

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

Le calcul de la capacité de piégeage des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire de la baie de Bou Ismail

Présenté par :

M^{elle} : SAFIR Fairouz

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

Mme LOUANCHI. F	Professeur (ENSSMAL)	Présidente
Mr BOUGHRIRA. A	Doctorant (ENSSMAL)	Promoteur
Mme HOUMA-BACHARI. F	Professeur (ENSSMAL)	Co-promotrice
Mr KADA. M	Doctorant (ENSSMAL)	Examinateur

Promotion : 2014

Dédicaces :

Avec une grande joie je dédie ce modeste travail :

*À mes chers parents qui m'ont tant aidé et encouragé
dans l'espoir d'une réussite à mes études.*

*À mes deux adorables sœurs, mon frère et bien sûr sans
oublier alaa et Isaak Imad Eddine, Nabil, Kader et toute
la famille « SAFIR ».*

*À Ryma que j'aime beaucoup avec laquelle j'ai partagé
mes 5 ans d'étude avec énormément de moments
d'émotion.*

À AbdelAli.

À ma très chère amie : Radouchti.

*À vous Mr Boughrira, mon promoteur : je vous garderai
l'image de l'enseignant toujours sérieux et soucieux de
transmettre à l'étudiant le sens de la rigueur et du
travail.*

À toute la section d'environnement.

*Enfin à tous ceux dont le nom n'a pas été cité et dont le
soutien moral m'a été d'un grand secours.*

Je vous remercie tous.

Et que dieu vous protège.

Fairouz



Remerciement :

Au terme de ce modeste travail, je tiens tout d'abord à remercier « Allah » le tout puissant, de m'avoir accordé le courage, la patience et surtout la santé pour réaliser ce travail.

J'exprime mes sincères remerciements à mes parents pour leur contribution pour chaque travail que j'ai effectué.

*Je tiens également à remercier infiniment mon promoteur Mr : **Boughrira Abdelhak** de m'avoir encadré.*

*Et je tiens à exprimer mon profond respect et mes sentiments de gratitude les plus sincères à **Mme : Bachari houma** ma co-promotrice qui a contribué énormément à la réalisation de ce modeste travail.*

*Je remercie Mme : **Louanchi** Qui a très aimablement acceptée de présider le jury.*

*Je remercie aussi Mr : **Kada** d'avoir accepté d'examiner notre travail*

*J'adresse mes sincères remerciements au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL : **Fatima** et **Youcef** pour avoir toujours répondu avec célérité et compétence à mes multiples demandes de documentation.*

*Ce travail n'aurait pas été possible sans l'appui logistique et humain du laboratoire de recherche de **Sidi Fredj**. Que toute l'équipe trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

*Je remercie Mr: **Makki** pour ces conseils, ces orientations et le temps qu'il m'a consacré afin de réaliser ce travail.*

Enfin je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Fairouz

Sommaire

Introduction	10
---------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1- Hydrocarbure	13
I.1.1. Définition des hydrocarbures	13
I.1.2. Classification des hydrocarbures	13
1. Les hydrocarbures aliphatiques	14
2. Les hydrocarbures naphténiques	14
3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	14
I.1.3. Toxicité des HAP	15
I.1.4. Formation et Origine des HAP	16
1. Origine pyrolytique	16
2. Origine pétrolière	16
3. Origines biosynthétique et diagénétique	16
I.1.5. Comportement biogéochimique des HAP	16
I.1.6. Propriétés chimiques des HAP	17
I.1.7. Propriétés physiques des HAP	17
I.1.8. Sources de pollution par les HAP	17
I.2- Les sédiments	18
I.2.1. Origine des sédiments	18
I.2.2. Granulométrie	18
I.2.3. Composition des sédiments	19
I.2.4. Mobilité et biodisponibilité des HAP dans un sédiment	19
I.2.5. Comportement des hydrocarbures dans les sédiments	20

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1- Localisation géographique de la baie de Bou Ismaïl	22
II.2- Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl	23
II.3- Facteurs hydrodynamiques	23
II.3.1. Les Courants	23
II.3.2. Les houles	24
II.4- Réseau hydrographique / apports terrigènes	24
II.5- Etat de pollution dans la baie de Bou Ismaïl	25

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1- Travaux en mer	28
III.1.1. Prélèvement du sédiment et localisation des stations	28

III.1.2- Mesure des paramètres physico-chimiques	29
III.1.2.1. Température (T)	29
III.1.2.2. Salinité S ‰ ou (P.S.U)	30
III.1.2.3. Potentiel d'hydrogène (PH)	30
III.1.2.4. Oxygène dissous (OD)	30
III.2-Travaux effectués aux laboratoires	30
III.2.1. Analyse des HAP par SFUV et la quantification de la MO dans le sédiment	30
III.2.2. Analyse granulométrique	30
III.2.2.1. Principe de la méthode	31
III.2.2.2. Mode opératoire de l'analyse granulométrique	31
III.2.2.3. Traitement des données	32
III.2.2.4. Paramètres graphiques et indices granulométriques	33
1. La médiane Q_{50}	33
2. Les quartiles Q_{25} et Q_{75}	33
3. indice de classement (S_o) : (Indice de trask)	34
4. Indice d'asymétrie (S_k) ou indice de Skewness	34
5. Coefficient d'uniformité de Hazen CU	35
6. Facteur hydrodynamique	35
7. Moyenne et coefficient de dissymétrie de Folck et Ward	35

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1- Résultats des paramètres physico-chimiques et de la MO	38
IV.1.1. Température (T)	38
IV.1.2 Salinité S ‰ ou (P.S.U)	39
IV.1.3. Le potentiel d'hydrogène	39
IV.1.4. Oxygène dissous (OD)	40
IV.1.5. Matière Organique	41
IV.2. Les concentrations des HAP dans les Sédiments superficiels	41
IV.3-Comparaison des concentrations des HAP dans les sédiments superficiels	43
IV.4.Corrélation entre les hydrocarbures aromatique-Matière organique	43
IV.5.Interprétation des graphes d'absorbance dans le domaine ultraviolet	44
IV.6. Résultats de l'analyse granulométrique	46
IV.6.1.Analyses des courbes cumulatives	46
IV.6.2 Résultats de la fraction pélique	49
IV.7.Corrélation entre pouvoir de rétention et les pélites	50
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	55
Annexes	59

Figure 2.1 : Situation géographique de la baie de Bou Ismaïl (Google Earth, 2014).	22
Figure 2.2 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl (LEM, 1998).	23
Figure 2.3 : Hydrodynamisme dans la baie de Bous Ismaïl (LEM, 2005).	24
Figure 2.4 : Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismaïl.	25
Figure 3.1 : Choix et localisation des stations de prélèvement. (Google Earth, 2014)	28
Figure 3.2 : Benne preneuse de type Van veen.	29
Figure 3.3 : Valise multiparamétrique.	29
Figure 3.4 : Balance électrique.	32
Figure 3.5 : dispositif de tamisage.	32
Figure 4.1 : Variations de la température dans la baie de Bousmaïl.	38
Figure 4.2 : Variations du potentiel d'hydrogène dans la baie de Bou Ismaïl.	39
Figure 4.3 : Variations de la salinité dans la baie de Bou Ismaïl.	40
Figure 4.4 : Variations des teneurs en oxygène dans la baie de Bou Ismaïl.	40
Figure 4.5 : Variations de la Matière organique dans la baie de Bou Ismaïl.	41
Figure 4.6 : Variation des concentrations des HAP ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments de la baie de Bou Ismaïl.	42
Figure 4.7 : Corrélation entre la matière organique et teneurs en HAP dans les sédiments.	44
Figure 4.8 : Echantillon 1(khmisti) : le pic d'absorption est entre 340 et 390 nm (environ 365).	45
Figure 4.9 : Echantillon 3(Bouharoun) : le pic d'absorption est entre 300 et 340 nm (environ 320).	45
Figure 4.10 : Echantillon 2(Anse de kouali); 4(Bousmaïl) : le pic d'absorption est entre 300 et 390 nm (environ 340).	45
Figure 4.11 : Echantillon 5 (Mazafran) ; 6 (Oued Beni Messous) : le pic d'absorption est entre 300 et 390 nm (environ 340).	46
Figure 4.12 : Pouvoir de rétention des hydrocarbures en fonction des stations.	49
Figure 4.13 : Taux des pélites dans les différentes stations de prélèvements.	50
Figure 4.14 : Diagramme de corrélation entre les PR et le taux des pélites.	50

Tableau 2.1 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (Etude d'aménagement du littoral, Wilaya de Tipaza, synthèse-bilan diagnostic 2006).	26
Tableau 3.1 : diamètre des grains et l'appellation correspondant à la norme française.	32
Tableau 3.2 : La nature des sédiments selon (MONBET ,1972 in BOUKARTAOUI et BOUTOUILI, 1989).	33
Tableau 3.3 : Classification des grains de sable (FOLK et WARD, 1957 in GAUCEM T et REBHIM ,2011).	33
Tableau 3.4 : Valeurs du S_o représentant les types de classement.	34
Tableau 3.5 : Valeurs de S_k représentant la prédominance ou non de la fraction pélitique ou grossière.	34
Tableau 3.6 : Représentant l'étalement de la granulométrie et l'estimation de la perméabilité des sols.	35
Tableau 4.1 : Concentration des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou Ismail (travaux de l'ENSSMAL).	43
Tableau 4.2 : Les valeurs des quartiles, de pouvoir de rétention et des différents indices granulométriques.	47
Tableau 4.3 : Variation de la taille moyenne en fonction des stations	48
Tableau 4.4 : Classification des sédiments selon le taux des pélites.	49

% : pourcentage

°C : Degré Celsius

AFNOR : Association française de Normalisation

C.O.I : Commission Océanographique Intergouvernementale.

CO : Carbone organique.

DNAPL : Dense Non Aqueous Liquid Phase.

ENSSMAL : Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral

exp : exponentiel

FH : Facteur hydrodynamique

g :gramme.

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

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Kg : Kilogramme

Km : Kilomètre

Koc : le coefficient de partage de carbone organique

mm : millimètre

OD : Oxygène dissous

P.S.U: Practical Salinity Unit

PH : Potentiel d'hydrogène

PR : Pouvoir de rétention

St : Station

SFUV : Spectrofluorimétrie ultraviolet.

T : Température

Introduction

La mer Méditerranée a toujours été un carrefour de civilisations et de cultures, actuellement elle est l'une des mers les plus polluées du monde, elle est sillonnée par 50% de la circulation maritime mondiale dont plus de 20% sont celles du transport des hydrocarbures.

La Méditerranée représente 1% de la surface maritime mondiale. Elle est considérée comme l'une des mers les plus exposées au risque de la pollution par les hydrocarbures et les substances chimiques dangereuses. Elle représente la principale voie maritime de transport du pétrole brut à partir des gisements du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord, vers les principaux consommateurs, **(TELBAHR, 2006)**.

La côte algérienne constitue une voie de navigation et de transit préférentiel des pétroliers et des tankers dans le bassin occidental. Cette situation fait peser une pression importante sur la côte algérienne et une vulnérabilité vis-à-vis des pollutions marines par les hydrocarbures.

Les hydrocarbures représentent la plus importante source de pollution des eaux marines. Cette pollution résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis : Carburants et lubrifiants, **(in BOUGHRIRA, 2012)**.

La pollution par les hydrocarbures peut être accidentelle mais la principale source est volontaire. 21 accidents ont été enregistrés en Algérie depuis 37 ans dont le plus récent est la fuite d'hydrocarbures dans le port d'Alger.

