

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

Option : Environnement Marin

Réalisé par :

REZGUI Hammadi

Thème:

**Etat de la pollution par les hydrocarbures
aromatiques polycycliques dans les eaux de la baie
de Bou-Ismaïl**

Soutenue le 01/07/2015 devant le jury :

Mme. Z. BOUBECHICHE, Maitre assistante A, ENSSMAL

Présidente

Mr. M. BOULAHIDID, Professeur, ENSSMAL

Examineur

Mr. M. DRICHE, Maitre de conférences B, ENSSMAL

Examineur

Mme. L. BENTCHIKOU, Maître assistante A, ENSSMAL

Encadreur

2014/2015

Remerciements

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

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

*Je remercie **Mme Bentchikou .L** d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions.*

*Je tiens à remercier **Mme Boubechiche.Z** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Je tiens à remercier **Mr Boulahdid. M** d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.*

*Je remercie **Mr DRICHE. M** d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.*

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

*Je tiens aussi à remercier vivement **Mr Boudjellal** pour sa disponibilité, son aide et pour sa gentillesse.*

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

Merci à tous et à toutes

Dédicace

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

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

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

Ma fiancée : Nour Elhouda avec mes frères et mes sœurs : Nadjib. Soudi. Ismahane. Nada. Lobna. Sonia. et ma grande mère. Qui m'ont assisté ces moments difficiles et m'ont servi.

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

Table des matières

Table des matières

| | |
|---------------------|--|
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des acronymes | |
| Liste des équations | |

| | |
|--------------------|----|
| Introduction | 15 |
|--------------------|----|

Chapitre I : Généralités

| | |
|---|----|
| I. Généralité sur la pollution marine..... | 18 |
| I.1. Définition de la pollution marine..... | 18 |
| I.2. Les différents types de pollution marine..... | 18 |
| I.2.1.Pollution physique..... | 19 |
| I.2.2.Pollution chimique..... | 19 |
| I.2.3.Pollution biologique..... | 19 |
| II. Les paramètres physico-chimiques du milieu marin..... | 20 |
| II.1. La température (T)..... | 20 |
| II.2. La salinité (S)..... | 20 |
| II.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)..... | 20 |
| II.4. Oxygène dissous (OD)..... | 20 |
| III. Les hydrocarbures..... | 21 |
| III.1. Définition des hydrocarbures..... | 21 |
| III.2. Classification des hydrocarbures..... | 21 |
| III.2.1.. Les alcanes (paraffines)- aliphatique..... | 21 |
| III.2.2.Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques..... | 21 |
| III.2.3. Les hydrocarbures naphténiques..... | 21 |
| III. Les hydrocarbures..... | 22 |
| III.1. Définition des hydrocarbures..... | 22 |
| III.2. Classification des hydrocarbures..... | 22 |
| III.2.1.. Les alcanes (paraffines)- aliphatique..... | 22 |
| III.2.2.Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques..... | 22 |
| III.2.3. Les hydrocarbures naphténiques..... | 22 |
| III.2.4. Les hydrocarbures aromatiques..... | 22 |
| III.2.5.Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)..... | 22 |
| III.2.6.Les résines..... | 23 |

Table des matières

| | |
|--|----|
| III.2.7. Les asphaltènes..... | 24 |
| III.3. Origines des hydrocarbures | 24 |
| III.3.1. Origines naturelles ou origine fossile..... | 24 |
| III.3.2. Origine anthropique..... | 25 |
| III.3.2.1. Origine pétrolière..... | 25 |
| III.3.2.2. Origine pyrolytique..... | 25 |
| III.4. Les propriétés physiques des hydrocarbures..... | 25 |
| III.4.1. Densité..... | 25 |
| III.4.2. Viscosité..... | 25 |
| III.4.3. Point d'écoulement..... | 26 |
| III.4.4. Point éclair..... | 25 |
| III.4.5. Point d'ébullition..... | 26 |
| III.4.6. La tension superficielle | 26 |
| III.5. Evolution et altération des hydrocarbures | 27 |
| III.5.1. Les altérations physiques..... | 27 |
| III.5.1.1. Etalement..... | 27 |
| III.5.1.2. Evaporation..... | 27 |
| III.5.1.3. Dissolution..... | 27 |
| III.5.1.4. Emulsification..... | 28 |
| III.5.1.5. Sédimentation..... | 28 |
| III.5.2. La modification chimique | 29 |
| III.5.3. La modification biologique..... | 29 |
| III.6. Impacts des hydrocarbures sur l'environnement | 31 |
| III.6.1. Impacts d'ordre physique | 31 |
| III.6.2. Impacts d'ordre biologique sur | 31 |
| III.6.2.1. La faune et la flore marine | 31 |
| III.6.2.2. Les bactéries | 32 |
| III.6.2.3. Les oiseaux et les mammifères | 33 |
| III.6.2.4. Les ressources exploitables | 33 |
| III.6.2.5. La santé humaine | 35 |

Table des matières

Chapitre II : Zone d'étude

| | |
|--|----|
| I. Baie de Bou-Ismaïl..... | 37 |
| I.1. Situation géographique | 37 |
| I.2. Plateau continental | 37 |
| I.3. Sédimentologie | 38 |
| I.4. Réseau hydrographique | 39 |
| I.5. Facteurs hydrodynamiques | 40 |
| I.5.1. Les courants | 40 |
| I.5.2. Les houles | 40 |
| I.6. Régime des vents..... | 41 |
| I.7. Température de l'eau | 41 |
| I.8. Salinité | 41 |
| I.9. Etat de pollution de la baie de Bou-Ismaïl..... | 42 |

Chapitre III : Matériels et Méthodes

| | |
|---|----|
| I. Méthodes d'analyses des hydrocarbures..... | 45 |
| II. Matériels utilisés | 45 |
| III. Conditionnement du matériel utilisé | 46 |
| IV. Préparation des adsorbants..... | 46 |
| V. Travaux effectués en mer | 47 |
| V.1. Préparation du matériel de la sortie | 47 |
| V.2. Choix et localisation des stations du prélèvement | 47 |
| V.3. Prélèvements et échantillonnages | 48 |
| V.3.1. Les hydrocarbures..... | 48 |
| V.3.1. Les paramètres physico-chimiques | 49 |
| V.4. Mesure des paramètres physico-chimiques | 49 |
| VI. Travaux effectués en laboratoire de Sidi Fredj..... | 50 |
| VI.1. Traitements des échantillons effectués au laboratoire pour l'analyse des hydrocarbures..... | 50 |
| VI.1.1. Extraction | 51 |
| VI.1.2. Concentration de l'échantillon | 52 |

Table des matières

| | |
|--|----|
| VI.1.3. Purification et fractionnement..... | 53 |
| VI.2. Analyse des hydrocarbures..... | 55 |
| VI.2.1. Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V) | 55 |
| VI.2.1.1. Principe d'analyse..... | 56 |
| VI.2.1.2. Appareillage analytique..... | 56 |
| VI.2.1.3. Etalonnage et préparation des standards..... | 56 |
| VI.2.1.4. Mesure des intensités de fluorescence..... | 58 |
| VI.2.1.5. Calcul des concentrations finales | 59 |

Chapitre IV : Résultats et Discussions

| | |
|--|----|
| I. Variations des paramètres physicochimiques..... | 62 |
| I.1. La température | 62 |
| I.2. Salinité | 63 |
| I.3. Le potentiel d'hydrogène (pH) | 64 |
| I.4. Oxygène dissous..... | 65 |
| II. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer..... | 66 |
| Conclusion..... | 71 |
| Bibliographie..... | 73 |
| Les annexes | 78 |

Liste des figures

| Figures | Pages |
|---|-------|
| Figure 1: Structure et nomenclature des HAP (Les seize HAP prioritaires de la liste de l'EPA). | 9 |
| Figure 2: Les émulsions formées par le pétrole dans l'eau de mer. | 14 |
| Figure 3: Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : CEDRE, 2006). | 16 |
| Figure 4: Situation géographique et localisation de la baie de Bousmail. | 23 |
| Figure 5: Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972). | 24 |
| Figure 6: Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998). | 25 |
| Figure 7: Le réseau hydrographique de la baie de Bousmail. | 26 |
| Figure 8: Les étapes principales pour le conditionnement du matériel. | 31 |
| Figure 9: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. | 33 |
| Figure 10: bouteille de type NISKIN. | 34 |
| Figure 11: Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures dissous/dispersés de l'eau de mer. | 35 |
| Figure 12: Dispositif d'un évaporateur rotatif (LABORATA 4000-efficient Heidolph). | 37 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 13: Concentration par sous jet d'azote pur. | 38 |
| Figure 14: Agitateur mécanique. | 39 |
| Figure 15: Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte. | 40 |
| Figure 16: Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI. | 41 |
| Figure 17: Les fioles contenant les solutions standards et le bac à ultrasons. | 42 |
| Figure 18: Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HPA. | 44 |
| Figure 19: Variation de la température de surface au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. | 47 |
| Figure 20: Variation de la salinité de surface au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. | 48 |
| Figure 21: Variation du potentiel d'hydrogène en eau de surface de la baie de Bou-Ismaïl. | 49 |
| Figure 22: Variation des teneurs en oxygène dissous en surface de la baie de Bou-Ismaïl. | 50 |
| Figure 23: Variation des HAP dans l'eau de la baie de Bou-Ismaïl. | 51 |
| Figure 24: Distribution des HAP dans les eaux de surface de la baie de Bou-Ismaïl. | 52 |

Liste des tableaux

| Tableaux | Pages |
|--|-------|
| Tableau 1 : Composition élémentaire des pétroles bruts | 8 |
| Tableau 2 : Paramètres influents sur les modes d'évolution des hydrocarbures en mer. | 17 |
| Tableau 3 : Contribution de pétrole (10% de fraction aromatique) et effet sur les organismes marins (source: simplifié d'après Hyland et Schneider, 1976). | 20 |
| Tableau 4 : Effets à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source, d'après CEDRE, 1990). | 21 |
| Tableau 5 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (<i>in Inal, 2011</i>). | 28 |
| Tableau 6 : Matériel utilisé pour l'analyse des hydrocarbures. | 30 |
| Tableau 7 : Concentration des différents standards préparés à partir de la solution mère. | 42 |
| Tableau 8 : Variations des paramètres physico-chimiques et de la concentration des hydrocarbures dans l'eau de la baie de Bou-Ismaïl. | 46 |
| Tableau 9 : Les concentrations des HAP pour différentes années. | 54 |

Liste des acronymes

| Acronymes |
|---|
| UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture. |
| pH : potentiel d'Hydrogène. |
| HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques. |
| L.E.M : Laboratoire d'Etudes Maritimes. |
| PSU : Practical Salinity Unit. |
| T : Température. |
| S.F.U.V : Spectrofluorométrie Ultra-Violet. |
| IF : Intensité de Fluorescence |
| CEDRE : Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux. |
| COI : Commission Océanographique Intergouvernementale. |
| PAC : Programme d'Aménagement Côtier Algérois. |
| UA : Unité Arbitraire. |
| MOPI : Marine Oil Pollution Index. |
| GPS : Global Positionning System. |
| SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger |

Liste des équations

| Equations | Pages |
|--|-------|
| Equation (1) : Droite d'étalonnage | 43 |
| Equation (2) : Mode de calcul de la concentration des hydrocarbures dans l'eau de mer | 44 |

Introduction

Introduction

Introduction

Le développement des activités humaines est devenu aujourd'hui une menace pour l'environnement marin qui subit depuis plusieurs décennies des agressions majeures.

Les activités maritimes sont génératrices de divers types de pollutions marines (substances liquides nocives, chute à la mer de la cargaison contenant des substances toxiques ou rejets de déchets domestiques). Toutefois, la plus symbolique, la plus ancienne et la plus médiatisée des pollutions marines restent sans conteste, pour l'opinion publique, la pollution par hydrocarbures.

La pollution par les hydrocarbures a une importance de plus en plus grande sur les plans environnemental, sanitaire et économique. Cette pollution peut avoir un impact soit direct ou indirect, sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes marins. En effet, de nombreux dégâts réels ont été constatés lors d'accidents (fuite de pétrole ...etc.), de rejets ou de déversements volontaires, pouvant entraîner des catastrophes écologiques irréversibles (Soltani, 2004, *in* Rouidi, 2014).

Le littoral algérien est pratiquement touché par diverses pollutions, la baie de Bou-Ismaïl est l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible.

Dans ce contexte la baie de Bou-Ismaïl est l'une des régions qui connaît des interventions humaines intensives de différents types (industriels, agricoles, domestiques), ce qui provoque par suite des perturbations et des modifications sur le milieu récepteur et des risques pour la santé humaines en raison de son extension touristiques surtout en période estivale.

Il apparaît donc nécessaire, de mettre en œuvre des systèmes de surveillance en réseaux, qui se chargent de l'évaluation du degré de contamination par les hydrocarbures, notamment les aromatiques polycycliques le long des côtes, afin de révéler les éventuelles sources de pollution et de permettre sa prise en charge par les dispositifs disponibles ainsi que les moyens nécessaires et adéquats.

L'objectif de notre travail, porte sur l'évaluation du degré de contamination des eaux de la baie de Bou-Ismaïl par les hydrocarbures polyaromatiques, c'est une étude qui est structurée en plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre comporte une étude bibliographique sur la pollution marine en général et la pollution par les hydrocarbures, d'une manière plus spécifique.
- Le deuxième chapitre aborde une présentation détaillée sur la zone d'étude.

Introduction

- Le troisième évoque la partie expérimentale, dans laquelle nous exposons l'ensemble du matériel et des méthodes utilisées pour le prélèvement et les analyses quantitatives des hydrocarbures polyaromatiques.

-Le quatrième et dernier chapitre présente les résultats obtenus lors de cette étude, concernant les différents paramètres physicochimiques, ainsi que les résultats de l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau.

- Enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre I : Généralités

Chapitre I : Généralités

I. Généralités sur la pollution marine

I.1. Définition de la pollution marine

La pollution marine est une modification défavorable, généralement provoquée par l'homme, de la qualité de l'eau de mer (**Ramade, 2000**). Elle a été définie par la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO comme étant : « ... l'introduction par l'homme Dans le milieu marin (y compris les estuaires), directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin pouvant entraîner des effets délétères, tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes, y compris les pêcheries, détérioration des qualités de l'eau de mer pour son utilisation et réduction des possibilités dans le domaine des loisirs » (**UNESCO, 1973**).

La pollution marine peut avoir des effets directs ou indirects, à court ou à long terme, suivant la nature physique, chimique et bactérienne des rejets. Les produits rejetés ont une action directe s'ils sont toxiques en eux-mêmes (pesticides, détergents) ou s'ils rendent le milieu impropre à la vie de l'organisme (colloïdes se plaquant sur les branchies, boues changeant la consistance des fonds, nappe de pétrole empêchant la réoxygénation superficielle, matière organique réduisant le taux d'oxygène dissous, eaux résiduaires modifiant la salinité, le pH...).

Indirectement, les substances polluantes peuvent rompre l'équilibre biologique en faisant disparaître sélectivement telle forme intermédiaire indispensable à la vie d'une espèce ou telle espèce de la chaîne alimentaire, par exemple, la production excessive des algues lorsque les gastéropodes ont été détruits par le pétrole gêne le développement des coquillages et plus généralement perturbe l'équilibre biologique normal.

Nuisance indirecte également, la contamination des eaux par des microorganismes pathogènes qui, en s'accumulant dans les mollusques bivalves, rendent leur consommation dangereuse pour l'homme.

Les effets des pollutions peuvent se manifester au point de rejet ou apparaître seulement à une certaine distance après une dilution ou une hydrolyse de substances responsables. Ils peuvent être immédiats ou être différés si les substances sont assez stables pour persister et s'accumuler jusqu'à atteindre un taux critique à un point quelconque de la chaîne alimentaire. (**Soudan, 1968**).

I.2. Les différents types de pollution

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

Chapitre I : Généralités

I.2.1. Pollution physique

De nombreuses pollutions modifient l'environnement du fait de leur nature physique. Nous distinguons les matières en suspension, les immersions au large, les apports d'eau douce, les macrodéchets, le réchauffement des eaux et les eaux et les radiations ionisantes.

L'aménagement des fleuves et des rivières, le lessivage des sols à la suite de déforestation et les rejets urbains entraînent un grand mouvement de particules. Ces dernières, en suspension dans les eaux, les rendent turbides. Elles provoquent également par leurs dépôts parfois lointains des envasements lorsqu'elles sont transportées et étalées par les courants (**Lacaze, 1996**).

I.2.2. Pollution chimique

La pollution chimique est due au déversement de substances chimiques telle que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides, organochlorés et organométalliques), métaux lourds (Zinc, Cadmium, Mercure, ...) ou encore à la dissolution des sels minéraux (nitrates, nitrites et chlorures) (**Bellan et Perres, 1994 ; Galaf et Ghannam, 2003 in Boughrira, 2012**).

I.2.3. Pollution biologique

Toute sortes de microorganismes pathogènes, allant des parasites aux virus sont véhiculés par l'intermédiaire des déversements en mer d'eaux usées d'origine domestique ou agricole riches en matière fécale (**Soudan, 1968**).

Les bactéries et les virus peuvent être pathogènes pour les invertébrés, les poissons, et l'homme (**Lacaze, 1996**).

Chapitre I : Généralités

II. Les paramètres physico-chimiques du milieu marin

La pollution se traduit généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de la pollution consistera donc à mesurer, par des analyses ces caractéristiques (**Gaujous, 1995**).

Parmi ces caractéristiques nous citons:

II.1. La température (T)

La température est une grandeur physique importante pour la reconnaissance des masses d'eau, pour l'étude des mélanges des eaux et l'estimation des flux des chaleurs (**Gaujous, 1995**). En surface la température suit les variations climatiques, tandis qu'elle diminue progressivement avec la profondeur (**Aminot et Chaussied, 1983**).

Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants (**Rodier, 1997**). La température a été déterminée in-situ à l'aide d'une valise multiparamètre

II.2. La salinité (S)

La salinité (*Practical Salinity Unit*) est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin (**Aminot, 2004**), elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux. En océanographie physique, la mesure très précise de la salinité sert à calculer la masse volumique de l'eau de mer, et caractériser les masses d'eau et étudier leur mélange. En milieux côtiers et estuariens, la salinité est le traceur idéal des mélanges entre l'eau douce et l'eau de mer (**Aminot et Kérouel, 2004**).

