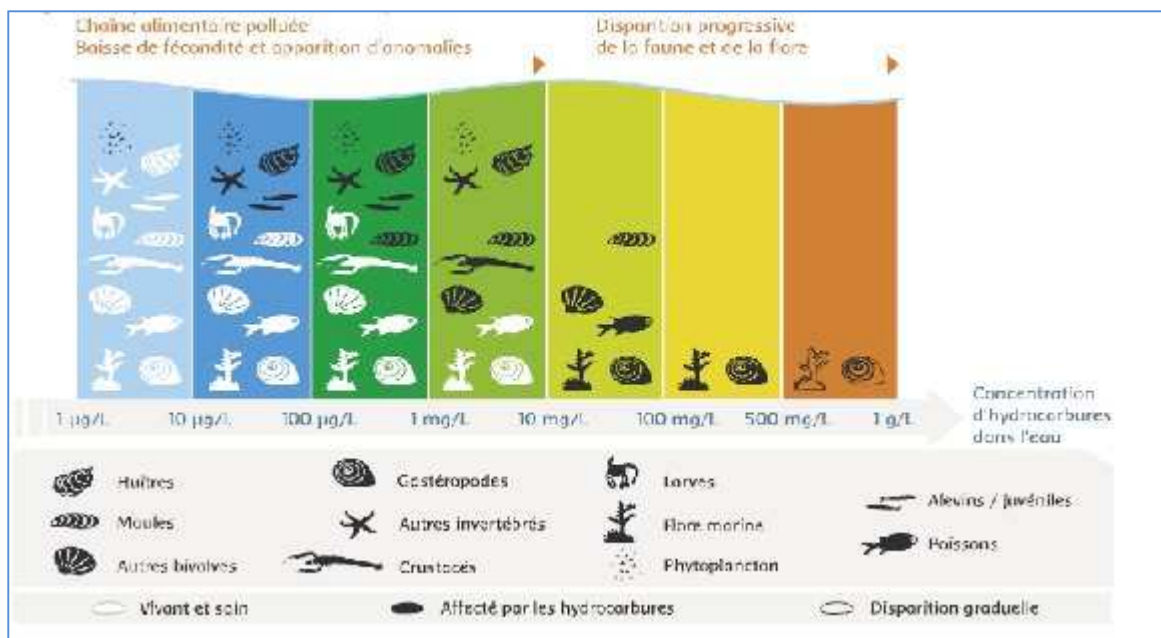


Figure 2: Effets des hydrocarbures sur les organismes marins (source: le *CEDRE*, 2006).

II.8.4. Impact sur la santé humaine :

Il dépend de temps de l'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés.

L'ingestion de produit de la mer contaminé par une pollution par les hydrocarbures comporte un risque cancérogène difficile à apprécier.

Les premiers concernés sont les nettoyeurs qui inhalent les produits. La gêne occasionnée provoque des manifestations telles que des céphalées, vertiges, nausées, vomissements et irritations oculaires. D'autres manifestations peuvent être déclarées au moment des nettoyages comme les douleurs des jambes, des douleurs abdominales, de lombalgies et de troubles du sommeil (Fattal, 2008).

Présentation générale de la zone d'étude

La façade maritime Algérienne s'étend sur 1640km (anciennement évaluée à 1280km), dont la partie centrale de cette région de 2° Ouest jusqu'à 9°Est avec une superficie maritime sous juridiction nationale environ 10 millions d'hectares aux activités de pêches.

Ces côtes sont découpées, et les baies sont largement ouvertes et peu nombreuses. La côte est bordée de falaises abruptes, rendant la création de nouveaux ports difficile (Korichi, 1988)

On s'intéresse à la région d'Alger qui s'étend sur environ 115Km et qui regroupe plusieurs baies dont la baie d'Alger, la baie de Bou Ismail, et la baie de Zemouri et particulièrement aux deux premières citées.

I. La Baie d'Alger

I.1.Cadre géographique

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte Algérienne, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja et d'une forme semi-circulaire. Elle est délimitée par: la pointe Pescade (RAIS HAMIDOU) à l'Ouest, le cap Matifou (El MARSÀ) à l'Est, au Sud par le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée (figure 3).

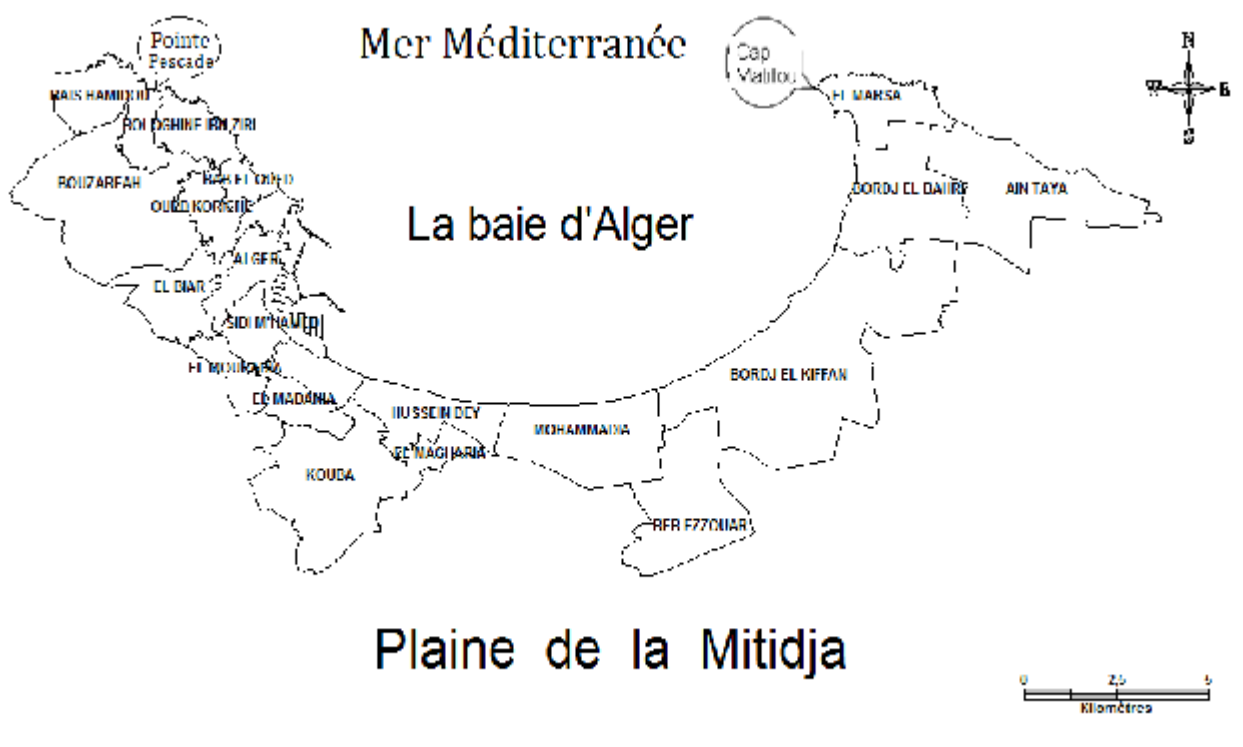


Figure 3: Délimitation de la baie d'Alger

I.2.Bathymétrie

La morphologie sous-marine de la baie d'Alger est régulière sans accèdent topographiques majeurs, la pente continentale passe du massif de Bouzaréah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, les isobathes sont régulières et parallèles à la côte et la distance qui sépare deux

isobathes est d'environ 6 milles descendante en pente douce et uniforme de 0 à 100 m. L'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte, celui de 100m est à 7,6Km, quant à celui 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1Km de la côte (figure 4).

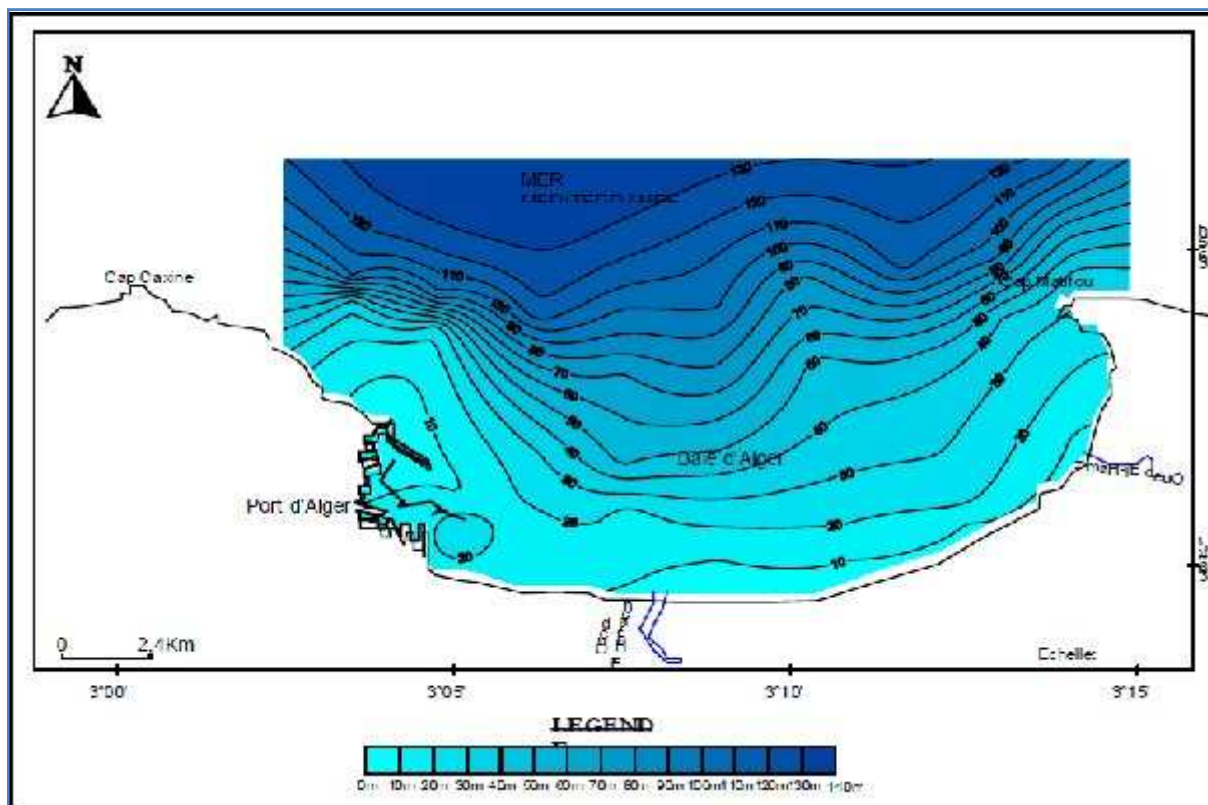


Figure 4: Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma-Bachari, 2007)

I.3. Sédimentologie :

La connaissance de la nature du fond de la baie d'Alger est essentielle. Beaucoup de travaux y sont fait, montrant que la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie (Figure 5). Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale.

La distribution générale des faciès, établie par Maouche (1987), montre, d'après la composition globale des dépôts, trois types de faciès :

- **Faciès sableux** : Ils se limitent à la bordure littorale, entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires et en prolongement des caps, ou ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, en direction du centre de la baie.
- **Faciès carbonates** : Ils sont réduits aux bordures rocheuses littorales et au fonds rocheux de la baie.

- **Bordure Ouest** : La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.
- **Bordure Est** : Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou, où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.
- **Le haut-fond du Matifou** : Même nature que le Cap Matifou; la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.
- **Faciès pélitiques** : Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction politique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds.

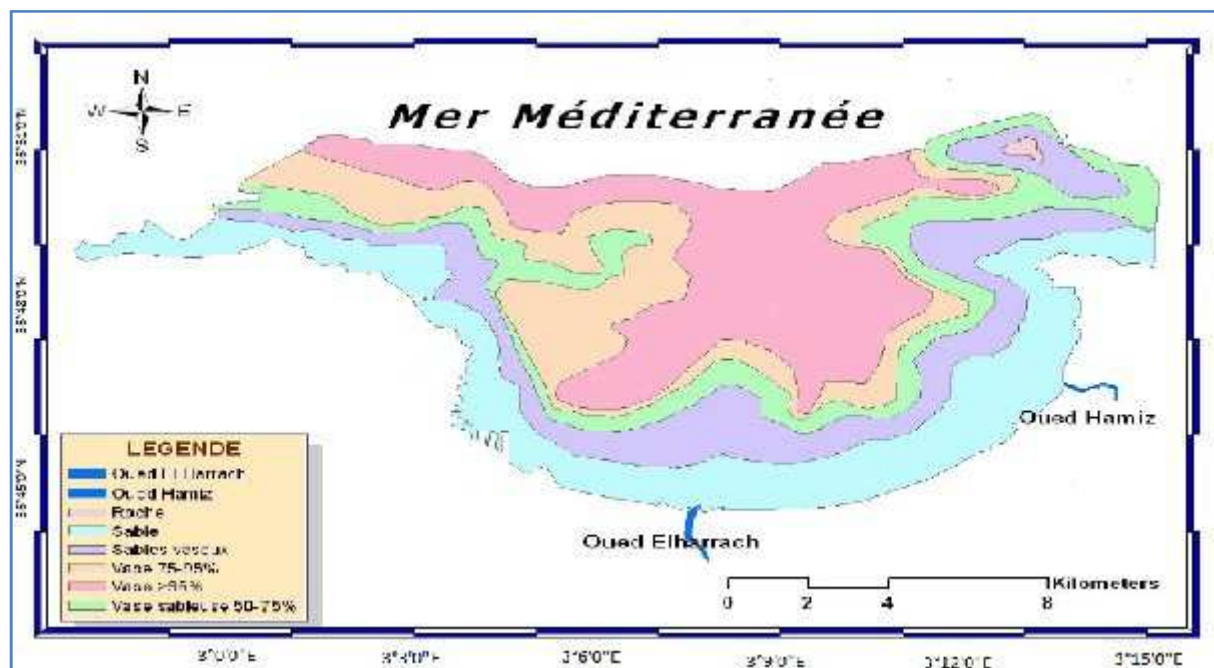


Figure 5: Carte sédimentaire de la baie d'Alger (Maouche, 1987)

I.4. Réseau hydrographique

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

I.4.1. Oued El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie 970 km², il englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest. Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui en faveur d'une forte érosion et d'un alluvionnement important (LEM, 1999, *in* Khedimi et Abderrahmani, 2008). Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s.

I.4.2.Oued El Hamiz

La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en Mer (LEM, 1999, *in* Khedimi et Abderrahmani, 2008). Ses principaux affluents sont: Oued Segia et oued Barek.

I.5.Facteurs météorologiques

I.5.1. La température

Selon le Laboratoire d'Etude Maritime LEM (2006), la baie d'Alger se distingue par deux périodes dans le cycle saisonnier annuel :

La première période est chaude, s'étale de Mai à Octobre avec un maximum en Aout (39.2°C). La deuxième période est relativement froide, couvre les autres mois de l'année avec un minimum en Février.

I.5.2. La pluviométrie

Dans la baie d'Alger, et selon les moyennes mensuelles obtenues on peut noter l'existence de deux saisons :

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

I.5.3. Les vents

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

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

I.6.Facteurs hydrodynamiques

I.6.1. Les houles

D'après Leclair (1972), le régime saisonnier se caractérise par deux directions privilégiées :
En hiver: les houles prédominantes sont W-NW avec une période moyenne de 8 à 9 secondes.
En été: les houles sont de direction N-NE avec une période moyenne de 6 à 7 secondes.

I.6.2. Les courants

Il existe deux types de courants dans la baie d'Alger (LEM, 1998).

I.6.2.1. Les courants généraux

Il s'agit de l'eau d'origine atlantique qui pénètre en surface dans le bassin méditerranéen par le détroit de Gibraltar, ce courant général crée dans la plus part des baies un contre courant littoral vers l'Ouest (Obaton, 1998).

I.6.2.2. Les courants Côtiers

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

I.6.2.2.1. Les courants de retour

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

I.6.2.2.2. Les courants de dérive littorale

La dérive littorale est présente lorsque la houle atteint la cote avec une certaine oblicité. La vitesse du courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°. Lorsque la houle est oblique le jet de dérive se fera dans la direction de la propagation, cependant le retrait des eaux se fera dans le sens de la plage (Ottman, 1965).

I.7.Origine des eaux marines de la baie d'Alger

Boulahdid et *al*, (2003), ont conclu à partir du diagramme température- salinité des eaux de la baie, que la baie d'Alger est le siège d'un mélange qui se fait entre trois eaux d'origines différentes: une eau superficielle ayant les caractéristiques de l'eau Atlantique légèrement mélangée avec l'eau de la Méditerranée le long de son parcours; une eau qui remonte d'une

profondeur de l'ordre de 100 m au centre de la baie, et enfin une eau continentale non négligeable qui adouci en partie les eaux de la baie. La partie Sud Ouest de la baie est une zone abritée, les eaux y sont assez stables.

Ces eaux décrivent un mouvement circulaire conditionné par la forme de la baie. Pendant leur séjour dans la baie, ces eaux se réchauffent légèrement. Ces conclusions suggèrent que les eaux de la baie se renouvellent aisément.

II. La Baie de Bou Ismail

II.1.Situation géographique

La baie de Bou Ismaïl est située à l'Ouest d'Alger entre 2° 20' E et 2° 55'E, elle s'étend du Mont Chenoua à l'Ouest à ras Caxine à l'Est. Couvrant une superficie de 342Km² et ayant un plateau continental de 509km², elle est très ouverte et fortement soumise aux influences du large. Son ouverture atteint les 47km et est orientée du Sud-ouest vers Nord-est (Dagorne, 1973).

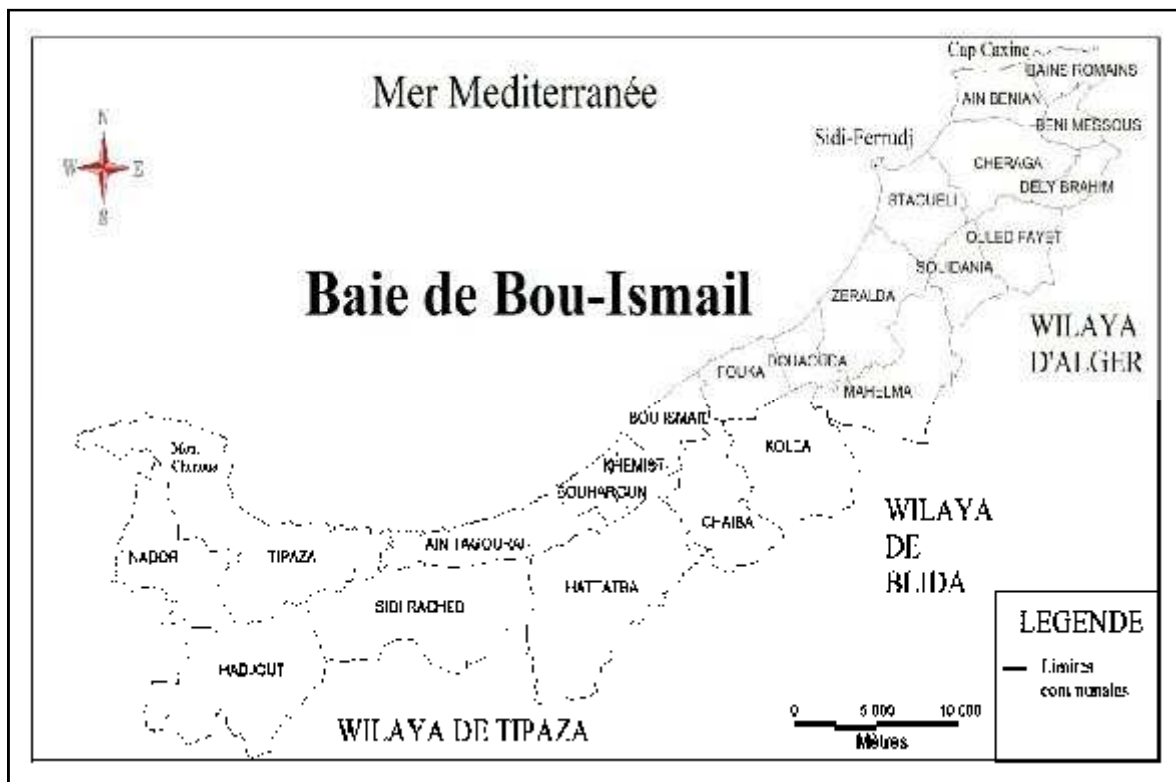


Figure 6 : Délimitation de la baie de Bou-Ismaïl

II.2.Sédimentologie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl montre une grande diversité sur le plan sédimentaire, neuf faciès identifiés: les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (Figure 7) et l'herbier Posidonies océanique (Leclaire, 1972).