Le sédiment marin constitue un compartiment très important de l'écosystème aquatique qui sert d'habitat pour la faune et flore marine. Il est considéré comme étant le réservoir extrême vers lequel est acheminée la plupart des contaminants. Vu que les sédiments sont doués d'une mémoire assez longue, ils constituent un outil privilégié pour l'estimation de l'état de la contamination du milieu marin. De ce fait, de nombreux travaux se sont intéressés à la matrice sédimentaire qu'à celle de l'eau, **(in LOURGUIOUI, 2001)**.

L'objectif général de ce travail, est l'évaluation du taux des HAP dans le sédiment de la baie de Bou Ismaïl et le calcul sa capacité de piégeage.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composée de plusieurs chapitres :

Un premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur les hydrocarbures rappelant, leur définition, leur classification, leur origine ainsi que les principales caractéristiques physico-chimiques.

Le deuxième chapitre décrit la zone d'étude, le réseau hydrographique, la sédimentologie ainsi que les conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismaïl.

Le troisième chapitre présente la méthodologie suivie dans la réalisation des travaux sur le terrain et au laboratoire ainsi les méthodes analytiques appliquées pour déterminer le taux

des HAP et leur capacité de piégeage dans les sédiments de notre zone d'étude et d'identifier ces différentes catégories.

Le dernier chapitre présente dans un premier temps une interprétation des résultats relatifs aux paramètres physicochimiques le pH, la température, la salinité et l'oxygène dissous, puis les résultats obtenus à l'issue de l'analyse granulométrique et l'analyse des HAP par SFUV.

Enfin une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre I :
Synthèse
bibliographique

I.1- Les hydrocarbures

Lorsqu'on aborde les statistiques relatives aux apports d'hydrocarbures à l'océan, le sujet est parfois complexe, en matière de pollution en mer, les sources ne manquent généralement pas, fournies par des structures américaines ou par des comités d'experts (GESAMP, 2001) qui s'accordent plus ou moins sur les chiffres. Cette relative disparité tient en partie au fait que les petites pollutions ne sont pas toujours quantifiées. De plus, une partie du déballastage en mer ne rentre pas dans les statistiques, (MARCHAND, 2003).

I.1.1. Définition des hydrocarbures

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

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

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

I.1.2. Classification des hydrocarbures

Il existe plusieurs familles, on peut les classer comme suit :

- ✚ **Les hydrocarbures aliphatiques**
- ✚ **Les hydrocarbures naphthéniques**
- ✚ **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques**

1. Les hydrocarbures aliphatiques

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés (c'est-à-dire que toutes les liaisons des différents atomes sont utilisées par des atomes d'hydrogènes), à chaîne droites (n-alcane) ou ramifiée (iso-alcane). On les appelle aussi paraffines ; ces alcanes représentent environ 30% du poids du pétrole brut.

Dans le cas de pollution marine, ces pétroles qui sont peu nocifs (sauf pour les plus légers entre eux, à moins douze atomes de carbone) ont une biodégradation rapides, surtout lorsque les chaînes sont droites. (*in* ABDERRAHMANI, 2011).

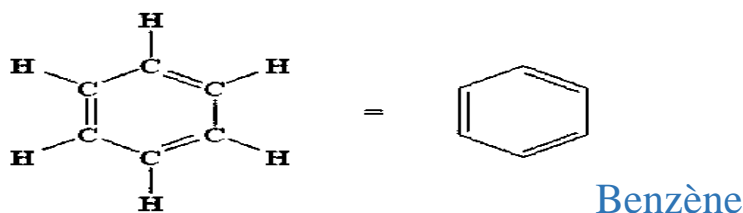
2. Les hydrocarbures naphthéniques

Les cyclo-alcanes : renferment des composés cycliques (à 5 ou 6 atomes de carbone) saturés et le plus souvent substitués. Quelques dérivés polycycliques sont aussi présents et certains d'entre eux tels les stéranes et les triterpanes sont caractéristiques d'un pétrole brut.

Cette famille peut représenter entre 30 et 50 % des hydrocarbures totaux d'un pétrole brut. (*in* ABDERRAHMANI, 2011)

3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs)

Les hydrocarbures aromatiques sont des hydrocarbures insaturés qui contiennent au moins un cycle benzénique. Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbones et d'une conjugaison de liaison simple et double, sa formule brute est C_6H_6 . (FATTAL, 2008).



Ils sont persistants et toxiques due à leur insolubilité qualifiée comme « Unresolved Complex Mixture » (UCM). Ils forment généralement entre 15 et 40 % des pétroles bruts. Certains composés à plusieurs noyaux aromatiques tels que le benzo(a)pyrène sont doués d'une grande stabilité et sont reconnus comme mutagènes, cancérigènes et se bio-accumulent fortement, (FATTAL, 2008).

Les hydrocarbures benzéniques possèdent une odeur assez caractéristique, parfois agréable. Ils sont souvent très toxiques, parfois cancérigènes. Ils sont moins denses que l'eau et y sont extrêmement peu solubles.

La plupart des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu (**INERIS, 2005**).

Etant hydrophobes, liposolubles, les hydrocarbures aromatiques polycycliques ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques peuvent être classés en trois groupes basés sur le nombre de cycles aromatiques qu'ils contiennent et leurs masses molaires moléculaires :

- hydrocarbures aromatiques polycycliques de faibles masses molaires moléculaires (de l'ordre de 152-178 g/mol, soit 2 à 3 cycles) : naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, anthracène et phénanthrène – **solubilité et volatilité la plus élevée**.
- hydrocarbures aromatiques polycycliques de masses molaires moléculaires intermédiaires (de l'ordre de 202 g/mol, 4 cycles) : **fluoranthène, pyrène**.
- hydrocarbures poly aromatiques à masses molaires moléculaires élevées (de l'ordre de 228-278 g/mol, soit 4 à 6 cycles) : benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3, cd)pyrène – **sorption la plus forte**.

I.1.3. Toxicité des HAP_s

L'une des raisons ayant conduit au classement des HAP_s dans la liste des polluants prioritaires de l'EPA (agence environnementale américaine) est le caractère toxique de certains d'entre eux. Ce sont des molécules biologiquement actives qui, une fois absorbées par les organismes, se prêtent à des réactions de transformation sous l'action d'enzymes conduisant à la formation d'époxydes et / ou de dérivés hydroxylés.

Les métabolites ainsi formés peuvent avoir un effet toxique plus ou moins marqué en se liant à des molécules biologiques fondamentales telles que les protéines, l'ARN, l'ADN et provoquer des dysfonctionnements cellulaires.

Cependant, les effets toxicologiques de tous les HAP_s actuellement, sont imparfaitement connus. Toutefois, les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montrés que certains HAP_s pouvaient induire spécifiquement de nombreux effets sur la santé, des effets systémiques (hépatiques, hématologique, immunologiques et développement d'athéroscléroses), et / ou des effets sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques (mutagènes) et cancérigènes (**INERIS, 2005**).

I.1.4. Formation et Origine des HAP_s

1. Origine pyrolytique

Les HAP_s sont formés principalement lors de la combustion incomplète de la matière organique, récente ou fossile. L'activité industrielle contribue largement à la production de ces composés de même que les émissions des véhicules et le chauffage résidentiel. La pyrolyse naturelle (incendies de forêt, éruptions volcaniques) intervient également.

Les HAP_s d'origine pyrolytique sont caractérisés par la prédominance des noyaux aromatiques non substitués sur les homologues alkylés. Ce profil est en fait lié à la température de combustion à laquelle se forment les composés. A haute température (1500-2000°C) il ne subsiste que les HAP_s non substitués (cas des rejets des activités industrielles et des automobiles). Par contre les températures atteintes par les feux de forêts (400-800°C) permettent la formation de certains HAP_s alkylés.

2. Origine pétrolière

La formation du pétrole par catagenèse se produit à des températures relativement basses (50-10°C) permettant la conservation des chaînes alkylées. Ainsi, l'enfouissement dans les bassins sédimentaires de la matière organique et sa lente maturation conduisent à la formation de mélanges de HAP_s complexes où prédominent les dérivés alkylés. Cette distribution, caractéristique du pétrole, est utilisée comme indicateur de contamination pétrolière des sédiments et des organismes marins.

3. Origines biosynthétique et diagénétique

A côté de ces deux origines principales des HAP_s, d'autres voies sont à considérer. La biosynthèse directe par des micro-organismes ou des végétaux. Dans cette voie, des structures moléculaires polycycliques comme des quinones ou des stéroïdes, produits par des organismes vivants, servent de précurseurs biologiques de HAP_s formés par diagenèse précoce dans les sédiments (MURIELLE, 1995).

I.1.5. Comportement biogéochimique des HAP_s

Les HAP_s sont des composés ubiquistes présents dans tous les compartiments environnementaux : atmosphère, colonne d'eau, biote, sédiment, sols. Cette large distribution est due à leur grande stabilité et multiplicité de sources. Leur distribution dans l'environnement résulte de multiples processus abiotiques et biotiques, contrôlés par leurs propriétés physico-chimiques : volatilisation, transport à longue distance, dépôt atmosphérique, adsorption sur les Particules, sédimentation, bioaccumulation, activités microbiennes, oxydation chimique et photo oxydation.

I.1.6. Propriétés chimiques des HAP_s

Les HAP_s peuvent être classés en trois groupes basés sur le nombre de cycles aromatiques qu'ils contiennent et leurs masses molaires moléculaires :

- ✚ HAP_s de faibles masses molaires moléculaires (de l'ordre de 152-178 g/mol, soit 2 à 3 cycles) : naphthalène, acénaphtylène, acénaphène, fluorène, anthracène et phénanthrène : solubilité et volatilité la plus élevée.
- ✚ HAP_s de masses molaires moléculaires intermédiaires (de l'ordre de 202 g/mol, 4 cycles) : fluoranthène, pyrène.
- ✚ HAP_s à masses molaires moléculaires élevées (de l'ordre de 228-278 g/mol, soit 4 à 6 cycles) : benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, benzo(b) fluoranthène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3,cd)pyrène – sorption la plus forte (INERIS, 2005).

I.1.7. Propriétés physiques des HAP_s

De manière générale, la plupart des HAP_s sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau, peu mobiles dans le sol, car ils sont facilement adsorbés. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu.

La tension de vapeur saturante des HAP_s diminue au fur et à mesure que la masse molaire moléculaire augmente tandis que la solubilité dans l'eau varie en fonction de la complexité de la structure moléculaire. En général, les HAP_s ont une faible solubilité, comprise entre 30 mg/l pour les composés légers et 10-4 mg/l pour les plus lourds.

La constante de Henry (K_H) est un coefficient qui exprime le ratio de la concentration dans l'air et dans l'eau à l'équilibre. Le coefficient de partage du carbone organique (K_{oc}) indique la propension des HAP_s à se lier à la matière organique du sol ou du sédiment. Le coefficient de partage octanol/eau (K_{ow}) permet d'estimer la migration des HAP_s vers des lipides. Ces propriétés sont fortement corrélées à la masse molaire moléculaire du HAP_s considéré.

La faible hydrosolubilité des HAP_s et leur masse volumique, supérieure à 1, permet de les classer dans la famille des phases liquides non aqueuses (DNAPL : Dense Non Aqueous Liquid Phase).

Etant hydrophobes, liposolubles et généralement volatils, les HAP_s ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques (INERIS, 2005).