II.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau de mer résulte de sa composition ionique et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO_2) entre l'eau et l'atmosphère. C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Le pH dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est-à-dire une modification de CO_2 (Respiration, photosynthèse, échange air-mer) entrainera donc une modification du pH (**Rodier, 2005**).

II.4. L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu marin qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques (température, échange air-mer et salinité), chimique (oxydation chimique) et biologique (photosynthèse, respiration et régénération) (**Rodier, 2005**). La teneur en oxygène dissous peut subir des variations importantes. Elle dépend de la température et de la salinité de l'eau, de la pression et de la température de l'air (**Burns et Saliot, 1986**).

Chapitre I : Généralités

III. Les hydrocarbures

III.1. Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques comportant essentiellement des atomes de carbone (C) et des atomes d'hydrogène (H). Leur formule brute est donc de la forme: C_nH_m , où n et m sont deux entiers naturels.

Sur un plan fondamental, les hydrocarbures constituent le squelette de base de molécules plus complexe de la chimie organique qui renferment toujours du carbone, le plus souvent de l'hydrogène mais aussi d'autres éléments comme l'oxygène, l'azote, le soufre, etc. (Lefebvre, 1978).

Un atome de carbone peut être relié à quatre d'hydrogène ou à d'autre atome de carbone, par des liaisons simple, double ou triples, (Fattal, 2008).

III.2. Classification des hydrocarbures

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

III.2.1.. Les alcanes (paraffines)- aliphatique

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, saturé, à chaîne droite (n-alcane) ou ramifiée (iso-alcane). On les appelle aussi paraffines. Ces alcanes représentent environ 30% du poids des pétroles bruts.

Dans le cas de pollutions marines, ces pétroles qui sont généralement peu nocifs ont une biodégradabilité rapide, surtout lorsque les chaînes sont droites (Fattal, 2008).

III.2.2. Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques

Les cycloalcanes sont aussi des hydrocarbures saturés avec des cycles. Ils ont un cycle constitué de six atomes de carbone formant une chaîne carbonée fermée.

Cette catégorie est représentée par des composés qui contiennent de 1 à 6 cycles, qui en plus peuvent être ramifiés (Fattal, 2008).

III.2.3. Les hydrocarbures naphténiques

Ils peuvent représenter entre 30 et 50 % des hydrocarbures totaux d'un pétrole brut. Ce sont des composés à chaîne fermée, formant la série cyclique. Deux ou plusieurs cycles, peuvent se condenser entre eux pour donner des hydrocarbures polycycliques. Ils peuvent être saturés (cyclo-alcanes : C_nH_{2n}), non saturés ou substitués (Soltani, 2004 ; Dalemont, 1998 in Roudi, 2014).

Chapitre I : Généralités

Quelques dérivés polycycliques sont aussi présents et certains d'entre eux, tels les stéranes et les terpanes sont caractéristiques d'un pétrole brut. Grâce à leur grande résistance aux différents phénomènes de dégradation dans le milieu, ils servent également pour le suivi d'une pollution pétrolière (Asia, 2012).

III.2.4. Les hydrocarbures aromatiques

En général, les hydrocarbures aromatiques ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier (Soltani 2004 in Rouidi, 2014), ils sont caractérisés par la présence dans leurs molécules d'au moins un cycle benzénique. Ces hydrocarbures sont insaturés puisque le noyau benzénique est formé de six atomes de carbone liés par des liaisons simples et présentes et outre une « insaturation » correspondant à six électrons (trois double liaisons) (Lefebvre, 1978).

Cette famille comprend les monoaromatiques (benzène et dérivés monoalkylés, polyalkylés et cycloparaffiniques) et les polyaromatiques de 2 à 7 cycles environ, dont les molécules à noyaux condensés constituent essentiellement les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) qui peuvent contenir en outre des cycles paraffiniques et des groupements alkyles branchés sur les noyaux (Bocard, 2006).

Par ailleurs, la genèse des pétroles explique pourquoi ils ne sont pas constitués uniquement d'hydrocarbures vrais, au sens chimique du terme, mais aussi de molécules hydrocarbonées contenant d'autres éléments qu'on appelle hétéroatomes, principalement le soufre, l'azote et l'oxygène, en proportions variables (tableau 1).

Tableau 1: Composition élémentaire des pétroles bruts (Bocard, 2006).

| Composants | % poids |
|------------|---------|
| Carbone | 84 à 87 |
| Hydrogène | 11 à 14 |
| Soufre | 0 à 6 |
| Azote | 0 à 1* |
| Oxygène | 0 à 8** |

Avec : * Souvent < 0,1 et ** Souvent < 1,0

Les composés soufrés (mercaptans, sulfures linéaires et cycliques) sont classés pour la plupart dans les familles saturées et surtout aromatiques, car leurs propriétés et les méthodes de séparation primaires ne les en distinguent pas (Bocard, 2006).

Chapitre I : Généralités

III.2.5. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques constituent une famille de plus d'une centaine de composés organiques, constitué d'atomes de carbone et d'hydrogène formant au moins deux cycles aromatiques condensés (Amiard, 2011). Ils diffèrent par le nombre de noyaux condensés ainsi que par leur agencement. Les HAP proviennent essentiellement de la combustion incomplète des hydrocarbures et surtout du diesel et du charbon. Ils sont générés par la combustion de produits fossiles (pétrole, gazole, essence, charbon...) (Kuony, 2005 ; Potelon, 1993 ; Samanta et al ; Ramade, 1992 in Rouidi, 2014).

Le nombre de HAP identifiés à ce jour est de l'ordre de 130. Parmi ceux-ci une liste de 16 composés est généralement considérée pour les études environnementales.

Ce sont les polluants qui ont été retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA) dès 1976 (Wilson et Jones, 1993 in Rouidi, 2014).

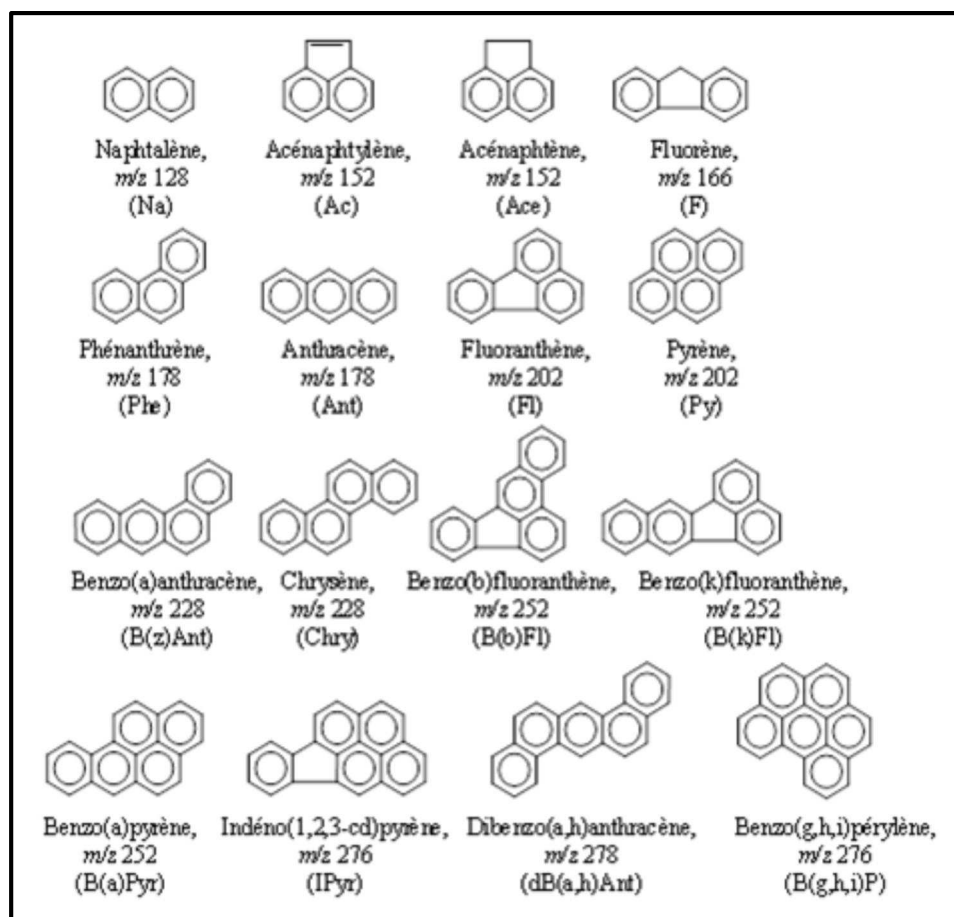


Figure 1: Structure et nomenclature des HAP
(Les seize HAP prioritaires de la liste de l'EPA).

Chapitre I : Généralités

III.2.6. Les résines

Regroupent essentiellement les composés contenant un ou plusieurs hétéroatomes leur conférant un caractère polaire marqué qui se traduit par une rétention sélective sur des adsorbants de séparation chromatographique ; ce sont principalement des composés oxygénés tels qu'aldéhydes, cétones, éthers cycliques et acides, en particulier acides naphthéniques, ainsi que des composés azotés (**Bocard, 2006**).

III.2.7. Les asphaltènes

Sont constitués par des composés hétérocycliques lourds et complexes, dont certains contiennent en particulier le nickel et le vanadium, qui sont maintenus en suspension micellaire dans le pétrole par les résines (des agrégats d'asphaltènes peuvent résulter d'un défaut de résines) et qui ont la propriété de précipiter lorsque le pétrole est dilué par un grand volume de paraffine légère liquide (propane, butane, pentane, hexane ou heptane) (**Bocard, 2006**).

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

III.3. Origines des hydrocarbures

Les hydrocarbures dans l'environnement aquatique peuvent avoir des origines naturelles ou anthropiques. Au voisinage de zones fortement industrialisées et urbanisées, les hydrocarbures d'origine anthropique semblent prédominer sur ceux d'origine naturelle (**Colombo et al., 1989**).

III.3.1. Origines naturelles ou origine fossile

C'est à dire les hydrocarbures (pétroles bruts et gaz naturel) sont issus de transformations diverses et successives de matière organique provenant du phytoplancton marin et de végétaux terrestres, transformations d'abord principalement biochimiques, puis thermiques ; à l'échelle des temps géologiques, après que la fraction de dépôts organiques était sédimenté et se soit lentement enfuie en profondeur. Une réorganisation chimique avec polymérisation, condensation, élimination partielle des groupements fonctionnels a d'abord conduit au kérogène solide (diagénèse) qui s'est lui-même transformé par dégradation, sous l'effet de condition de température et de pression de plus en plus sévères au fur et à mesure qu'il s'est enfoncé dans l'écorce terrestre, en un mélange complexe d'hydrocarbures liquides et gazeux (catagénèse). Une fois formés, le pétrole et le gaz ont migré vers des réservoirs constitués de roche poreuse couverte d'une couche imperméable souvent argileuse: ce sont les gisements de pétrole et de gaz, certaines huiles brutes ayant continué à être le siège d'une activité bactérienne (**Bocard, 2006**).

Chapitre I : Généralités

III.3.2. Origine anthropique

III.3.2.1. Origine pétrolière

Les installations de production et de raffinage situées près ou sur les côtes entraînent de nombreux rejets (**O'Rourke et Conolly, 2003 ; Spormann et Widdel, 2001 in Rouidi, 2014**). Les hydrocarbures pétroliers constituent la classe de polluants organiques, la plus importante dans les mers et les océans. Les transports du pétrole, dont la voie maritime est la première en terme de quantité transportée, entraînent aussi des déversements de toutes sortes (collisions/naufrages de navires, nettoyages sauvages de cuves, rupture de pipelines, fuites diverses).

III.3.2.2. Origine pyrolytique

C'est die formées lors de la combustion de nombreuses substances organiques et de combustibles divers (bois, charbon, fiouls de centrales thermiques et de chauffage, carburants automobile) (**Bocard, 2006**). La température de combustion et la nature de la matière organique utilisée vont influencer fortement sur la quantité et la structure des composés émis, notamment celles des hydrocarbures aromatiques (**Asia, 2012**).

III.4. Les propriétés physiques des hydrocarbures

III.4.1. Densité

La densité détermine la flottabilité des hydrocarbures. Les paraffiniques ; au poids moléculaire faible ont tendance à rester en surface ($d= 0,8$ à 1), alors que les naphènes ou asphaltènes, plus lourds, peuvent couler.

Outre le poids moléculaire, plusieurs autres facteurs contribuent à modifier et augmenter la densité. Il s'agit de la température, de l'évaporation ou encore de l'association avec d'autres particules. Il faut noter que la densité des mélanges d'hydrocarbures augment avec le temps au fur à mesure que les fractions volatiles s'évaporent, ce qui peut faire couler les parties résiduelles des mélanges (**Fattal, 2008**).

III.4.2. Viscosité

La viscosité d'un fluide traduit sa résistance à l'écoulement, elle est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Cette viscosité s'exprime en centistoke (cSt-viscosité cinématique) pour une température donnée. Plus la valeur de viscosité est élevée, plus la fluidité est élevée. Cette propriété régit la vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbure puis le degré de pénétration dans les sédiments lorsqu'elle arrive à la cote. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins in pénètre le sédiment. (**Owens, 1994 in Fattal, 2008**).

Chapitre I : Généralités

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**).

III.4.3. Point d'écoulement

Le point d'écoulement est la plus basse température à laquelle l'hydrocarbure continue de couler. Si la température ambiante est à son point d'écoulement, le produit en question se comporte comme un solide. La majorité des hydrocarbures a un point d'écoulement inférieur à 0 °C. En dessus d ce seuil de température, l'hydrocarbure se fige.

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

III.4.4. Point éclair

Le point éclair est la plus basse température à laquelle des fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumis à une étincelle, il caractérise la teneur en fractions volatiles du polluant par une mesure indirecte de sa tension de vapeur et détermine la température à laquelle il pourra être chauffé sans danger. Certaines essences ont des points d'éclair à -40°C alors que le mazout, que l'on trouve communément dans une chaudière, à un point d'éclair aux alentours de 55°C (**Fattal, 2008**)

III.4.5. 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. Par contre, il faut des températures de plus de 100°C pour évaporer les hydrocarbures lourds. Ainsi, un pétrole déversé, au cours d'une journée chaude et ensoleillée, voit une partie de sa fraction passer de la phase liquide à la phase gazeuse. 1 /3 du brut « léger » déversé s'est ainsi évaporé. Avec l'évaporation, les hydrocarbures restent deviennent plus visqueux et plus denses. (**Fattal, 2008**).

III.4.6. La tension superficielle

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

Chapitre I : Généralités

III.5. Evolution et altération des hydrocarbures

III.5.1. Les altérations physiques

Dès que les hydrocarbures se déversent dans le milieu ils vieillissent et sont soumis à des processus d'altération et de modification de leurs propriétés physico-chimiques initiales. Les facteurs de la dégradation dépendent de la nature du pétrole et du milieu ambiant, c'est-à-dire, de la température et de l'énergie mécanique des vagues.

III.5.1.1. Etalement

Les hydrocarbures étant plus légers que l'eau, immédiatement après leur déversement, ils forment une nappe qui tend sous l'action des forces de gravité et de tensions superficielles, à s'étaler constituant ainsi un film qui couvre une large surface de la mer, et dont l'épaisseur diminue avec la viscosité et le temps. Les vents, les vagues et les courants superficiels sont les principaux facteurs qui contribuent à l'étirement, au déplacement et à la fragmentation de la nappe (**Dalemont, 1998 in Rouidi, 2014**).

III.5.1.2. Evaporation

Ce phénomène est l'élément le plus important de l'altération des hydrocarbures, il concerne les produits volatils à faible poids moléculaire, et contribue à l'élimination des hydrocarbures de la surface de l'eau vers l'atmosphère (**Rouidi, 2002 in Rouidi, 2014**). Ce qui va entraîner une importante modification des propriétés physiques du reste de la nappe. Ce phénomène peut provoquer l'élimination de 30 à 50 % des hydrocarbures d'un brut typique et le taux de perte par évaporation décroît de façon exponentielle avec le temps (**Lacaze, 1980**).

Le passage d'hydrocarbure fluide à sa forme gazeuse est plus ou moins long. Il dépend des conditions climatiques (vent et température), du type de pétrole et de l'épaisseur de la nappe. Ainsi, de l'essence et /du gazole s'évaporent totalement et plus rapidement dans des températures ambiantes chaudes et avec des vents notables. (**Fattal, 2008**).

III.5.1.3. Dissolution

La dissolution est un processus de dissociation des molécules du pétrole dans l'eau de mer et il est généralement réduit. La solubilité des hydrocarbures dans l'eau dépend à la fois de leur poids moléculaire et de leur structure chimique, (**Bocard, 2006**), ils sont faiblement solubles (1%) et seules les fractions aromatiques légères peuvent rapidement se dissoudre au contact de l'eau. Cette dissolution qui disperse le polluant est fonction de la viscosité, du taux de solubilité de l'hydrocarbure ainsi que des conditions environnementales. La solubilisation des hydrocarbures permet d'accélérer les réactions de dégradation (photo oxydation et biodégradation), par l'augmentation de l'interface eau-pétrole (**Asia, 2012**), Il est important de noter, que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour

Chapitre I : Généralités

l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (Rouidi, 2002 in Rouidi, 2014).

III.5.1.4. Emulsification

L'émulsion est la dispersion d'une phase dans une autre, (Bocard, 2006), il existe deux types d'émulsions qui peuvent se produire: l'huile dans l'eau (émulsion directe) et l'eau dans l'huile (émulsion dite inverse avec «mousse» (voir la figure 2). Elle dépend du type d'hydrocarbures et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures. Cependant, si celui-ci assisterait à une trop important, les émulsions ne seraient pas stables et, dans ce cas, on assisterait à une dispersion (Chalansonnet et Joyeux, 2005 in Fattal, 2008).

La première émulsion (huile dans l'eau) concerne les pétroles légers et moyens. Elle manifeste par la fragmentation de la nappe en gouttelettes de pétrole, qui s'intègrent à la colonne d'eau. L'augmentation de l'interface huile/eau permet d'accélérer le processus de biodégradation. (Ritchi, 1993 in Fattal, 2008).