- La dynamique sédimentaire dans la baie de Bou-Ismaïl est régie essentiellement par: La dérive littorale due aux houles du Nord Ouest.
- La dérive littorale dus aux houles du Nord Est.
- Les houles du Nord Est engendrent des courants qui vont reprendre les sédiments au large pour les déposer à proximité et à l'intérieur du port de Bouharoune par la passe d'entrée orientée Nord Est (Mokrani, 1998).

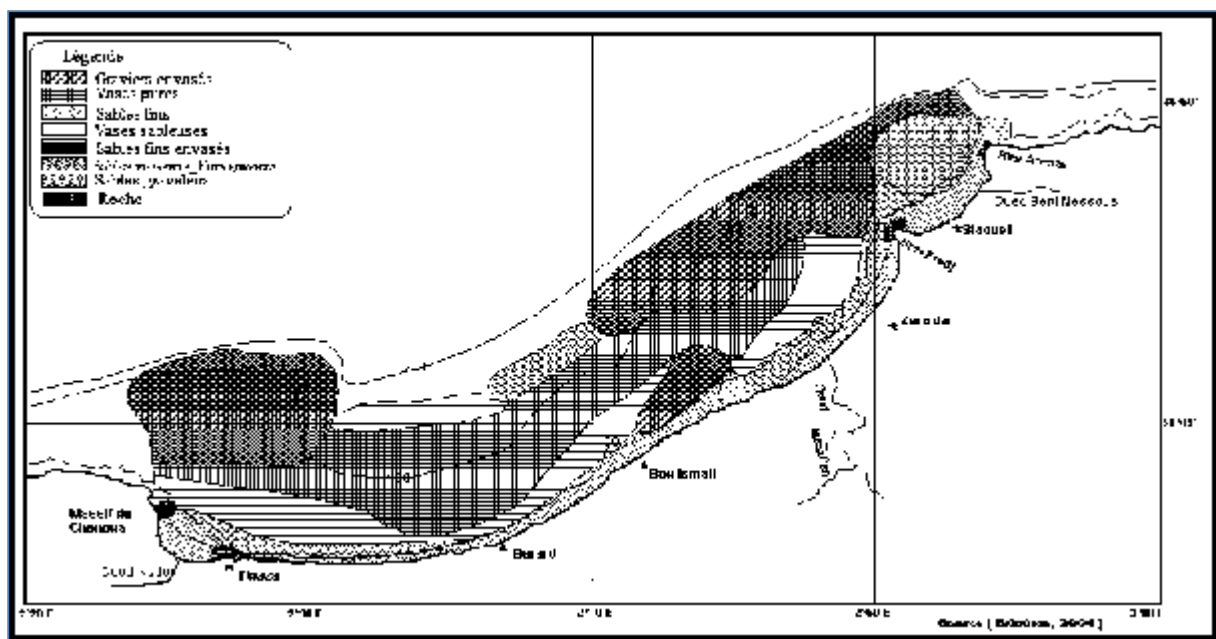


Figure 7: Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (Bakalem *in* Grimes, 2004).

II.3.Réseau hydrographique

Les trois principaux Oueds qui se jettent en baie de Bou-Ismaïl sont Oued Nador, Oued Mazafran, et Oued Beni Messous (figure 8).

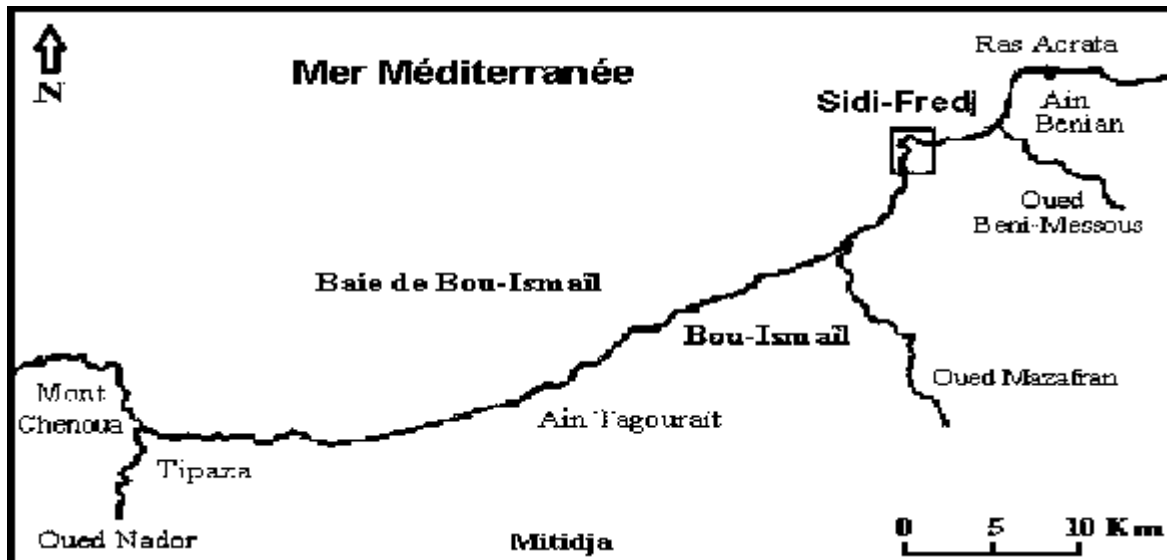


Figure 8: Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail

Oued Mazafran: Possède un bassin versant de 1850 km². Il est formé des oueds Chiffa, Djer et Bouroumi et débouche dans la mer entre Douaouda et Zeralda .Le débit massique est estimé entre 1400 et 1800 t/km², tandis que le débit volumique à 43.8 millions m³/an (Grovel, 1961). Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued : long étiage (six mois), crues hivernale et printanière soudaines, fortes et de courte durée.

Oued Nador: Constitue la principale source d'apports solide et liquide dans la baie du Chenoua. Il prend naissance à la jonction des oueds Bou Yersen, Bou Haroun, et oued Merad et débouche entre Djbel Chenoua et Tipaza. Le débit liquide de cet oued est de 28 millions m³ /an.

Oued de Beni Messous: Se situe entre El Djamila et Club des Pins au niveau d'une plage appelée « les dunes » qui fait partie de la baie de Sidi Fredj, cet oued traverse les communes de Beni Messous et Chéraga d'une longueur de 11.5Km, ses eaux sont essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles, avec un débit faible par rapport aux autres oueds cités précédemment 0,245m³/s.

II.4.Facteurs météorologiques

II.4.1. La température

La température de l'eau est un facteur primordial dans la vie des organismes marins, car :

- Elle contribue de façon importante à la distribution géographique des espèces marines.
- Elle détermine les périodes de migrations et de reproduction.

Ainsi que d'autres facteurs éthologiques et physiologiques, surtout chez les espèces pélagiques.

La température des eaux superficielles de la baie de Bou-Ismaïl fluctue en fonction des échanges atmosphère-mer, elle est de l'ordre de 21° à 27°C en moyenne (Lalami-Taleb, 1970).

Il existe deux périodes durant l'année :

- Période chaude (Avril-Octobre), elle se caractérise par des faibles précipitations et une moyenne thermique de 23°C.
- Période froide (Novembre-mars), elle se caractérise par des précipitations ayant une moyenne saisonnière de 89.49 mm et une moyenne thermique de 15°C (Korichi, 1988).

La température des eaux profondes, reste relativement stables (Mouhoub, 1986). Une homothermie est remarquée en toute saison et la température est d'environ 13°C à des profondeurs supérieures à 100 m (Lalami-Taleb, 1970).

II.4.2. Les vents

Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance des vents d'Ouest en hiver et printemps induisant des houles de grandes amplitudes et des vents de l'Est en été et début automne avec de faibles amplitude (Asso, 1982).

II.4.3. Pluviométrie

La zone d'étude fait partie du bassin méditerranéen connu par deux saisons bien distinctes :

- Une saison pluvieuse durant le moi Octobre jusqu'au moi d'Avril.
- Une saison sèche de Mai à Septembre avec des pluies très rares dues aux orages notamment en Août (Annane *et al*, 2007).

II.5. Facteurs hydrodynamiques :

II.5.1. Houles

Les houles hivernales

Sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin.

Les houles estivales : Sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la cote (Haddouche, 2003).

II.5.2. Les courants

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire, ils participent dans l'évolution de la morphologie côtière en conduisant à des ensablements, des envasements et des érosions.

II.5.2.1. Les courants généraux

La côte algérienne est traversé par un courant général dénommé courant Algérien résultant d'un écoulement d'eau atlantique à travers le détroit de Gibraltar, le courant Algérien pénètre sous forme de veine et circule de l'Ouest à l'Est, et de 1° à 2° est, il donne naissance a des méandres et des tourbillons côtiers (50-100km) associés à des upwellings (Millot *et al*, 1990).

II.5.2.2. Les courants côtiers

En absence de courant permanent ou de marée suffisamment importante, les courants induits par la houle au large ou à la côte sont à peu près les seuls à agir sur la sédimentation actuelle (Caulet, 1972).

Dans la baie de Bou-Ismaïl l'orientation des courants côtiers résulte de l'effet combiné des houles dominantes et de l'orientation de la côte. Ces paramètres permettent d'identifier l'hydrodynamisme côtier dans la zone d'étude.

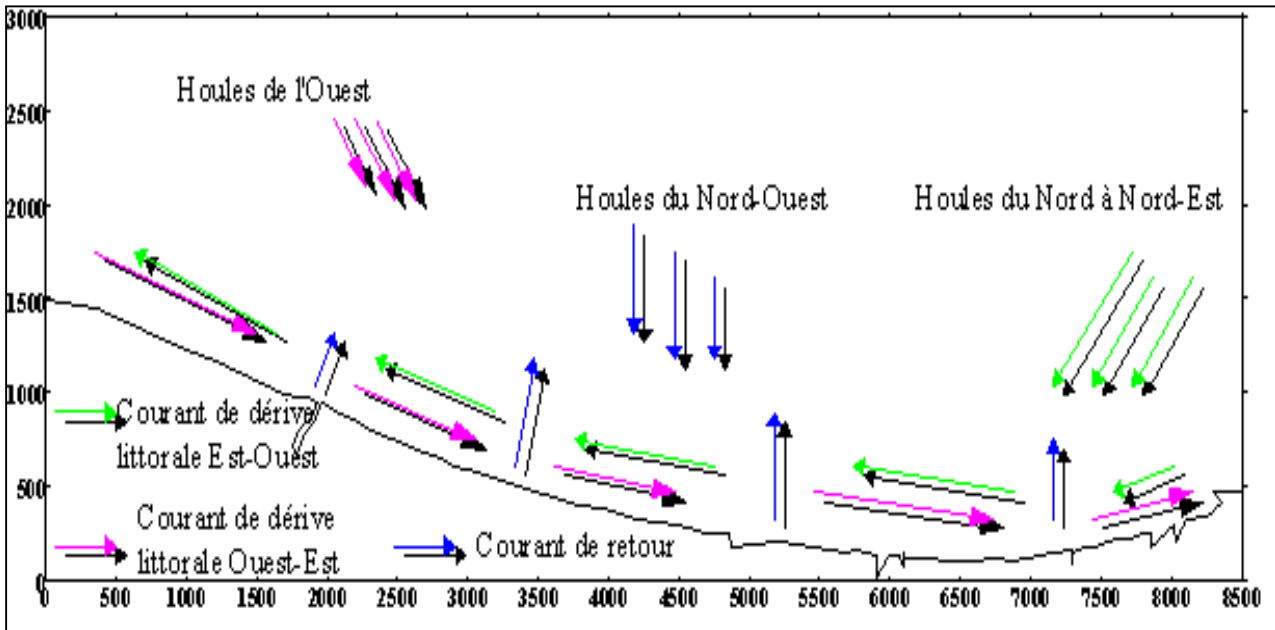


Figure 9: Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Source LEM 2001)

II.6. Etat de la pollution :

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une agriculture développée et des terres fertiles utilisant des pesticides polluants les nappes phréatiques par infiltration au niveau de la vallée de oued Damous, Messelmoun, et oued Bellah.

Les rejets domestiques (villes, complexes touristiques,...) du fait que la baie de Bou-Ismaïl fait parti de la zone d'expansion touristique (ZET) qui s'accroît en période estivale, plus les nombreuses unités industrielles, tous ces rejets sont évacués directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable.

En plus de ces activités, les oueds entraînent vers la mer, les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Beni mered au niveau de l'oued Macta Makhlouf qui n'est que la continuité de l'oued Beni Azza ou se déversent les eaux usées de la tanneries du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agro-alimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Beni mered.

A tous ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Pêche de Bou Haroun, Port de Pêche de Khemisti, Port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, Abris de pêche d'El-Djemila, Port de plaisance de Sidi Fredj, Port de plaisance de Palm Beach (figure10).

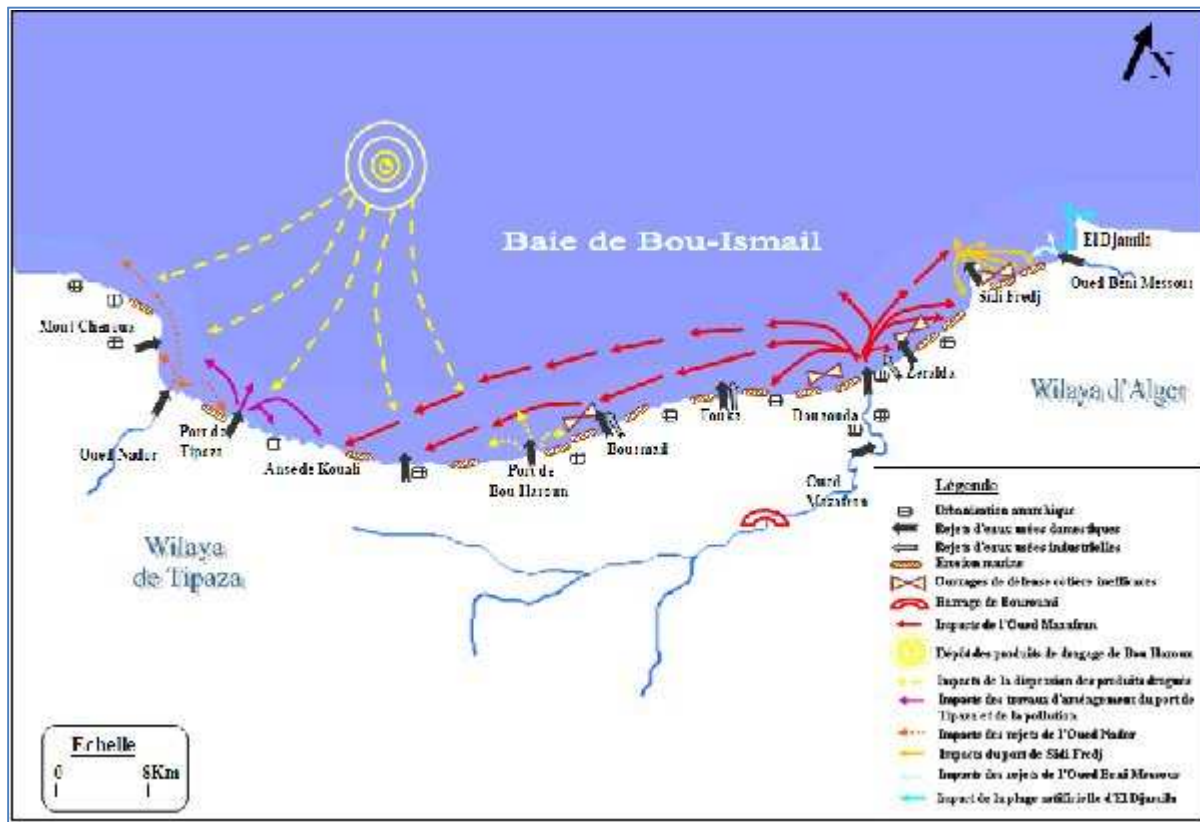


Figure 10: Pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl.
(Source : (Belkessa et al, 2008; ALSid ChiKh et al, 2009))

I.1. Travaux effectués en mer

Dans le but d'évaluer le niveau de la pollution par les hydrocarbures dans les eaux marine de l'Algérois, plusieurs prélèvements ont été réalisés dans différentes stations.

Le prélèvement (eau, sédiments superficiels) a été effectué pour toutes les stations, à une profondeur allant de 1 à 2m pour les eaux, et de la manière suivante :

Baie de Bou-Ismaïl, concernée pour 4 différentes stations du côté Ouest, en date du 24/04/2012 et 5 autres stations du côté Est, en date du 30/04/2012.

Baie d'Alger, concernée par 6 stations en date du 26/04/2012.

Lors des sorties, la mesure des paramètres physicochimiques (pH, température, salinité et conductivité) a été réalisée in situ à l'aide des valises multi-paramètres.

I.2. Choix et localisation des stations de prélèvement

Le choix des stations de prélèvement durant les sorties n'était pas inopiné, une carte a été réalisée au préalable en prenant compte de la localisation des principaux points des rejets et des oueds le long de la côte algéroise. Les tableaux de l'annexe 1 donnent les coordonnées des stations, l'heure de prélèvement, ainsi que l'état de la mer lors des prélèvements. Les cartes des figures suivantes (figure 11,12) localisent les stations de prélèvement dans les deux baies : baie de Bou Ismaïl et baie d'Alger.