I.1.8. Sources de pollution par les HAP_s

Les HAP_s présents dans l'environnement résultent de différents processus : La biosynthèse par les organismes vivants, les pertes à partir du transport maritime ou de l'utilisation des carburants fossiles, charbons, pétroles la pyrolyse des matières organiques à haute température, feu de forêts, combustion des charbons et pétroles. Ce dernier processus

constitue la principale voie d'introduction des HAP_s dans l'environnement et résulte majoritairement des activités anthropiques.

Il est bien connu que la combustion des essences est une source importante d'introduction de HAP_s dans l'atmosphère qui rejoint le milieu marin par les retombés atmosphériques et les eaux de pluies.

Les activités industrielles telles que les usines de production d'aluminium, les raffineries de pétrole ou les rejets urbains, contribuent également de manière importante aux apports atmosphériques et aquatiques, (IFREMER, 2007).

I.2- Les sédiments

Le sédiment est un compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes.

I.2.1. Origine des sédiments

Les sédiments proviennent du dépôt des particules en suspension dans l'eau dérivant elles-mêmes de l'érosion des roches et des sols, de matériaux détritiques organiques et de la floculation d'éléments colloïdaux. Ces particules parviennent au milieu aquatique par les cours d'eau, par voie atmosphérique, rejets des stations d'épuration.

Ces éléments sont dits d'origine allochtone quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques externes, comme l'eau ou le vent, et d'origine autochtone quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates, évaporites) et organique (organismes planctoniques morts) (RAMADE, 1998). Les sédiments sont essentiellement caractérisés par leur granulométrie et leur composition.

I.2.2. Granulométrie

Les sédiments sont classés en fonction de la taille de leurs particules (BELLAIR et POMEROL, 1977) :

- ✚ Les particules d'un diamètre supérieur à 63µm caractérisent les sédiments grossiers qui sont principalement constitués de sable et de matériel inorganique silicaté. Ces sédiments présentent une faible cohésion, les surfaces de contact des différentes particules sont peu importantes et donc sont peu associées aux contaminants. On distingue généralement les graviers (diamètre supérieur à 2 mm) et les sables (diamètre compris entre 63µm et 2 mm).
- ✚ Les particules d'une taille inférieure à 63µm sont constituées de minéraux argileux ayant un diamètre compris entre 0,2 et 2µm et de silt ayant un diamètre compris entre 2µm et 63µm. Cette fraction fine peut également contenir de la matière organique.
- ✚ Les particules fines sont très cohésives, elles sont chargées négativement et leur surface de contact est importante. Ces caractéristiques leur donnent un grand pouvoir adsorbant vis à vis des contaminants.

- ✚ La matière organique sédimentaire, caractérisée par le carbone organique, est constituée de macromolécules polymérisées hétérogènes ; elle possède des sites hydrophiles qui lui permet de s'adsorber à la surface des particules argileuses et de complexer de nombreux contaminants, organiques notamment (BONNET, 2000).

I.2.3. Composition des sédiments

Le sédiment est une matrice très hétérogène, constitué de matériaux détritiques inorganiques et organiques (POWER et CHAPMAN, 1992). Il présente principalement 3 composants :

Eau interstitielle : elle correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires et représente une fraction importante du sédiment avec généralement plus de 50% de son volume.

Phase inorganique : elle est formée de minéraux provenant de l'érosion de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Ses composés sont principalement, les argiles, carbonates et les silicates. Les particules inorganiques sont généralement enrobées d'hydroxyde de fer et de manganèse et de substances organiques qui leur confèrent une grande capacité d'adsorption vis à vis des contaminants.

Phase organique : elle n'occupe qu'un faible volume du sédiment (quelques %), mais joue un rôle primordial, puisqu'elle régule la mobilité et donc la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants, en particulier les composés organiques non ioniques (POWER et CHAPMAN, 1992). Selon sa taille la matière organique peut être classée en carbone organique dissous, colloïdal et particulaire (BONNET, 2000).

Les sédiments sont aussi également caractérisés par leur pH, leur potentiel redox, leur salinité, leur teneur en oxygène et en sulfures. Ces paramètres gèrent la répartition des contaminants entre les différentes phases d'un sédiment, ainsi que leur biodisponibilité.

I.2.4. Mobilité et biodisponibilité des HAP_s dans un sédiment

La forme physico-chimique d'un composé détermine sa mobilité, biodisponibilité et toxicité vis à vis des organismes vivants. Dans un sédiment, il existe de nombreux échanges entre les différents compartiments, tel que de la phase particulaire vers la phase dissoute, entraînant ainsi une contamination. Ces échanges sont complexes et influencés par de nombreux facteurs physiques, chimiques et biologiques, (*in* DEHANE, 2012)

Les HAP_s, faiblement solubles dans l'eau, s'associent très facilement aux particules ainsi qu'à la matière organique. Cependant, des échanges existent entre la phase particulaire et la phase dissoute ; ils sont influencés par la teneur en matière organique (exprimée en teneur de carbone organique, CO) et la granulométrie des sédiments.

La mobilité et la disponibilité des HAP_s dépendent également de la source qui les a générés.

Les HAP_s pétroliers, présents sous forme d'émulsion avec l'eau sont plus facilement disponibles en comparaison des HAP_s d'origine pyrolytique fortement adsorbés sur et dans les particules.

Le passage des composés organiques de la phase particulaire à la phase dissoute est principalement géré par le caractère hydrophobe de ces molécules, ainsi que par la quantité et la qualité de la matière organique.

Plus un composé est hydrophobe, plus il est fortement adsorbé sur les particules. De la même façon plus la teneur en matière organique est élevée, moins les HAP_s sont mobiles et leur coefficient de partage diminue (K_p) (Ce rapport se définit comme le rapport de concentration d'un composé i adsorbé à la phase solide (sédiment) et dissous dans l'eau à l'équilibre).

La quantité de colloïdes dans l'eau interstitielle joue également un rôle important dans la mobilité des composés organiques.

La granulométrie du sédiment joue également un rôle important dans la distribution des HAP_s.

Les HAP_s de poids moléculaire élevé (peu hydrosolubles) sont préférentiellement associés aux particules fines en comparaison aux composés plus hydrosolubles ; leur mobilité et leur biodisponibilité diminuent donc lorsque la fraction de particules fines d'un sédiment augmente, (**GEFFARD, 2001**).

I.2.5. Comportement des hydrocarbures dans les sédiments

L'étude du comportement des hydrocarbures dans les sédiments d'une plage fait intervenir tout d'abord la nature des hydrocarbures mais aussi les caractéristiques des sédiments (physiques, chimiques, géotechniques, granulométriques) et leur dynamique (migrations, hydrogéologie).

La prise en compte de ces différents aspects doit aboutir, sur un plan pratique, à la définition de l'indice de vulnérabilité d'un sédiment suffisamment simple pour être utilisable sur le terrain

L'indice de vulnérabilité d'un sédiment aux hydrocarbures dépend de :

- ✚ sa capacité à "absorber" les hydrocarbures c'est-à-dire sa perméabilité.
- ✚ sa capacité à les "retenir", c'est-à-dire son pouvoir de rétention : (**CONVERY 1979**) a défini la "rétention spécifique primaire" d'un sédiment comme le volume d'hydrocarbures retenu après un passage de ces hydrocarbures à travers le milieu par gravité.

Le pouvoir de rétention est contrôlé par la porosité, la teneur en eau, la teneur en matière organique et bien sûr par la nature des hydrocarbures.

Les caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures (viscosité et tension superficielle), ou de certaines fractions. Les composants influencent leur pouvoir de rétention par les sédiments

Chapitre II :
Présentation de la zone
d'étude

II.1-Localisation géographique de la baie de Bou Ismaïl

La baie de Bou Ismaïl se situe dans la partie centrale du littoral algérien, elle se loge dans la wilaya de Tipaza à 30 km à l'Ouest d'Alger. Cette baie est l'une des plus importantes de la côte algérienne. Elle est limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua. Elle a une superficie de 509 km² avec un linéaire côtier de plus de 60 km, et une ouverture de l'ordre de 48 km, elle est orientée du Sud-Ouest au Nord-Est, soit 2° 54' Est et 36° 48' Nord à 2° 24' Est et 36° 38' Nord.

La baie de Bou Ismaïl peut être divisée en quatre zones géographiques :

- ✚ La baie d'El Djamila limitée à l'Est par Ras Acrata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. Elle est caractérisée par une côte basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.
- ✚ Le secteur Sidi Fredj – Oued Mazafran, constitué sur environ 12 km de plage de sables fins.
- ✚ Une côte rocheuse, faisant suite au secteur ci-dessus, longue de 30 km dont la limite à l'Ouest est Tipaza.
- ✚ La baie du Chenoua où se jette l'oued Nador débute à partir de Tipaza ; elle est bordée dans sa partie Ouest par le massif du Chenoua. Tout le fond de cette baie est occupé par une plage de sables fins.



Figure 2.1 : Situation géographique de la baie de Bou Ismaïl (Google Earth, 2014).

II.2-Sédimentologie de la baie de Bousmaïl

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 identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux, (LEM, 1998).

L'importance et la répartition de ces faciès ne sont pas identiques en tout point de la baie. Ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologique propres.

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou Ismaïl. Les vases 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, (DAGORNE ,1970).

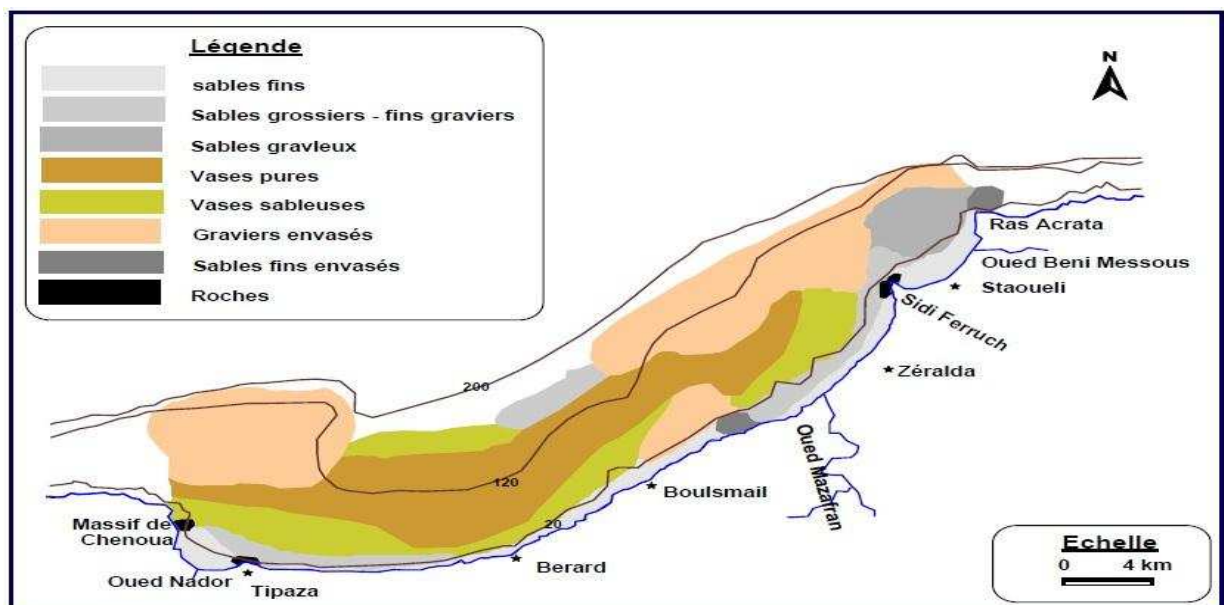


Figure 2.2 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl (LEM, 1998).