L'émulsion inverse (eau dans l'huile) qui est favorisée par le brassage, intègre des microgouttelettes d'eau à la nappe d'hydrocarbures. Ce processus entraîne alors une augmentation du volume et de la viscosité. Le produit finale est stable, épais et plus volumineux. La couleur des hydrocarbures transformés vire au marron rouille. (Fattal, 2008).

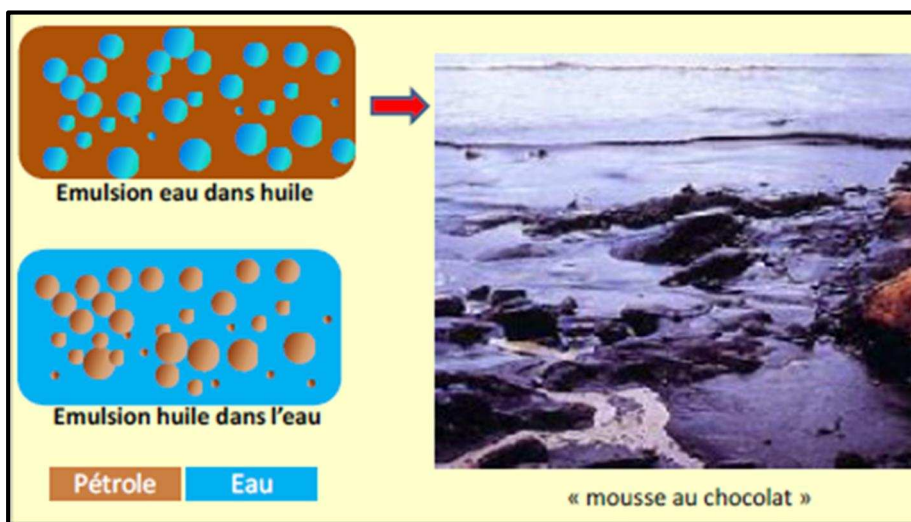


Figure 2: Les émulsions formées par le pétrole dans l'eau de mer.

III.5.1.5. Sédimentation

La sédimentation est le passage du pétrole de la masse d'eau ou de la surface vers le fond; elle se présente lorsque la densité des résidus goudronneux excède celle de l'eau de mer (Lakaze, 1980). Les facteurs responsables de ce phénomène sont principalement l'adsorption (floculation) et des dégradations physico-chimiques du polluant. Ainsi, l'évaporation et la

Chapitre I : Généralités

solubilisation des composés de faible masse moléculaire entraînent une augmentation du rapport poids/volume. Ce processus associé à d'autre (dégradation par oxydation) favorise la formation de boulette de goudrons qui flottent dans un premier temps, puis au fur et à mesure que leur densité augmente, finissent par couler. (Fattal, 2008), La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradables par voie naturelle (Mazouz et Smail, 1996 in Rouidi, 2014).

III.5.2. La modification chimique

La modification chimique touche la structure même des molécules, elle est principalement liée à la photo-oxydation (Fattal, 2008).

Le processus d'oxydation des hydrocarbures exposé à la lumière est complexe. L'oxydation intéresse principalement les films minces d'hydrocarbures frais ou les couche superficielles d'une nappe épaisse (Marchand, 1998 in Fattal, 2008). Un des facteurs de ce processus est l'insolation car elle casse les liaisons moléculaires, entraînant la formation de molécules oxygénées de radical carbinyle (CO) et/ou de radical hydroxyle (OH). L'oxydation est dite primaire lorsqu'elle a supprimé un atome de carbone, secondaire lorsqu'elle en a supprimé deux. Des essais en laboratoire ont montré qu'un film de pétrole de 2,5 µm d'épaisseur se dégrade sur sa face supérieure en une centaine d'heures (Lacaze, 1980).

III.5.3. La modification biologique :

La biodégradation est un processus biologique naturel très important dans la dépollution de l'environnement marin. Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries, qui restent qualitativement et quantitativement prépondérantes pour métaboliser ces substrats (Bertrand et Mille, 1989; Mac Naughton et al., 1999 in Rouidi, 2014), la dégradation des hydrocarbures se fait dans les milieux aérobies et anaérobies (Fattal, 2008), 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 (Klug et Markovetz, 1971; Blasig et al., 1984; Fedorak et al., 1984; Meulenberg et al., 1997; Yamada-Onodera et al., 2002 ; Soltani, 2004. Walker et al., 1975 in Rouidi, 2014) signalent que certaines micro algues sont capables d'attaquer les hydrocarbures, dont l'exemple de *Prothothecozopsis* qui dégrade 40 % du pétrole brut.

Généralement tous les constituants des pétroles sont biodégradables, mais que la vitesse de dégradation est très variable et peu connue dans les conditions naturelles. Cette vitesse décroît ainsi :

n-alcanes > iso-alcanes > cyclo-alcanes > aromatiques (Lacaze, 1980).

La biodégradation lente dans la colonne d'eau et au fond dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels, il y a la température de l'air et de l'eau, la surface de nappe exposée, le type

Chapitre I : Généralités

de microorganismes, ainsi que d'autres facteurs. En effet, plus une nappe est étalée et/ou dispersée, plus la dégradation est facile. Enfin, l'activité bactérienne est favorisée, d'une part par la présence de matière en suspension sur laquelle se fixe les microorganismes (**Owens, 1994 in Fattal, 2008**) et d'autre part par la présence d'éléments nutritifs dans un milieu oxygéné (**Chalansonnet et Joyeux, 2005 in Fattal, 2008**).

On résume toutes les altérations physiques et chimiques des hydrocarbures dans la figure 3 :

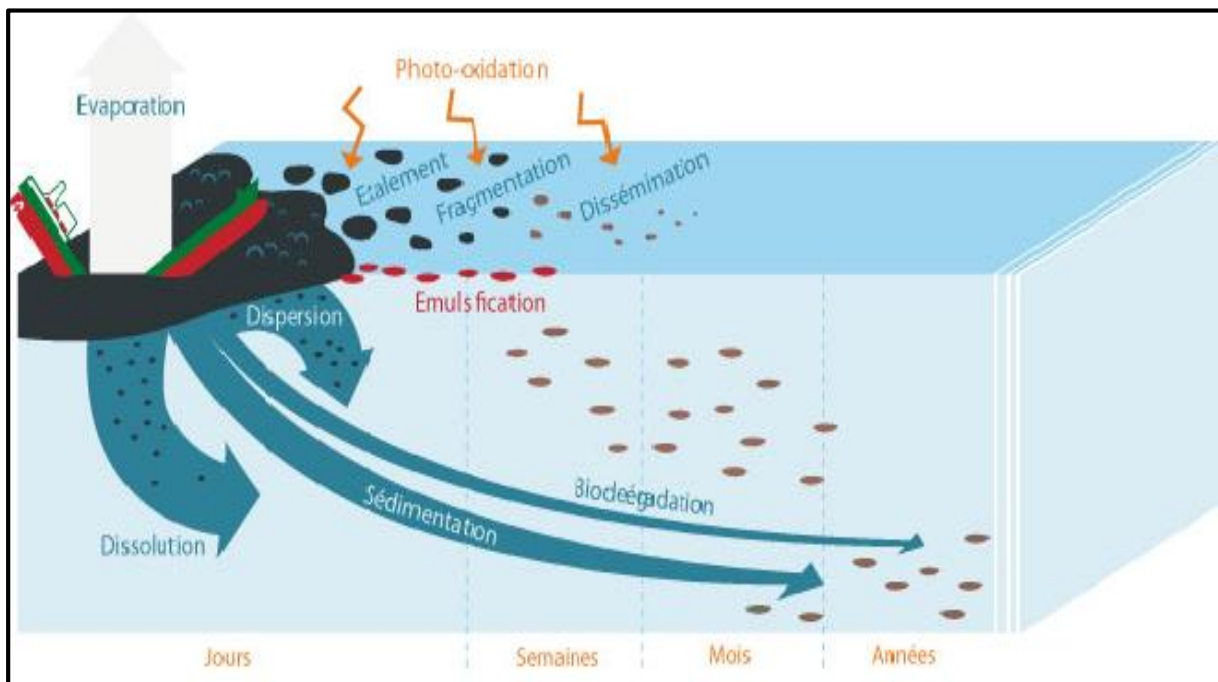


Figure 3 : Devenir des hydrocarbures dans l'eau (la source : **CEDRE, 2006**).

Il est possible de résumer les processus de transformation et d'évolution des hydrocarbures déversés en mer. En effet, trois grandes rubriques contiennent des variables qui participent aux modes d'évolution des hydrocarbures en mer.

Il s'agit de la nature des hydrocarbures, des conditions environnementales, ainsi que d'autres paramètres (tableau 2).

Chapitre I : Généralités

Tableau 2 : Paramètres influents sur les modes d'évolution des hydrocarbures en mer (Fattal, 2008).

| Evolution | Nature pétrole | | | | Environnement | | | | | Autres | | | |
|-----------------------|-------------------|-----------|---------------|------------|---------------|----------|-------------|------|---------|-------------|-------------------|-----------|-----------------------|
| | Poids moléculaire | viscosité | % d'asphalène | solubilité | température | brassage | évaporation | vent | oxygène | floculation | élément nutritifs | étalement | épaisseur de La nappe |
| Densité | X | | | | X | | X | | | X | | | |
| Viellissement | X | X | | X | X | X | | | | | | | |
| Evaporation | X | X | X | | X | X | | X | | | | | X |
| Dissolution | | X | | X | X | X | | | | | | | |
| Emulsion | | | X | | | X | | | | | | | |
| Biodégradation | X | X | X | X | X | X | | | X | | X | X | X |

III.6. Impacts des hydrocarbures sur l'environnement

III.6.1. Impacts d'ordre physique

La nappe d'hydrocarbure répandue à la surface de l'eau constitue une barrière nette pour les échanges air / mer de sorte qu'elle :

- diminue le renouvellement d'oxygène
- s'oppose un passage de la lumière freinant la synthèse chlorophyllienne et entraînant une élévation de la température qui favorise la prolifération de microorganismes consommateurs d'oxygène.

III.6.2. Impacts d'ordre biologique sur :

III.6.2.1. La faune et la flore marine

Les effets d'une pollution par les hydrocarbures sur la communauté phytoplanctonique dépendent de plusieurs facteurs comme de la quantité déversée, de la nature des hydrocarbures, de la température, de l'intensité lumineuse, des espèces, ou encore de la physiologie des organismes.

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

Les premiers effets d'un déversement par hydrocarbures sont le piégeage et l'engluement des organismes situés dans les premiers centimètres d'eau, par les nappes. Les organismes

Chapitre I : Généralités

concernés par ce premier impact sont les œufs, larves de poissons (ichthyoplancton), et plancton temporaire (méroplancton) (**Peterson et al., 2003, in Fattal, 2008**).

Peu importants les volumes déversés, il suffit souvent de faibles quantités d'hydrocarbures pour que des effets se fassent sentir. Ainsi, des œufs affectés par une pollution, subissent des altérations chromosomiques et cellulaires à partir de 0,7µg/l de HAP (**Fattal, 2008**).

L'impact sur les communautés zooplanctoniques est moins évident car il est difficile de distinguer des phénomènes anormaux d'une variabilité naturelle. Cette dernière est intimement liée aux conditions écologiques comme le brassage ou la saisonnalité (**Cedre, 2000**).

Cet impact est variable selon les animaux planctoniques (**Bodennec et al ; 1983 in Sellali, 1996**):

Pour l'holoplancton (permanent), l'impact est moins important du fait de la reconstitution rapide du stock par les espèces les plus résistantes.

Pour le méroplancton (temporaire), la destruction nécessite la coïncidence entre son apparition dans le plancton (limitée à quelques jours) et la présence des hydrocarbures. Le temps de génération plus long (6 à 12 mois) sera à l'origine d'un déficit d'au moins une classe d'âge.

La pollution engendre moins de conséquences notamment avec le plancton à cycle de vie court, car les pertes sont compensées par de forts taux de reproduction des survivants ou grâce à des apports extérieurs. (**Valera et al., 2005, in Fattal, 2008**). Les algues benthiques (phytobenthos) ont une faible sensibilité aux hydrocarbures, l'effet se traduit par l'engluage ou la brûlure des tissus dans le cas d'un contact direct avec le pétrole. Les conséquences économiques sont alors importantes pour les espèces exploitées. Les effets à long terme sont peu importants; en générale, une bonne restauration des champs d'algues est constatée quelques temps après la disparition de la perturbation (**Fattal, 2008**).

Concernant le 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 les 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 les macrofaunes des substrats meubles que pour celles des substrats rocheux (**Bodennec et al., 1983 in Sellali, 1996**).

III.6.2.2. Les bactéries

Certaines espèces peuvent proliférer à la faveur d'autres, inhibées par la présence des hydrocarbures. Celles qui se développent sont les bactéries qui puisent généralement dans les hydrocarbures, carbone et énergie. Enfin, dans quelques cas, des bactéries comme *Vibrio*

Chapitre I : Généralités

alginoliticus ont des capacités de dégradation du polluant (**Buckley, 1980, in Lejeune, 2005**).

III.6.2.3. Les oiseaux et les mammifères

Les hydrocarbures qui se déversent en mer de manière chronique ou accidentelle constituent l'aléa qui fait courir des risques importants aux oiseaux et mammifères. Les rejets opérationnels tuent en moyenne près de 300000 oiseaux tous les ans (**Environnement du Canada, 2004, in Fattal, 2008**).

La vulnérabilité des oiseaux dépend de plusieurs variables comme le types d'espèce (son origine géographique, sa structure d'âge, les stratégies démographiques du groupe, le mode de reproduction), le type d'hydrocarbures, l'étendue de la nappe, le lieu de la pollution (**Fattal, 2008**).

Il existe plusieurs causes importantes de mortalités directes ou indirectes. Le premier impact direct est l'engluement des plumes qui perdent ainsi leur caractère protecteur. Dès lors que les plumes sont engluées, on assiste à des réactions en chaîne. L'oiseau est alourdi ne peut plus voler. Par ailleurs, en tentant de se nettoyer (en laissant les plumes), il ingère du polluant et subit un stress hypothermique qui réduit sa flottabilité et le conduit à la noyade (**Sloan, 1999, in Fattal, 2008**). Même si certains oiseaux semblent moins affectés, ceci ne signifie pas pour autant qu'ils soient tirés d'affaire et une faible perte d'isolation thermique entraîne un refroidissement, ainsi qu'une réaction de la capacité à se mouvoir ou à s'alimenter (**Chemineau et Lidour, 2005, in Fattal, 2008**). Avec l'ingestion de nourriture, d'eau polluée ou par simple nettoyage, l'oiseau intoxiqué (dépend en partie du type d'hydrocarbure) à des manifestations physiques comme des tremblements, ou des pertes d'équilibre. Il peut aussi se déshydrater et finir par mourir. Un oiseau qui a ingéré des hydrocarbures est aussi susceptible d'avoir ses reins, poumons, foie, intestin..., atteints par les produits toxiques (**Ferlaux et al., 2002, in Fattal, 2008**).

III.6.2.4. Les ressources exploitables

L'impact d'une pollution par les hydrocarbures sur les ressources exploitables dépend de facteurs extrinsèques comme la nature des hydrocarbures, la durée d'exposition de la ressource, la biodisponibilité des hydrocarbures et la saison. Elle dépend aussi de facteurs intrinsèques qui incluent le type et le stade des espèces, l'alimentation, leur capacité à métaboliser et à détoxifier les composés des hydrocarbures, ainsi que leur mobilité (**Fattal, 2008**).

Les atteintes sur les ressources exploitables sont d'ordre physique (engluement), biologique, toxicologique, et nous le verrons plus tard, économique (**Rozen, 2005, in Fattal, 2008**).

Chapitre I : Généralités

Les espèces sédentaires sont plus vulnérables que celles qui sont mobiles et celles des zones intertidales plus sensibles que celles qui sont subtidales (**Fattal, 2008**).

Les effets des hydrocarbures sur les organismes ont des perturbations sur la mortalité d'une partie ou de la totalité des organismes (tableau 3).

Tableau 3 : Contribution de pétrole (10% de fraction aromatique) et effet sur les organismes marins (source: simplifié d'après Hyland et Schneider, 1976)

| Concentration de pétrole dans l'eau de mer | Impact sur la faune et la flore |
|--|---|
| 100 ppm | Mort de la faune marine et des mollusques gastéropodes |
| 50 ppm | Mort des poissons et des mollusques bivalves |
| 10 ppm | à partir de ce seuil toxicité pour la majorité des organismes |
| 1 ppm | Mort des larves et juvéniles, inhibition de croissance du phytoplancton et décroissance de l'activité des moules |
| 100ppb | en dessous de ce seuil: effets non mortels |
| 10ppb | Baisse de fécondité chez les vers, anomalies génétique chez les poissons et modifications du comportement des invertébrés |
| 1ppb | Impact sur la croissance du phytoplancton |

Nous avons vu que les larves, œufs et juvéniles de poissons étaient plus sensibles que des individus adultes, en raison de leur manque de barrières de protection, de leur proximité de la surface ou encore pour les pour les deux raisons à la fois. La mortalité massive du plancton a pour conséquence de faire baisser la biomasse de certaines espèces (**Fattal, 2008**).

Dans le domaine des impacts, toutes les catastrophes ont eu des effets négatifs. Ainsi, au moment de la catastrophe de l'Argo Merchant (1976), la mortalité a affecté les larves (**IPIECA, 1997, in Fattal, 2008**), Après l'accident de l'Exxon Valdez, une recherche en laboratoire a montré qu'une exposition prolongée à des HAP, même en très faible concentration (1ppb), avait des effets sur les œufs de saumon (**Peterson et al., 2003, in Fattal, 2008**). Ceci viendrait confirmer des observations faites *in situ*, où l'on a observé encore, que deux ans après la marée noire, la mortalité continuait à avoisiner les 40-50% (**Rozen, 2005, in Fattal, 2008**).

Chapitre I : Généralités

Les effets létaux n'affectent pas uniquement le plancton mais aussi les poissons, les coquillage, les crevettes et autres espèces (Grizel et al., 1981, *in* Fattal, 2008).