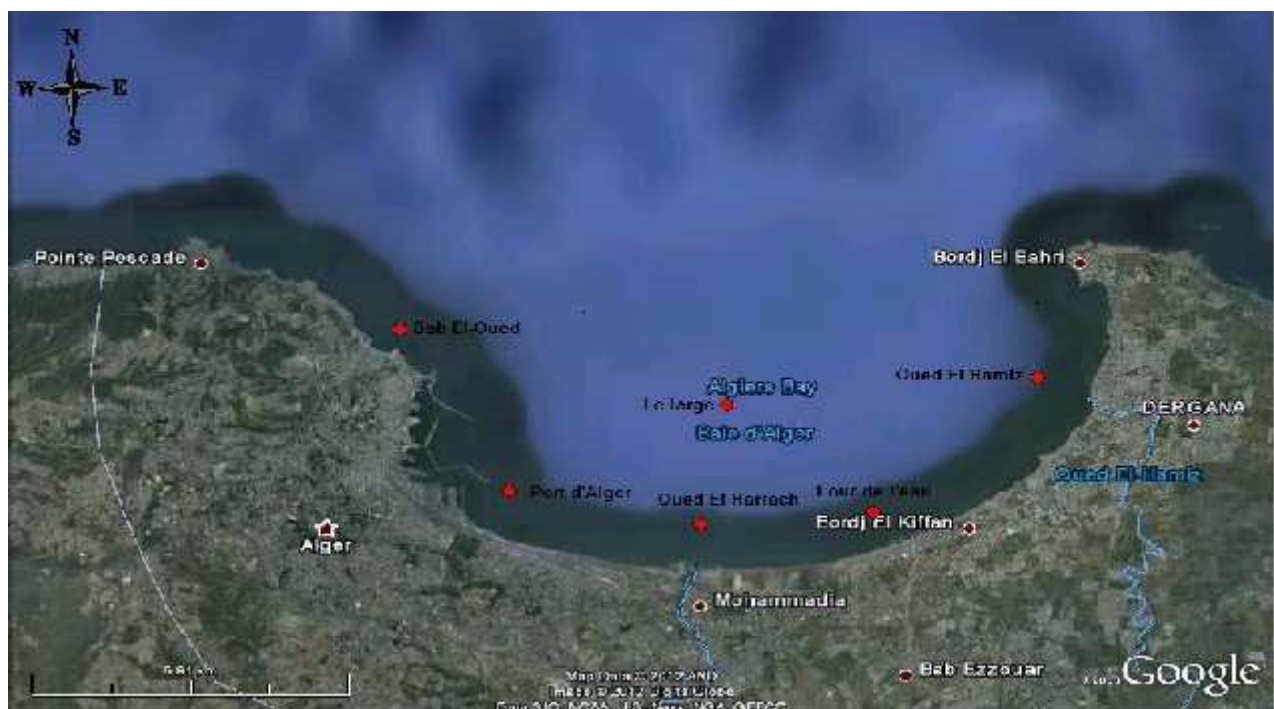


Figure 11: Positionnement des stations de prélèvement à la Baie d'Alger



Figure 12: Positionnement des stations de prélèvement à la Baie de Bou Ismail.

I.3. Préparation du matériel

I.3.1. Lavage de matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures

La verrerie utilisée lors de l'analyse et du traitement doit être en verre borosilicaté. Dans le but d'éviter tout risque et source de contaminations quelconque, le matériel utilisé doit être lavé et conditionné (UNEP, CIO, IAEA, 1997). Les étapes de nettoyage sont résumées comme suit (figure 13):

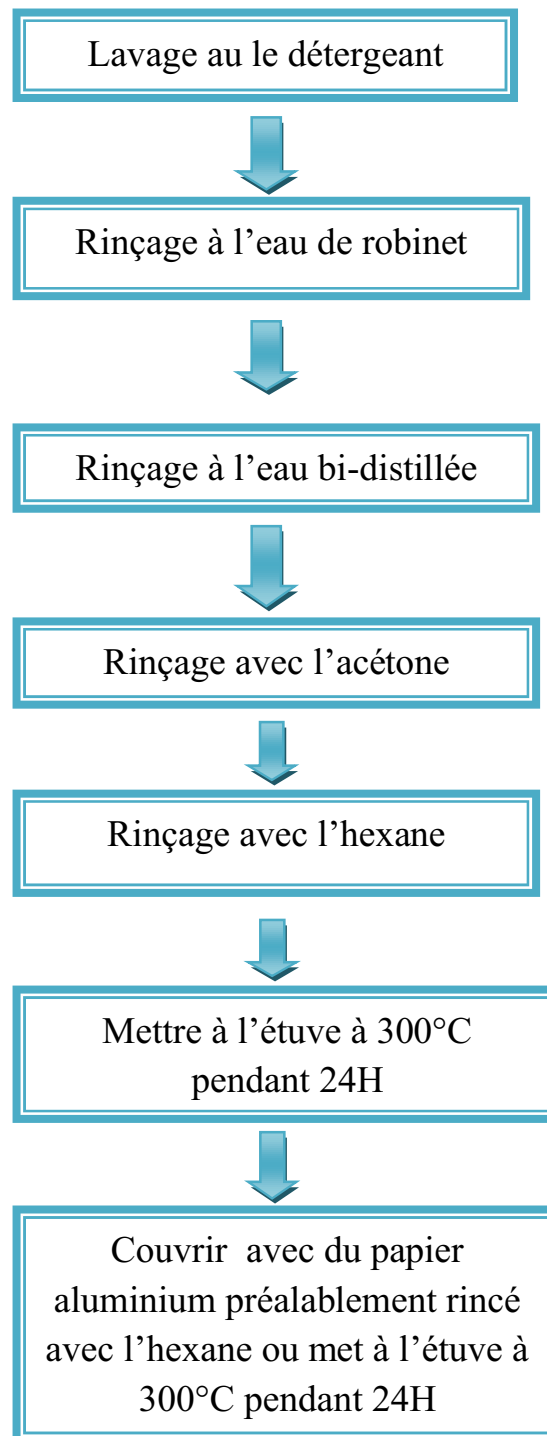


Figure 13: Etapes suivies pour le lavage de matériel utilisé pour l'extraction des hydrocarbures

I.4. Prélèvement et échantillonnage

I.4.1. Pour la mesure des paramètres physicochimiques

Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés à l'aide des bouteilles de prélèvement de type NISKIN de capacité de 2,8 L à 1 m de profondeur.

I.4.2. Pour l'extraction des hydrocarbures

Le volume prélevé est de **1 à 2,5L** à l'aide d'une bouteille en verre brun lestée à une profondeur de **1 à 2m**. Le prélèvement est réalisé à l'avant du navire pour éviter tout risque de contamination avec les huiles d'échappement du moteur. Cette bouteille est lancée ouverte ; son goulot assure après immersion son remplissage. Un pré-rinçage de la bouteille est préférable.

Une première extraction est effectuée au bord de l'embarcation, par addition de 50ml d'hexane avec une agitation manuelle pendant **5 à 10 minutes**. Puis le flacon est fermé avec un bouchon en plastique isolé avec une feuille d'aluminium pour éviter tout contact avec la matière plastique du bouchon. L'échantillon prélevé est conservée dans une glacière portative au bord du navire puis placé au réfrigérateur à **4°C** dès le retour au laboratoire.

I.4.3. Prélèvement des sédiments

Le prélèvement de sédiment superficiel est réalisé à l'aide d'une benne du type « Van Veen ». La benne descend jusqu'à le fond de la mer au bout d'une corde, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le ressort qui maintient les mâchoires ouvertes est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiment. Lorsque la benne arrive au bord du navire, le sédiment est collecté après ouverture des mâchoires, à l'aide d'une spatule en métal inoxydable en évitant tout contact avec les parois de la benne. L'échantillon collecté est tout de suite mis dans un pilulier en verre puis fermé avec un bouchon après isolement de ce dernier par du papier aluminium pour éviter tout risque de contamination.

Le pilulier est étiqueté et conservé dans une glacière portative au bord de navire, puis placé dans un congélateur à **-18°C** dès le retour au laboratoire afin d'éviter les pertes d'éléments volatils (Djerad, 2010) et conserver l'essentiel de ses propriétés chimiques.

I.5. Mesure des paramètres physicochimiques

La mesure des paramètres physicochimiques a été effectuée in situ à chaque station de prélèvement. Il s'agit du pH, température, salinité et conductivité.

I.5.1. Le potentiel d'hydrogène pH

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque WTW. L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalons à différentes pH (pH= 4 acide, pH= 7 neutre, pH= 9 basique). Il permet de

mesurer la différence de potentiel existant entre une électrode en verre et une électrode de référence. L'électrode en verre est rincée à chaque manipulation avec l'eau bi-distillée.

I.5.2. La température (T)

La mesure de la température a été réalisée in situ à l'aide du pH mètre donnant en suppléance la température en °C.

I.5.3. La Salinité (S) et conductivité

La mesure de la salinité et de conductivité a été réalisée in situ à l'aide d'un salinomètre de marque WTW.

I.6. Traitement des échantillons pour l'analyse des hydrocarbures

I.6.1. Matériels utilisés pour l'analyse des hydrocarbures

- Bouteilles en verre brun de 2,5L, avec bouchon en plastique.
- Piluliers en verre avec bouchons.
- Eprouvette de 50ml.
- Ampoules à décanter en verre de 2l, avec bouchons en verre.
- Ballon en verre de 250ml, avec ses bouchons en verre.
- Eprouvette gradué de 1l.
- Burette de 50ml.
- Béchers.
- Spatule en métal inoxydable.
- Tubes à essai.
- Système soxhlet.

I.6.2. Hydrocarbures dissous/dispersés dans l'eau de mer

L'ensemble de la procédure analytique est résumé dans l'organigramme suivant (figure 14)

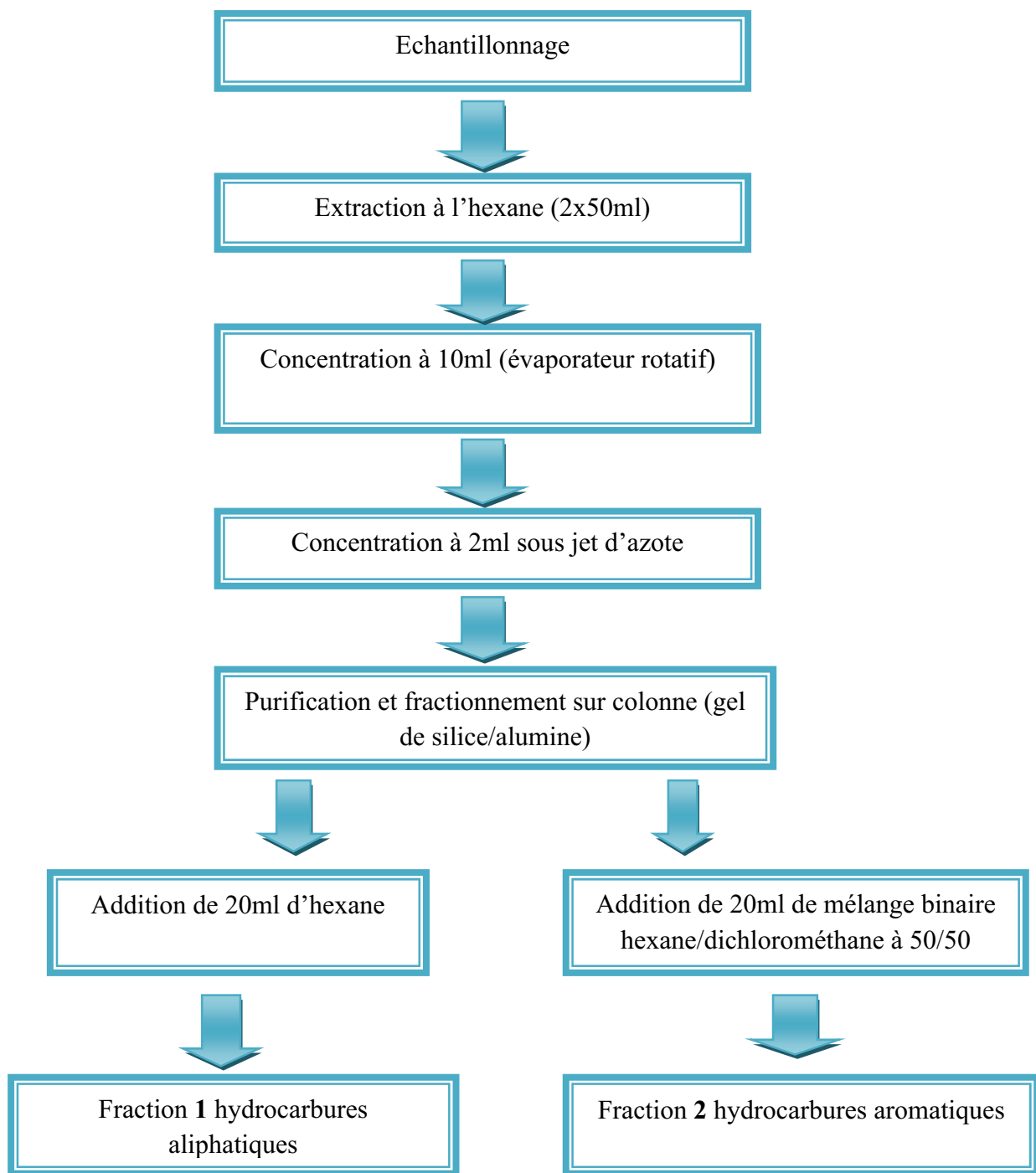


Figure 14: Procédure d'extraction des hydrocarbures dans l'eau de mer

I.6.2.1. Extraction des hydrocarbures

C'est une extraction liquide-liquide réalisé avec l'hexane dans une ampoule à décanter de 2L.

Transvaser l'échantillon et son premier solvant d'extraction dans l'ampoule à décanter (2L) et ajouter 50ml d'hexane.

Agiter manuellement pendant **20** minutes pour faciliter le contact entre le solvant d'extraction et les hydrocarbures sans oublier d'ouvrir le bouchon de temps à autre afin de baisser la pression.

Laisser décanter pendant 15minutes.

A l'aide d'une éprouvette graduée, récupérer la phase aqueuse qui se situe au dessous à cause de sa densité la plus élevée que celle de la phase organique (phase supérieure).

Noter le volume d'eau extrait, V.

Recueillir la phase organique à l'aide d'un ballon.

Ajouter 2g de sulfate de sodium Na_2SO_4 à l'extrait afin d'éliminer les traces d'eaux.

Puis fermer le avec un bouchon en verre.

Conserver l'échantillon à 4°C.

I.6.2.2. Concentration des extraits

C'est une étape particulièrement délicate du protocole expérimental. C'est au cours de celle-ci que les pertes des hydrocarbures par évaporation sont les plus grandes. Sebbih (1991) montre qu'au-delà de 200 μl les pertes deviennent significatives. Le protocole de la Commission Océanique Intergouvernementale COI, (1984) souligne bien ce risque et recommande de ne pas dépasser cette limite qui est de 200 μl (Sellali, 1997).

La concentration des extraits se fait en deux étapes :

1. Concentration avec l'évaporateur rotatifs jusqu'à un volume de 10ml environ. La température de bain marie ne doit pas dépasser 69°C (la température d'ébullition de l'hexane pour ne pas l'évaporer).
2. Concentration sous jet d'azote (N_2) jusqu'à un volume de 2ml.

I.6.2.3. Purification

Dans cette étape, on utilise une burette de 50ml de contenance, de 0,1ml de diamètre interne et munie d'un robinet en téflon est remplie selon la méthode humide, successivement par :

- La laine de verre.

- 15ml de l'hexane, puis en le laisse couler (pour le conditionnement de la burette).
- 5g du gel de silice mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne séchée.
- 5g d'alumine mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne séchée.
- Ajouter 0,5g de Na_2SO_4 en tête de la colonne pour l'absorption des gouttelettes d'eau s'ils existent encore.

a) Purification de la fraction aliphatique

- Verser l'échantillon après leur agitation avec un agitateur mécanique.
- Ajouter 20ml d'hexane puis récupérer la fraction **1** qui présente la fraction aliphatique dans un tube à essai conditionné au paravent.
- Fermer le avec le téflon puis conserver au frais.

b) Purification de la fraction aromatique

- Ajouter 20 ml de mélange binaire du solvant hexane-dichlorométhane dans des proportions égales (50/50).
- Récupérer la fraction **2** qui représente les aromatiques.
- Conserver au frais.

L'activation de gel de silice et de l'alumine a été faite pendant 8H à 120°C puis désactivé partiellement par l'addition de 3% de poids d'eau bi distillée.

I.6.3. Hydrocarbures dans les sédiments superficiels

La procédure analytique est résumée dans l'organigramme suivant (figure 15)

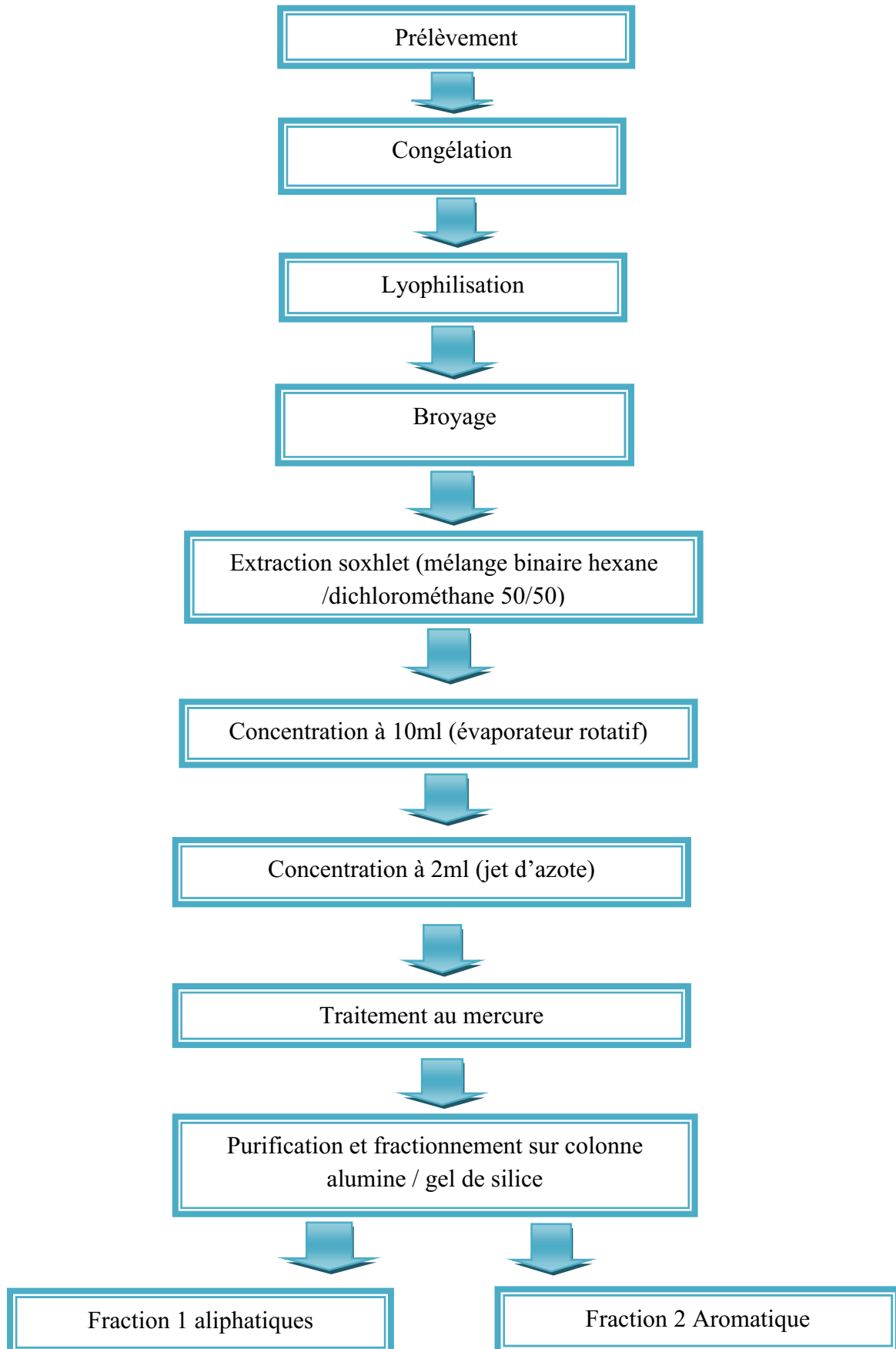


Figure 15: Procédure d'extraction des hydrocarbures dans les sédiments.