II.3-Facteurs hydrodynamiques

II.3.1-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 côte Algérienne est traversée par un courant général dénommé courant Algérien résultant d'un écoulement d'eau atlantique à travers le détroit de Gibraltar, le courant Algérien pénètre sous forme de veine et circule d'ouest en est, et dès 1° et 2° est, il donne naissance à des méandres et des tourbillons côtier (50-100 km) associés à des upwellings, (MILLOT ,1987).

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

II.3.2-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 côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin, (KADARI-MEZIANE, 1994).
- ✚ **Les houles estivales** : sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellment à la cote avec transfert des sédiments qui engraisent le rivage, (BRAIK ; 1989 in AOUIDAD 1997).

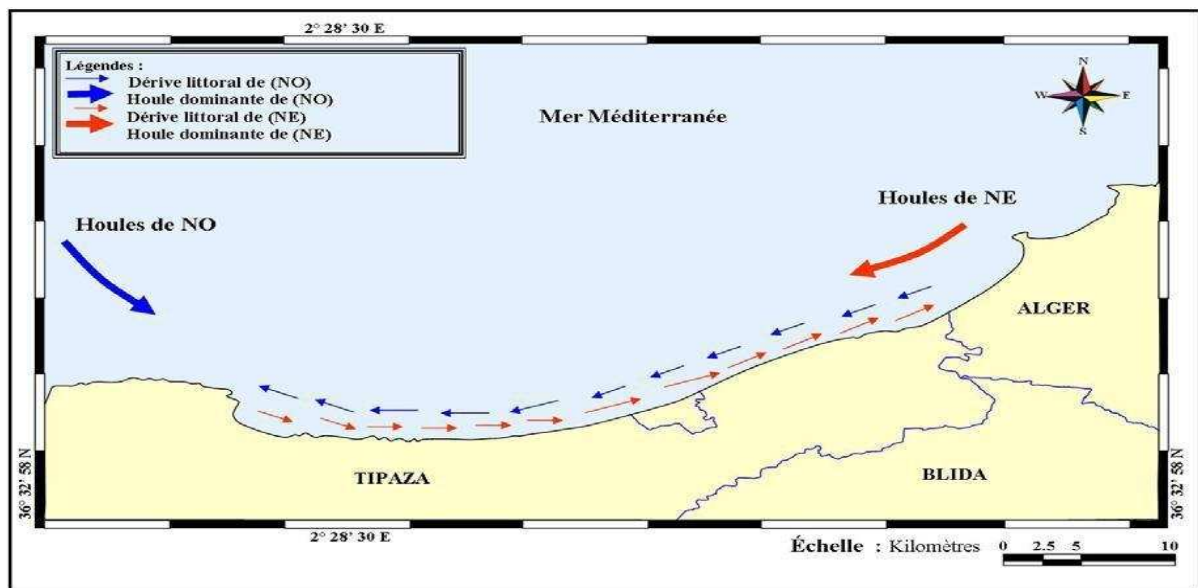


Figure 2.3 : Hydrodynamisme dans la baie de Bou Ismaïl (LEM, 2005).

II.4-Réseau hydrographique / apports terrigènes

La baie de Bou Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec des apports des apports solides, liquides très importantes d'origine terrigènes, trois principaux oueds déversent dans cette baie et sont perpendiculaire (Oued Nador) ou obliques (Oued Beni Messous et Mazafran) à la côte.

- ✚ **Oued Beni Messous** : Se situe à 15 Km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et club des pins, aliment la baie d'El Djamila. Il prend source dans le grand Chéraga : il traverse les communes de Chéraga au Nord, Bouzaréah au niveau d'une agglomération appelée "la tribu" au nord Est, Dely Brahim à l'Est et Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée "les Dunes" à environ 2 Km à l'Ouest du port d'El Djamila sur une

distance de 11.5 Km, regroupant l'Oued Defla et l'Oued Baïnem. Son bassin versant est réduit, il est souvent sec, sauf lors des fortes pluies ou il peut raviner une quantité non considérable de sédiments, (AOUIDAD, 1997 in BOUGHRIRA, 2012).

- ✚ **Oued Mazafran** : Se situe à l'Ouest de Sidi Fredj, l'Oued Mazafran est formé par la ramification des Oueds Djer, Chaffa et Bou-Roumi. Il prend sa source de la plaine de la Matidja. Cet Oued débouche entre Zeralda et Douaouda .Son débit est estimé à environ 13.8 m³ /s, et couvre une superficie de 600 km², (AOUIDAD, 1997 in BOUGHRIRA, 2012).
- ✚ **Oued Nador** Situé dans la partie occidentale de la baie, il prend son origine à partir de la cluse de Tipaza avant de déboucher dans la petite baie de Chenoua. Il est formé par la réunion des Oueds suivants : Oued Bou-Yersen, Bou-Ardoun et oued Meurad. Son bassin versant a une superficie de l'ordre de 200 à 230 Km², (AOUIDAD, 1997 in BOUGHRIRA ,2012).

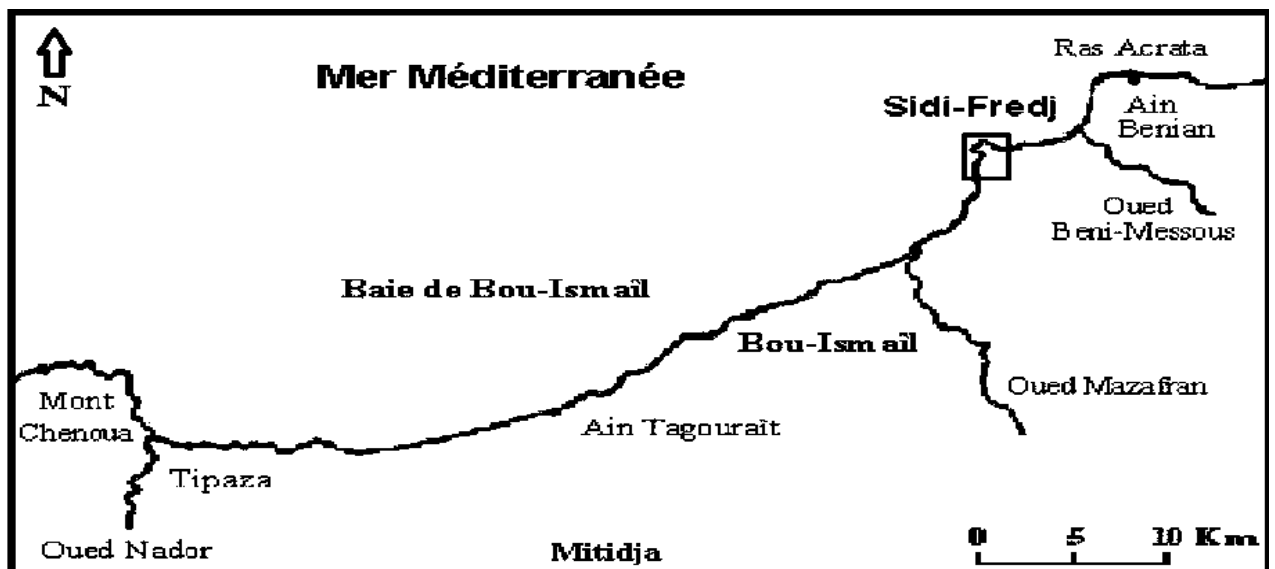


Figure 2.4 : Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismaïl.

II.5- Etat de pollution dans 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 (surtout en période estivale). Cependant, avec le développement démographique et l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture et surtout de l'industrie, cette dernière décennie, la charge polluante a augmenté tant en quantité qu'en qualité. Fuyant de la saturation de la capitale Alger, de nombreuses activités se sont donc installées dans la baie prisée pour son état, longtemps, considéré vierge.

De plus l'axe routier Alger-Tipaza (RN.11) a favorisé le développement économique et même touristique puisque la baie est devenue un véritable pôle d'attraction.

L'intensification de l'agriculture, répondant aux besoins d'une densité de population de plus en plus croissante, accentue la pollution chimique par les engrais, très utilisées dans la région.

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 industriels), des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes : huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds. (Voir Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza
(Etude d'aménagement du littoral, Wilaya de Tipaza, synthèse-bilan diagnostic 2006, *in Inal, 2011*).

Communes	Nombre de rejets	Débit m ³ /j	Lieu de rejet
Bou Ismail	9	4000	Mer
Bouharoun	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 Tagourait	6	320	
Total	67	24 892	

A 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-Djemila, Port de plaisance de Sidi Fredj, Port de plaisance de Palm Beach.

Chapitre III :

Matériel et méthode

III.1- Travaux en mer

III.1.1. Prélèvement des sédiments et localisation des stations

Dont le but d'identifier la capacité de piégeage des hydrocarbures aromatiques polycycliques et les différentes catégories de sédiment au niveau de la baie de Bou Ismaïl. Plusieurs prélèvements ont été réalisés dans différentes stations.

La sortie en mer a été organisée le 23/06/2014. Six échantillons de sédiment ont été prélevés pour l'étude des HAP et cinq échantillons de sédiments ont été prélevés pour l'étude de la capacité de piégeage des HAP dans la matrice sédimentaire de la baie de Bousmaïl. Le prélèvement des sédiments superficiels a été effectué manuellement pour toutes les stations, à une profondeur allant de 1 à 2m.

Lors des sorties, la mesure des paramètres physicochimiques (pH, température, salinité et oxygène dissous) a été réalisée in situ à l'aide d'une valise multiparamétrique.

III.1.1.1. Choix et localisation des stations du prélèvement

Le choix des stations de prélèvement durant la sortie n'était pas inopiné, une carte a été réalisée au préalable en prenant compte de la localisation des principaux points des rejets et des oueds dans la baie de Bou Ismaïl. Le tableau de l'annexe 2 dans le chapitre résultats et discussion donne les coordonnées des stations, lors des prélèvements.

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



Figure 3.1 : Choix et localisation des stations de prélèvement. (Google Earth, 2014)

III.1.2.2. Prélèvement des sédiments superficiels

Le prélèvement du sédiment superficiel a été effectué à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen. La benne est constituée d'acier inoxydable, à un poids d'environ 2,5 Kg et à une section d'impact de 0,19 m², avant l'envoi de la benne par gravité, les deux bras leviers sont écartés de chaque côté, avec les mâchoires ouvertes, au contact du fond, le mécanisme de fermeture se déclenche et quand le câble est tiré pour remonter la benne, les mâchoires se referment. Une fois la benne remontée, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule en acier inoxydable qui est à chaque fois lavée pour éviter toute contamination, ils sont ensuite mis dans des piluliers en verre.



Figure 3.2 : Benne preneuse de type Van veen.

III.1.2- Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés à la surface à l'aide d'une valise multiparamétrique de type (HI 9828).



Figure 3.3 : Valise multiparamétrique.

III.1.2.1. Température (T)

C'est une caractéristique physique importante, elle joue le rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants, (RODIER, 1997).

D'une façon générale la température des eaux superficielles sont influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond.

III.1.2.2. Salinité

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

Elle représente la teneur en sels dissous de l'eau de mer et peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants, (RODIER, 1997).

III.1.2.3. 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 (CO₂) 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 CO₂ (Respiration, photosynthèse, échange air- mer) entraînera donc une modification du pH, (RODIER, 2005).