III.6.2.5. La santé humaine

En l'absence d'un contact prolongé de l'homme avec le polluant ou d'une ingestion du produit, les risques sur la santé humaine sont considéré comme limités ou négligeables, par contre, le contact permanent avec des hydrocarbures lourds, contenant des HAP, provoque sur le long terme des troubles neurologiques et neurophysiologiques (Baars, 2002, *in* Fattal, 2008).

L'impact sur la santé dépend aussi du temps d'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés (Fattal, 2008).

Tableau 4: Effets à court et long terme d'une pollution par les hydrocarbures sur les organismes et les peuplements (source, d'après Cedre, 1990).

| Peuplement | Sensibilité | Effets à court terme | Effet à long terme |
|--|--|--|---|
| Algues | Faible | Engluement ou nécrose des tissus | Bonne restauration |
| Flore des marais Marins Et estuariens | Variable suivant les espèces, l'état de développement des plantes et les périodes de l'année | Engluement des parties aériennes | Restauration longue Erosion du marais Modification de la diversité spécifique |
| Mollusques intertidaux | Forte en général | Asphyxie ou contamination | Accumulation par les filtreurs Altération de la reproduction et de la croissance |
| Ecosystème benthique Rocheux | Forte en général | Asphyxie ou Contamination | Dépend de la durée de contact Dans la zone battue, l'effet est faible |
| Poisson | Faible pour les pélagiques Forte pour les benthiques | Asphyxie par engluement sur les branchies Plaies chez les poissons fouisseurs dans des sédiments faiblement pollués | Désaffection de la zone polluée |
| Oiseaux | Variable (forte pour les plongeurs) | Engluement du plumage et contamination | Désaffection de la zone polluée |

Chapitre II : Zone d'étude

Chapitre II : Zone d'étude

Baie de Bou-Ismaïl

1. Situation géographique

La baie de Bou-Ismaïl (Algérie) se trouve dans le sous bassin algérien de la méditerranannée occidentale entre 2° 54 Est-36° 48 Nord et 2° 24 Est-36° 38 Nord. Elle est orientée du Sud-Ouest au Nord- Est avec une ouverture de 40 Km et une superficie d'environ 350 Km² (Houma, 2009). Elle est considérée comme l'une des baies les plus importantes de la côte algérienne.

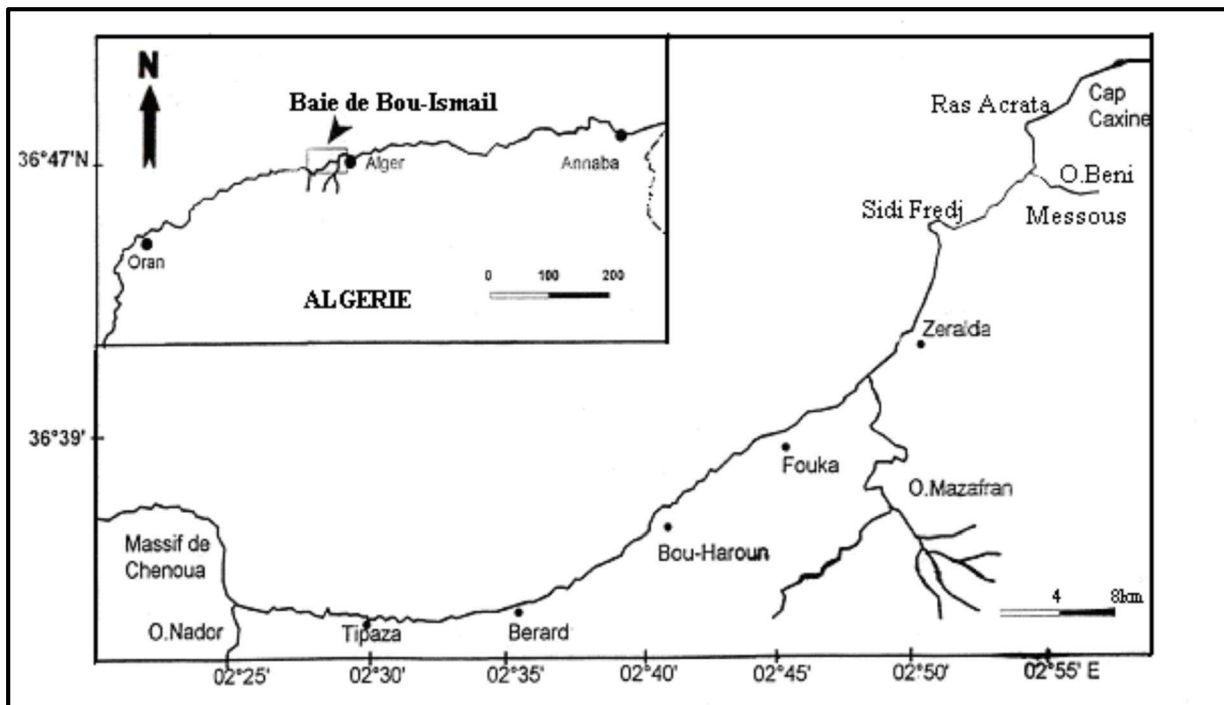


Figure 4: Situation géographique et localisation de la baie de Bousmail (Bachari Houma, 2009).

2. Plateau continental

Le plateau continental est, d'une manière générale, très étroit selon Vaissiere et Fredj (1963). La limite la plus extrême du plateau continentale au niveau du mont Chenoua atteint 7 milles. Ainsi la surface du plateau continentale de la baie de Bouismail est de 509 Km² avec 70% de la surface chalutable (Chavance et Girardin, 1986). Le plateau continental est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre 1% (Asso, 1982), il représente une inflexion nette autour de l'isobathe 100m.

Situe à 45 km à l'Ouest d'Alger, Leclair (1972) a adressé une carte de la couverture sédimentaire de toute la baie de Bou-Ismaïl, il a dégagé ainsi trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutables, qui sont comme suit:

Chapitre II : Zone d'étude

- Le prolongement du massif de Chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras-Nador depuis la côte jusqu'à l'isobathe 180 m en direction Nord Nord-Est.
- Entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la côte jusqu'à l'isobathe 100 m.
- Depuis les fonds de 110 à 150 m au Nord de Bouismail jusqu'à la hauteur de Sidi-Fredj.

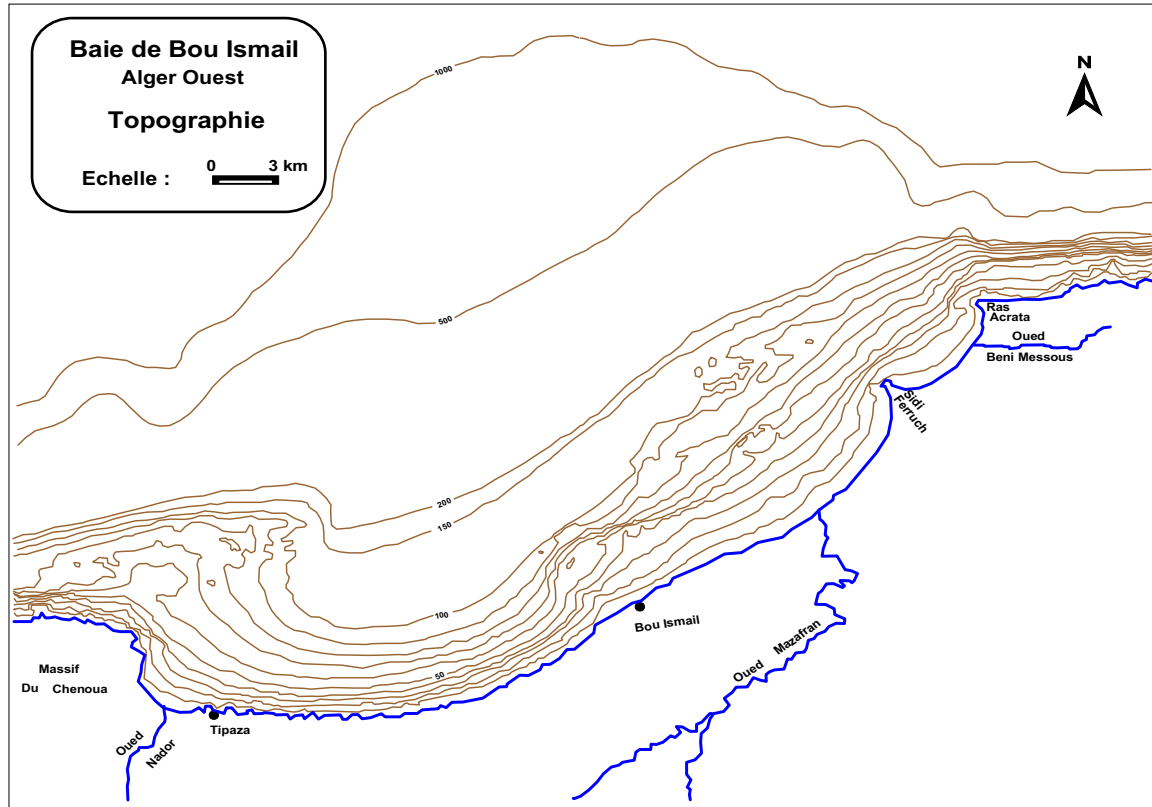


Figure 5: Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972).

3. Sédimentologie

Vers l'embouchure de oued Mazafra et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt fluvio marin et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza (Al Sid Chikh et al.,2009).

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie. Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur.

Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), un dépôt de sable moyen et gravier. (LEM, 1998 in Bachari Houma, 2009). L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès,

Chapitre II : Zone d'étude

identifiés: les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux.

La répartition de ces faciès n'est pas identique, ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologiques propres, fut déjà signalée par Belkessa (1999). Les vases pures sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région Est. Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale ; les sables graveleux se limitent au secteur oriental. (LEM, 1998 in Bachari Houma, 2009).

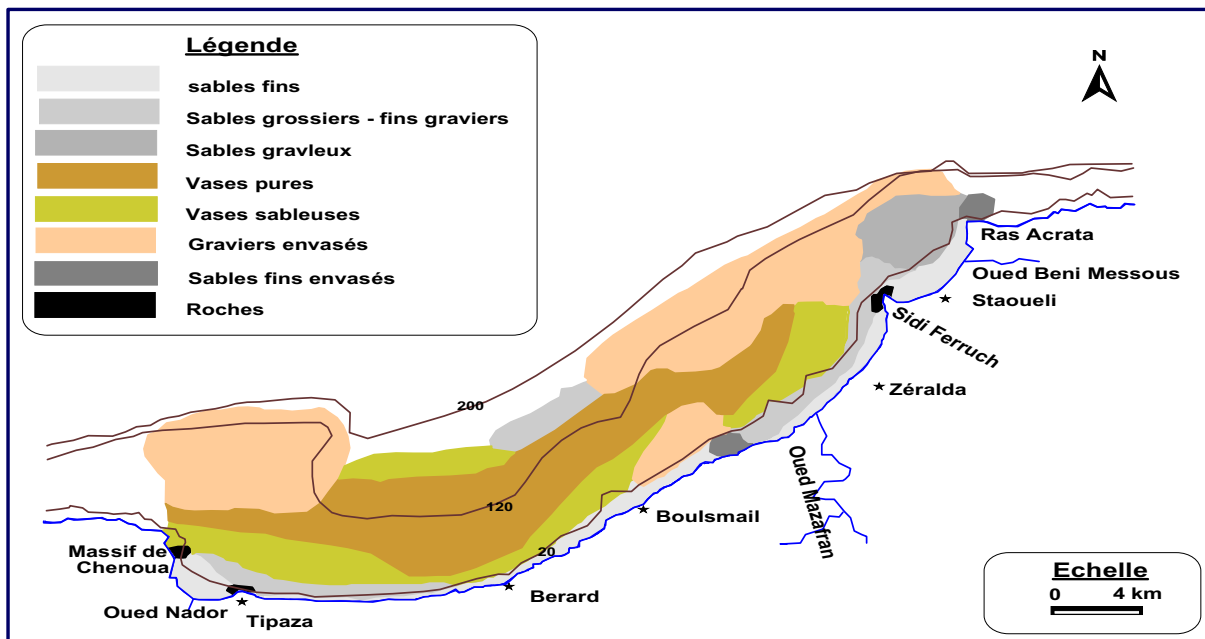


Figure 6: Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).

4. Réseau hydrographique

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes, trois oueds déversent dans cette baie :

- **L'oued Mazafran** : possède un bassin versant de 1850 km², c'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie. Son débit solide est estimé entre 1400 et 1800 t/km², tandis que le débit liquide à 43.8 millions m³/an. Le débit solide à l'embouchure de l'oued est d'environ trois millions t/an. Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued : marqué par un long étiage de Juin à début Décembre avec des débits représentant 17,38% du débit liquide annuel. Entre Décembre et Avril, ces débits sont 82,61%, débouchant au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zéralda avec un débit de 7.566 m³/s.

Chapitre II : Zone d'étude

- **L'oued Nador** : Présente un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 Km². Son débit liquide est de 28 millions m³/an (0,89 m³/s). Il regroupe trois oueds qui jouent un rôle important dans les apports en eaux usées et sédimentation.

- **L'oued de Beni-Messous** : Est situé entre El-Djamila et « club des pins » à 18 Km à l'ouest d'Alger. Son débit est faible par rapport au débit des oueds précédemment cités et estimé à 7,7 millions m³/an (0.245 m³/s) (**Benzohra, 1993**).

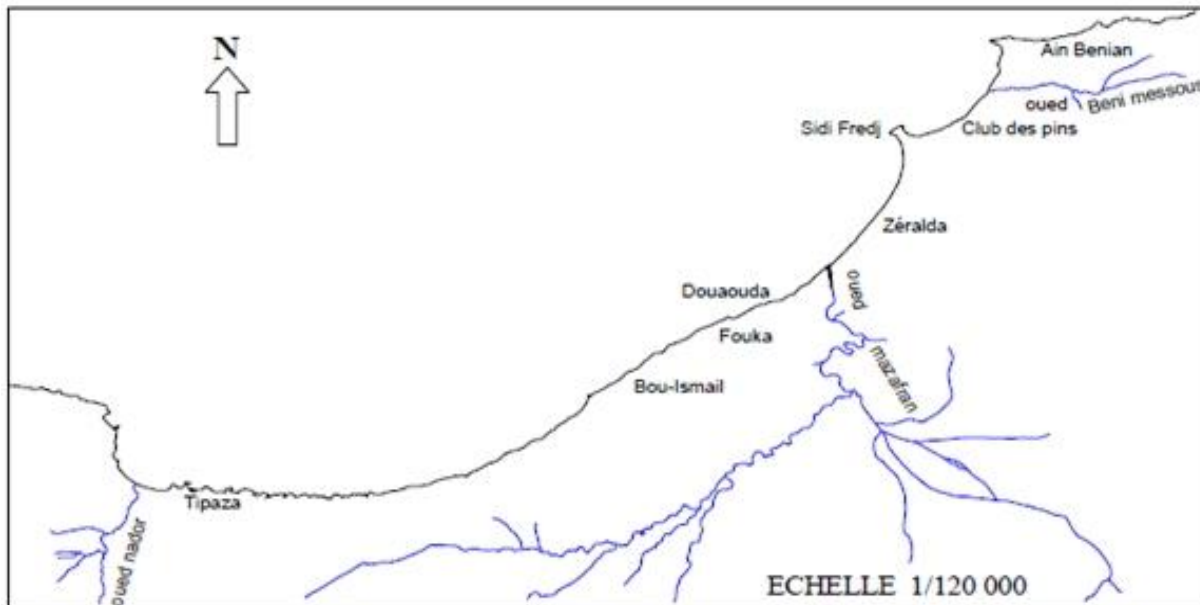


Figure 7: Le réseau hydrographique de la baie de Bousmail (**Bachari Houma, 2009**).

5. Facteurs hydrodynamiques

5.1. 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.

La cote Algérienne est traversée par un courant général dénommé courants Algérien résultant d'un écoulement d'eau atlantique à travers le détroit de Gibraltar, le courants Algérien pénètre sous forme de veine et circule d'Ouest en Est, et dès 1° et 2° Est, il donne naissance à des méandres et des tourbillons côtiers (50 -100 km) associés à des upwellings (**Millot, 1989**).

En absence de courant permanent ou de marée suffisamment importante, les courants induits par la houle au large ou à la cote sont à peu près les seuls à agir sur la sédimentation (**Caulet, 1972 in Boughrira, 2012**).

Chapitre II : Zone d'étude

5.2. Les houles

D'une manière générale la houle est définie comme une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau et dépend du régime des vents.

- **Les houles hivernales** : sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la cote, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin.
- **Les houles estivales** : sont de direction Nord-Est, elles entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest dès leurs arrivées tangentiellement à la cote avec transfert des sédiments qui engraisent le rivage (**Braik, 1989 in Aouidad 1997**).

6. Régime des vents

Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bouismail 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 amplitudes (**Asso, 1982 in Zeghdoudi, 2006**).

7. Température de l'eau

La température de l'eau est un facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution géographique des espèces marines. Elle détermine les périodes de migrations et de reproduction et bien d'autres facteurs éthologiques et physiologiques, surtout chez les espèces pélagiques.

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

Mouhoub (1986) situe les maxima de la température superficielle d'août à octobre et les minima de la température superficielle de février à mars. Les eaux profondes, resteraient (**Mouhoub, 1986**) relativement stables. Une homothermie est remarquée en toutes saisons et la température est d'environ 13°C à des profondeurs supérieures à 100 m (**Lalami-Taleb, 1970**).

8. Salinité

Du point de vue hyalin, une certaine homogénéité des eaux est notée au niveau de la baie de Bouismail. La salinité varie de 0,1psu à 0,2psu entre la surface et le fond (**Lalami-Taleb, 1970**) mais décroît à l'embouchure des oueds Mazafran et Nador pour atteindre 36psu.

Chapitre II : Zone d'étude

9. Etat de pollution de la baie de Bou-Ismaïl

La pollution en baie de Bou-Ismaïl a depuis longtemps été de type domestique car les eaux usées rejetées dans la baie provenaient principalement des agglomérations et des villes côtières ainsi que des complexes touristiques, Cependant avec le développement démographiques et l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture et surtout de l'industrie. Les Oueds qui se déversent dans la région et qui sont eux aussi des vecteurs de pollution notamment pendant les périodes orageuses, ils charrient vers la mer les eaux de lessivage des terres agricoles, des eaux usées chargées d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes : huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds. (Voire tableau).