I.6.3.1. Lyophilisation

Après la congélation, les échantillons sont placés directement dans le lyophilisateur pendant 48H à -45°C de température et sous pression réduite (10^{-1} bar).

La lyophilisation est la déshydratation par sublimation des échantillons à basse température (-40°C) pour le passage de la phase solide vers la phase vapeur sans passer par la phase liquide et sous vide (0,1bar) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle CHRIST Betta 1-8).

C'est une technique plus appropriée par rapport au séchage à l'étuve qui présente un risque de perte de certains composés volatils et une source d'altération de l'échantillon.

I.6.3.2. Le broyage

Les échantillons lyophilisés sont ensuite broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine qui doit être conditionné au paravent et entre deux échantillons différents :

Lavé avec le détergent, rincé avec l'eau de robinet puis avec l'eau bi distillée, séché à l'étuve à 120°C puis conditionné avec l'hexane.

Le broyage a pour but d'homogénéiser l'échantillon. Ce dernier est remis dans le pilulier et peut alors être conservé sans disposition particulière pendant des années.

I.6.3.3. L'extraction des hydrocarbures

L'extraction est réalisée à l'aide d'un extracteur soxhlet.

Un blanc de procédure est réalisé pour chaque série (4 échantillons).

Cinq grammes de sédiment lyophilisé sont introduits dans une cartouche en cellulose (28mm x100mm).

Un mélange binaire de solvants d'hexane et de dichlorométhane (200ml) dans des proportions égales en volumes introduit dans le ballon assure l'extraction des hydrocarbures. Quelques grains de « BOILING CHIPS » sont ajoutés dans le mélange.

L'extraction dure 8 heures.

I.6.3.4. Concentration des extraits

Environ 120ml de l'extrait récupéré est concentré à un volume de 10ml avec l'évaporateur rotatif (Température : 40°C , Pression : 1,5 bars).

Puis jusqu'à un volume de 2ml sous jet d'azote.

I.6.3.5. Purification et fractionnement

I.6.3.5.1. Traitement au mercure

Afin d'éliminer les produits soufrés qui présentent en grande proportion dans les sédiments soumis à des apports anthropique, deux gouttes de mercure sont ajoutées dans chaque extrait d'échantillon suivi de l'agitation du tube pendant 3 mn. Le mercure en piégeant les composés soufrés noirci.

Cette étape est primordiale lors de l'analyse des hydrocarbures par chromatographie en phase gazeuse (CPG) parce que les composés soufrés interfèrent lors de l'analyse.

I.6.3.5.2. Purification et fractionnement

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

I.7. Analyse quantitative des hydrocarbures aromatique

I.7.1. Spectrofluorimétrie UV (SFUV)

La spectrofluorimétrie ultra violet UV, est une technique de mesure quantitative des hydrocarbures aromatiques appliquée par Levy (1977) et préconisée par la Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO (1977) pour la surveillance de la pollution marine par les hydrocarbures. Les teneurs mesurées ne représentent pas réellement les concentrations absolues d'hydrocarbures. Cependant, la réponse de fluorescence fournit un excellent indice de pollution pétrolière, du fait de très faibles teneurs des hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin. La limite de détection est de l'ordre de 0,1µg/l pour l'eau de mer (CNEXO, 1983).

I.7.1.1. Principe de la méthode

Cette repose sur la propriété de certaines molécules, en l'occurrence les hydrocarbures aromatique, d'émettre, après excitation par un rayonnement ultraviolet à une longueur d'onde spécifique, un rayonnement à une longueur d'onde supérieure, dans le visible.

La SFUV mesure l'émission de fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation ultraviolet et l'intensité de fluorescence est proportionnelle à la concentration des HPA. Cette relation de proportionnalité est interprétée une droite du frome (équation 1):

$$Y = AX + B \dots\dots\dots (1)$$

Y= intensité de fluorescence (UA : Unité Arbitraire).

X= concentration des HAP dans l'extrait en $\mu\text{g/mL}$.

B= ordonnée à l'origine.

A= pente de la droite.

I.7.1.2. Appareillage

Le spectrofluorimétrie utilisée lors l'analyse est de marque « HITACHI » modèle 650-10S, équipé d'une lampe Xénon qui représente la source des rayonnements UV.

I.7.1.3. Conditions opératoires

Pour les experts de la COI, 1982, l'excitation est la plus forte à 310 nm pour les mélanges d'HPA présents dans les pétroles et dérivés. L'émission de fluorescence est alors intense vers 360 nm.

Excitation : 360 nm ; fente d'excitation 2 nm.

Emission : 360 nm, fente d'émission 5nm.

I.7.1.4. Etalonnage

Les experts de la COI préconisent l'utilisation du chrysène comme étalon de référence.

I.7.1.4.1. Préparation des solutions standards

La solution mère d'une concentration de 100mg/L est obtenue par la solubilisation dans une fiole de 10ml, 1 mg de chrysène complété jusqu'à 10ml d'hexane.

Les solutions standards sont obtenues par dilution à partir de la solution mère. Les concentrations des différents standards sont reprises dans le tableau suivant (tableau 2):

Tableau 2: concentrations des standards d'étalonnage.

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

Les droites d'étalonnage obtenues sont les suivantes, la courbe 1 pour les dix premières stations allant de ST1 à ST10, et la deuxième courbe pour les cinq dernières stations. (Figure 16, 17):

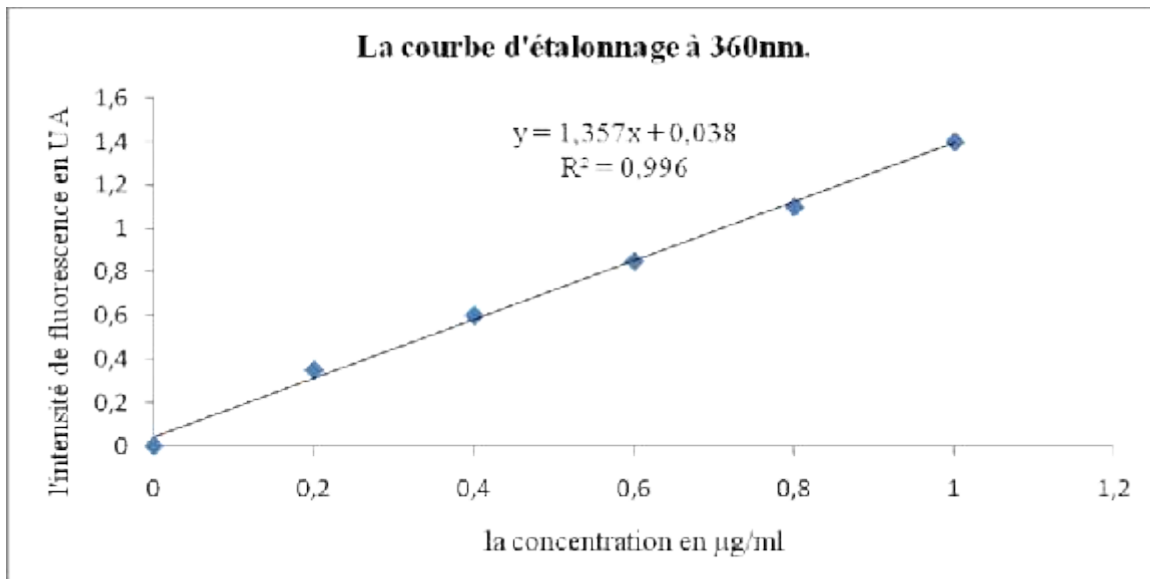


Figure 16 : la courbe d'étalonnage 1 à 360nm pour les échantillons d'eau de mer.

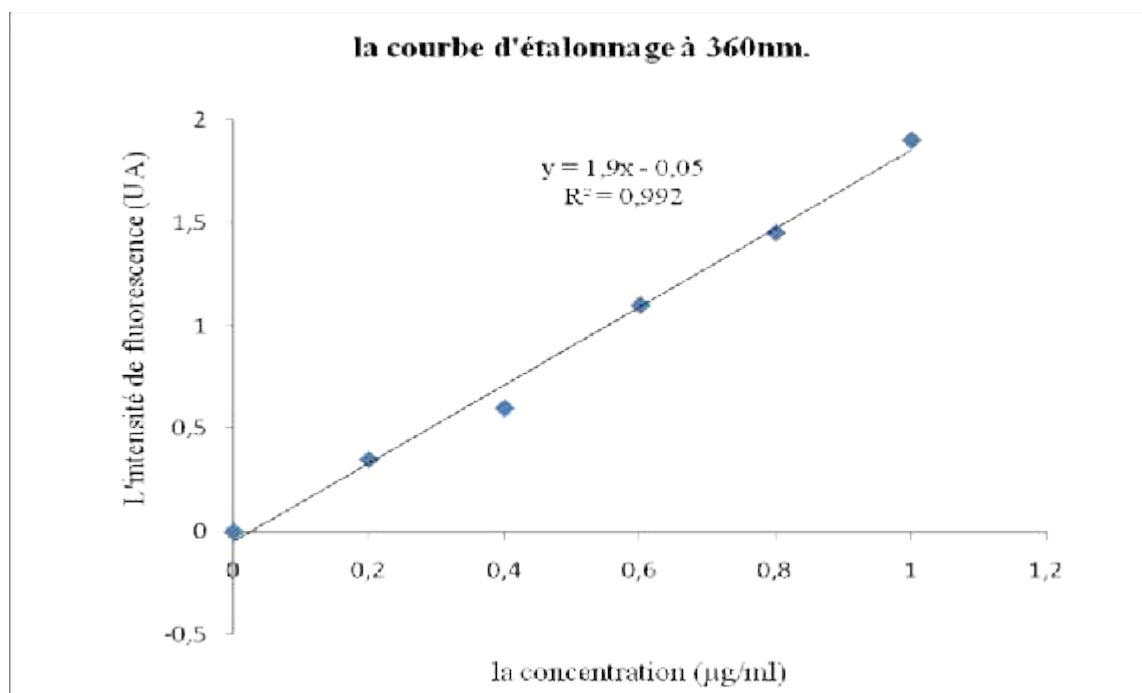


Figure 17 : la courbe d'étalonnage 2 à 360nm pour l'eau de mer.

I.7.1.5. Mesure

La mesure se fait en plaçant une fraction de l'extrait purifié dans une cuve en quartz de 1cm de trajet optique.

I.7.1.6. Mode de calcul de concentration

Les concentrations d'HAP dans les extraits sont déterminées à partir de la droite d'étalonnage.

I.7.1.6.1. Pour l'eau de mer

La concentration d'HAP dans les échantillons d'eau de mer est calculée selon la relation suivante (équation 2):

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

[C]finale : concentration massique finale des HPA dans l'échantillon d'eau de mer en µg/L.

V_p = volume finale de l'extrait de la fraction F2 en mL.

V_f = volume de l'échantillon en L.

C_e = concentration massique de l'extrait en µg/mL.

I.7.1.6.2. Pour les sédiments

La courbe d'étalonnage (figure18)

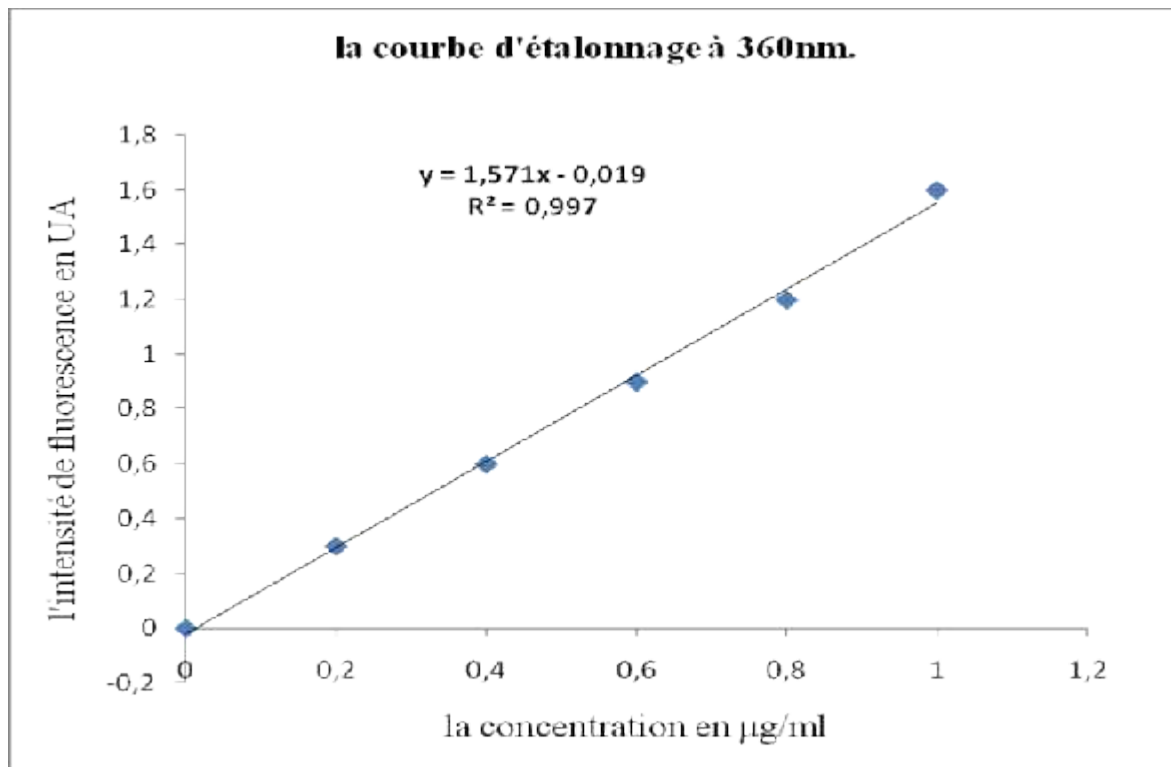


Figure 18 : la courbe d'étalonnage à 360nm pour les sédiments.

La concentration d'HPA dans les sédiments marins est calculée selon la relation suivante :

$$[C]_{\text{finale}} = (C_e - C_b) \times V / P_s \dots\dots\dots (3)$$

[C]finale : concentration massique finale des HAP dans l'échantillon en µg/g.

C_e : concentration massique de l'extrait en HAP en µg/ml.

C_b : concentration massique de blanc en HAP en µg/ml.

V : volume finale de l'extrait F2 (fraction aromatique) en ml.

P_s : poids sec de l'échantillon en gramme.

Les résultats obtenus dans notre travail, concernant les hydrocarbures, ont été réalisés au niveau du laboratoire de chimie marine de la station de recherche de Sidi Fredj.

Pour les paramètres physico-chimiques, les mesures ont été faites in situ, à bord des embarcations de « Baba Arroudj » et « l'«Aurès ».

I. La Baie d'Alger

I.1. Variation des paramètres physico-chimiques

Le tableau suivant (tableau 3) représente tous les résultats des paramètres physico-chimiques :

Tableau 3: Les paramètres physico-chimiques enregistrés à la baie d'Alger.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Moyenne	Ecart-type
S PSU	35,5	31,5	33,5	36,2	36,4	36,0	34,85	1,95
T (°C)	18,3	19,1	19,0	18,6	18,2	18,1	18,55	0,42
C (µs/cm)	48,6	43,7	46,3	49,6	49,8	49,3	47,88	2,41
pH	8,06	8,11	8,17	8,07	8,21	8,22	8,14	0,07

Valeur minimale, valeur maximale,

Les valeurs ci-dessus sont toutes représentées sous forme d'histogramme ci-après.

a. La température

Etant un élément fondamental dans l'océanographie, la température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH, dans les cycles biologiques par son influence sur les activités vitales et aussi sur la répartition des espèces.

Elle conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers. Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (Aminot et Chausse-Pied, 1983) et du mélange des masses d'eau.

Au niveau de la Baie d'Alger les valeurs de température de surface varient de 18,1 à 19,1 °C avec une moyenne de 18,55°C et écart type de 0,42.

La valeur maximale est enregistrée au large de l'embouchure de l'Oued El-Harrach (ST2), et la valeur minimale est mesurée au niveau du Kitani (ST6). Il convient de noter que ces mesures sont déroulées au mois d'avril.

Dans l'ensemble, les valeurs mesurées reflètent une période saisonnière (printemps) et elles sont influencées par celles de l'air et sont en relation avec les conditions météorologiques (Rouibah et al, 2005).

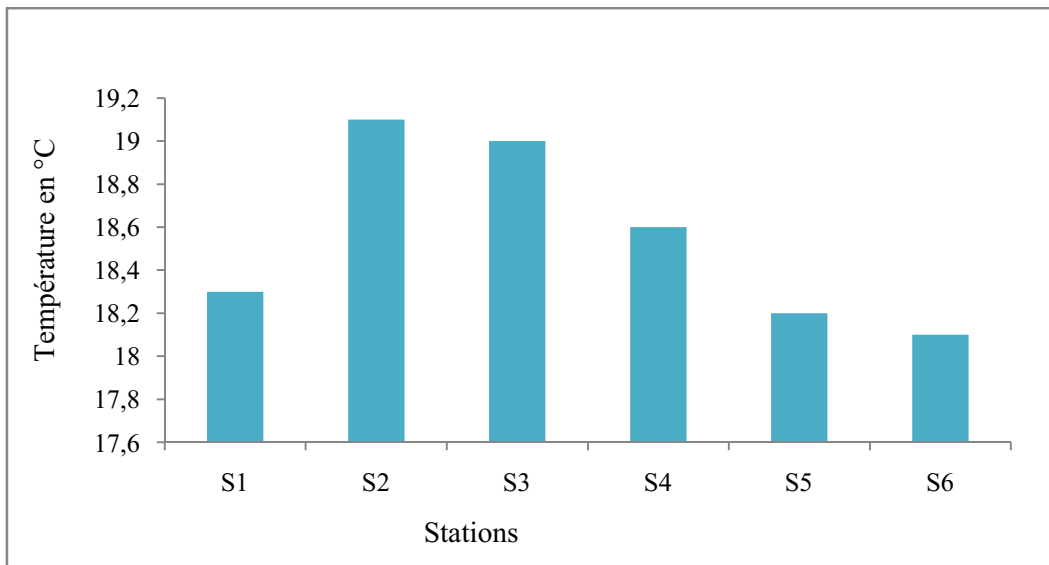


Figure 19: Variation de la température dans la baie d'Alger.

b. La salinité

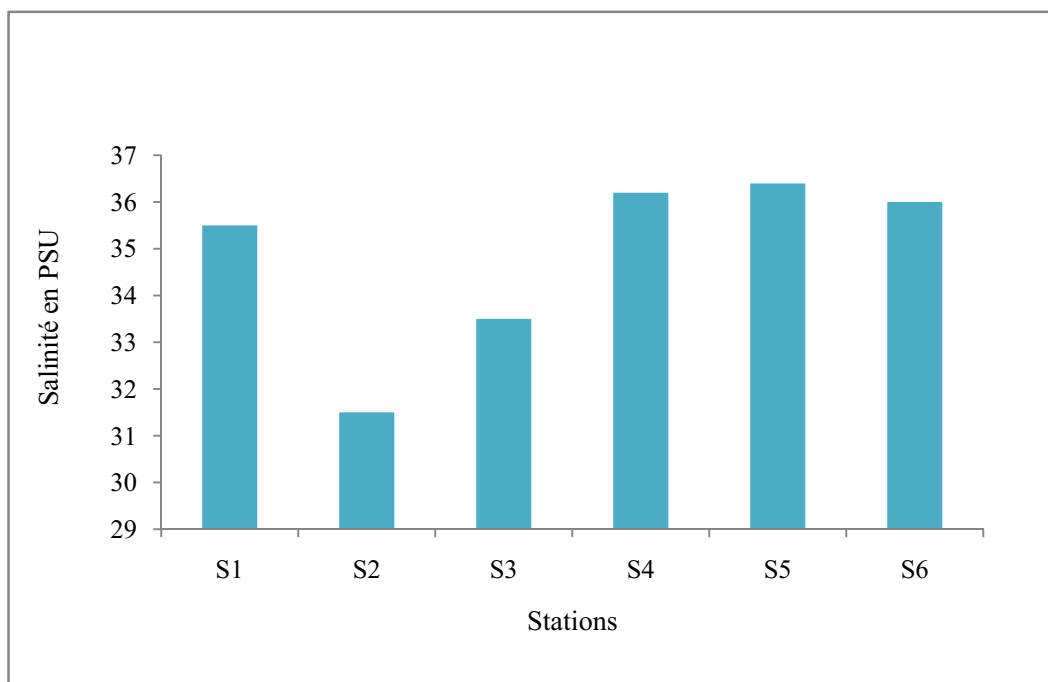


Figure 20: Variation de la salinité dans la baie d'Alger.