III.1.2.4. Oxygène dissous (OD)

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

III.2-Travaux effectués aux laboratoires

Les échantillons prélevés sont soumis à une analyse granulométrique au sein du laboratoire de l'école nationale des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral ENSSMAL située à Dely Brahim et à l'analyse des HAP au sein du laboratoire de recherche de Sidi Fredj

III.2.1. Analyse des HAP par SFUV et la quantification de la MO dans le sédiment

La quantification de la MO a été réalisée au sein de laboratoire de Sidi Fredj (**annexe 2**).

Les analyses des HAP_s ont été réalisées au sein de laboratoire de recherche de Sidi Fredj. Le protocole a été détaillé dans le mémoire d'ingénieur (**annexe 3**).

III.2.2. Analyse granulométrique

D'après Rivière, 1977, la granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à la dimension des particules.

«Les tailles des particules sédimentaires sont extrêmement diverses, bien que de forme très diverses, les particules sont soumises à l'analyse granulométrique », (VATAN, 1967).

« Cette analyse consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale qui correspond à chaque dimension selon la méthode classique », (RIVIERE, 1977).

III.2.2.1. Principe de la méthode

Ce procédé consiste à passer l'échantillon par une série de tamis de mailles décroissantes et de récolter ensuite le poids partiel de chaque quantité dans le tamis.

Cependant, il existe de très nombreuses normes de tamisage, dans lesquelles les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses dans l'échelle logarithmique, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphique.

Cette analyse granulométrique permet de définir, suivant leurs calibres, diverses classes des sédiments indépendamment de leur nature chimique.

III.2.2.2. Mode opératoire de l'analyse granulométrique

Dans un premier temps, les échantillons mis dans des boîtes de pétries, sont placés à l'étuve pendant 24 heures ajustée à une température de 105°C.

Une fois le premier séchage achevé, 150 grammes de sédiments ont été prélevés de chaque boîte de pétri, cette valeur représentera le poids initial de l'analyse granulométrique pour chaque station.

Afin d'éliminer les fractions pelitiques, la quantité de sédiments a subi un rinçage dans un tamis de 40 µm de diamètre, sous un filet d'eau, aidé par une agitation manuelle du tamis.

Une deuxième fois, après l'élimination des fractions pelitiques, les échantillons, remis dans des boîtes de pétries subiront un autre séchage à l'étuve pendant 24 heures, également sous une température de 105°C.

Après ce deuxième séchage, chaque échantillon est pesé, la différence par rapport au poids initial représente la quantité des fractions pelitiques.

Nous pourrions procéder aux opérations de tamisage, pour cela, on a utilisé une série de tamis dont l'écartement des tailles se fait selon les normes AFNOR, c'est à dire, avec une raison de $\sqrt[10]{10}$. L'ordre des tamis par ordre de diamètres décroissent par unités de microns, est le suivants : 1200µm, 1000µm, 800µm, 600µm, 400µm, 315µm, 250µm, 200µm, 180 µm, 160 µm ,125µm ,100µm, 80µm ,63 µm, 50µm, 40µm.

Le tamisage s'est effectué mécaniquement sur une table vibrante, durant dix minutes, divisées en deux colonnes de tamis,

A la fin de chaque tamisage, le refus de chaque tamis est pesé avec une précision du centième de gramme.



Figure 3.4 : Balance électrique



Figure 3.5 : dispositif de tamisage

Tableau 3.1 : diamètre des grains et l'appellation correspondant à la norme française

Diamètre maximum	Appellation	Diamètre minimum
200 mm	Cailloux	20 mm
20 mm	Graviers	2 mm
2 mm	Gros sables	0.2 mm
0.2 mm	Sable fin	20 μm
20 μm	limons	2 μm
2 μm	argiles	< 2 μm

III.2.2.3. Traitement des données

Une fois les échantillons secs sont tamisés mécaniquement à l'aide d'une colonne de tamis

Superposés par ordre décroissant des mailles de bas en haut.

Le refus de chaque tamis est pesé puis transformé en pourcentage cumulé, les résultats de ces analyses ont été présentés sous forme des courbes cumulatives réalisées sur papier semi logarithmique à l'aide d'un programme informatique (EXCEL). En abscisses logarithmique, le diamètre des différentes fractions du sédiment, et en ordonnée le pourcentage pondéral des refus cumulés inférieur à une taille donnée cela nous permettra de comparer les échantillons et de déterminer graphiquement différents paramètres grâce auxquels nous calculerons les indices granulométriques.

III.2.2.4. Paramètres graphiques et indices granulométriques

1. La médiane Q_{50}

C'est l'indice absolu (RIVIERE, 1977), correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50 % du poids total du sédiment, elle est déduite à partir de la courbe cumulative.

Il permet de définir la nature du sédiment (RIVIERE, 1977). En se basant sur les travaux antérieurs, (MONBET, 1972 in BOUKARTAOU et BOUTOUILI, 1989) a subdivisé le sédiment en trois fractions :

Tableau 3.2 : la nature des sédiments selon. (MONBET, 1972 in BOUKARTAOU et BOUTOUILI, 1989).

Les graviers	Les sables	Les pélites
	Entre 2 et 0.05mm	
Supérieur à 2mm	Les sables grossiers : 2-0.5mm	Inférieure à 0.05mm
	Les sables moyens : 0.5- 0.2mm	
	Les sables fins : 0.2-0.05mm	

2. Les quartiles

Ils sont déterminés graphiquement sur la courbe granulométrique par la valeur du diamètre Q_y tel que y le pourcentage des particules (en poids) soient de cette taille ou de taille inférieure.

Le quartile inférieur (Q_{25}) : Correspond au diamètre du grain représentant 25% en poids du sédiment.

Le quartile supérieur (Q_{75}) : Correspond au diamètre du grain représentant 75% en poids du sédiment.

Ces deux paramètres nous montrent la part des sédiments grossiers et des sédiments fins dans un échantillon. (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Classification des grains de sable (FOLK et WARD, 1957 in GOUCEM et REBHI, 2011).

Diamètre du grain	Classification
< 110 μm	Sable très fin
110-150 μm	Sable fin
150-250 μm	Sable moyen
250-500 μm	Sable grossier
>500 μm	Sable très grossier

3. indice de classement (So) : (Indice de trask)

Starting index de Trask .cet indice nous permet d'étudier le classement des sédiments. Il indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (**CHAMLEY ; 1987-2000 in BENGHANEM et al, 2006**) suite aux actions de tri au cours du transport et du dépôt, comme il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (**CHAMLEY, 1987 in BENGHANEM et al, 2006**).

L'indice de trask est calculé par la formule suivante :

$$So = (Q75 / Q25)^{1/2}$$

✚ Q75 : le quartile supérieur ;

✚ Q25 : le quartile inférieur.

Tableau 3.4 : Valeurs du So représentant les types de classement.

So	1.0 - 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0
Classement	Sédiments très bien classés	Sédiments bien classés	Sédiments moyennement classés	Sédiments faiblement classés	Sédiments mal classés

4. Indice d'asymétrie (Sk) ou indice de Skewness

Montre la prépondérance ou non de particules fines ou grossières par rapport à la moyenne de l'échantillon.

Indice de Skewness est calculé par la formule suivante :

$$Sk = \frac{Q75 - Q25}{(Q50)^2}$$

✚ Q25 : le quartile inférieur

✚ Q50 : la médiane

✚ Q75 : le quartile supérieur

Tableau 3.5 : Valeurs de Sk représentant la prédominance ou non de la fraction pélitique ou grossière.

Sk	Sk > 1	Sk < 1	Sk=1
Prédominance	asymétrie du côté grossier	asymétrie du côté fin	asymétrie de la courbe par rapport au grain moyen.

5. Coefficient d'uniformité de Hazen CU

Il caractérise également l'étalement de la granulométrie et il est utilisé dans l'estimation de la perméabilité des sols.

$$CU = Q_{60} / Q_{10}$$

- + Q_{60} : Correspond au diamètre du grain représentant 60% en poids du sédiment.
- + Q_{10} : Correspond au diamètre du grain représentant 10% en poids du sédiment.

Tableau 3.6 : Représentant l'étalement de la granulométrie et l'estimation de la perméabilité des sols.

Limite	CU<5	CU>5
Granulométrie	Granulométrie non uniforme, étalée	Granulométrie uniforme, serrée

6. Facteur hydrodynamique

Le facteur hydrodynamique est calculé par la formule suivante :

$$FH = [(Q_{95} - Q_5) / 2.44 (Q_{75} - Q_{25})] - [(Q_{75} - Q_{25}) / 2]$$

FH : facteur hydrodynamique

Q₉₅, Q₇₅, Q₂₅ et Q₅ : les fractiles en Q des fractions 95, 75, 25, 5%.

Les limites du facteur hydrodynamique sont :

- + **FH > 0**, transfert sédimentaire actif sous l'effet d'une action hydrodynamique moyenne ou forte ;
- + **FH = 0**, limite l'action des courants, ceux -ci est faible vis-à-vis des particules constituants le sédiment ;
- + **FH < 0**, action hydrodynamique pratiquement nulle en temps normal (sauf tempête), les sédiments sont fixés et ne sont plus déplacés dans leur totalité.

7. Moyenne et coefficient de dissymétrie de Folck et Ward

Ces deux paramètres ont été utilisés pour la détermination du "Pouvoir de rétention primaire des hydrocarbures.

➤ La taille moyenne du sédiment (M)

D'après Rivière (1977), la taille moyenne de sédiment est exprimée par la formule suivante :

$$M_G = (Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}) / 3$$

Q_{16} , Q_{50} , Q_{84} : les fractiles en Q des fractions 16, 50, 84%.

La taille moyenne de sédiment est exprimée en mm, elle offre une idée sur l'éventail granulométrique de l'échantillon. Sept classes en fonction de taille du sédiment sont retenues (WEYDERT, 1973) :

- ✚ Inférieur à 0.063 mm : Pérites.
- ✚ De 0.063 à 0.125 mm : Sable très fin.
- ✚ De 0.125 à 0.250 mm : Sable fins.
- ✚ De 0.250 à 0.500 mm : Sable moyens.
- ✚ De 0.500 à 1.000 mm : Sable grossiers.
- ✚ De 1.000 à 2.000 mm : Sable très grossiers.
- ✚ De 2.000 à 20.000 mm : Gravier.

➤ Le coefficient de dissymétrie de Flock et Ward :(Ecart type)

$$\sigma_g = (Q_{16} - Q_{84}) / 4 + (Q_5 - Q_{95}) / 6.6$$

Q_5 , Q_{16} , Q_{84} , Q_{95} : les fractiles en Q des fractions 5, 16, 84 et 95%.

➤ Pouvoir de rétention des hydrocarbures

Convery 1979 a établi empiriquement une formule permettant de déterminer le pouvoir de rétention d'hydrocarbures d'un sédiment en fonction de son grain moyen M_G et de son écart type σ_g :

$$PR = 6.33 (M_G)^{-0.750} \cdot \exp(0.8133 \cdot \sigma_g)(\varphi)$$

- ✚ M_G : La taille moyenne de sédiment.
- ✚ σ_g : Ecart type.
- ✚ $\varphi = -\log_2(x)$ avec x correspond au diamètre de tamis. (mm)

PR exprimé en % du volume des pores.

Chapitre IV :

Résultats et discussions

Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuées sur les échantillons de sédiments au niveau de la baie de Bou Ismaïl Comme évoqué précédemment dans le chapitre matériel et méthodes. Ces analyses ont permis d'évaluer le taux des HAP et la pouvoir de rétention des sédiments.