Tableau 5: Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (Inal, 2011).

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

Chapitre II : Zone d'étude

A tout cela s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie :
Port de pêche de Bouharoun, port de pêche de Khemisti, port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, abris de pêche d'El-Djamila, port de plaisance de Sidi-Fredj et port de plaisance de Palm Beach.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

Chapitre III : Matériel et Méthodes

I. Méthodes d'analyses des hydrocarbures

Les techniques d'analyse des hydrocarbures dans l'eau sont multiples et variées. Elles sont fonctions du but recherché, leur niveau de performance est essentiellement lié à leur coût. On distingue principalement ; les méthodes spectroscopiques, les méthodes chromatographiques et les méthodes couplées. Dans notre travail, on a analysé les hydrocarbures aromatiques polycycliques par la méthode spectroscopique, cette méthode nécessite un traitement des échantillons qui doit comprendre :

- Extractions des hydrocarbures par un ou plusieurs solvants organiques (hexane).
- Concentration des extraits et purification.
- Analyse par spectroscopie.

Parmi les méthodes utilisées pour l'identification et la quantification des hydrocarbures totaux dans le milieu marin "les méthodes spectroscopiques", on a la spectrofluorescence à rayonnement Ultraviolet (SFUV).

II. Matériels utilisés

Le tableau suivant énumère tout le matériel utilisé et nécessaire au cours de cette étude, concernant les marques des produits utilisés, elles citées dans le tableau de l'annexe 2.

Tableau 6: Matériel utilisé pour le traitement des hydrocarbures aromatiques polycycliques

| Verreries (verre Borosilicaté) | Produits chimiques | Appareillages |
|-----------------------------------|--|--|
| Bouteilles en verre fumés de 2,5l | Acétone (C ₃ H ₆ O) | Valise multiparamétrique (pH, T, OD, S) |
| Ampoule à décanter de 2l | Hexane (C ₆ H ₁₄) | Agitateur mécanique |
| Burette de 50ml | Gel de silice (SiO ₂) | Balance de précision |
| Tubes à essais | Alumine ou Oxyde d'alumine (AL ₂ O ₃) | Etuve |
| Béchers | Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂) | Sous jet d'Azote |
| Erlen Meyer a col rodée de 250 ml | Sulfate de sodium anhydre (Na ₂ SO ₄) | Evaporateur rotatif |
| Ampoule à décanter de 2l | La laine de verre | Bac à ultrasons |
| Entonnoirs | Chrysene (C ₁₈ H ₁₂) | Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet |
| Burettes de 50ml | | |

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III. Conditionnement du matériel utilisé

Le matériel doit être parfaitement nettoyée et rincée comme indiqué ci-après:

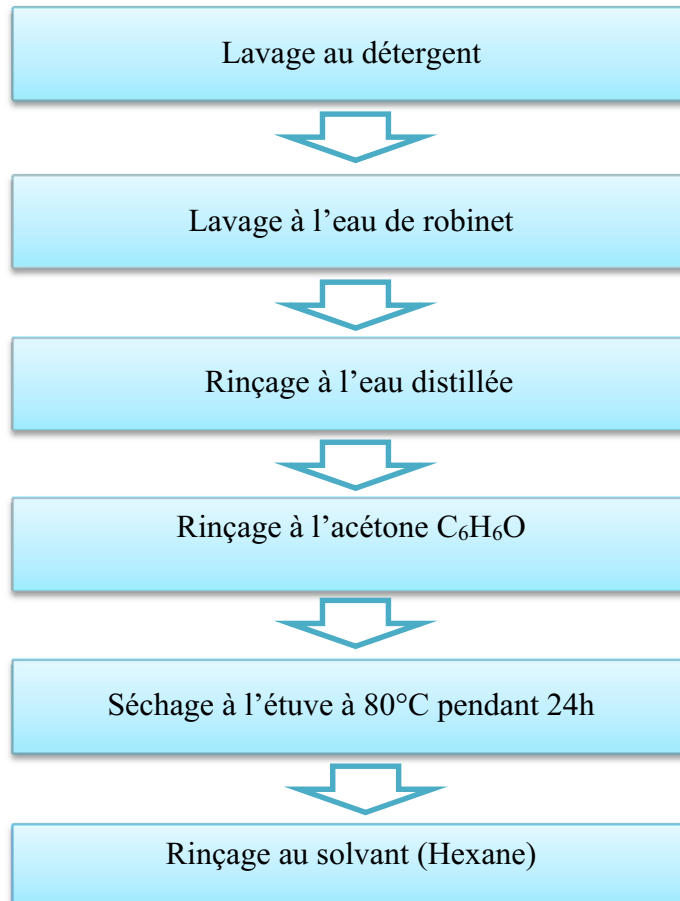


Figure 8: Les principales étapes pour le conditionnement du matériel.

IV. Préparation des adsorbants

-Activation du Sulfate de sodium anhydre (Na₂SO₄) qui absorbe l'humidité en le mettant à l'étuve à 120°C pendant 24 heures

-Conditionnement du gel de silice, et d'alumine servant en chromatographie à colonne ouverte selon les étapes suivantes :

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

Chapitre III : Matériel et Méthodes

V. Travaux effectués en mer

V.1. Préparation du matériel de la sortie

- Les Bouteilles fumées de 2,5 l propres et étiquetées
- n-hexane avec un distributeur en téflon
- Papier aluminium
- Glacières (3)
- Valise multi paramètre pour la mesure des paramètres physico-chimiques
- Bouteille de prélèvement de type NISKIN
- La carte des stations

V.2. Choix et localisation des stations du prélèvement

Dans le cadre de l'évaluation du degré de la pollution par les hydrocarbures au niveau des eaux de surface (de 1 à 2m de profondeur) de la baie de Bou-Ismaïl, plusieurs prélèvements ont été réalisés dans les différentes stations en prenant en considération une carte qui localisent les principaux points de rejets et des oueds le long de la baie. Les analyses ont aussi concerné les différents paramètres physico-chimiques. Le tableau 11 de l'annexe 1 donne les coordonnées des stations lors des prélèvements ainsi que l'état de la mer et l'heure de prélèvement.

Le positionnement des stations a été réalisé par un système GPS (Global Positioning System).

La sortie en mer a été effectuée le 03/05/2015 au bord du navire Baba Arrouj.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

La carte de la figure suivante localise les stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismaïl :

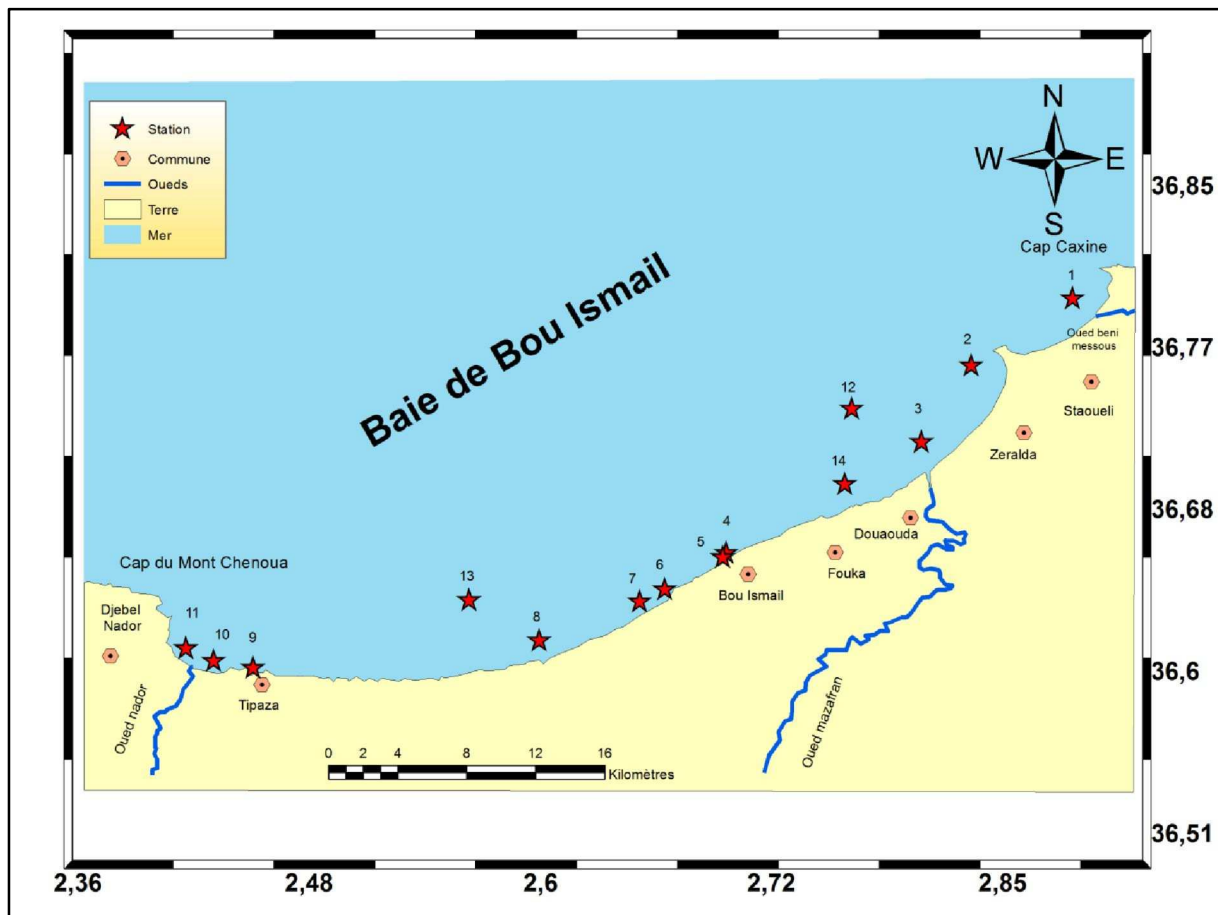


Figure 9: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou-Ismaïl (par Map Info)

V.3. Prélèvements et échantillonnage

V.3.1. Les hydrocarbures

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

Le dispositif de prélèvement est lancé à l'avant du navire en arrêt, afin de réduire les risques de contamination par le moteur. La bouteille de prélèvement ne doit pas être complètement remplie, afin de pouvoir ajouter le solvant (50 ml d'Hexane) pour effectuer une première extraction au bord du navire, tout en assurant une agitation manuelle pendant 5 à 10 minutes.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

Cette bouteille est fermée avec un bouchon en plastique isolé avec une feuille d'aluminium pour éviter tout contact avec la matière plastique du bouchon.

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

V.3.1. Les paramètres physico-chimiques

Pour le prélèvement d'eau de surface (de 1 à 2 m de profondeur), nous avons utilisé une bouteille à clapet (type NISKIN) qui est constituée d'un cylindre, ouvert aux deux extrémités et que l'on ferme à distance. La bouteille est liée à un câble et sa fermeture s'obtient par déclenchement d'un mécanisme sous le choc du messenger, masselotte métallique qu'on laisse coulisser le long du câble.



Figure 10: bouteille de prélèvement de type NISKIN.

V.4. Mesure des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques (température, Oxygène dissous, pH, salinité) est réalisée in situ au bord du bateau, à l'aide d'une valise multiparamètre.

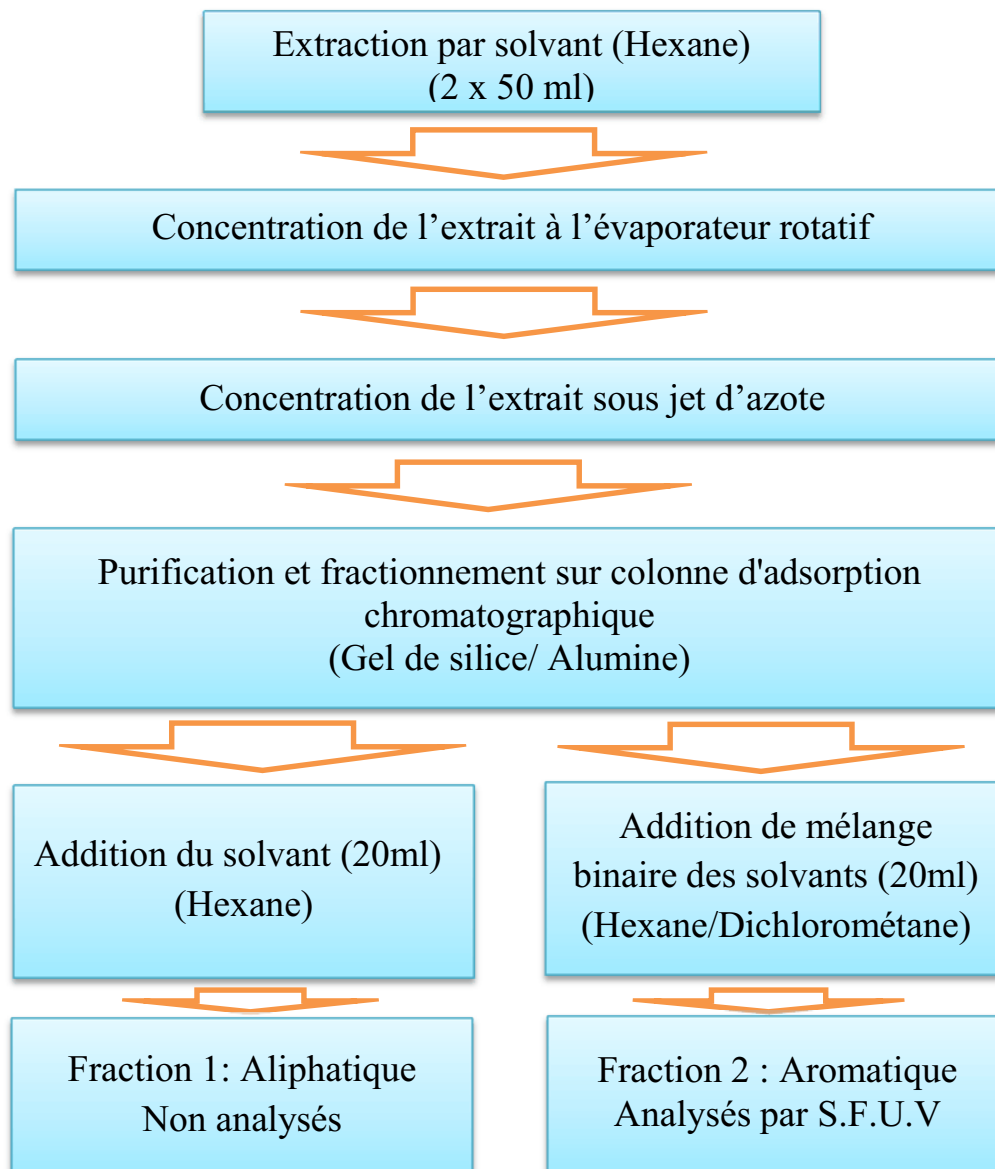
Chapitre III : Matériel et Méthodes

VI. Travaux effectués au laboratoire de Sidi Fredj

VI.1. Traitement des échantillons effectués au laboratoire avant l'analyse des hydrocarbures

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

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



Chapitre III : Matériel et Méthodes

Figure 11: Diagramme récapitulatif des principales étapes de traitement pour l'extraction des hydrocarbures dissous/dispersés de l'eau de mer.

VI.1.1. Extraction

Le procédé d'extraction adopté est celui décrit par Roussel et Marchand (1983). L'extraction des échantillons doit être pratiquée dès que possible après le prélèvement (il faut ajouter « *in situ* » 50 ml d'hexane et agiter pendant 3 minutes pour chaque «échantillon»). En principe, elle doit être effectuée en mer si les conditions et l'espace disponible le permettant. Sinon, elle doit être faite dès que le navire arrive à terre. Les échantillons ne doivent en aucun cas être conservés plus de trois à quatre heures avant l'addition de solvant et ils doivent être gardés au frais et dans l'obscurité (COI, 1984).

Pour l'extraction il faut suivre les étapes suivantes :

- Placer l'ampoule à décanter, robinet fermé, sur un support de type anneau ;
- Introduire le mélange (échantillon plus hexane) à traiter dans l'ampoule ;
- Ajouter le solvant d'extraction approprié (50ml d'hexane) ;
- Boucher en graissant le bouchant rodé ;
- Prendre l'ampoule et la retourner en plaçant une main sous le bouchon, l'autre près du robinet. La main placée sous le bouchon doit également tenir fermement le col de l'ampoule. La « main bouchon » ne doit jamais lâcher le bouchon et le col de l'ampoule ;
- Agiter 10 à 15 minutes modérément puis ouvrir le robinet avec la « main robinet » ;
- Répéter l'opération jusqu'à ce que le dégazage ne soit plus perceptible (attention à l'orientation du dégazage) ;
- Replacer l'ampoule sur son support puis laisser décanter jusqu'à l'apparition franche des deux phases (15 à 20 minutes), la phase organique supérieure de l'ampoule ;
- Récupérer les deux phases (phase aqueuse, phase organique) ;
- Oter le bouchon avant de procéder à l'écoulement ;
- Récupérée la phase organique dans un Erlenmeyer à col rodé, et la phase aqueuse qui se situe au dessous dans une éprouvette graduée, dont le volume totale V est noté ;
- une pincé de sulfate de sodium (Na_2SO_4) anhydre est ajouté afin de retenir d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

VI.1.2. Concentration de l'échantillon

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

-Concentration par Evaporateur rotatif

La concentration de l'extrait obtenu d'eau de mer est réalisée à l'aide d'un évaporateur rotatif, comme celui porté en figure 12, l'échantillon mis dans un ballon est placé au bain-marie à une température voisine de 40°C et concentré jusqu'à un volume d'environ 10 ml, le solvant évaporé est récupéré dans un ballon.

Cette concentration est opérée sous vide, c'est-à-dire par une pompe à vide reliée à l'évaporateur rotatif. Ceci, pour favoriser et faciliter l'évaporation à la température apportée par le bain (40°C).