Entre un minimum de 31,5 et un maximum de 36,4 PSU, les valeurs de la salinité varient avec une moyenne de 34,85PSU et un écart-type de 1,95. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la station du large (ST5) tandis que la valeur minimale est mesurée au large de l'emboucheur de l'Oued El-Harrach (ST2).

la salinité des eaux Méditerranéenne est comprise entre 37.80 et 39.39PSU (Bachouche, 2010) et elle se situe dans l'intervalle de 36,79-37PSU des eaux superficielles sur les côtes algériennes (Guibout, 1987). Nous remarquons que nos valeurs sont relativement faibles, ce qui peut être expliqué par la situation des stations, à proximité des oueds (Oued El-Harrach, Oued El-Hamiz) et des apports des eaux de ruissellement qui déversent l'eau douce.

c. La conductivité

Les valeurs de conductivité sont comprises entre un minimum de 43,7 et un maximum de 49,8 μ s/cm, avec une moyenne 47,88 μ s/cm et un écart-type de 2,41. Les valeurs de la conductivité sont en relation directe avec celles de la salinité.

La deuxième station relève une conductivité minimale au niveau de l'emboucheur du Oued El-Harrach (ST2) et une valeur maximale enregistrée au niveau de la station 5.

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau parce que la plupart des matières dissoutes se trouvent sous formes d'ions chargés électriquement.

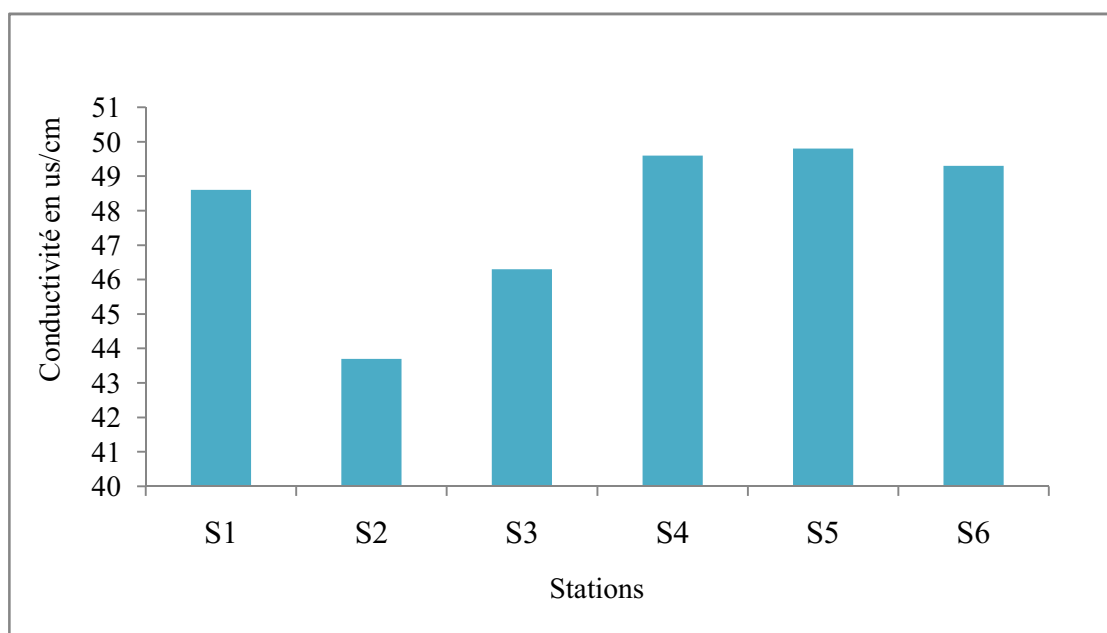


Figure 21: Variation de la conductivité dans la baie d'Alger.

d. Le potentiel d'Hydrogène pH

Les valeurs du pH augmentent entre un minimum de 8,06 et un maximum de 8,22; avec une moyenne de 8,14 et un écart-type de 0,06.

La valeur maximale correspondant à la station 6 au niveau du Kitani et la valeur minimale est enregistrée au niveau de du port d'Alger (ST1). Ces valeurs sont comparables avec celle trouvées par Madi (2009) qui sont comprises entre 7,39et 8,29.

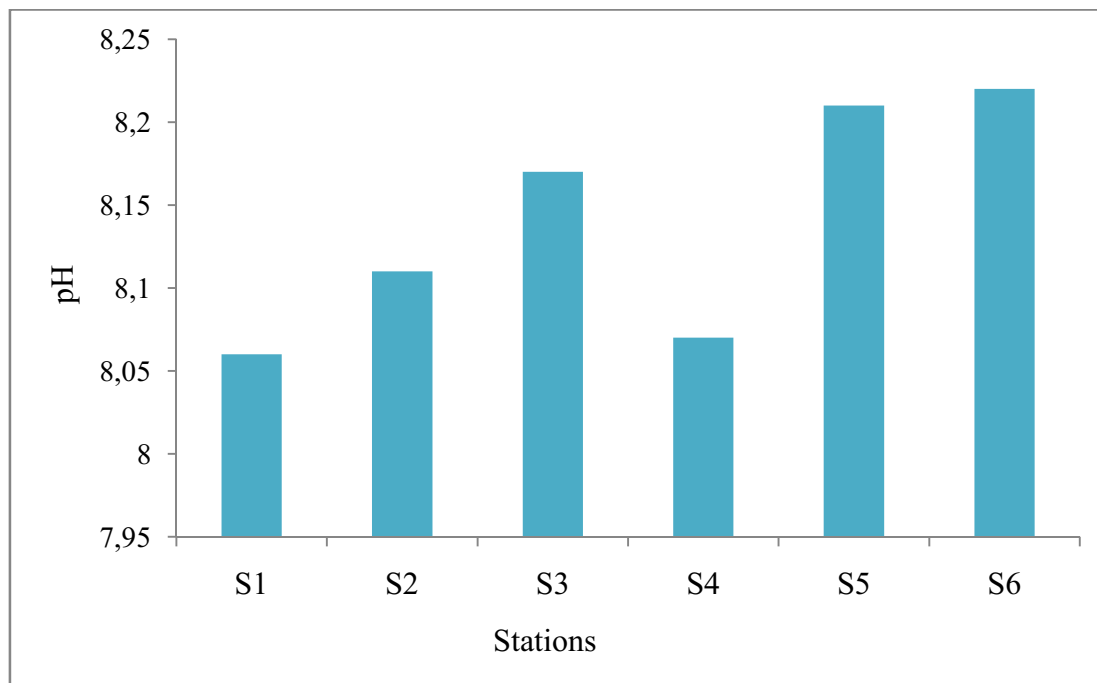


Figure 22: Variation du pH dans la baie d'Alger.

Le pH de l'eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones (Barnabe et Barnabe, 1997). Donc les valeurs enregistrées sont dans les normes.

Les valeurs de pH sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations. Cependant la plus faible valeur observée au port d'Alger est due aux rejets d'eaux usées et à une acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique.

I.2. Résultats des analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'eau

Depuis de nombreuses années, les HAP sont très étudiés car ce sont des composés présents dans tous les milieux environnementaux et qui montrent une forte toxicité. D'ailleurs, c'est une des raisons qui a conduit à leur ajout dans la liste des polluants prioritaires par l'agence de protection de l'environnement des États-Unis, dès 1976. Aujourd'hui, ils font également partie des listes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et de la communauté européenne. Bien qu'ils ne soient pas cités dans la liste déclaratoire de la Convention de Stockholm portant sur les polluants organiques persistants (POP), ils sont répertoriés en tant que tels dans le protocole d'Aarhus.

L'analyse de l'eau de mer de la baie d'Alger par la méthode SFUV nous informe sur la concentration des hydrocarbures aromatiques dans ces eaux (Figure 24). Elles varient entre un minimum de 0,87 et un maximum de 5,02 $\mu\text{g/L}$ équivalent chrysène avec une moyenne de 2,33 $\mu\text{g/L}$ équivalent chrysène et un écart-type de 1,47.

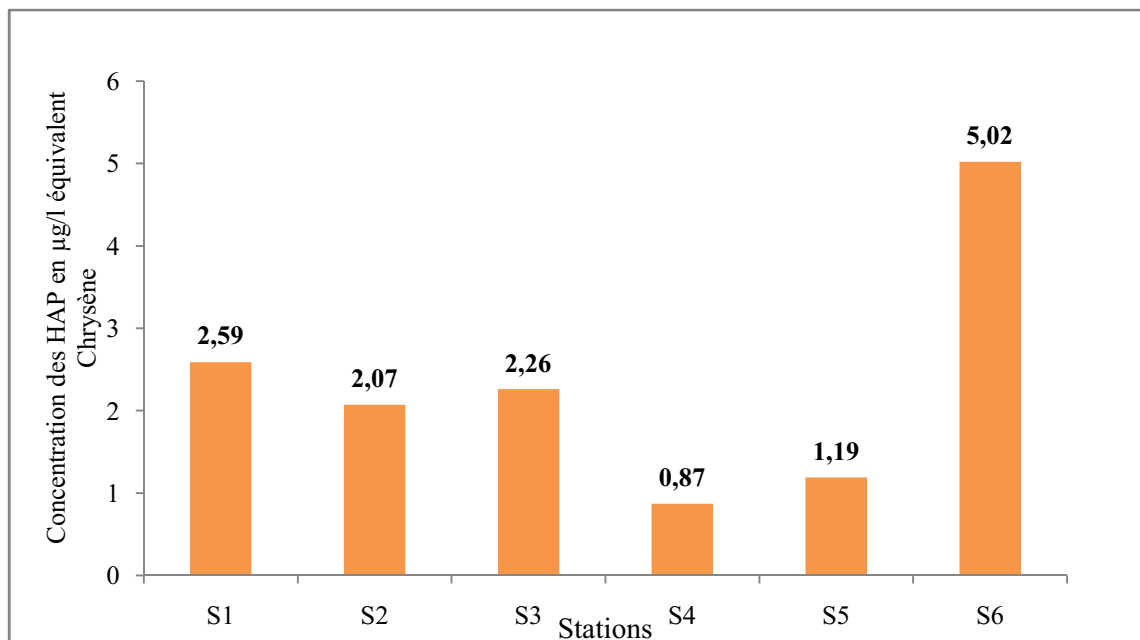


Figure 23: Concentrations des HAP dans les eaux marines de la Baie d'Alger.

La station ST4 située au niveau de l'emboucheur de l'Oued El-Hamiz reflète la valeur la plus faible (0,87 $\mu\text{g/l}$ equ chrysène) tandis que la valeur maximale est enregistrée au niveau du Kitani (ST6).

Selon Lacaze 1980 et Fattal 2008 les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin.

Néanmoins, le peu de stations prélevées semble être une preuve incontestable de la présence d'une pollution pétrolière.

Les concentrations des HAP dans l'eau de mer au niveau de la baie d'Alger fait l'objet de plusieurs études qui ont été réalisées dans divers sites de la côte algérienne et Méditerranéenne dont :

- *Tounsi* (1989) dans la baie d'Alger avec [3-6 $\mu\text{g/l}$ equ chrysène].
- *Sellali* (1996) sur la pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée Sud-Occidentale : contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales Centre [0,9-6 $\mu\text{g/l}$ equ chrysène] et Ouest de l'Algérie.
- *Bachari-Houma* (2007), dans la baie d'Alger avec [0.23- 4 $\mu\text{g/l}$ equ chrysène].

- *Bachouche* 2010 sur Le port d'Alger [1,43-5,15 $\mu\text{g/l}$ equ chrysène] et de Bouharoune : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.
- Mzoughi et al (2010) sur les teneurs des hydrocarbures dans différents ports du Golf de Tunis, Tunisie avec [0,15-7,1 $\mu\text{g/g}$ equ chrysène].



Figure 24: Distribution spatiale des HAP dans les eaux de la baie d'Alger.

La carte de répartition traduit une pollution ponctuelle au large de Bab El-Oued qui diminue en allant vers l'Est mais, une contamination remarquable est enregistrée au niveau du secteur Fort de l'eau au port d'Alger.

La distribution spatiale des HAP met en évidence d'une part, une contamination à l'Est près de la côte, et d'une autre, l'influence des apports continentaux ainsi que du port d'Alger qui s'étend jusqu'au centre de la Baie.

La valeur minimale trouvée au large de l'Oued El-Hamiz, pourrait être due à l'accumulation des déchets au niveau du barrage qui n'assure pas une élimination totale des contaminants existants.

Cependant, on pourrait affecter ces résultats obtenus aux sources de contaminations suivantes concernant la Baie d'Alger :

Le plus remarquable est au niveau de la station de Bab El-Oued, qui est affectée par une pollution liée à un trafic maritime important. (avec une moyenne de 6 bateaux par jour), il reçoit un nombre très important d'égouts qui drainent les eaux usées de la ville d'Alger.

A cette source vient s'ajouter le Port d'Alger qui est caractérisé par l'importance du trafic maritime pétrolier, et le séjour en rade des navires. En effet la variation des

concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port. Les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent à elles seules des valeurs allant de 25 à 33% de la capacité utile (Bachouche, 2010).

Oued El-Harrach représente une autre source dont les apports affectent les secteurs central et orientale de la Baie. Le non fonctionnement de la station d'épuration de la zone industrielle favorise l'enrichissement du milieu marin en HAP à cause de l'évacuation des eaux industrielles sans aucun traitement dans cet Oued et à la côte qui reçoit aussi les eaux usées des coups d'habitation (Louchami, 2006).

Sellali, 1996 a évoqué aussi l'importance de l'influence des apports anthropiques sur la qualité de l'eau de mer de surface.

En plus, l'atmosphère joue un rôle distingué dans l'apport des HAP à la mer qui rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau pour se lier aux matières en suspension.

On cite conjointement à ceci les émissions de gaz d'échappements des automobiles par combustions d'essences qui contribuent significativement à la pollution de l'air urbain par les HAP (Bachouche, 2010).

L'hétérogénéité dans la distribution spatiale retrouvée des HAP dans l'eau de mer peut s'expliquer d'une part, par des apports potentiels ; d'autre part, une élimination simultanée des HAP à la surface marine en diminuant ses teneurs. Cette hétérogénéité peut être occasionnée par une dégradation biologique (Lacaze, 1980), ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques (Rontani et Giusti, 1987).

De plus, selon Lacaze 1980, les HAP sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles et des dégradations. En outre, des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des HAP à la surface de l'eau de mer.

Les HAP ne sont pas en équilibre entre la phase particulaire et dissoute, la phase particulaire est enrichie (Bouloubassi et Saliot, 1992 *in* Bachouche, 2010). Cette sédimentation des HAP particulaire réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau d'où la faible teneur (0,87µg/l) retrouvée dans la station 4.

Le synchronisme et la complexité des processus cités traduit parfaitement la répartition des HAP analysés dans la baie d'Alger.

Etant donné que les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin (en valeurs normalisées), les réponses données en fluorescences forment un témoignage d'une pollution pétrolière.

I.3. Les concentrations des HAP dans les sédiments superficiels

Les concentrations des hydrocarbures aromatiques varient de $2,92\mu\text{g/g}$ de poids sec au large de la Baie d'Alger à $9,67\mu\text{g/g}$ de poids sec au Port d'Alger avec une moyenne de $5,53\mu\text{g/g}$ et un écart-type de $2,50$.

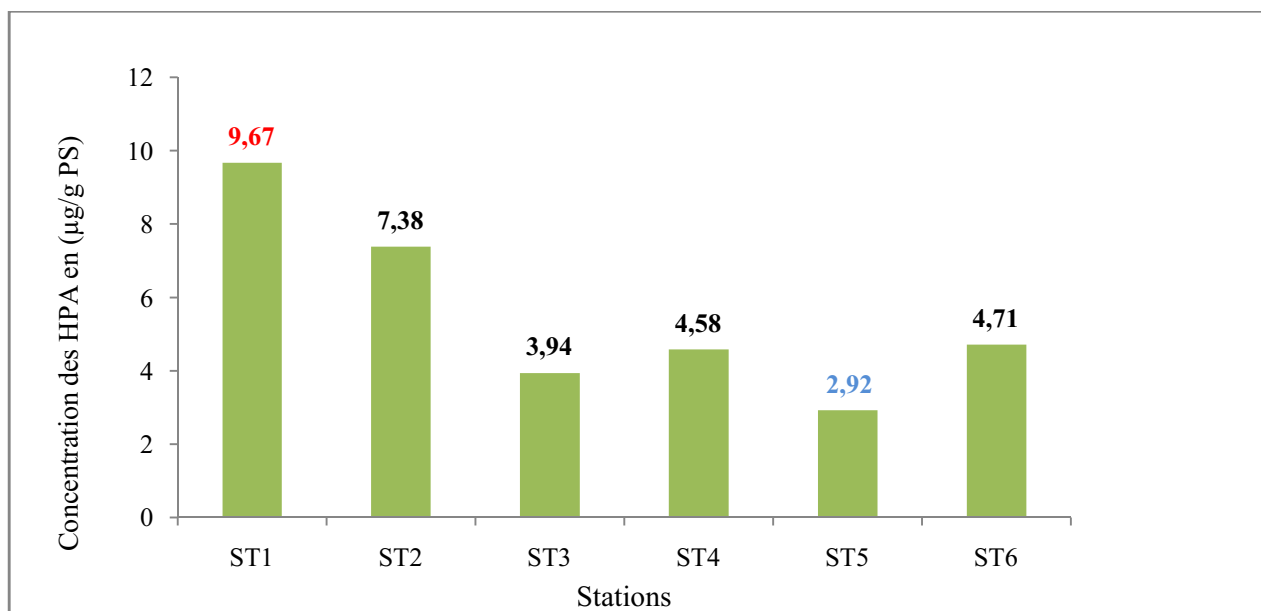


Figure 25: Concentrations des HAP dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.