IV.1- Résultats des paramètres physico-chimiques et de la MO

Les analyses concernant les paramètres physicochimiques des différentes stations de la baie de Bou Ismaïl ont données les résultats figurant dans le tableau de l'annexe 4. Les résultats des différents descripteurs physico-chimiques sont tout représentés sous forme d'histogrammes accompagnant de leurs interprétations.

IV.1.1. Température (T)

D'une manière générale les températures mesurées reflètent la période saisonnière.

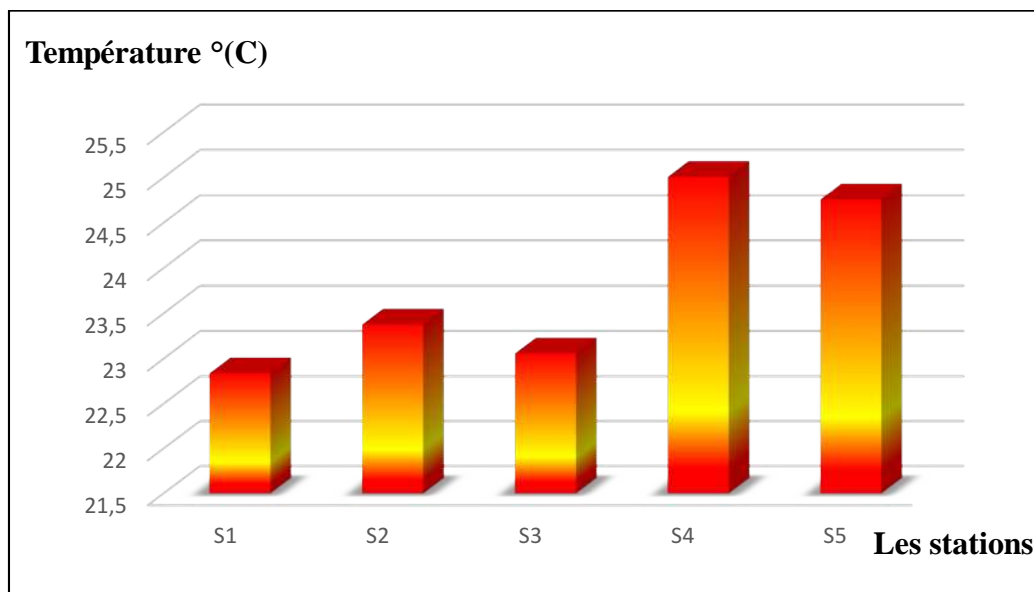


Figure 4.1 : Variations de la température dans la baie de Bou Ismaïl.

D'après le Figure 4.1, nous avons constaté que la variation de la température de surface est homogène entre les stations. Elles varient entre un minimum de 22.84 trouvé à la station 1 et un maximum de 25.01 trouvé à la station 4 avec une moyenne de 23.81 et un écart type de 1.

Les valeurs plus au moins faibles sont observés au niveau des ports et à la station 6 qui s'expliquent par la stagnation de ces eaux, par contre les valeurs plus ou moins élevé sont observées aux les stations 4 et 5 qui se situent dans la partie Est de la baie, ces variations de température des eaux de surface seraient dues probablement aux :

- ✚ Facteurs météorologiques et hydrodynamiques.
- ✚ Le mélange avec les eaux légèrement chaudes de la baie.
- ✚ Les apports des eaux continentales par les oueds.
- ✚ Echange avec l'atmosphère.

IV.1.2. Le Potentiel d'hydrogène (pH)

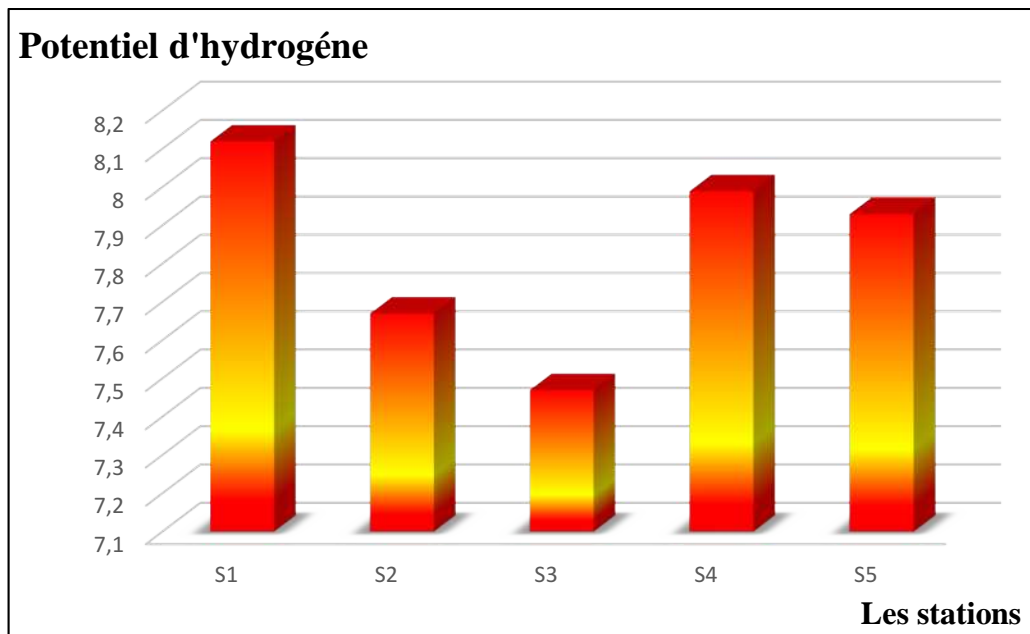


Figure 4.2 : Variations du potentiel d'hydrogène dans la baie de Bou Ismail.

D'après la **Figure 4.2**, Les valeurs du pH mesurées sont comprises entre un minimum de 7,47 trouvé à la station 3 et un maximum de 8.12 à la station 1 avec une moyenne de 7.83 et un écart type de 0.26.

Ces valeurs sont plus faibles que la valeur moyenne du pH de l'eau de mer (voisin 8.2). Les valeurs minimales sont relevées au niveau des ports de khemisti et Bouharoun qui s'explique par la présence des égouts qui véhiculent les eaux usées (dégradation de la matière organique).

IV.1.3. Salinité

La salinité de l'eau de mer en méditerranée est comprise entre 37.8 et 39.39.

D'après la **Figure 4.3**, Les valeurs de la salinité de surface sont relativement faibles, ils varient entre un minimum de 36.85 à la station 2 et un maximum de 37.34 à la station 1, avec une moyenne de 37.11 et un écart type de 0.21.

Les valeurs de la salinité plus au moins faibles sont observés au niveau des ports ce qui est expliqué par les apports des eaux usées (eau d'égout et les rejets de vidange des navires), ainsi au niveau de l'embouchure du Oued Mazafran qui s'explique par l'apport important des eaux continentales douces (eaux pluviales, rejets urbains et industriels...) pendant cette période ce qui engendre la baisse de la salinité de l'eau de mer.

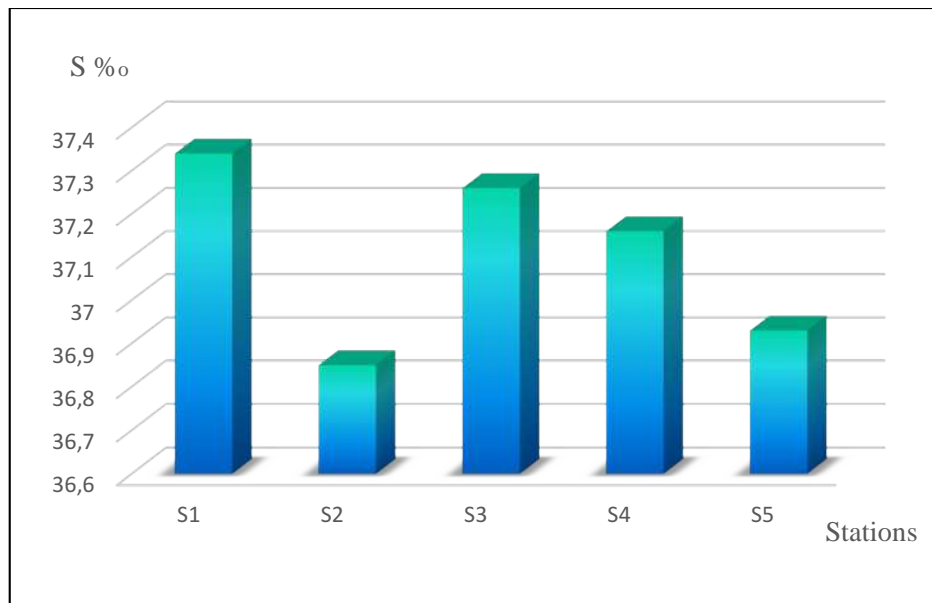


Figure 4.3 : Variations de la salinité dans la baie de Bou Ismaïl.

IV.1.4. Oxygène dissous (OD)

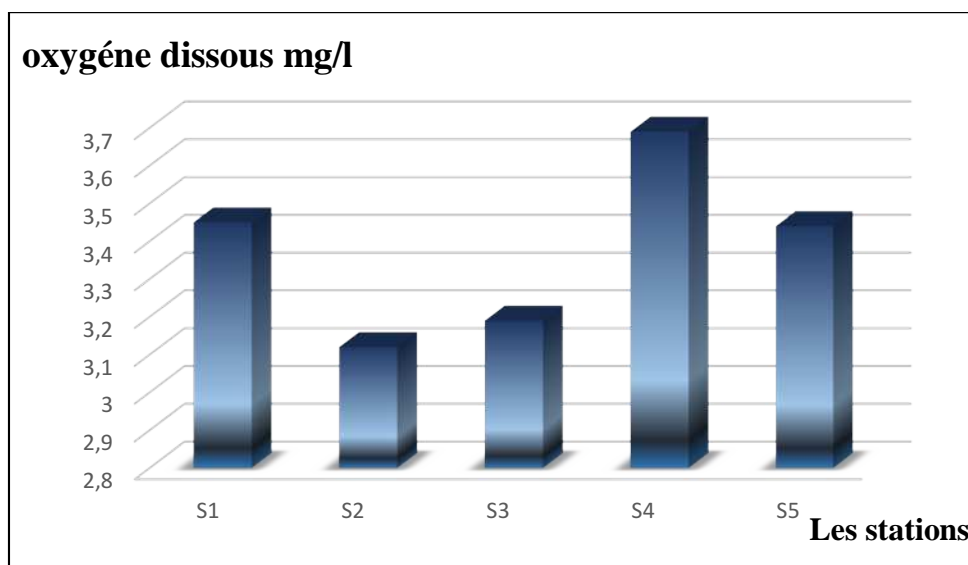


Figure 4.4 : Variations des teneurs en oxygène dans la baie de Bou Ismaïl.

D'après la **Figure 4.4**, Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles de la baie varient entre 3.12 mg/l (valeur minimale) et 3.69 mg/l (valeur maximale) et a une moyenne de 3.44 mg/l et un écart type de 0.22.

La teneur la plus élevée est observée à la station 4 et 6 tandis que les valeurs les plus faibles sont observées au niveau des ports, cela s'expliquent par :

- ✚ La morphologie du port (bassin semi fermés et faible profondeur) ce qui empêche le renouvellement des eaux.
- ✚ la consommation de l'oxygène dissous pour la dégradation des composés organiques.

- ✚ Les films formés par les hydrocarbures (essence, fuels, huiles....) à la surface de l'eau ralentissent ou peuvent même entraver la ré-oxygénation par l'atmosphère, (AMINOT et KEROUEL, 2004).