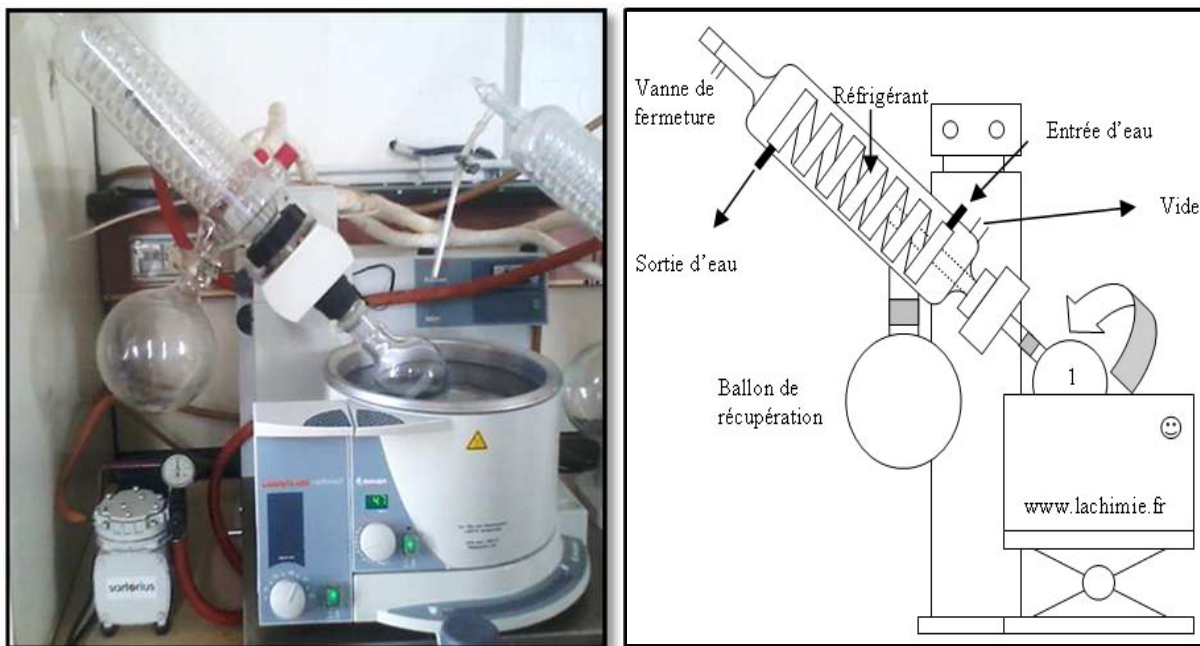


Figure 12: Dispositif d'un évaporateur rotatif (LABORATA 4000-efficient Heidolph).

-Concentration par jet d'Azote

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

Chapitre III : Matériel et Méthodes



Figure 13: Concentration par sous jet d'azote pur.

VI.1.3. Purification et fractionnement

Le principe de la purification repose sur la séparation ou le partage des deux fractions d'hydrocarbure par l'utilisation d'adsorbants placés dans une colonne chromatographique ouverte munie d'un robinet en téflon (voire la figure 15). Le solvant organique utilisé piège non seulement les hydrocarbures mais aussi tous les composés organiques polaires tels que les lipides et les acides gras.

Avant de commencer l'extraction il faut d'abord préparer le matériel nécessaire suivant :

- hexane ;
- colonne pour chromatographie (robinet en Téflon) ;
- 2 paires de pinces en acier inoxydable ;
- Laine de verre ;
- Longue tige de verre d'environ 7,5mm de diamètre ;
- Support à burette ;
- Béchers ;
- Entonnoir en verre ;
- Papier d'aluminium ;
- Spatule ;
- Balance ;
- Silice fraîchement conditionnée ;

Chapitre III : Matériel et Méthodes

-Alumine fraîchement conditionnée ;

-Na₂SO₄ fraîchement conditionné.

La colonne chromatographique ouverte est remplie d'alumine neutre (pouvoir de purification) et de gel de silice (pouvoir séparateur et/ou rôle de fractionnement) conditionnés.

Il s'agit d'une burette de 50 ml de contenance, de 10 mm de diamètre interne qui est remplie successivement par :

- la laine de verre (à l'aide d'une tige)
- verser 20 ml d'hexane pour conditionner la burette, et laisser couler
- Ajouter 5g de gel de silice mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne sécher
- Ajouter 5g d'alumine mélangé avec l'hexane puis laisser décanter en récupérant l'hexane sans laisser la colonne sécher
- Ajouter une pincée de Sulfate du sodium anhydre en tête de la colonne pour l'absorption des gouttelettes d'eau

La fraction aliphatique (F1)

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



Figure 14: Agitateur mécanique.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

La fraction aromatique (F2)

C'est la deuxième fraction, elle est éluée en versant 20ml d'un mélange d'hexane et de dichlorométhane dans les proportions (50:50), puis elle est récupérée dans un tube à essai. Cette fraction doit être analysée par Spectrofluorométrie à rayonnement Ultraviolet (S.F.U.V).

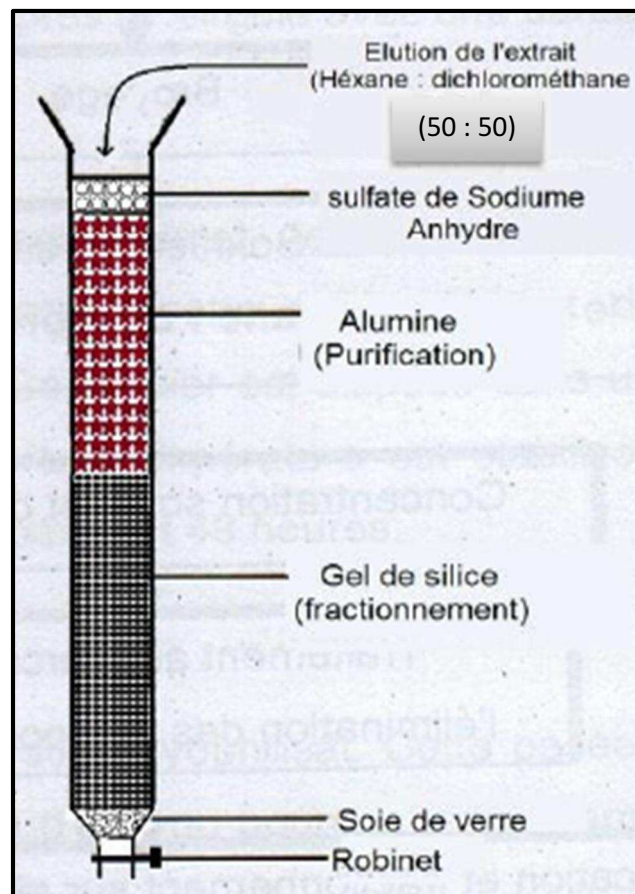


Figure 15: Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.

VI.2. Analyse des hydrocarbures aromatiques

VI.2.1. Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V)

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

Chapitre III : Matériel et Méthodes

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

VI.2.1.1. Principe d'analyse

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

VI.2.1.2. Appareillage analytique

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont analysés avec un Spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10s montré en figure 16, équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1.5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm. L'appareil contient des cellules en quartz de 1 centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces. Un volume minimal de 0,5ml d'échantillon est suffisant à l'analyse.



Figure 16: Spectrofluorimètre à rayonnement ultraviolet HITACHI.

VI.2.1.3. Etalonnage et préparation des standards

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence. Celui préconisé est le chrysène (préconisé par CIO) ou 1,2-benzophenanthrène (C₁₈H₁₂). La préparation des standards est effectuée à partir d'une solution mère d'une

Chapitre III : Matériel et Méthodes

concentration de 100 $\mu\text{g/l}$, obtenue à partir de 1mg de chrysène dissous dans un 10ml d'hexane.

Des volumes de 10, 20, 40, 60, 80, 100 μl sont prélevés de la solution mère et dilués dans 10 ml d'hexane afin d'obtenir des solutions filles S1, S2, S3, S4, S5, S6 ou gamme étalon.

Tableau 7: Concentration des différents standards préparés à partir de la solution mère.

| Standards | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Concentration ($\mu\text{g/ml}$) | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,00 |

Les fioles contenant les solutions standards sont placées dans un bac à ultrasons (figure 17) pendant deux minutes dans le but de faciliter la dissolution du chrysène dans l'hexane.



Figure 17: Les fioles contenant les solutions standards et le bac à ultrasons.

Chapitre III : Matériel et Méthodes

VI.2.1.4. Mesure des intensités de fluorescence

Les concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage. Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes :

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

L'intensité de fluorescence (IF) est proportionnelle à la concentration C de l'échantillon dans la gamme étalon de réponse linéaire du spectrofluorométrie, déterminée par la courbe d'étalonnage (figure 18). Elle permet d'établir le tracé d'une droite d'étalonnage pour chaque longueur d'onde d'émission.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$\text{IF} = a C \dots \dots \dots (1)$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

C : concentration en hydrocarbures aromatiques polycycliques (en µg/ml)

a : pente de la droite

Chapitre III : Matériel et Méthodes

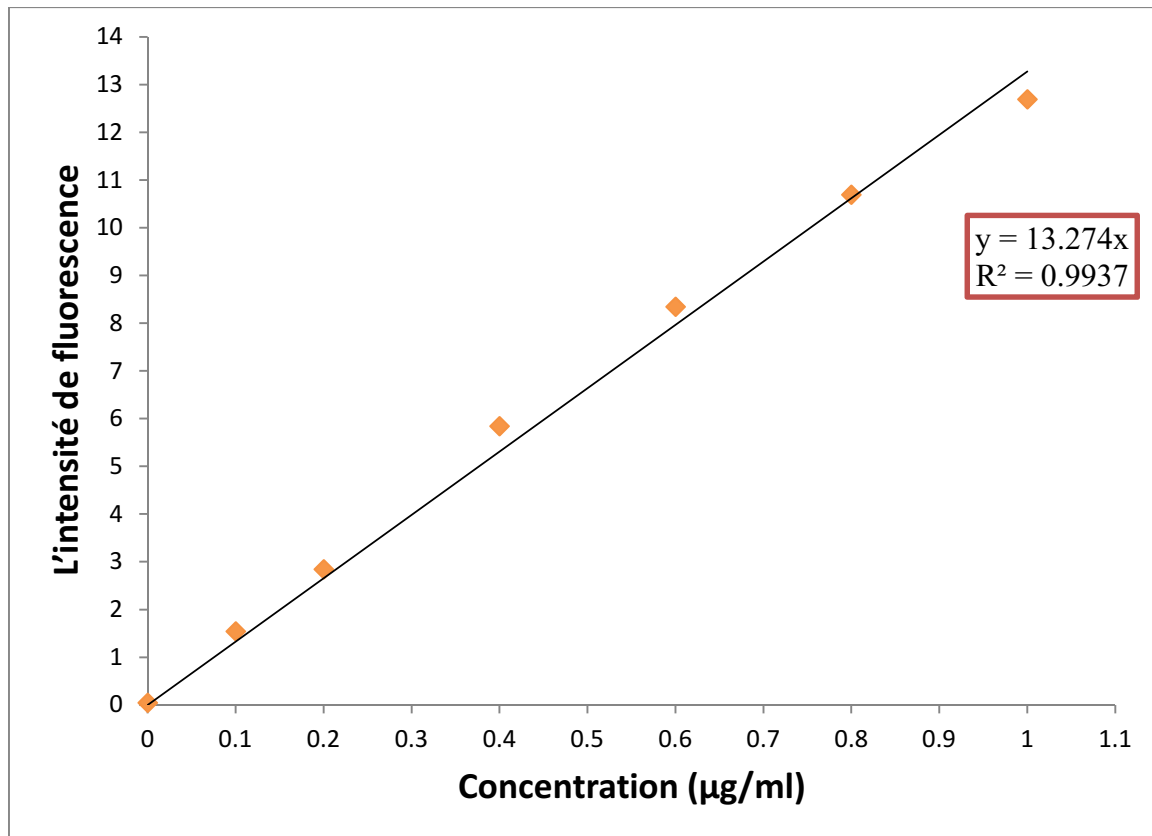


Figure 18: Courbe d'étalonnage à 360 nm pour le dosage des HAP.

VI.2.1.5. Calcul des concentrations finales

Les concentrations des hydrocarbures aromatiques dans les échantillons d'eau sont calculées selon la relation suivante :

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

[C]_{finale} : concentration massique finale des hydrocarbures aromatiques dans l'échantillon d'eau en µg/l.

C_e : Concentration massique de l'extrait obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en µg/ml.

V_p : volume finale de l'extrait de la fraction F2 en ml.

V_f : volume de l'échantillon en L.

Chapitre VI :

Résultats et Discussions

Résultats et discussions

Ce chapitre est consacré pour l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, comme évoqué précédemment dans le chapitre matériel et méthodes.

Les résultats obtenus pour les hydrocarbures et les différents paramètres physicochimiques au niveau de la baie de Bou-Ismaïl sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8: Variations des paramètres physico-chimiques et la concentration des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de surface de la baie de Bou-Ismaïl.

| Station | T (°C) | S (psu) | O.D (mg/l) | pH | HAP dans l'eau (µg/l) |
|-------------------|--------|---------|------------|------|-----------------------|
| 1 | 19.61 | 36.47 | 4.85 | 8.16 | 0,559 |
| 2 | 18.65 | 36.25 | 5.38 | 8.11 | 0,633 |
| 3 | 19.63 | 36.40 | 5.23 | 8.82 | 0,773 |
| 4 | 20.00 | 36.57 | 6.88 | 8.50 | 0,789 |
| 5 | 19.98 | 36.66 | 6.77 | 9.21 | 0,650 |
| 6 | 19.52 | 33.52 | 7.15 | 8.58 | 0,577 |
| 7 | 19.77 | 36.83 | 6.85 | 8.83 | 0,623 |
| 8 | 21.13 | 36.57 | 7.45 | 8.57 | 0,533 |
| 9 | 19.88 | 36.82 | 7.40 | 8.30 | 0,932 |
| 10 | 19.64 | 36.55 | 7.27 | 8.23 | 0,519 |
| 11 | 19.17 | 36.47 | 7.38 | 8.26 | 0,865 |
| 12 | 18.87 | 36.64 | 5.91 | 8.86 | 0,439 |
| 13 | 19.07 | 36.65 | 7.84 | 8.50 | 0,416 |
| 14 | 19.99 | 49.35 | 6.48 | 8.72 | 0,535 |
| Moyenne | 19.63 | 37.26 | 6.63 | 8.54 | 0,632 |
| Ecart type | 0,60 | 3,57 | 0,93 | 0,31 | 0,155 |

Avec : **Maximum**, **minimum**

Résultats et discussions

I. Variations des paramètres physicochimiques

Les variations de ces paramètres semblent être assez homogènes, et cela est probablement dû aux conditions météorologiques (pendant la période de prélèvement les conditions météorologiques étaient caractérisées par une agitation des eaux).

Les résultats des différents paramètres physico-chimiques sont tous représentés sous forme d'histogrammes accompagnés de leurs interprétations.

I.1. La température

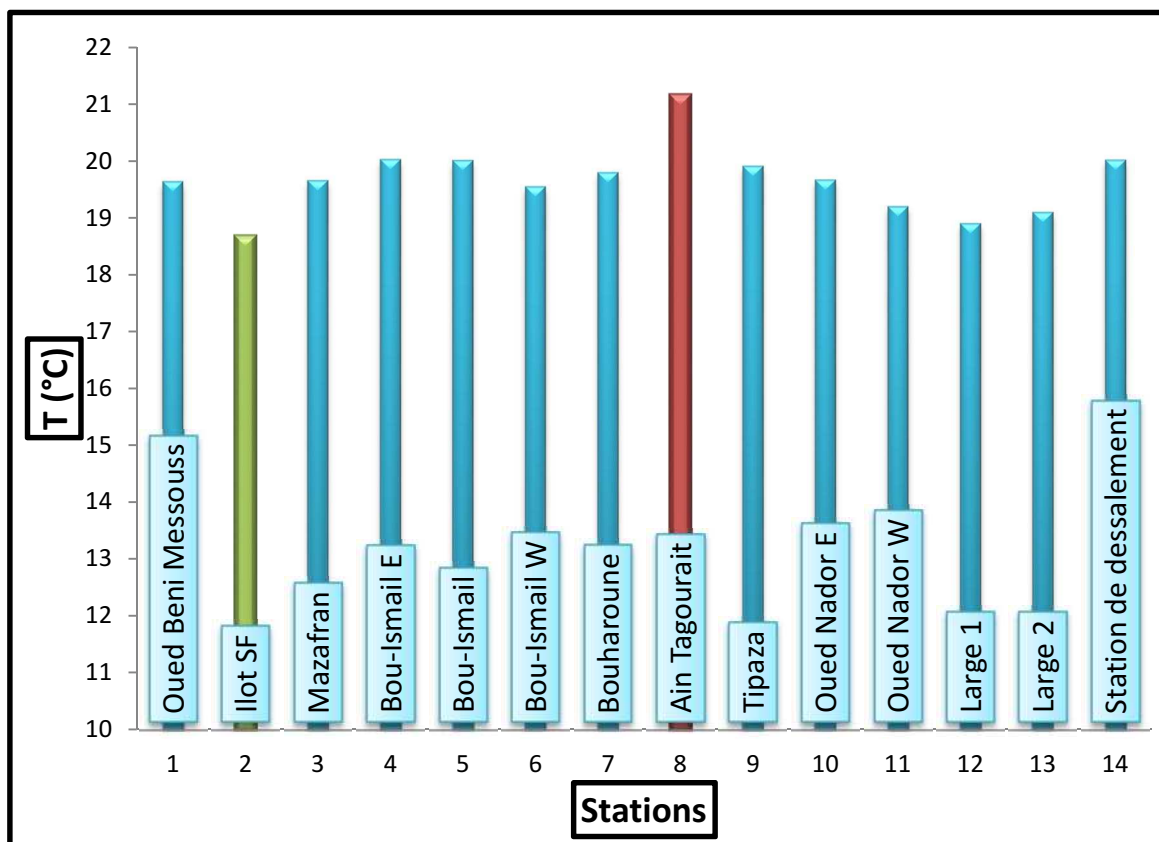


Figure 19: Variation de la température de surface au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

D'une manière générale les températures mesurées reflètent la période saisonnière (estival) en relation avec les conditions météorologiques à savoir la température de l'air, le vent et la précipitation, la valeur maximale est 21,13°C observée au niveau de station Ain Tagourait et la valeur minimale est 18.65°C au niveau de station Ilot SF, et la moyenne est 19.63°C. Cette petite variation de température dépend principalement de l'heure de prélèvement (la mesure de température dans La station d'Ilot SF a été effectuée à 09 :50 et celle dans la station d'Ain

Résultats et discussions

Tagourait a été effectuée à 14 :18), car la température des eaux de surface fluctue en fonction des échanges atmosphère-mer.