La station 5 située au large de la Baie d'Alger représente la valeur la plus basse ($2,92\mu\text{g/g}$ poids sec) malgré la nature granulométrique du sédiment (vase compacte).

La station 1 présente une forte teneur en HAP ($9,67\mu\text{g/g P.S}$). On peut rappeler que cette station se trouve à la sortie du port d'Alger et est exposée à une forte pollution liée au trafic maritime et aux activités portuaires.

La station 2 au large de l'embouchure du Oued El-Harrach et la station 6 de Bab El-Oued présentent des concentrations élevées en HAP ($7,38\mu\text{g/g}$ 2 et $4,71\mu\text{g/g P.S}$ respectivement). Ses positions presque au centre de deux grandes sources des apports des eaux usées dans la zone les rendent probablement un lieu d'accumulation de pollution à partir des rejets industriels, pétroliers et urbains de la ville d'Alger. Ces concentrations sont presque en corrélation avec la nature sédimentaire des fonds, sable légèrement vaseux à l'embouchure du Oued El-Harrach et sédiments sableux à Bab El-Oued.

La station 4 se trouve en face du Oued El-Hamiz et représente une valeur importante en HAP ($4,58\mu\text{g/g P.S}$) en relation avec la nature de sédiments de cette zone (sable fin), tandis que cette station représente une valeur minimale en HAP ($0,87\mu\text{g/g P.S}$) dans la colonne d'eau. Ceci peut s'expliquer par la sédimentation ces hydrocarbures au niveau de cette zone ayant une densité supérieure à celle de l'eau de mer.



Figure 26 : Distribution spatiale des concentrations en HAP dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger

Les investigations sur les hydrocarbures dans les sédiments superficiels sont insuffisantes particulièrement dans le secteur occidental du littoral algérois. Les travaux effectués dans la baie d'Alger avec lesquels nos résultats obtenus sont comparables, sont les suivantes:

- Sellali et *al*, 1993 dans la Baie d'Alger [1,2-36 μ g/g P.S].
- Sadouni et Chouakri (1996) dans la baie d'Alger avec [0,14-19,58 μ g/g P.S].
- Bachir Bey et Ayache (2011) dans le port et la baie d'Alger avec [0,75-49,3 μ g/g P.S].

Les deux premiers auteurs renforcent une pollution pétrolière importante dans le secteur occidental de la baie d'Alger et le secteur affecté par Oued El-Harrach ainsi qu'une situation particulière liée à l'hydrodynamisme dans la zone Est de la baie (Bordj El-Kiffan).

Par contre, nos résultats divergent avec ceux obtenus par Rouibah et *al* (2005) qui sont de l'ordre du nanogramme (38,7-155,2 ng/g P.S] enregistrées dans le littoral algérois.

Nos résultats sont plus faibles que ceux trouvés par Lourguioui (2001) dans le littoral Ouest Algérien (Golfe d'Arzew, d'Oran et de Ghazaouet) avec [17,08-6239,99 μ g/g P.S]. Mais sont comparable avec les résultats de Mechekef, 2009 enregistrés au Port d'Alger qui vont de 2,999 à 10,711 μ g/g P.S ; et Sellali et *al*. (1993) dans la Baie d'Alger et au Golfe d'Arzew qui se situent entre 1,858 et 28,835 μ g/g P.S.

D'autres études portant la détermination des concentrations des hydrocarbures dans les sédiments de la côte algérienne et les côtes Méditerranéens peuvent servir dans la comparaison dont ;

- Iddir (1999) au Golfe de Skikda [2,89-29,63 μ g/g P.S].

- Matari et Taftiche (2001) sur les sédiments superficiels du littoral Est Algérien (El-Kala, Annaba et Bejaia) avec [1,23-190,94µg/g P.S].
- Zaghdem et al. (2007) sur les sédiments récents de chenal Sfax-Kerkennah en Tunisie, avec [0,113-10,720µg/g P.S].
- Mzoughi et al (2010) sur les sédiments des différents ports du Golfe de Tunis, avec [0,15-7,1µg/g P.S].
- Benchik (1999) sur le golf d'Arzew avec [4,79-122µg/g P.S].

La répartition spatiale des HAP dans les sédiments superficiels de la Baie d'Alger est hétérogène et semble être liée:

- Aux sources de pollution surtout les Oueds et le secteur Ouest de la Baie qui abrite la zone portuaire et reçoit l'essentiel des rejets de toute la zone.
- Au facteur granulométrique qui est un facteur très important car les fractions fines se caractérisent par une capacité élevée d'adsorption. Les valeurs les plus grandes sont rencontrées dans les fonds de nature sable fin légèrement vaseux, sable fin et sable vaseux où la fraction fine prédomine.

Donc, cette distribution révèle l'influence anthropique et semble être liée aux conditions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires dominantes dans la baie aux quels s'ajoute le facteur granulométrique.

II. La baie de Bou-Ismaïl

II.1. Les Paramètres physiques et chimiques

Les données acquises lors de la sortie en mer à la Baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau suivant (tableau 4), sous forme de valeurs: (valeurs des paramètres physico-chimiques pour chaque station, les valeurs moyennes et extrêmes ainsi que l'écart-type) des paramètres physicochimiques.

Tableau 4: Valeurs des paramètres physico-chimiques à la baie de Bou-Ismaïl.

Stations	Salinité S(PSU)	conductivité C (µs/cm)	température T (°C)	pH
Port El-Djamila	35,7	48,8	18,6	8,23
Oued Beni-Messous	36	49,3	18,3	8,32
Sidi Fredj	35,6	48,7	19	8,21
Mazafran	34,4	47,2	19,6	8,18
Bou-Ismaïl	36,4	49,5	20,2	7,99
Port Khmisti	36,1	49,3	20,2	8,03
Bouharoune	36,6	49,9	19,4	8,09
Port Tipaza	36,1	49,2	19,9	8
Nador	36,2	49,7	20,2	7,92
Moyenne	35,9	49,06	19,48	8,10
Ecart-type	0,64	0,79	0,72	0,13

Valeur minimale, valeur maximale.

a) La salinité

La salinité est un facteur essentiel pour l'écologie des espèces, ses fluctuations conditionnent l'existence des espèces euryhaline dans l'environnement marin.

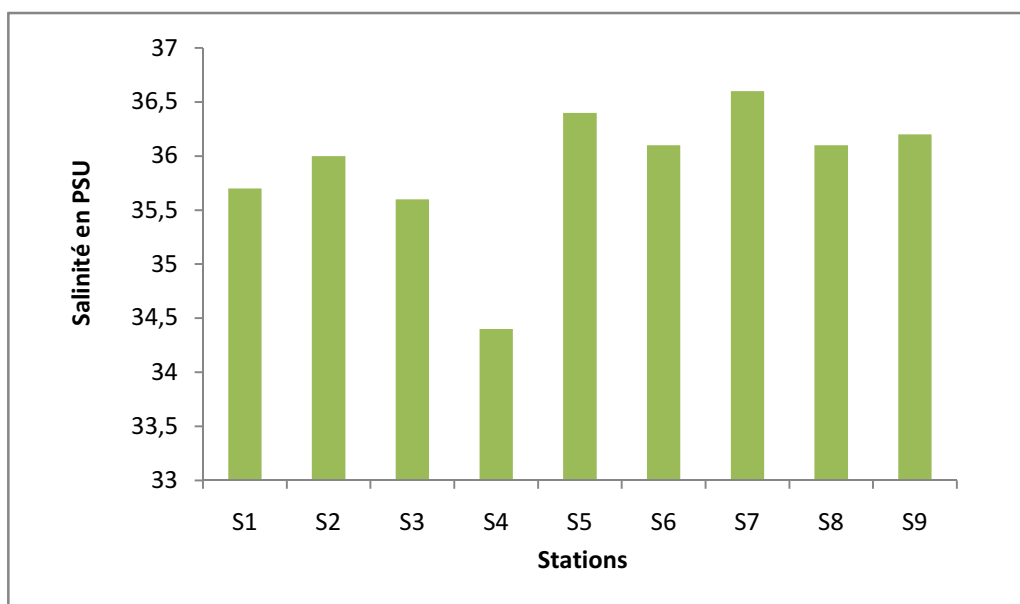


Figure 27: la variation de la salinité à la baie de Bou-Ismaïl.

Au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, les valeurs de la salinité de surface varient entre 34.4PSU au niveau de Mazafran et 36,6 PSU au niveau de la station de Bouharoune, avec une moyenne de 35,9PSU et un écartype de 0.64.

La valeur minimale est observée au niveau de l'embouchure du Oued Mazafran. En effet, l'apport important des eaux continentales douces (eaux pluviales, rejets urbains et industriels...) pendant cette période hivernale a une grande emprise sur la baisse de la salinité de l'eau de mer.

b) La température

Au niveau de la baie de Bou-Ismaïl et lors de l'échantillonnage, les valeurs de la température de surface se situaient entre un minimum de 18,3°C au niveau de la ST 2 (Oued Beni Messous) et un maximum de 20.2°C au niveau des stations ST5, ST6, ST9, avec une moyenne de 19,49°C et un écartype de 0,72.

Les grandes valeurs de température se situent dans la partie Ouest de la baie, Les variations de la température des eaux de surface seraient dues probablement aux :

- Facteurs météorologiques et hydrodynamiques.
- Le mélange avec les eaux légèrement chaudes (séjour) de la baie.
- Le mélange avec les eaux d'origine continentale.
- Le contact avec l'atmosphère.

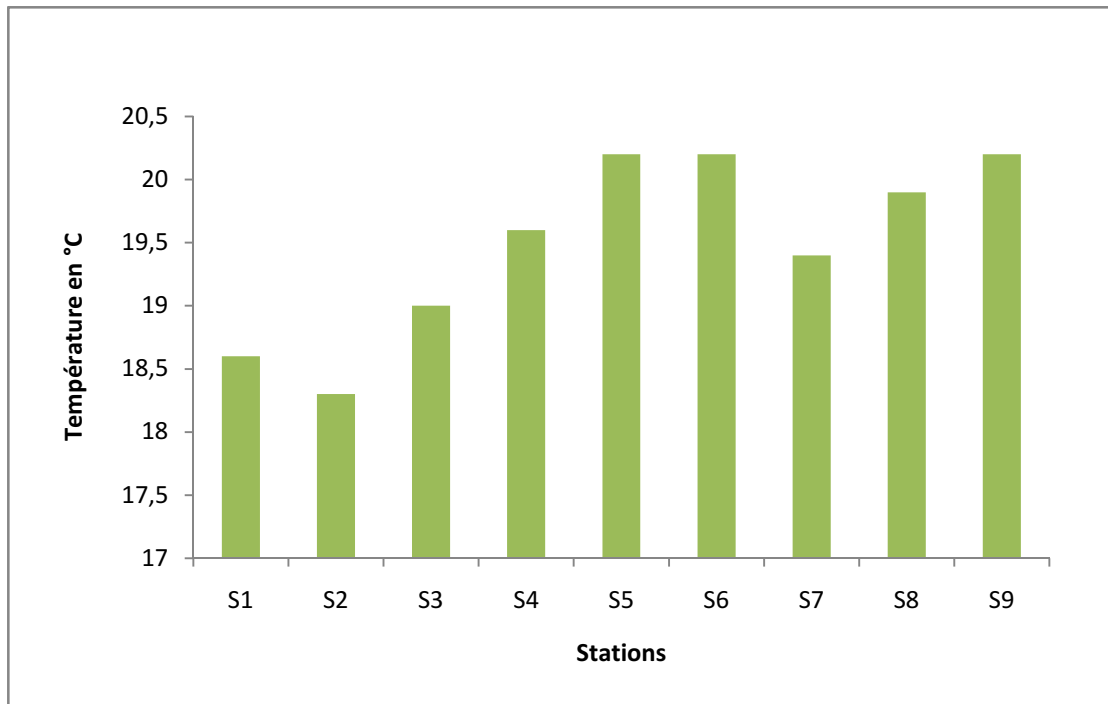


Figure 28: Variation de la température à la baie de Bou-Ismaïl.

c) Le pH

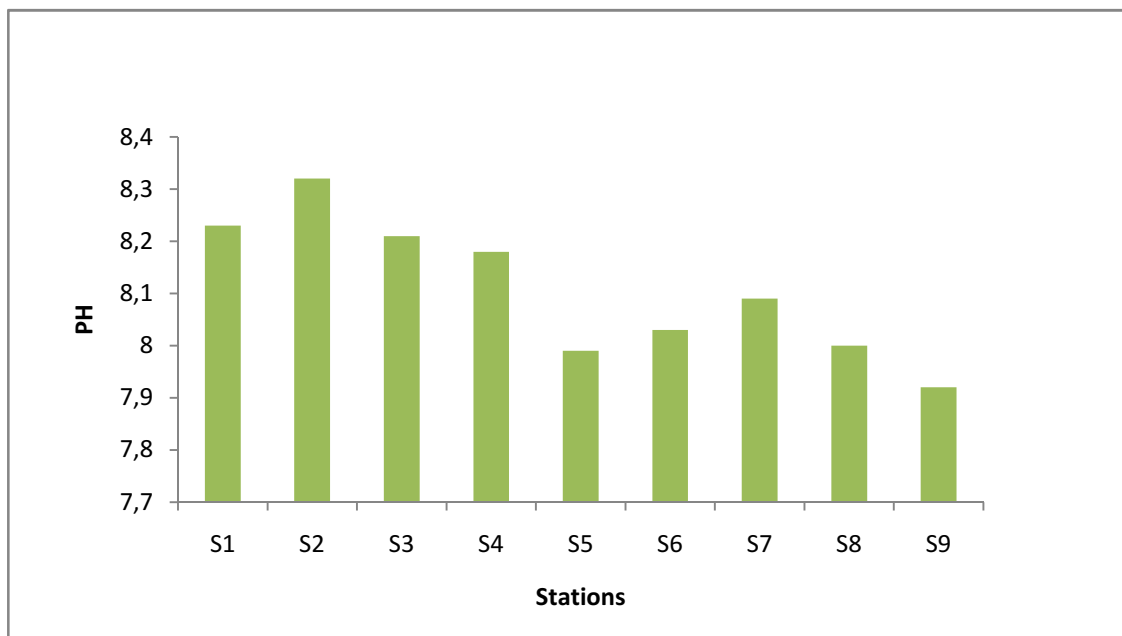


Figure 29: Histogramme de variation du pH dans la baie de Bou-Ismaïl

Les valeurs de pH mesurées dans l'ensemble des stations de prélèvements de l'eau de mer sont comprises entre un minimum de 7,92 et un maximum de 8,32 en face du Oued Beni-Messous, et une moyenne de 8,12.

Ces valeurs sont très comparables à la valeur moyenne du pH de l'eau de mer.

La valeur minimale est relevée près de l'embouchure du Oued Nador, elle peut être considérée comme faible pour ce site et, ainsi, elle est affectée par les eaux continentales (eaux pluviales, rejets urbains,...).

d) La conductivité

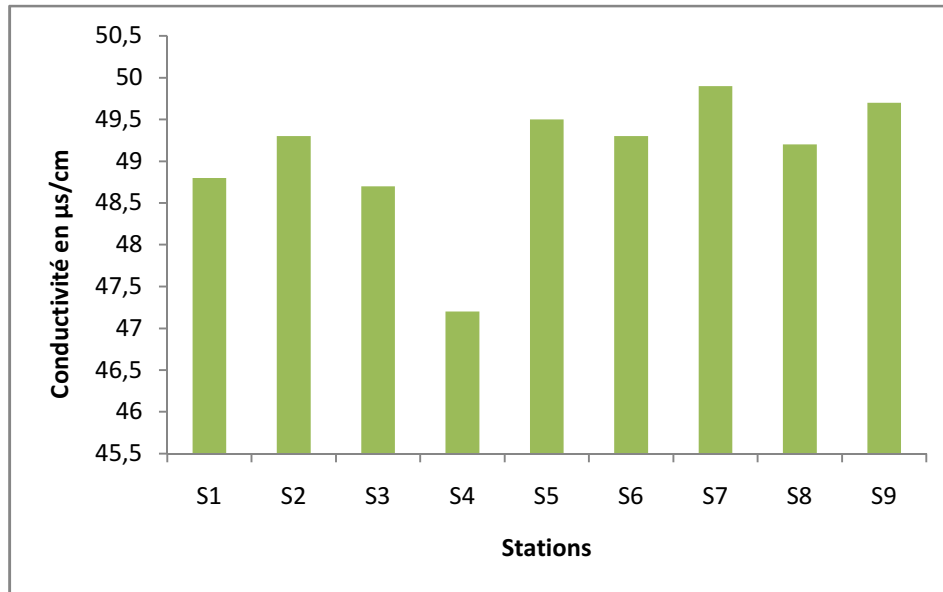


Figure 30: variation de la conductivité à la baie de Bou-Ismaïl

Au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, les valeurs de la conductivité de l'eau de surface se situent entre un minimum de 47,2 µs/cm au niveau de la ST4 (Mazafran) et un maximum de 49,9 µs/cm au niveau de la station 7, avec une moyenne de 49,07 µs/cm et un écartype de 0,80. Ces valeurs sont en relation avec celle de la salinité.

II.2. Les concentrations des HAP dissous/dispersés dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl

Les concentrations des hydrocarbures obtenues nous renseignent sur la qualité de l'eau de mer. Selon Berné et Cordonnier (1991) les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques sont répertoriés parmi les principaux polluants impliqués dans les eaux résiduelles de l'industrie du pétrole.

Dans la baie de Bou-Ismaïl, la concentration des hydrocarbures aromatiques dans l'eau de mer est entre un minimum de 0.66 µg/l au niveau de la station 8 (Tipaza) et un maximum de 5.09 µg/l au niveau de la station 1 (Port El-Djamila), avec une moyenne de 1.70 µg/l et un écart type de 1.38.

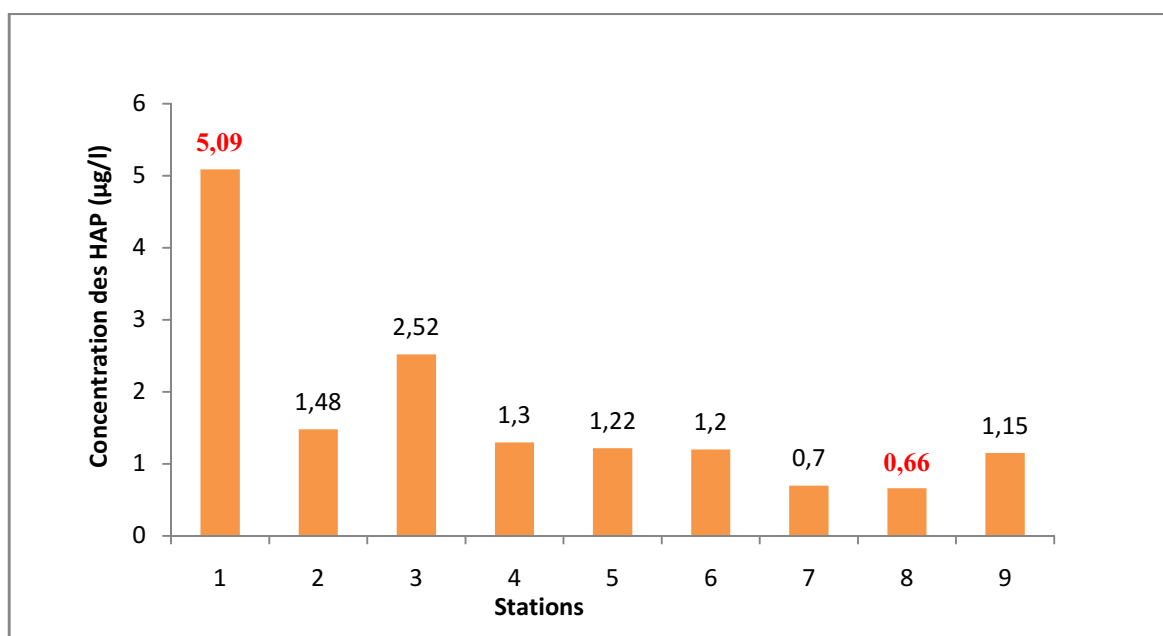


Figure 31: Concentration des HAP dans l'eau de mer de la Baie de Bou Ismaïl.