IV.1.5. Matière Organique

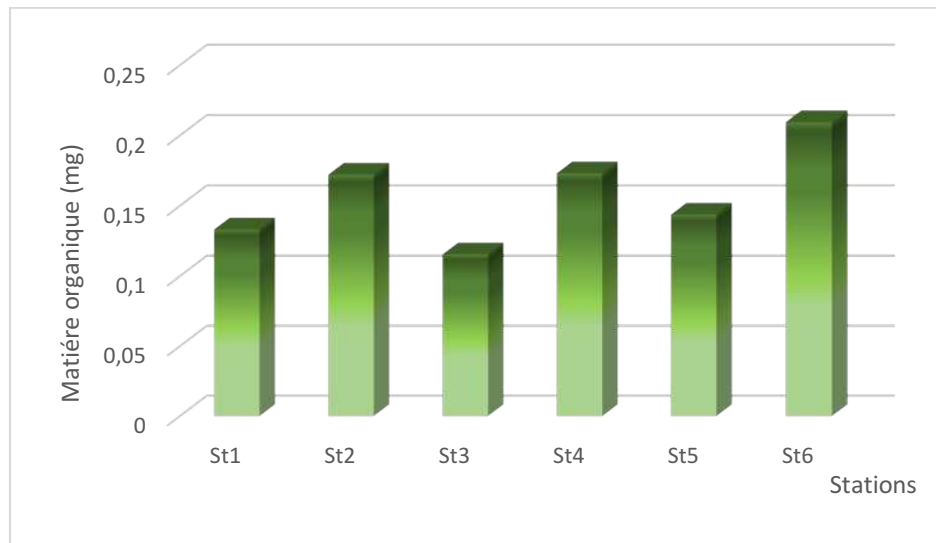


Figure 4.5 : Variations de la Matière organique dans la baie de Bou Ismail.

Les concentrations de la matière organique sont variables. Elles varient de 0.11 mg pour la station 5 et atteint 0.2 mg pour la station 6 avec une moyenne de 0.16 mg et un écart type de 0.03 mg.

Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau d'embouchure d'oued Beni Messous (St6), Bousmaïl (St4) et port de Bouharoun (St2), Cela est dû à l'intensité du trafic maritime et de chalutage. La plus faible concentration est enregistrée au niveau du port de khemisti, malgré l'importance des rejets.

IV.2. Les concentrations des HAP_s dans les Sédiments superficiels

Les concentrations fluctuent entre un minimum de 0.49 µg/g trouvé dans la station 1 et un maximum de 1.22µg/g trouvé dans la station 2 avec une moyenne de 0.86 µg/g et un écart type de 0.26.

La répartition des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la baie de Bou Ismail n'est pas uniforme, les plus fortes teneurs des HAP_s enregistrés sont probablement liées à la nature de sédiment qui favorise l'accumulation des hydrocarbures ceci est observés au niveau des ports et à proximités des oueds (rejets des eaux et des usines).en effets, le sédiment fin est caractériser par une capacité de piéger les contaminants organique contrairement au sédiment grossier.

Les sources éventuelles des HAP_s dans notre zone d'étude, sont tous les rejets urbains et industriels des industries de peintures, industries de transformation de plastique et production des produits d'emballage, industries de céramique et la poterie. Ces déchets urbains et industriels sont déversés dans l'oued Mazafran sans aucun traitement préalable.

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

Les concentrations en HAP_s (pollution pétrolière) constituent aussi une source directe de pollution dans cette baie, comme le naufrage de Cougar (2003) au large de Tipaza avec des galettes répandues sur quelque plage de la baie qui ont fait augmenter les concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques.

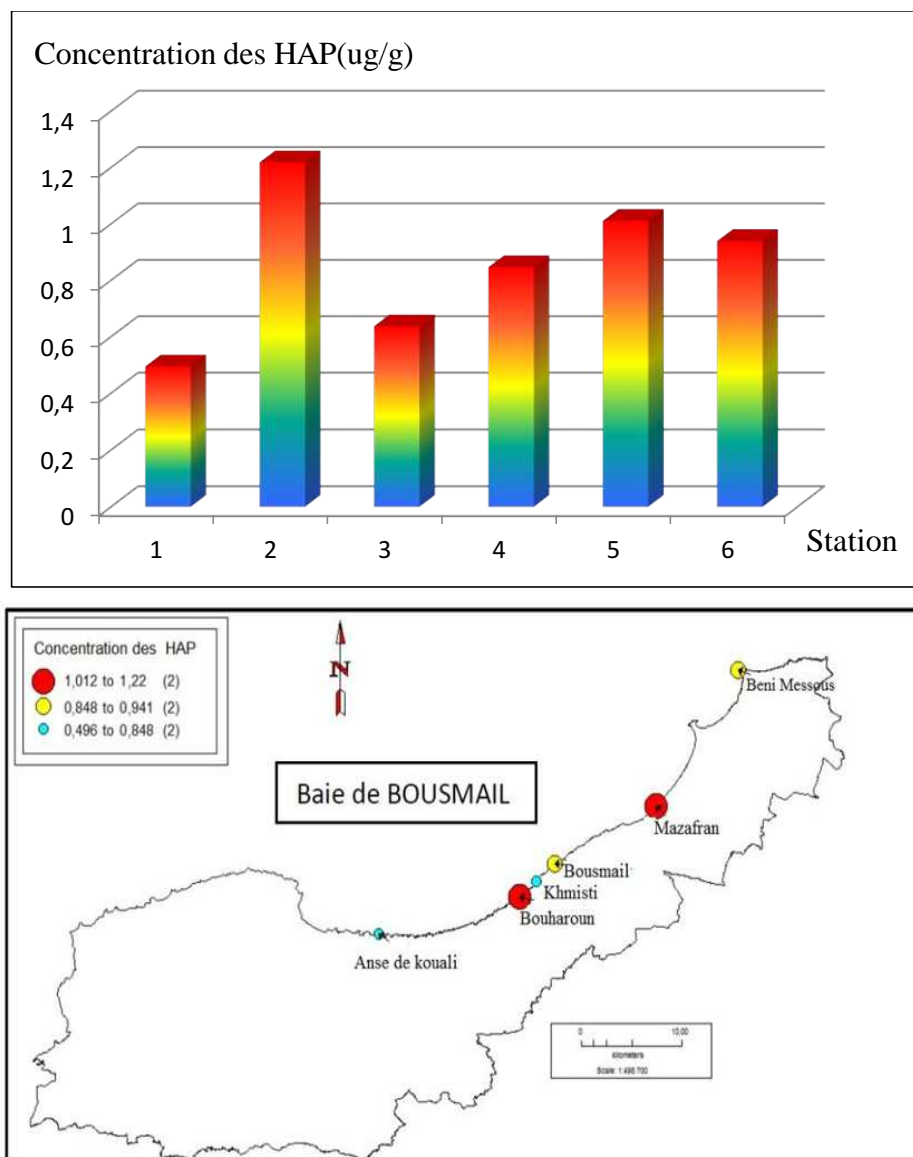


Figure 4.6 : Variation des concentrations des HAP ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments de la baie de Bou Ismaïl.

IV.3-Comparaison des concentrations des HAP_s dans les sédiments superficiels

Plusieurs travaux ont été effectués sur la côte Algéroise afin d'analyser et de suivre l'évolution des teneurs en HAP dans le sédiment marin.

Tableau 4.1 : Concentration des HAP dans les sédiments superficiels de la baie de Bou Ismail (travaux de l'ENSSMAL).

Site d'étude	Concentration en HAP (µg/g)	Référence
Baie de Bou Ismaïl	0.49-1.22	Présent étude
Baie de Bou Ismaïl	4.16-26.1	Iddir, 2013
Baie de Bou Ismaïl	0.55-12.77	Boudjellaba et Dehane, 2012
Baie de Bou Ismaïl	0.301-1.29	Abderrahmani, 2011

Ce tableau montre une homogénéité temporelle de la distribution des concentrations des HAP_s dans les sédiments superficiels de la baie de Bou Ismaïl. Elle est due à plusieurs facteurs et aussi à l'échantillonnage de ces travaux qui a été effectué à des périodes différentes.

Les valeurs maximales obtenues dans certaines études dépassent de loin celles enregistrées dans la présente étude à l'exception de l'étude d'**ABDERRAHMANI, 2011** qui fait partie de l'intervalle de notre résultat.

La différence par rapport aux autres études peut être expliquée par la présence de pollution ponctuelle dans cette zone, la période d'échantillonnage (hivernale, estivale), la profondeur et par la localisation des stations.

Les différents auteurs sont d'accord que le taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques diffère dans cette zone et cela s'explique par :

- ✚ l'importance des agglomérations sur la frange littorale
- ✚ l'hydrodynamisme que connaît cette côte et qui se caractérise par l'existence de contre-courants de direction Ouest ,(CAUMES et ROUSSEAU, 1967).
- ✚ Les stations portuaires subissent des influences anthropogénique plus marquées.
- ✚ La vocation touristique de cette zone accentue les rejets urbains en période estivale, en plus on note une existence de certaines industries de plastique et de papeterie qui contribuent à l'enrichissement de milieu en HAP_s.

IV.4.Corrélation entre les hydrocarbures aromatique-Matière organique

Nous avons constaté qu'il y a une mauvaise corrélation entre les teneurs des HAP_s et la Matière organique. Ce résultat ne peut pas expliquer la relation étroite qui existe entre la matière organique et les HAP_s, car la matière organique qui se retrouve piégée dans les sédiments peut se transformer en hydrocarbure par des processus biologiques et chimiques.

Nous avons enregistré des niveaux élevés de contamination par les HAP_s qui s'accorde avec le taux élevé en matière organique dans les stations S3, S4 et S6, contrairement à la station S5, on a relevé une forte concentration des HAP_s mais avec une faibles taux de MO.

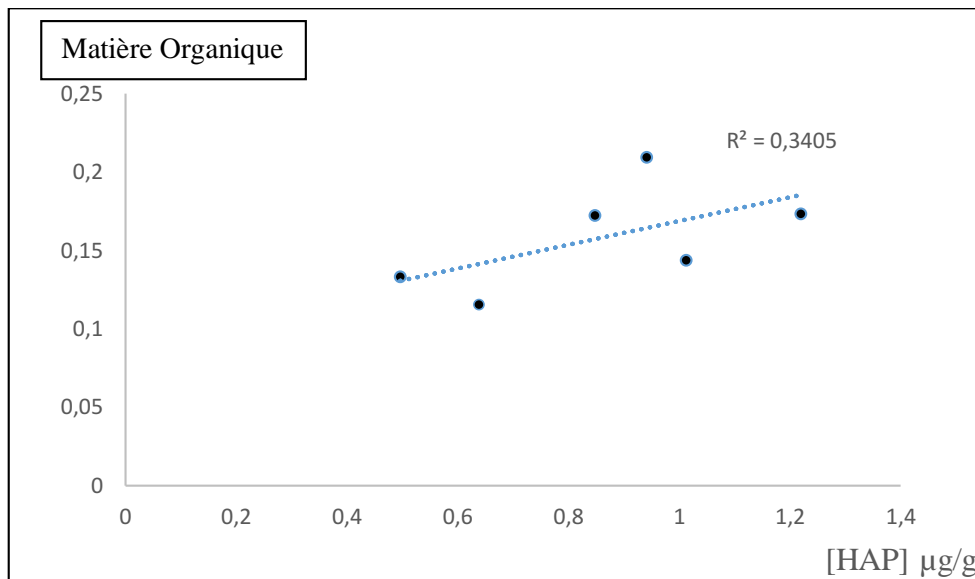


Figure 4.7 : Corrélation entre la matière organique et teneurs en HAP_s dans les sédiments.