Généralement on observe une homogénéisation de température entre les stations en allant vers les cotes, cette homogénéisation est due à l'influence des apports continentaux (Oued Nador, Oued Beni Messouss, Oued Mazafran), l'échange air mer et l'hydrodynamisme.

I.2. Salinité

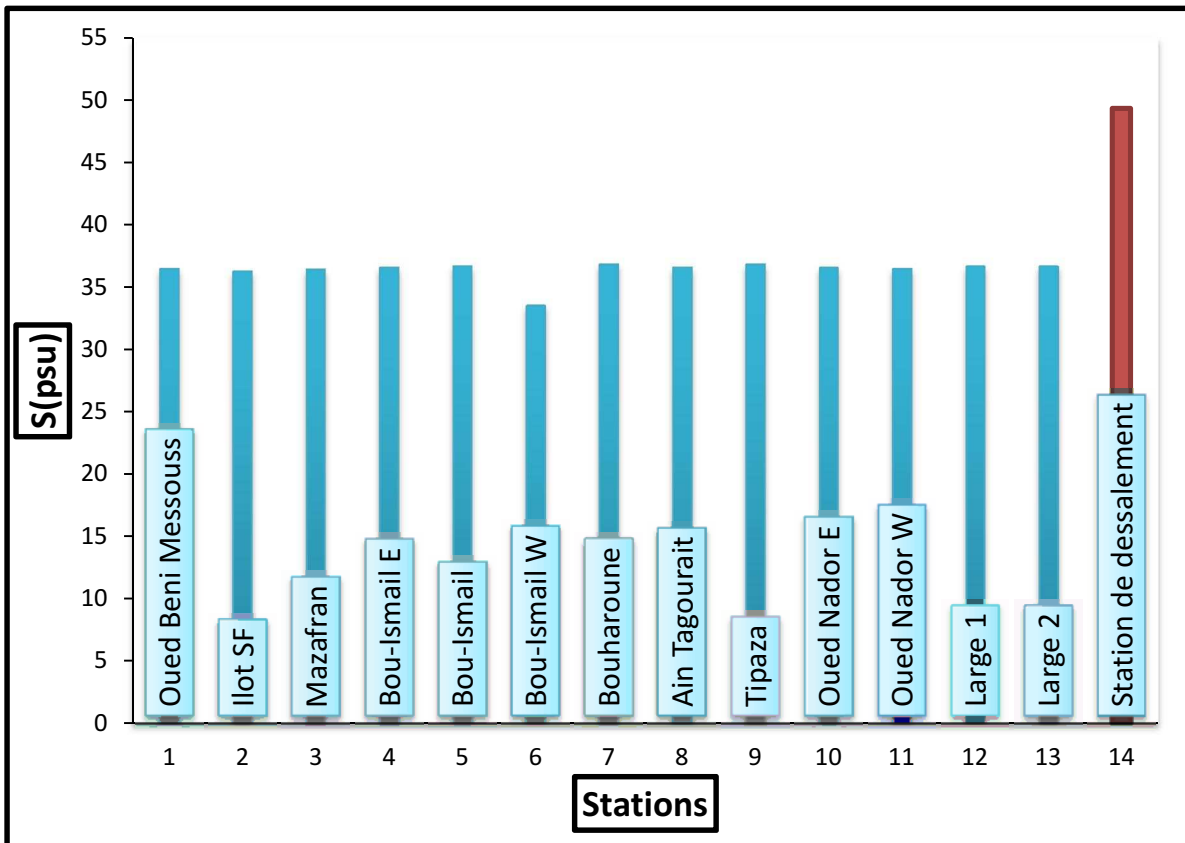


Figure 20: Variation de la salinité de surface au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

L'augmentation de la température durant cette période fait que l'évaporation de l'eau de mer serait importante, pour cela la moyenne de la salinité est de 36.33 psu.

Selon Taleb (1970), la salinité des eaux en méditerranée est comprise entre 37.8 et 39.39 psu.

Donc on remarque que les valeurs de la salinité des eaux de surface (sauf la station de dessalement de Fouka marine) sont relativement faibles, cette diminution de la salinité peut être due aux apports d'eaux douces des oueds et de la période de mesure (la sortie a été effectuée après une période de pluviosité).

Résultats et discussions

Concernant la station de dessalement Fouka marine, qui utilise la technique dite de l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer, avec une capacité journalière de dessalement est de 120 000 m³, elle a un principal inconvénient, s'agissant de l'impact c'est des saumures qui ont une forte teneur en sel qui résulte de la concentration de l'eau de mer dessalée surtout dans le cas de l'osmose inverse, où les rejets sont plus concentrés (Maurel, 2006), ces saumures vont augmenter la salinité de l'eau de mer, c'est pour ça la salinité de l'eau de mer mesurée près de cette station est 49,35 psu, qui est trop élevée par rapport à celle de l'eau de mer. Par conséquent, ces répercussions conduisent à une perturbation de la vie aquatique locale.

I.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

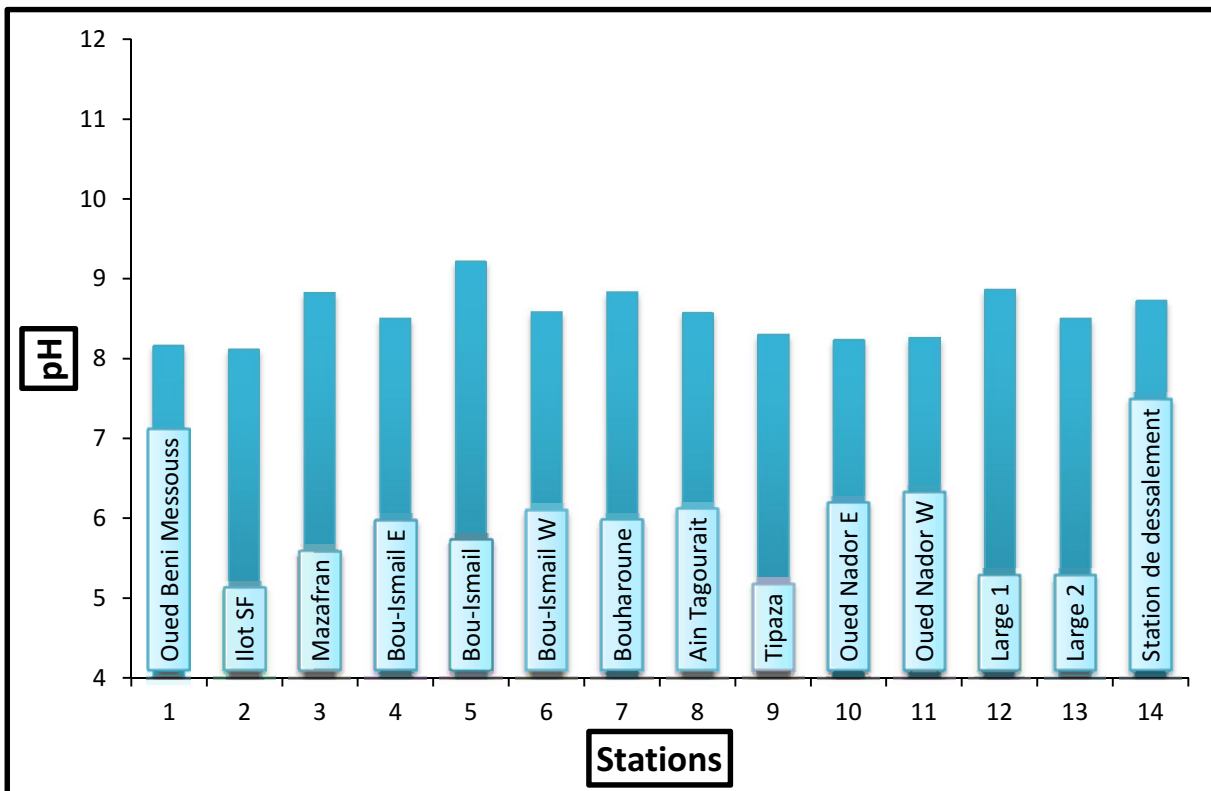


Figure 21: Variation du potentiel d'hydrogène en eau de surface de la baie de Bou-Ismaïl.

Le pH dans la baie de Bou-Ismaïl varie entre 8,11 et 9,21 avec une moyenne de 8,54. Alors que le pH de l'eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones (Barnabe et al., 1997).

Pour les stations 1, 2, 9, 10, 11, les valeurs de pH varient entre 8,11 et 8,3. On peut dire que les apports en eau usée et domestique dans ces stations n'a pas une grande influence.

Pour les autres stations, les valeurs de pH enregistrées sont élevées ce qui nécessiterait un suivi. Cette tendance basique trouverait probablement son explication dans la concentration et le type de produits chimiques rejetés.

Résultats et discussions

I.4. Oxygène dissous

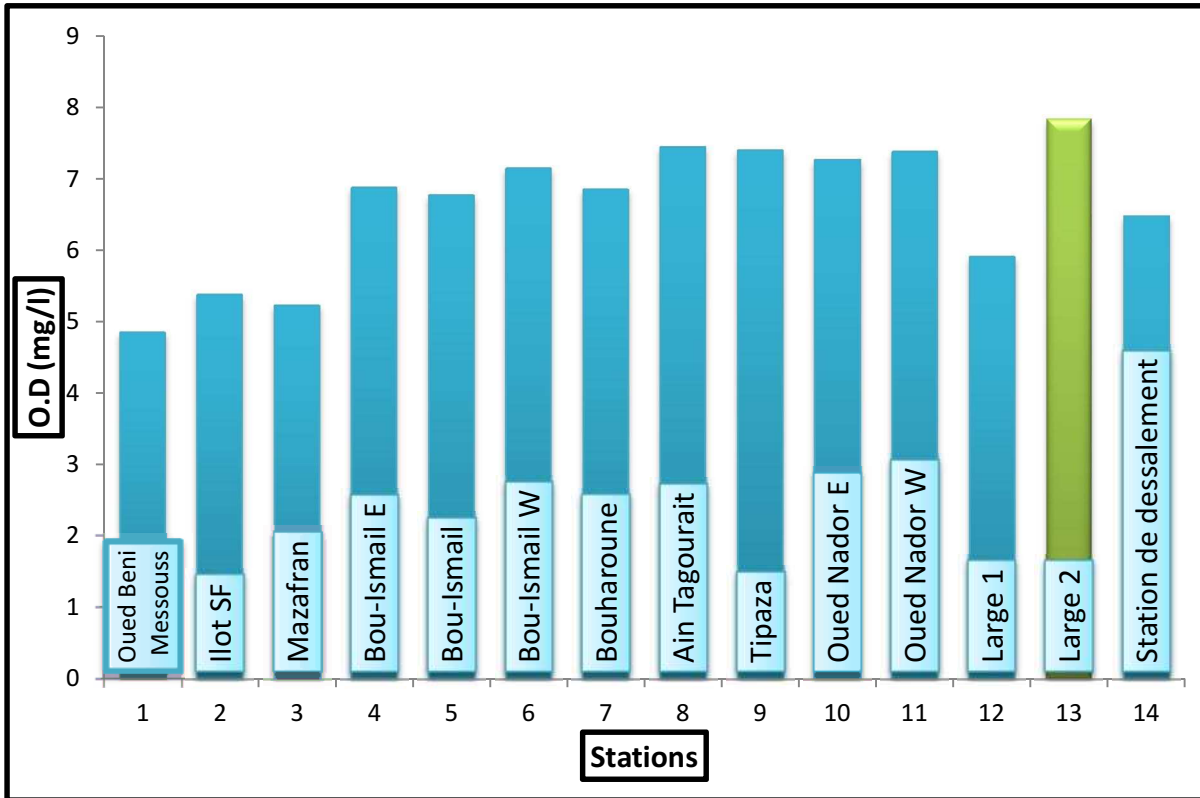


Figure 22: Variation des teneurs en oxygène dissous en surface de la baie de Bou-Ismaïl.

Les teneurs d'oxygène varient entre 4,85 et 7,84 mg/l avec une moyenne de 6,63 mg/l. On observe une faible teneur au niveau des stations d'Oued Beni Messouss, Oued Mazafran, Oued Nador E et Oued Nador W, ces faibles valeurs sont probablement dues aux rejets des eaux usées domestiques et industrielles, sans traitement préalable, qui conduit à une consommation d'oxygène par une dégradation microbienne. Ces faibles valeurs peuvent être aussi la conséquence des teneurs élevées en matières en suspension transportées par les Oueds en empêchant la pénétration de la lumière, donc elles diminuent l'activité photosynthétique (diminution de la libération d'oxygène dissous).

Pour la station d'ilot de Sidi-Fredj la faible concentration (5,38 mg/l) est probablement due aux quelques rejets des eaux usées domestiques au voisinage de l'ilot.

Dans les autres stations la teneur en oxygène dissous est généralement élevée, cela pourrait être dû à une grande dissolution de l'oxygène atmosphérique par l'échange air-mer et l'activité photosynthétique.

Résultats et discussions

La valeur maximale est observée au niveau du large (7.84 mg/l), car dans cette zone la dissolution de l'oxygène atmosphérique est forte à cause d'un grand échange air-mer, la turbidité est minimale, ce qui va favoriser la pénétration de la lumière, et par conséquent l'augmentation de l'activité photosynthétique et la libération de l'oxygène dissous, ce qui peut nous conduire à dire que l'eau du large est plus propre par rapport à la côtière qui se trouve moins riche en oxygène dissous.

L'oxygène dissous diffère des autres paramètres physico-chimiques car, c'est un paramètre indicateur de pollution, qui nous renseigne sur l'état de santé d'un milieu. En effet, un milieu moins oxygéné est celui qui subit une consommation considérable de l'oxygène dissous par la présence d'une forte population microbienne, qui trouve ainsi toutes les conditions qui favorisent leur croissance exponentielle, à savoir la matière organique issue des rejets urbains, domestiques et industriels provenant à la mer par différents oueds.

II. Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer

Les concentrations des HAP dans l'eau de mer sont faibles au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, variant entre un minimum de 0,416 $\mu\text{g/l}$ et un maximum de 0,932 $\mu\text{g/l}$ avec une moyenne de 0,632 $\mu\text{g/l}$ et un écartype de 0,155.

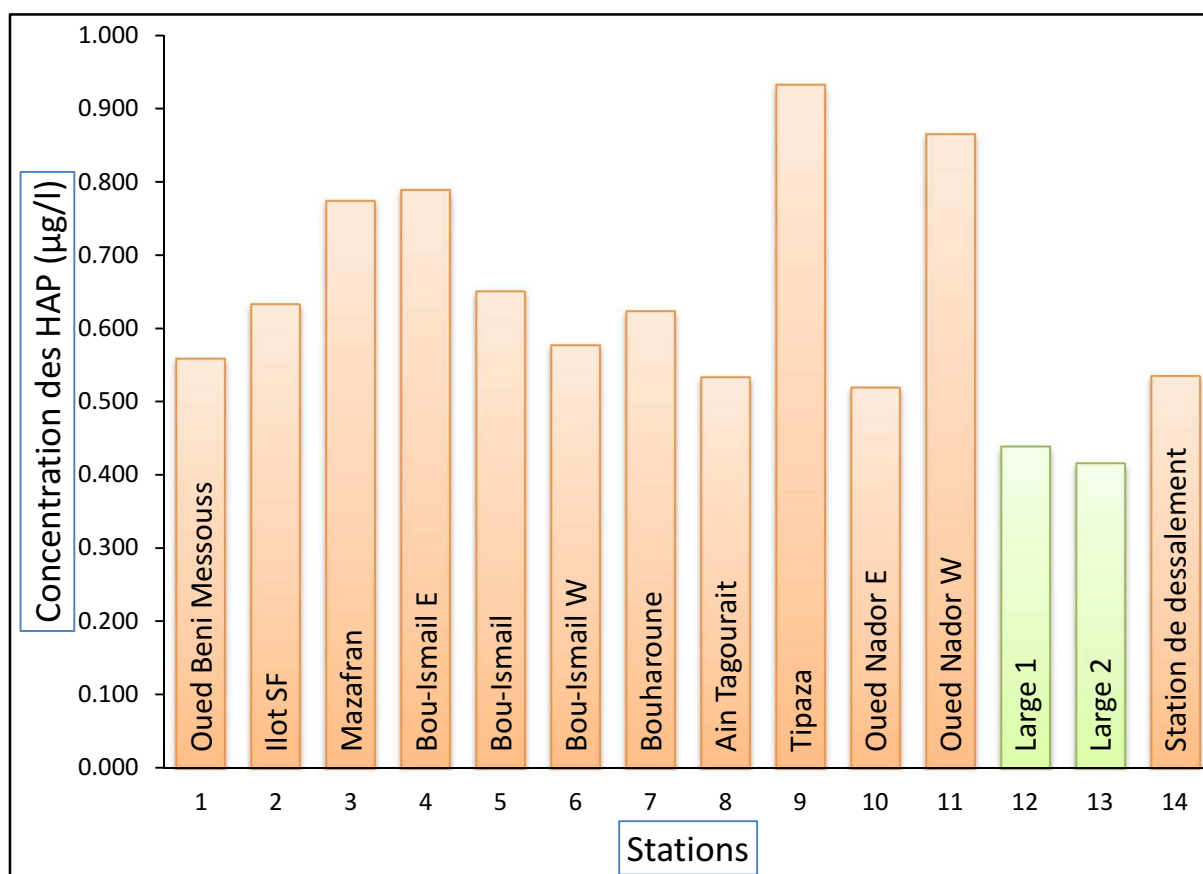


Figure 23: Variation des HAP dans l'eau de la baie de Bou-Ismaïl.