Les valeurs obtenues pour les différentes concentrations des hydrocarbures aromatiques dans l'eau de surface de la baie de Bou-Ismaïl se rapprochent, déferrement aux concentrations obtenues pour la baie d'Alger, mis à part pour la station 1. Dans l'ensemble des valeurs, les concentrations des HAP sont plus au moins importantes, cependant la plus grande valeur est enregistrée au niveau du port d'El-Djamila. Ceci peut être probablement expliqué par l'activité portuaire et le fait que ce dernier est un port de pêche et de plaisance qui engendre une pollution due aux eaux de cale, lavage des citernes, le déballastage,...

Aussi, la pollution au niveau de cette zone peut être liée aux rejets des eaux usées domestiques sans traitement préalable. Cette contamination peut être d'une origine atmosphérique qui rejoint le milieu marin par les précipitations et les retombés atmosphériques à travers l'interface air-mer.

Cependant une fois en mer, les processus tels que : la répartition à l'équilibre entre l'eau et les particules en suspension, la photo oxydation, les différents processus biologiques tels que la bioaccumulation, la dégradation microbiologique, modifient considérablement les concentrations et la composition des hydrocarbures introduits dans l'océan superficiel (Martin et Saliot, 1992 *in* Bachir bey et Ayache, 2011).

Pour la station de Sidi Fredj, on a enregistré une concentration remarquable d'hydrocarbures de 2.52 µg/l qui est probablement due à l'impact du port de Sidi Fredj, les fuites de carburant qui proviennent de la station d'essence et du fuel de l'unité NAFTAL, à la sortie du port.

En ajoutant l'impact du oued Beni-Messous; les rejets domestique et industriel qu'il charogne des communes qu'il traverse vers la baie d'El-Djamila et Sidi Fredj et par lessivage des terres agricoles et ruissellement vers la mer, les pesticides utilisés pour la fertilisation se retrouvent près de notre station de prélèvement. Ainsi, Cette zone est considérée comme une zone à vocation touristique, elle est soumise aux rejets d'eaux usées domestiques issues des agglomérations et villes côtières et non côtières en plus des complexes touristiques.

Des concentrations en HAP plus ou moins importantes sont enregistrées pour les stations situées au large des Oueds Mazafran, Nador et Oued Beni-Messous sont respectivement: 1.3 µg/l, 1.15 µg/l et 1.48 µg/l.

Ces concentrations sont dues probablement aux rejets d'eaux usées d'origine domestique et même industrielle pour l'Oued Mazafran dont les eaux industrielle de la papeterie de Zeralda, industrie de textile de Douaouda sont drainées jusqu'à la mer.

Pour le port de Tipaza, on a noté la valeur la plus faible qui est de 0.66 µg/l, cette valeur est peut être dû au fait que le port de Tipaza est juste un petit port, ses eaux se renouvellent bien, la décantation rapide des hydrocarbures en surface vers le fond et une dégradation bactérienne. Des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des HAP à la surface de l'eau de mer (Lacaze, 1980).



Figure 32: Distribution des HAP dans les eaux de la baie de Bou-Ismaïl.

Les recherches sur les hydrocarbures dans la baie de Bou-Ismaïl sont rare voire inexistantes. Nos résultats sont comparables avec quelque résultats et incomparable avec d'autres. (tableau5)

Tableau 5: comparaison des concentrations des HAP des eaux de la baie de Bou-Ismaïl avec des eaux des autres sites.

Site d'étude	Concentration en HAP	Références
Emboucheur de l'Oued Mazafran	0,86-2,64 μ g/l	Hocini, 1991
Port Bouharoune	0,28-1,04 μ g/l	Bachouche, 2010
Golf de Tunis, Tunisie	0,15-7,1 μ g/l	Mzoughi <i>et al</i> , 2010
Baie de Bou-Ismaïl	0,66 μ g/l- 5,09 μ g/l	Boudjellaba et Dehane, 2012

II.3. Les concentrations des HAP dans les Sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl

Les concentrations fluctuent entre un minimum de 0,55 et un maximum de 12,77 μ g/g P.S avec une moyenne de 3,08 μ g/g P.S et un écart-type de 4,15.

Le taux le plus faible est relevé à la station 8 qui se trouve en face à l'embouchure de l'Oued Nador où le taux de la MO dans le sédiment est 4,46% et le taux de pélites est de 1,37% (Meguellati et Sraoui, 2012). Cette station est très rapprochée de l'embouchure de l'Oued, cependant les apports de l'amont vers la mer sont très limités, car l'Oued en période d'échantillonnage était en période d'étiage; période durant laquelle la phase organique stagne

dans l'embouchure formant ainsi un cordon littoral qui ne sera percé qu'à partir des premières crues.

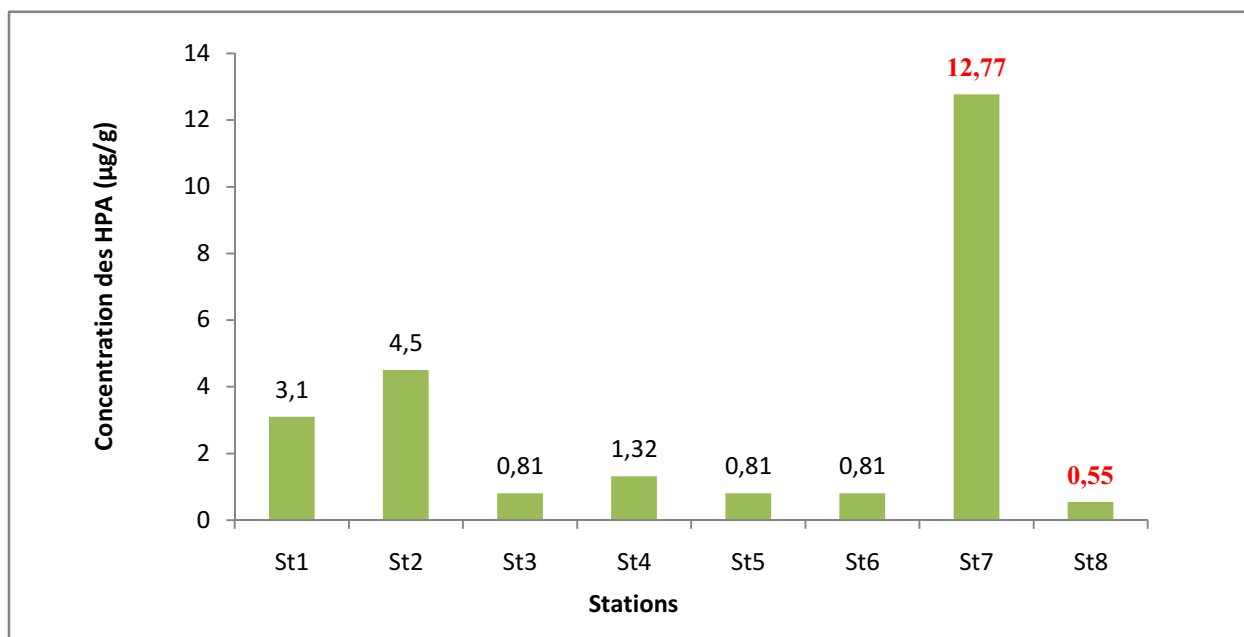


Figure 33: la concentration des HAP dans le sédiment de la Baie de Bou-Ismaïl

La répartition des hydrocarbures polyaromatiques dans la baie de Bou-Ismaïl n'est pas uniforme, les plus fortes concentrations sont enregistrées au niveau de la vase et les plus faibles au niveau d'un sédiment grossier.

La plus grande valeur enregistrée est de 12.77ug/g P.S au niveau de port de Tipaza.

Cette concentration maximum provient probablement:

- Des rejets domestiques qui se déversent sans aucun traitement préalable ;
- Le confinement du port ;
- Le trafic portuaire ;
- Un sédiment fin qui adsorbe au maximum les hydrocarbures où le taux de la MO est de 8,38% et le taux des pélites 42,539% (Meguellati et Sraoui, 2012) ce qui apparaît logique.

En plus, cette station présente la concentration minimale en HAP dans la colonne d'eau et de l'autre côté la valeur maximale pour le sédiment. Cette situation semble être expliquée par la sédimentation des HC surtout les plus lourds et les plus persistants dans le sédiment. La source de contamination de sédiment est ancienne, donc les HC avaient tous le temps pour s'accumuler dans le sédiment.

Deux autres valeurs plus au moins importantes sont enregistrées respectivement au port d'El-Djamila et la station de Sidi-Fredj respectivement. Ces valeurs peuvent être expliquées que la première zone est un port et la deuxième est influencée par le port de Sidi Fredj

Donc, Les sources éventuelles des hydrocarbures poly aromatiques dans notre zone d'étude sont, tout d'abord, les rejets urbains et industriels par l'industrie des peintures, industrie de transformation de plastique et production des produits d'emballage, l'industrie de la céramique la poterie ... Ces déchets industriels sont déversés dans l'oued Mazafran sans traitement au préalable.

Ces apports sont très importants surtout en période hivernale, car l'introduction des HAP en milieu marin est favorisée par les eaux de pluie. Aussi, les matières organiques végétales acheminées par les cours d'eaux constituent une source non négligeable d'introduction des HAP en milieu marin. D'autre part, les déversements des hydrocarbures en pleine mer par le trafic maritime constituent une voie potentielle d'introduction des HAP dans le sédiment marin après leur décantation.

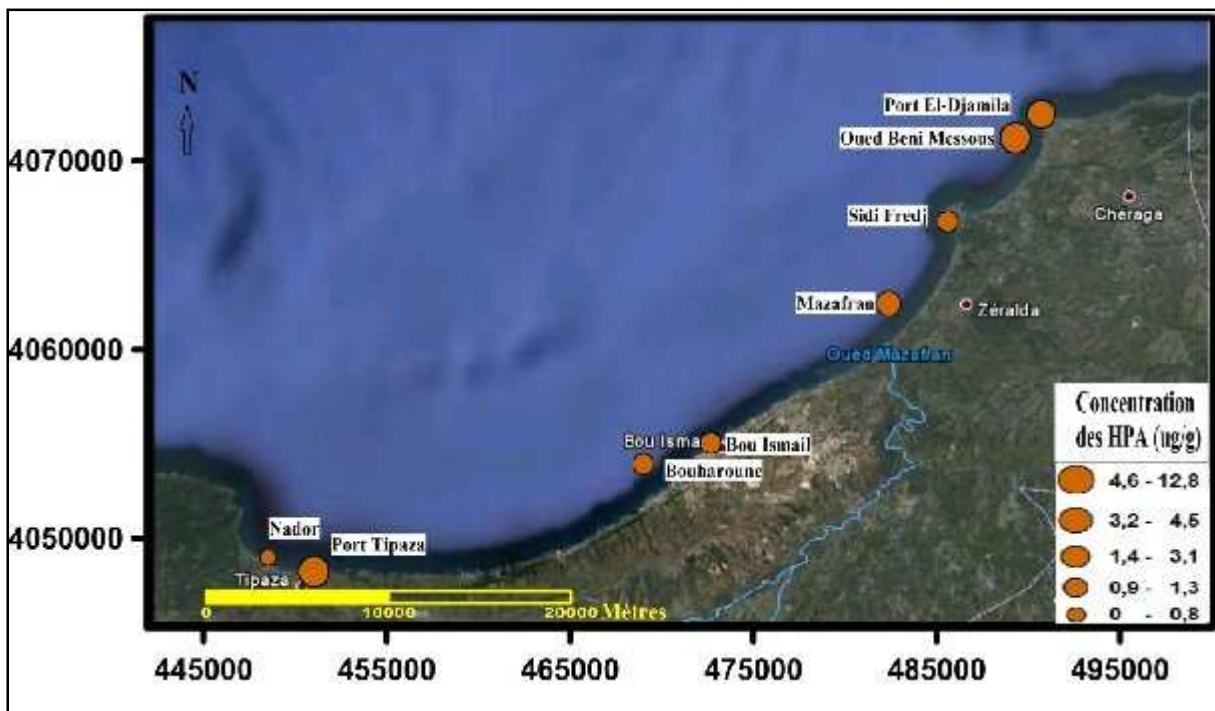


Figure 34: Distribution spatiale des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

Les concentrations des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont comparées avec celle des sédiments superficiels de la côte algérienne et Méditerranéennes.

Tableau 6: comparaison des concentrations des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl avec les sédiments des autres sites.

Site d'étude	Concentration en HAP	Références
Baie de Bou-Ismaïl	0,11-8,7µg/g P.S	Sellali, 1996
Baie de Bou-Ismaïl	0,106-5,937µg/g P.S	Hadjammar, 1993
Port de Sidi Fredj	8,63-12,951 µg/g P.S	
Port de Bouharoune	3,90 µg/g P.S	
Port de Tipaza	7,815µg/g P.S	
Port El-Djamila	3,438 µg/g P.S	
Ténès	0,366-1,613µg/g P.S	Sellali et al, 1993
Le lac Mellah	0,023-1,119 µg/g P.S	
Golf de Tunis, Tunisie	2,5-1250 µg/g P.S	Ghabi et Hadj, 1993
Golf de Fos, France	0,034-2,7 ng/g P.S	Gilbert et al, 2007
Baie de Bou-Ismaïl	0,301-1,29 µg/g P.S	Abderrahmani, 2011
Baie de Bou-Ismaïl	0,55-12,77 µg/g P.S	Boudjellaba et Dehane, 2012

III. Etude comparative entre la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl

Afin de comparer les résultats obtenus pour les deux baies, nous évaluons les tableaux 7 et 8 respectivement pour la colonne d'eau et le sédiment marin.

Tableau 7: Comparaison des concentrations des HAP trouvés dans la colonne d'eau pour les deux baies.

	La baie d'Alger	La baie de Bou-Ismaïl
Maximum	5,02µg/l à Bab El Oued	5,09µg/l au Port d'El-Djamila
Minimum	0,87µg/l au large du Oued El-Hamiz	0,66µg/l à Tipaza
La moyenne	2,33µg/l	1,63µg/l
Ecart-type	1,47	1,31

En se basant sur les concentrations obtenues, on remarque :

La valeur maximale des HAP se rapproche pour les deux baies.

Concernant le minimum, il se trouve plus élevé dans la baie d'Alger que dans la baie de Bou-Ismaïl, ce qui induit une moyenne élevée au niveau de la baie d'Alger par rapport à la baie de Bou-Ismaïl.

III. Etude comparative entre la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl

Afin de comparer les résultats obtenus pour les deux baies, nous évaluons les tableaux 7 et 8 respectivement pour la colonne d'eau et le sédiment marin.

Tableau 7: Comparaison des concentrations des HAP trouvés dans la colonne d'eau pour les deux baies.

	La baie d'Alger	La baie de Bou-Ismaïl
Maximum	5,02µg/l à Bab El Oued	5,09µg/l ou Port d'El-Djamila
Minimum	0,87µg/l au large du Oued El-Hamiz	0,66µg/l à Tipaza
La moyenne	2,33µg/l	1,63µg/l
Ecart-type	1,47	1,31

En se basant sur les concentrations obtenues, on remarque :

La valeur maximale des HAP se rapproche pour les deux baies.

Concernant le minimum, il se trouve plus élevé dans la baie d'Alger que dans la baie de Bou-Ismaïl, ce qui induit une moyenne élevée au niveau de la baie d'Alger par rapport à la baie de Bou-Ismaïl.

En conclusion, et d'une manière générale, que la baie d'Alger est plus contaminée en matière des hydrocarbures aromatiques polycycliques que la baie de Bou-Ismaïl.

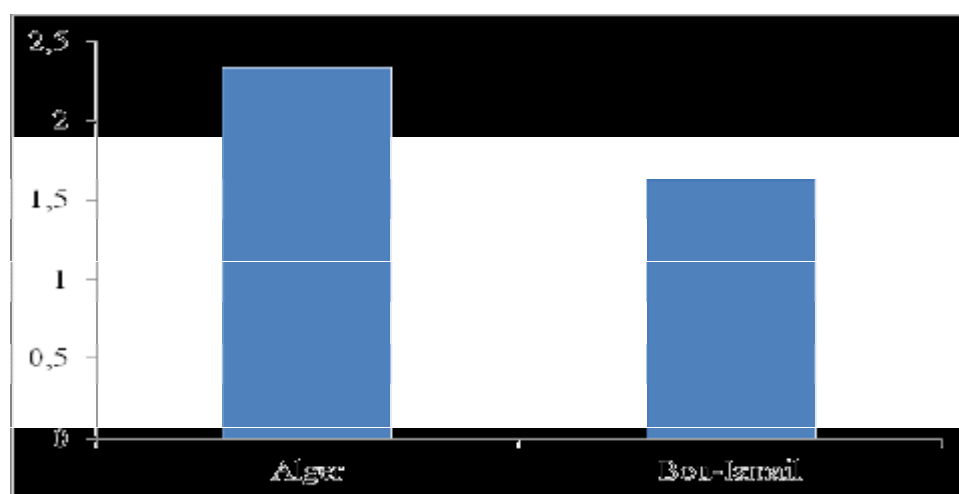


Figure 35: Comparaison entre les teneurs en HAP dans les eaux marines des deux baies.

Ceci pourrait être dû à la superficie de la baie d'Alger qui est moins importante que la superficie de la baie de Bou-Ismaïl, en plus elle se trouve fermée par rapport à l'autre baie, aussi bien que l'importance du trafic maritime qui a sa propre considération.

Les sources de pollution de la baie d'Alger sont plus puissantes (Oued El-Harrach, Oued El-Hamiz, Port d'Alger et Bab El-Oued) et elle connaît une agglomération urbaine très concentrées.

Tableau 8: récapitulation des valeurs de deux baies.

	La baie d'Alger	La baie de Bou-Ismaïl
Maximum	9,67$\mu\text{g/g}$ P.S au port d'Alger	12,77$\mu\text{g/g}$ P.S au port de Tipaza
Minimum	2,92$\mu\text{g/g}$ P.S au large	0,55$\mu\text{g/g}$ P.S au large de Nador
La moyenne	5,53$\mu\text{g/g}$ P.S	3,08$\mu\text{g/g}$ P.S
Ecart-type	2,5	4,15

D'après ce tableau on remarque que, les valeurs minimale et maximale sont enregistrées au niveau de la baie de Bou-Ismaïl qui indique que les stations la plus polluée et la plus propre sont situées au niveau de cette baie.

L'hétérogénéité des valeurs à la baie de Bou-Ismaïl est plus remarquable qu'à la baie d'Alger.