Résultats et discussions

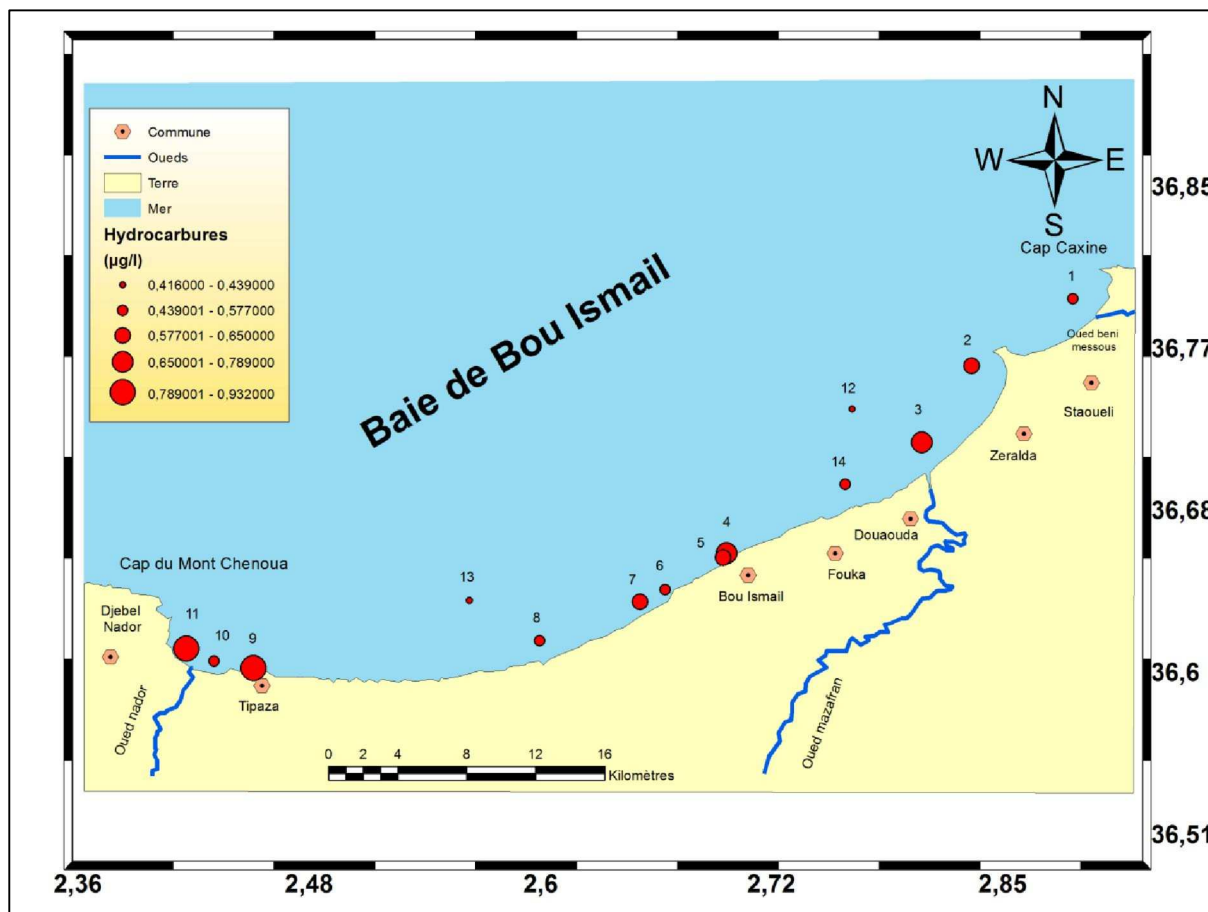


Figure 24: Distribution des HAP dans les eaux de surface de la baie de Bou-Ismaïl.

Ces faibles teneurs en HAP localisées au niveau de la baie sont dues principalement à l'état de la mer, la période et les stations du prélèvement.

Notre sortie a été effectuée le 03-05-2015, avant le commencement de la saison estivale, donc les rejets des eaux usées et domestiques étaient faibles.

On a observé que la mer était calme, pas de vent et donc moins de déplacement des hydrocarbures

Au niveau de la baie de Bou-Ismaïl les activités maritimes sont moins intenses par rapport à celles au niveau de la baie d'Alger, aussi les stations de prélèvement sont situées généralement loin des ports de la baie.

Les valeurs minimales sont observées au niveau du large (large 1 et large 2), parce que ces deux stations sont situées loin de toute source de pollution par les eaux usées, et domestiques, que vont augmenter les teneurs en matière organique.

Au niveau des stations 3, 4, 9 et 11 situées respectivement à l'embouchure du Oued Mazafran, Bou-Ismaïl E, Tipaza et Oued Nador W, sont marquées par des concentrations

Résultats et discussions

importantes par rapport aux autres stations, et cela est probablement dû aux apports continentaux domestiques, fluviaux et industriels qui rejettent des quantités non négligeables vers le milieu marin sans aucuns traitements préalables.

Pour la station du Oued Mazafran, les sources éventuelles des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont les rejets urbains et industriels non traités issus de l'industrie de transformation de plastique et production des produits d'emballage, l'industrie de la céramique et de la poterie. Les teneurs en HAP sont plus élevées en période de pluie, car l'introduction de ces hydrocarbures en milieu marin est favorisée par les eaux pluviales. Aussi, les matières organiques végétales acheminées par les cours d'eaux constituent une source non négligeable d'introduction des HPA en milieu marin.

La valeur maximale est observée au niveau de la station de Tipaza (station 9), qui est située à l'Est d'embouchure du Oued Nador. Cette valeur est importante par rapports aux autres valeurs à cause des rejets importants des eaux usées domestiques est des eaux de ruissellement qui apportent une grande quantité d'hydrocarbures, car Tipaza est une grande ville située sur le littoral, dont tous les rejets sont conduits à la mer.

On peut citer une autre source d'hydrocarbures, s'agissant des agglomérations (centres touristiques) et des embarcations.

Cette valeur maximale pourrait aussi être due aussi au courant qui circule de l'Ouest vers Est, (**Millot, 1989**). Ce courant peut déplacer une quantité de matière organique rejetée par Oued Nador vers l'Ouest (station 9), ce qui va augmenter le taux des HAP dans la station 9.

Pour la station 1 correspond à l'embouchure du Oued Beni Messous, la faible valeur en HAP (0,559 µg/l) est probablement due au traitement préalable des eaux usées par la station d'épuration de Beni Messous. Selon la société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL), cette station a été mise en service en 2007, avec des performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet atteignant les 100%. En 2013 et un rendement d'élimination de la pollution de 95%. Les eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu marin, doivent impérativement être acheminées vers la station où elles subissent plusieurs phases de traitement, pour devenir une eau épurée apte à être accueillie par le milieu naturel avec des concentrations faibles en hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Les concentrations en HAP sont généralement plus élevées en saison hivernale du fait de l'augmentation des activités de chauffage, de la diminution des mécanismes de dégradation, et de la baisse des températures. Bien que les concentrations relevées soient très faibles, cependant, elles ne renseignent pas tout à fait sur l'état effectif de la biodisponibilité des contaminants polyaromatiques. En effet, la mémoire de l'eau est faible à une échelle spatiotemporelle moyenne ou longue. En un temps donné, la concentration décelée dans une station n'est guère la même après un laps de temps très réduit. Ceci dépend de l'importance de la dynamique des eaux ainsi que des conditions météorologiques locales.

Résultats et discussions

Tableau 9: Les concentrations des HAP pour différentes années.

| Zone d'étude | Concentration ($\mu\text{g/l}$) | Références |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Embouchure de l'Oued Mazafran | 0,86-2,64 | Hocini (1991) |
| Bai de Bou-Ismaïl | 0,37-1,29 | Abderrahmani (2010) |
| | 0,056-22,316 | Bouhrira (2012) |
| | 0,66-5,09 | Boudjellaba et Dahene (2012) |
| | 1,58-5,64 | Iddir (2013) |
| | 0,41-0,93 | Présente étude |

D'après ces résultats, il convient de noter que la concentration des hydrocarbures aromatiques polycycliques de l'eau de mer de la présente étude est très faible comparée à celle des autres études des années antérieures. Cette différence peut être due à la différence des stations étudiées et des périodes d'échantillonnage.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre étude est d'apprécier le degré de contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dissous et dispersés dans l'eau de surface de la baie de Bou-Ismaïl. A cet effet une mission a été menée afin de permettre l'acquisition de nouvelles données pour les HPA dans l'eau de surface.

Les résultats obtenus montrent une faible disponibilité des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer au niveau du large (0,439 et 0,416 µg/l), car cette eau se trouve loin de toute source de pollution par les HPA vu sa situation.

Par contre, les résultats montrent des valeurs plus élevées dans les stations de prélèvement près de la côte (de 0,519 à 0,932 µg/l) surtout au niveau des embouchures des Oueds, car ces stations sont situées près des sources de pollution par les HPA, comme les rejets des eaux usées domestiques, les eaux de ruissellement et les ports.

La dispersion des HPA dans l'eau de mer dépend fortement de leurs caractéristiques, des conditions locales et météorologiques.

Malgré, la faible contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques montrée par les résultats obtenus dans notre étude, il faut toujours savoir que cette contamination a une tendance à augmenter d'une année à l'autre.

Il est recommandé de prendre en considération l'augmentation de la contamination par les HPA dans la baie de Bou-Ismaïl, en prenant compte des éventuelles conséquences qui peuvent toutefois affecter l'environnement marin.

En perspective, il serait souhaitable de penser à :

- créer des laboratoires spécialisés dans l'analyse pour faire le suivi de l'état de contamination des eaux marines côtières ;
- formation de personnel qualifié, communicatif, informatif et motivé pouvant intervenir lors d'une contamination par les hydrocarbures ;
- créer des zone écologique protégée ;
- Implantation des stations d'épuration des eaux usées proches le plus possible des différentes sources de pollution ;
- sensibilisation de la population sur les conséquences majeures de la pollution par les hydrocarbures.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Aichiou, L., Echchatabi, L. (2006).** Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de baignade des deux plages de la commune de Bab El Oued: R'mila et Kittani, Mémoire d'ingénieur en environnement marin, ISMAL, 73p.
- **Al sid chikh S., Belkessa R., Houma F., et Amrouche L. (2009).** Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco 19-23 October 2009.
- **Amiard, J.C. (2011).** Les risques chimiques environnementaux : méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Paris : Lavoisier. 782 p.
- **Aminot, A., Chausspied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Ed CNEXO, Brest (France). 395p.
- **Aminot, A., Kerouel, R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Ed. Ifremer, France : 336 p.
- **Aouidad, Z. (1997).** Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou Ismail. Mémoire Ingénieur. Alger : ISMAL. 73 p.
- **Asia, L. (2012).** Analyse des hydrocarbures dans des sédiments superficiels de zone côtière. Thèse de doctorat en science de l'université d'Aix-Marseille en chimie analytique. 175 p.
- **Bachari Houma, F. (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse d'obtention du grade de Docteur de l'Université du Val de Marne Paris XII. Spécialité : Sciences de l'Univers et Environnement. 272 p.
- **Bachari N., Belkessa R., Houma F. (2004).** Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of coastal sea bottom. MWWD-IEMES 3rd International Conference on Marine Waste Water Discharges and Marine Environment CATANIA 27/09-2/10.
- **Bachouche, S. (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun: Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse. Magister, ENSSMAL: 182 p.
- **Barnabe, G., Barnabe, R. (1997).** Ecologie et aménagement des eaux côtières. Ed. Lavoisier Techniques et documentation, Paris: 383 p.

Références bibliographiques

- **Benkessa, R. (1999).** Causes et conséquences de l'érosion marine sur la côte Algérienne. *Revue symbiose* Alger.
- **Bentchikou, L. (2005).** Extraction et analyse d'un asphaltène issu d'un pétrole brut algérien. Thèse Magister, USTHB. 120 p.
- **Benzohra, M. (1993).** Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille. 33 p.
- **Bocard, C. (2006).** Marées noires et soles pollués par des hydrocarbures, Enjeux environnementaux et traitement des pollutions. 295 p.
- **Boughrira, A. (2012).** Modélisation spatio-temporelle des paramètres de la pollution organiques dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire de magister, ENSSMAL, Alger. 147 p.
- **Burns K, A., Saliot A. (1986).** Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean sea: A mass Balance. *Marine Chemistry*, 20, Elsevier Science Publishers B.V. pp.141-157.
- **C.O.I. (1984).** Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Procédures applicables à la composante pétrolière du système de surveillance de la pollution marine de la C.O.I. (MRRRPOLMON-P). Manuel et guides, 13, Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco. 35 p.
- **Cedre. (2000).** Impact écologique des marées noires, contribution à la mise en place d'un suivi, rapport, 80 p.
- **Colombo, J et Pelletier, E et Brochu, C et Khalil, M et Catoggio, A. (1989).** Environ. Sci. Tech, 23, 888-894. Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée; The 5th International
- **Fattal, P. (2008).** Pollution des cotes par les hydrocarbures, 395 p.
- **Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques, aide mémoire, technique et documentation, 2ème Ed : 220 p.
- **Iddir, S. (2013).** Evaluation de l'état de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques dans les eaux et sédiments de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, 64 p.

Références bibliographiques

- **Inal, A. (2011).** Les métaux traces des les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl: surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques. Thèse Magister. Alger: ENSSMAL. 124 p.
- **LEM. (2006).** Laboratoire d'Etudes Maritimes .Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger.
- **LEM. (1998).** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie de Bou-Ismaïl, 22 p.
- **Lacaze, J. C. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. Ed Masson, Paris : 117 p.
- **Lacaze, J. C. (1996).** La pollution des mers. Flommarion. France : 128 p.
- **Lalami-taleb, R. (1970).** Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Thèse de Doct. 3ème cycle en biologie. Université d'Alger: pp168.
- **Leclaire, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent algérien). Mémoire Museum Histoire Naturelle. Paris Sr C, 24, 391p.
- **Lefebvre, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures, 13 p.
- **Lejeune, V. (2005).** Marrées noires et environnement, 408 p.
- **Maouche. (1987).** Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Perpignan, France : 214 p.
- **Marchand, M. (1983).** Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluométrie U .V. in CNEXO (ed).pp. 329-336
- **Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Lavoisier. Tec et Doc. France: 286 p.
- **Millot, C. (1989).** The circulation of the levantine Intermediate water in the Algérian basin. Journal of geophysical research, vol.92 (C8).pp. 8265-8276.
- **Mouhoub, R. (1986).** Contribution à l'étude de la biologie et la dynamique de la population exploitée de la sardine des côtes Algéroises (Algérie). Thèse de Magistère en halieutique, USTHB .163 p.

Références bibliographiques

- **Ottmann, F. (1965).** Introduction à la géologie marine et littorale. Edition Masson, Paris. 259 p.
- **PAC. (2004).** Programme d'Aménagement Côtier (PAC) "Zone côtière algéroise".
- **Ramade, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition Ediscience international, France : 690 p.
- **Rodier, J. (1997).** L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer). 8ème Edition. Dunod, Paris.
- **Rodier, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 8^{ème} édition, Paris : 1384 p.
- **Rouidi, S. (2014).** Evaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien). Analyse statistiques. Thèse en vue d'obtention du diplôme de doctorat. Spécialité: Biologie Végétale et Environnement, 69 p.
- **Roussel, JC. (1983).** Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrofluométrie I.R. in CNEXO. Ed. pp 321-327.
- **Sellali, B. (1996).** La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée sud occidentale: Contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse de magister, ISMAL. Alger. 118 p.
- **Soudan. (1968).** Incidences de la pollution sur la vie marine. Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit, no 169, avril 1968.pp 1-10.
- **Zeghdoudi, E. (2006).** Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes- Application aux petits pélagiques de la baie de Bou-Ismaïl(Algérie). Mémoire de master. 59 p.

Les annexes

Les annexes

Annexe 1

Tableau des stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismaïl.

| Numéro de station | Nom de station | Code | Latitude | Longitude | Heure | Observation |
|-------------------|---------------------------------------|-------|---------------|--------------|--------|--------------------------|
| 1 | Oued Beni Messouss | BBI1 | 36°47'27,6'' | 2°52'55,20'' | 10 :00 | Temps ensoleillé (calme) |
| 2 | Ilot SF | BBI2 | 36°45'21,6'' | 2°49'44,40'' | 09 :50 | |
| 3 | Mazafran | BBI3 | 36°42'57,6'' | 2°48'10,80'' | 10 :43 | |
| 4 | Bou-Ismaïl E | BBI4 | 36°39'28,8'' | 2°42'03,6'' | 13 :00 | |
| 5 | Bou-Ismaïl | BBI5 | 36°39'20,84'' | 2°41'57,69'' | 12 :44 | |
| 6 | Bou-Ismaïl W | BBI6 | 36°38'20,40'' | 2°40'08,40'' | 13 :10 | |
| 7 | Bouharoune | BBI7 | 36°37'57,37'' | 2°39'20,91'' | 13 :47 | |
| 8 | Ain Tagourait | BBI8 | 36°36'44,30'' | 2°36'12,26'' | 14 :18 | |
| 9 | Tipaza | BBI9 | 36°35'53,35'' | 2°27'13,88'' | 15 :50 | |
| 10 | Oued Nador E | BBI10 | 36°36'06,00'' | 2°26'00,00'' | 16 :05 | |
| 11 | Oued Nador W | BBI11 | 36°36'30,00 | 2°25'08,00'' | 16 :22 | |
| 12 | Large 1 | BBI12 | 36°38'00,00'' | 2°46'00,00'' | 11 :17 | |
| 13 | Large 2 | BBI13 | 36°44'00,00'' | 2°34'00,00'' | 14 :37 | |
| 14 | Station de dessalement (Fouka marine) | BBI14 | 36°40'98 ,3'' | 2°45'46,6'' | 12 :04 | |

Les annexes

Annexe 2

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

| Produit liquide | Marque | Matrice utilisée | Etape d'utilisation |
|---|-----------------|------------------|--|
| Hexane (C ₆ H ₁₄) | B.D.H | Eau | Extraction Purification fractionnement |
| Dichlorométhane (C ₁₂ CH ₂) | R.D.H Pestanal® | Eau | Extraction Purification Fractionnement |
| Acétone (C ₃ H ₆ O) | Fluka chemika. | / | Rinçage de la verrerie |

Annexe 3

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

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