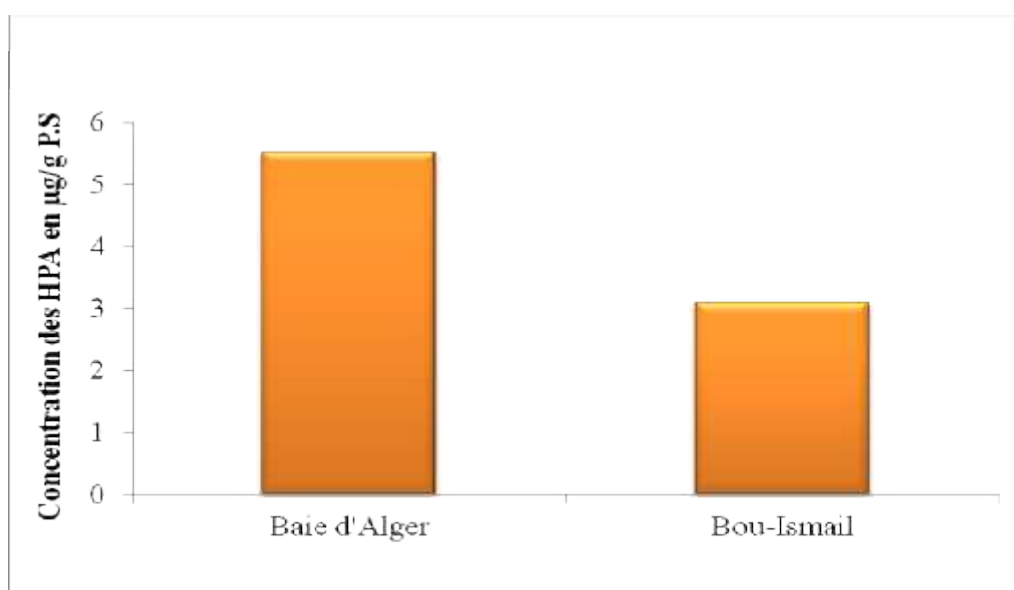


Figure 36: Comparaison entre les concentrations des HAP dans les sédiments de deux baies.

Mais la baie d'Alger est la plus contaminée par les HAP en se basant sur la valeur de la moyenne. Ceci peut être expliqué par les mêmes causes situées au paravent pour la colonne d'eau. Elle peut être expliquée aussi par la nature des sédiments analysée qui est d'une nature grossière à la baie de Bou-Ismaïl par rapport à la nature fine des sédiments de la baie d'Alger.

On conclure de ce fait que les deux matrices de la baie d'Alger eau et sédiment sont les plus polluées et contaminées par les HAP par rapport les deux matrices de la baie de Bou-Ismaïl.

Pour atteindre notre objectif dans cette étude, qui est l'évaluation du degré de pollution par les hydrocarbures sur la baie de Bou-Ismaïl et la baie d'Alger, nous avons recouru à deux sorties en mer, pendant la période estivale.

Après l'analyse de nos données pour les HAP dans les deux matrices, eau et sédiment, nous avons obtenu des résultats qui montrent d'une part que le niveau de contamination par les HAP est plus élevé dans la baie d'Alger que dans la baie de Bou-Ismaïl, du fait que la valeur minimale retrouvée pour la baie de Bou-Ismaïl est de $0.66\mu\text{g/l}$ tandis que pour la baie d'Alger, nous l'avons évalué à $0.87\mu\text{g/l}$ pour la colonne d'eau et pareil au niveau du sédiment, où on note un minimum de $0.55\mu\text{g/g}$ de matière sèche pour la baie de Bou-Ismaïl et $2.92\mu\text{g/g}$ dans la baie d'Alger. Cela peut être expliqué par le fait que la baie d'Alger contient un port pétrolier ce qui engendre un trafic maritime important, notamment par les pétroliers, qui larguent dans les eaux (au large) leurs ballasts, les eaux de calles, lavage des citernes, ...

D'autre part, nous constatons que la pollution par les HAP se concentre dans le sédiment marin.

Néanmoins, la fixation et le stockage des HAP dans le sédiment marin obéissent à plusieurs facteurs qui sont liés non seulement aux propriétés physicochimiques des HAP, mais aussi à la granulométrie (taille des grains). En effet, le sédiment fin est caractérisé par une importante aptitude à intégrer et stocker ces contaminants organiques, contrairement au sédiment grossier.

Outre, l'abondance des espèces animales et végétales, les courants marins et les conditions météorologiques sont des facteurs qui participent à la modification de la disponibilité des HAP dans l'eau et dans le sédiment.

Notre étude contribue à la construction d'une base de données sur le degré de contamination de nos eaux côtières par ces substances cancérogènes et toxiques qui génèrent des effets potentiels à moyen et à long terme sur les organismes vivants en général et les espèces aquatiques en particulier, et présentant un risque majeur pour la survie des espèces ainsi que le fonctionnement des écosystèmes au niveau des deux baies étudiées.

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

ABDERRAHMANI K., 2011. Les hydrocarbures poly aromatiques dans la baie de Bou-Ismaïl : surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur. Thèse. Magister, ENSSMAL : 103 p.

AIT ABBAS D., LAUANI S., 2002. Contribution à la détermination du degré de pollution par les hydrocarbures totaux au niveau port pétrolier de Bejaïa. Mémoire DEUA, Université ABDERAHMANE MIRA, Bejaïa : 89 p.

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

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

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

AMROUCHE N., DEBICHE S., 1991. Exploitation de la pollution par les hydrocarbures poly aromatiques des sédiments des cotes ouest d'Algérie- identification et caractérisation des polluants par analyses spectrale. Mémoire D'ingénieur d'Etat, ISMAL : 109 p.

ANNANE G., KEMILA A., 2007. Impact et inventaire des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire D'ingénieur d'Etat, ISMAL : 51 p.

ASSO A., 1982. Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger. Thèse de 3ème cycle, Université Science Technologique. Languedoc- Montpellier : 316 p.

BACHIR BEY N. et AYACHE M., 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 d'Etat, ENSSMAL : 90 p.

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

BADJ R., 2000. Niveaux, sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels du littoral Est de l'Algérie. Mémoire D'ingénieur d'Etat, ISMAL : 54 p.

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

BELABES F., 1999. Biodégradation des hydrocarbures pétroliers. Mémoire DES, Université ABDERAHMANE MIRA, Bejaïa : 67 p.

BENCHIK S., 1999. Niveaux de contamination des sédiments superficiels du Golfe d'Arzew par les hydrocarbures pétroliers : caractérisation des sources et origines. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ISMAL : 65 p.

BENTCHIKOU L., 2005. Extraction et analyse d'un asphaltène issu d'un pétrole brut algérien. Thèse Magister, USTHB : 120 p.

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

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

BOULAHIDID M, EDDALIA N, BOUDJALLAL B & AZZOUZ M., 2003. Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. Annales de l'institut National Agronomique-El Harrach- Alger-Algérie. Vol.24. N°1 et Pt.2.: 39 p.

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

BREST., 1981. Amaco Cadiz : conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures. CNEXO, Paris : 881 p.

DJERAD C., 2010. Evaluation de l'état de la pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ENSSMAL : 86 p.

EL KHILL K., 2003. La pollution de la mer Méditerranée du fait du transport maritime de marchandises. Presse universitaire mémoire d'Aix-Marseille : 556 p.

FATTAL P., 2008. Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de Rennes, France : 395 p.

FRUGET JF., 1999. Hydrologie appliquée. Tome 11, volume 1-2 : 29-69 pp.

GALAF F., GHANNAM S., 2003. Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire de troisième cycle, Institut agronomique et vétérinaire, Hassan II Rabat : 101 p.

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

GAUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Technique et documentation, ISMAL : 41p.

GHABI H HADJALI M., 1993. Petroleum hydrocarbons in water and marine sediment: Bizerta Lake, Tunis Gulf and Lake. Workshop sur la circulation des eaux et la pollution des côtes Méditerranéennes des pays du Maghreb, Rabat (MAROC). Publié par INOC, IZMIR, Turquie : 131-133 pp.

GILBERT M., LAURENCE A., MICHEL G., LAURE M., & PIERRE D., 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). Marine Pollution Bulletin 54 :566-575 p.

GUIBOUT P., 1987. Atlas hydrologique de la Méditerranée. IFREMER, Brest : 150p.

HADDOUCHE I., 2003. Étude de l'état de pollution de la baie de Bou- Ismail par les sels nutritifs et les métaux lourds en Juillet 2002. Mémoire d'ingénieur d'état, ISMAL : 13-17 p.

HADJAMMAR S., (1993). Niveaux en hydrocarbures polyaromatiques des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (frange côtière). Mémoire DEUA, ISMAL : 206 p.

HAMLILI N., 2005. Traitement biologique des eaux contaminées par les hydrocarbures dans un bioréacteur a lit fluidise tri-phasique. Thèse Magistère, USTHB : 145 p.

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

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

IDDIR N B., 1999. Faune benthique et sédiment superficielle marin dans le golfe de Skikda : impact des hydrocarbures. Mémoire DEUA, ISMAL : 96 p.

JUDITH R D., GIRIN M., & VENTURA CB., 2005. Marées noires et environnement. Edition. Institut océanographique, Paris. Monaco :

KORICHI HS., 1988. Contribution à l'étude de biologique de deux epèces de saurels: Trachurus trachurus (Linné, 1758) et Trachurus méditerranéus (Steindachner, 1868) et la dynamique de Trachurus trachurus dans la baie de Boui-smail (Algerie). Thèse Magist, ISMAL: 260 p.

KOROGHLI A., 2010. Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse Magister, USTHB : 150 p.

L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE. Edition, 2009.

LEM., 1999.LABORATOIRE D'ETUDES MARITIME. Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.

LACAZE J C., 1980. La pollution pétrolière en milieu marin. Ed. Masson, Paris : 118 p.

LALAMI-TALEB R., 1970. Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Thèse de Doctorat 3ème cycle en biologie, Université d'Alger: 168 p..

LECLAIRE.L, 1972. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent algériens). Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle. Nouvelle série C. Science de la Terre, Tome XXIV : 391p

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

LESCOLE C., 2002. Les feux d'hydrocarbures. Centre de Secours de Divonne-les-Bains.

LOUCHAMI M., 2006. Evaluation de la pollution par les hydrocarbures totaux et poly aromatiques : Application au port d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état, ISMAL : 61 p.

LOURGUIOUI H., 2001. Niveau, sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels du littoral Ouest Algérien (Golf d'Arzew, d'Oran et de Ghazaouet). Mémoire d'ingénieur d'Etat, ISMAL : 62 p.

MADI F., 2009. Apport du système d'information géographique(SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines. (Cas : la baie d'Alger). Mémoire Ingénieur, ENSSMAL: 111p.

MAKRANI D, 1998, Aménagement du port de Bou-Haroun : contribution à l'étude d'envasement et dragage. Mémoire d'ingénieur d'état, ISMAL : 79p.

MATARI I., TAFTICHE S., 2001. Niveaux, sources et origines des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments superficiels du littoral Est Algérien (El-Kala, Annaba, Skikda et Bejaia). Mémoire Ingénieur d'état, ISMAL : 76p.

MECHEKEF Y., 2009. Evaluation de la contamination par les hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau et le sédiment superficiel dans le port d'Alger : cartographie des polluants. Mémoire d'ingénieur d'état, ENSSMAL : 66p.

MEGUELLATI A., SRAOUI A., 2012. Les métaux traces dans les sédiments et les biotes du milieu marin dans les deux baies d'Alger et Bou-Ismaïl. Mémoire Ingénieur d'état, ENSSMAL : 64p.

MENNAD M., 2008. Approche des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières. Application à la baie d'Alger. Mémoire de magister, ENSSMAL : 79 p.

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

MZOUGHJI N., CHOUBA L., SOULI Z., HAMDI L et M'RABET R., 2010. Teneurs En Hydrocarbures dans différents Ports du Golfe de Tunis, Tunisie. Rapport Communication internationale Mer Méditerranée, 39, p780.

OBATON D., 1998. Circulation et modélisation de la méditerranée occidentale et du golfe du lion. Synthèse des connaissances et des travaux existants. R.INT.DEL/98.03/BREST. 88 p. Tome 241, Ed Masson, Paris. 391p.

PAYNE, J.R. AND PHILIPPS, C.R., 1985. Photochemistry of petroleum in water: Photooxidation causes changes in oil and enhances dissolution of its oxidized products. *Environmental Science and Technology* 19, p589.

RAMADE. , 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition Ediscience international.428p.

RODIER J., 1996. L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer) 8 ème Ed Dunod, Paris.

RODIER J., 2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 8ème édition, Paris, 1384 P.

RONTANI J.F., BONIN P. et GUISTI G., 1987. Mechanism study of the interaction between photooxidation and biodegradation of n-nonylbenzene in seawater. *Marine Chemistry* 22, p1-12.

RONTANI J.F., BONIN P., 1992. Utilization of n-alkyl-substituted cyclohexanes. *Chemosphere* 24, p1441-1446.

Rouibah M., Boulahdid M., Boudejellal B., Eddalia N., Ounadi F., 2005. Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Reghaïa. Contrat ISMAL-APPL, 74p.

RUEY-AN DOONG., YU-TIN LIN., 2003. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminations in surface sediment and water from Gao-ping River, Taiwan. *Water Research* 38 (2004) , p1733-1744.

SADOUNI N., et CHOUAKRI S., 1996. La pollution par les hydrocarbures dans la baie d'Alger : sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels. Mémoire Ingénieur d'état, ISMAL : 76p.

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

SELLALI, B., CHOUIKHI, A., HOCINI, N., YAHI, D. et BOUDJELLAL, B., 1993. Contamination des sédiments de la côte algérienne par les hydrocarbures polyaromatiques. Workshop sur la circulation des eaux et la pollution des côtes Méditerranéennes des pays du Maghreb, Rabat (MAROC). Publié par INOC, IZMIR- Turquie, p167-169.

SOLTANI M., 2004. Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, Université Paris 6 : 284p.

TOUNSI R., 1989. Contribution à l'étude de la pollution de l'eau de mer par les hydrocarbures en Baie d'Alger et dans le Golfe d'Arzew. Mémoire TS, ISMAL : 60p.

VANDECASTEELE JP., 2005. Microbiologie pétrolière. Ed TECHNIP, Paris. Volume 2. 795p.

WALKER J D., COWELL R R. et PETRAKIS K., 1975. Degradation of petroleum by an alga, Protothecozopfi. *Applied Microbiology* 30, p79-81.

WAUQUIER J P., 1994. Le raffinage du pétrole –pétrole brut- produits pétroliers- schémas de fabrication. Ed TECHNIP, Paris. 126p.

ZAGHDEM H., KALLEL M., ELLEUCH B., OUDOT J., SALIOT A., 2007. Etude de La Matière Organique Et La Pollution Par Les Hydrocarbures dans Les Sédiments Recents Du Chenal Sfax-Kerkennah (Tunisie, Mer Méditerranée). Rapport Communication internationale Mer Méditerranée, 38, p332.

Annexe 1

Les noms des stations de la baie d'Alger pour la colonne d'eau et les sédiments

Signe de la station	Nom de la station
ST1	Port d'Alger
ST2	Oued EL-HARRACH
ST3	FORT DE L'EAU
ST4	Oued EL HAMIZ
ST5	Centre Baie d'Alger
ST6	Kitani

Annexe 2

Les noms des stations de la baie de Bou-Ismaïl pour la colonne d'eau

Signe de la station	Nom de la station
ST1	Port El-Djamila
ST2	Oued Ben Messous
ST3	Sidi Fredj
ST4	Mazafran
ST5	Fouka
ST6	Bou-Ismaïl
ST7	Port Khmisti
ST8	Bouharoune
ST9	Port Tipaza
ST10	Nador

Annexe 3

Les noms des stations de la baie de Bou-Ismaïl pour les sédiments

Signe de la station	Nom de la station
ST1	Port El-Djamila
ST2	Oued Ben Messous
ST3	Sidi Fredj
ST4	Mazafran
ST5	Bou-Ismaïl
ST6	Bouharoune
ST7	Port Tipaza
ST8	Nador

Annexe 4

Paramètres physico-chimiques au niveau des stations de la baie d'Alger (colonne d'eau)

	Port d'Alger	Oued El-Harrach	Fort De L'eau	El Hamiz	Centre Baie d'Alger	Kitani
Température °C	18.3	19.1	19	18.6	18.2	18.1
Salinité PSU	35.5	31.5	33.5	36.2	36.4	36
Conductivité (US/CM)	48.6	43.7	46.3	49.6	49.8	49.3
PH	8.06	8.11	8.17	8.07	8.21	8.22
Heure de prélèvement	9H43	10H30	11H19	12H15	13H25	14H15
	26/04/2012	26/04/2012	26/04/2012	26/04/2012	26/04/2012	26/04/2012
Latitude	36°45'626'' N	36°45'132'' N	36°45'239'' N	36°47'046'' N	36°46'756'' N	36°47'865'' N
Longitude	3°05'184'' E	3°08'026'' E	3°10'576'' E	3°13'0746'' E	3°08'446'' E	3°03'651'' E
Observation	Eaux de surfaces troubles, présence des macros déchets	Eaux troubles mauvaise visibilité. Présence excessive de macro déchets. 6 bateaux aux alentours.	Eaux troubles avec présence de macro déchet. Panache turbide (courantologie, vent)	Macros déchets, bonne visibilité, présence de méduses, présence de panache turbide (courant, vent : NE venant d'Oued EL-HARRACH	Bonne visibilité.	Eaux turbides, mauvaise visibilité.

Annexe 5

Tableau des stations de la baie d'Alger (sédiment)

Stations	Port d'Alger	Oued El-Harrach	Fort De L'eau	El Hamiz	Centre Baie d'Alger	Kitani
Heure de prélèvement	9H43 26/04/2012	10H30 26/04/2012	11H19 26/04/2012	12H15 26/04/2012	13H25 26/04/2012	16H40 26/04/2012
Latitude	36°45'626''N	36°45'132''N	36°45'239''N	36°47'046''N	36°46'756''N	36°47'865''N
Longitude	3°05'184''E	3°08'026''E	3°10'576''E	3°13'0746''E	3°08'446''E	3°03'651''E
Profondeur (M)	18	12	12	17	45	16.5
Nature des sédiments	Sédiments sable fin légèrement vaseux avec présence d'espèce benthiques (gastéropode)	Sédiments sable vaseux.	Sédiments sable fin avec présence des coquilles.	Sable fin, macro déchets,	Vase compacte	Sable

Annexe 6

Tableau des stations de la baie de Bou-Ismaïl (sédiment)

	Salinité S(PSU)	conductivité C (µs/cm)	température T (°C)	pH	Longitude	Latitude	Heure de prélèvement
Port El-Djamila	35,7	48,8	18,6	8,23	2,89818 E	36,809833 N	16h35 22/04/2012
Oued Ben Messous	36	49,3	18,3	8,32	2,882167 E	36,791283 N	16h08 22/04/2012
Sidi Fredj	35,6	48,7	19	8,21	2,8285 E	36,75595 N	14h50 22/04/2012
Mazafran	34,4	47,2	19,6	8,18	2,803333 E	36,716183 N	11h30 22/04/2012
Bou-Ismaïl	36,4	49,5	20,2	7,99	2,693567 E	36,652217 N	
Port Khmisti	36,1	49,3	20,2	8,03	2,671569 E	36,63805 N	15h20 22/04/2012
Bouharoune	36,6	49,9	19,4	8,09	2,652117 E	36,6427 N	
Port Tipaza	36,1	49,2	19,9	8	2,4504 E	36,593833 N	11h25
Nador	36,2	49,7	20,2	7,92	2,42265 E	36,600133 N	10h35