IV.5. Interprétation des graphes d'absorbance dans le domaine ultraviolet

Le spectre UV ne permet pas l'identification d'un produit mais celle du groupement chromophore qu'il contient. Les hydrocarbures aromatiques ont des spectres très caractéristiques dont la richesse doit être attribuée à la grande symétrie de ces molécules.

Les spectres ultraviolets servent surtout à déceler la présence de conjugaison. En général, les molécules sans liaisons doubles ou avec uniquement une liaison double n'absorbent pas dans la région de l'ultraviolet (de 200 nm à 400 nm), contrairement aux **systèmes conjugués**.

Cela est dû au fait que la liaison σ possède une trop grande différence d'énergie entre son orbitale moléculaire de plus haut niveau d'énergie occupée (orbitale liante) et celle inoccupée de plus bas niveau d'énergie (orbitale anti-liante). Il faudrait donc fournir une énergie nettement supérieure à celle observée dans le domaine de l'ultraviolet pour pouvoir réaliser cette transition électronique.

Or, dans le cas de liaisons doubles conjuguées, les transitions électroniques entre les orbitales moléculaires liante et anti-liante des liaisons π sont plus faibles en énergie.

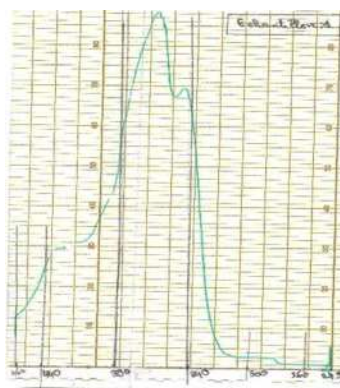


Figure 4.8 : Echantillon 1(khmisti) : le pic d'absorption est entre 340 et 390 nm (environ 365).

Pour les hydrocarbures aromatiques polynucléaires, plus le nombre de cycles condensés augmente, plus l'absorption se déplace vers les plus grandes longueurs d'onde jusqu'à ce qu'elle atteigne la région du visible.

En ce qui concerne l'échantillon 1, le pic d'absorption est entre 340 et 390 nm (environ 365) qui correspond à un spectre d'un hydrocarbure aromatique polycyclique qui a 3 noyaux ou plus (exemple : l'Anthracène).

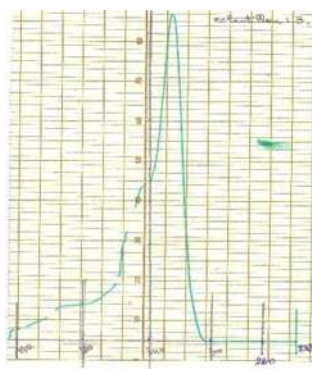


Figure 4.9 : Echantillon 3(Bouharoun) : le pic d'absorption est entre 300 et 340 nm (environ 320)

Concernant l'échantillon 3 : le pic d'absorption est entre 300 et 340 nm (environ 320) qui correspond au spectre d'un hydrocarbure aromatique qui a 1 ou 2 noyaux au maximum (exemple : le Naphtalène, c'est un hydrocarbure qu'on peut classer dans les hydrocarbures Di-aromatique).

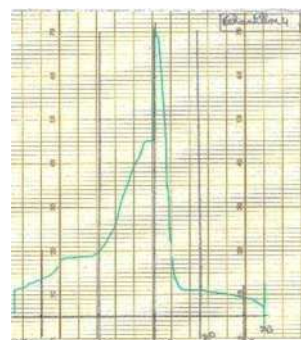
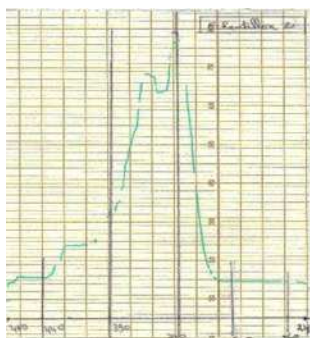


Figure 4.10 : Echantillon 2(Anse de kouali) ; 4(Bou Ismail) : le pic d'absorption est entre 300 et 390 nm (environ 340)

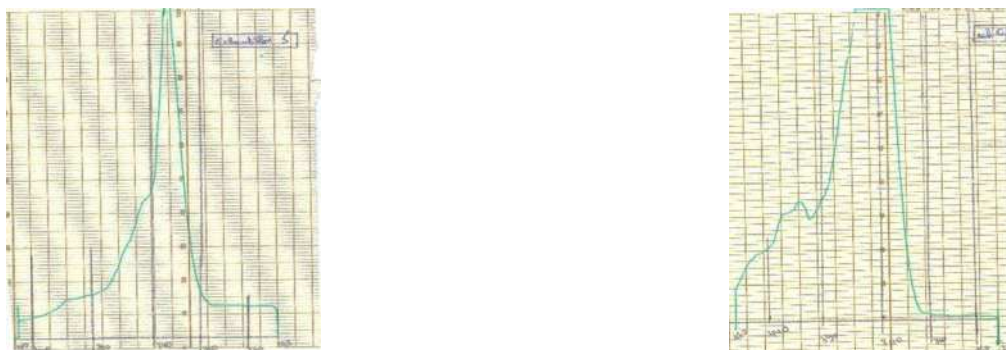


Figure 4.11 : Echantillon 5 (Mazafran) ; 6 (Oued Beni Messous) : le pic d'absorption est entre 300 et 390 nm (environ 340)

Les échantillons 2, 4, 5 et 6 ont un pic d'absorption entre 300 et 390 nm (environ 340) qui correspond au spectre d'un hydrocarbure aromatique polycyclique qui a 3 noyaux ou plus.

Les spectres UV fournissent généralement peu de renseignements sur la structure moléculaire des composés comparés aux spectres IR. Néanmoins, on les utilise surtout pour la détermination de la concentration des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Pour avoir des informations sur l'aspect qualitatif, nous devons faire appel à d'autres techniques analytiques telles que la CPG (Chromatographie en Phase Gazeuse) ou la HPLC (Chromatographie Liquide à Haute Performance).

IV.6. Résultats de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans les 5 stations sont représentés dans le tableau de (**l'annexe 5**).

Les résultats obtenus sont traduits graphiquement par des courbes cumulatives

Ces courbes cumulatives sont réalisées sur papier semi logarithmique à l'aide d'un programme informatique (Excel). En abscisses logarithmique, on met les diamètres des différentes fractions du sédiment, et en ordonnées les pourcentages des refus cumulés (**annexe 6**).

IV.6.1. Analyses des courbes cumulatives

La plupart des sédiments prélevés au niveau de la baie de Bousmaïl, sont caractérisés par des courbes cumulatives ayant la forme d'un S peu régulière et étalée à forte pente indiquant l'homogénéité des stocks sableux et les conditions d'énergie adaptées à la charge transportée.

L'examen de ces courbes permet de tirer et de déterminer les différents paramètres et indices granulométriques permettant de caractériser la distribution granulométrique des sédiments ainsi de calculer le pouvoir de rétention des HAP_s.

IV.6.1.1. Détermination des indices granulométriques

Les valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles pour les 5 stations sont représentés dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 4.2 : Les valeurs des quartiles, de pouvoir de rétention et des différents indices granulométriques :

Stations	Anse.Kouali	Bouharoun	Khmisti	Bou Ismaïl	Mazafran
$Q_{50}(\mu m)$	800	166	180	165	900
$Q_{25}(\mu m)$	450	115	125	128	380
$Q_{75}(\mu m)$	1010	180	220	185	1015
$Q_5(\mu m)$	340	84	110	100	175
$Q_{10}(\mu m)$	350	88	115	115	130
$Q_{16}(\mu m)$	390	95	125	120	340
$Q_{60}(\mu m)$	920	170	180	164	960
$Q_{84}(\mu m)$	1035	186	265	170	1019
$Q_{95}(\mu m)$	1040	235	350	290	1039
S_0	1.5	1.25	1.32	1.2	1.63
S_K	0.70	0.75	0.84	0.87	0.47
Cu	2.62	1.93	1.6	1.42	7.38
$M_G(mm)$	0.74	0.14	0.19	0.15	0.75
$PR (\%)$	2.27	8.64	7.43	9.05	2.20
FH	0.23	0.92	0.98	1.33	0.24

1. Le quartile Q_{50} ou indice de taille (médiane)

Les valeurs de Q_{50} varient entre un minimum de 165 μm trouvé dans la station 4 et maximum de 900 μm trouvé dans la station 5 avec une moyenne de 442,2 μm , d'après la classification de Monbet en (1972), c'est du sable moyen qui prédomine notre zone d'étude.

2. Le quartile Q_{25}

Le quartile inférieur varie entre un minimum de 115 μm trouvé dans la station 2 et un maximum de 450 μm trouvé dans la station 1, avec une moyenne de 239.6 μm . En conclusion, d'après la classification de Folk et Ward (1957) il y a prédominance de sable moyen.

3. Le quartile Q_{75}

Le quartile supérieur varie entre un minimum 180 μm trouvé dans la station 2 et un maximum de 1015 μm trouvé dans la station 5, avec une moyenne de 522 μm . En conclusion, d'après la classification de Folk et Ward (1957) il y a prédominance de sable très grossier.

4. Indice de classement de Trask ou indice de tri

100% des échantillons dans notre zone d'étude ont $S_o < 2$, nous sommes en présence d'un sédiment très bien classé. Ceci peut être expliqué par et l'homogénéité de dépôt dans cette zone.

5. Indice d'asymétrie ou indice de Skewnes (SK)

Cet indice indique le tri d'un sédiment par rapport à la médiane, il informe sur l'homogénéité et l'évolution du sédiment.

Le calcul de l'indice d'asymétrie nous a permis de définir que toutes les stations ont un $SK < 1$, ce qui signifie qu'il y'a une asymétrie du côté fin.

6. Le coefficient de Hazen (CU)

Il caractérise également l'étalement de la granulométrie et il est utilisé dans l'estimation de la perméabilité des sols. Les valeurs de C_u sont comprises entre un minimum de 1.42 trouvé dans la station 4 et un maximum de 7.38 trouvé dans la station 5 avec une moyenne de 1.76 cela signifie que la granulométrie est étalée.

7. Le facteur hydrodynamique

Le vent est un paramètre anémométrique très important pour une étude hydrodynamique, il est le principal générateur des houles et des courants superficiels, il conditionne les mécanismes des vagues a la surface, pouvant atteindre des forces considérables (BENGHANEM et *al.*,2006).

Dans toutes les stations, le facteur hydrodynamique est supérieur à zéro ($FH > 0$), c'est à dire il y'a un transfert sédimentaire actif sous l'effet d'une action hydrodynamique moyenne ou forte.

8. La taille moyenne

Les résultats sont exprimés en mm suivant la classification de Weydert (1973).

Tableau 4.3: Variation de la taille moyenne en fonction des stations.

Stations	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
<i>M_G</i> (mm)	0.74	0.14	0.19	0.15	0.75
Classes	Sable grossier	Sable fin	Sable fin	Sable fin	Sable grossier

Les valeurs de M_G sont comprises entre un minimum de 0.14mm trouvé dans la station 2 et un maximum de 0.75 mm trouvé dans la station 5 avec une moyenne de 0.39 et un écart type de 0.28 ,il semblerait que le sédiment soit en somme un sable moyen

9. Le Pouvoir de rétention et la capacité de piégeage des HAP dans le sédiment

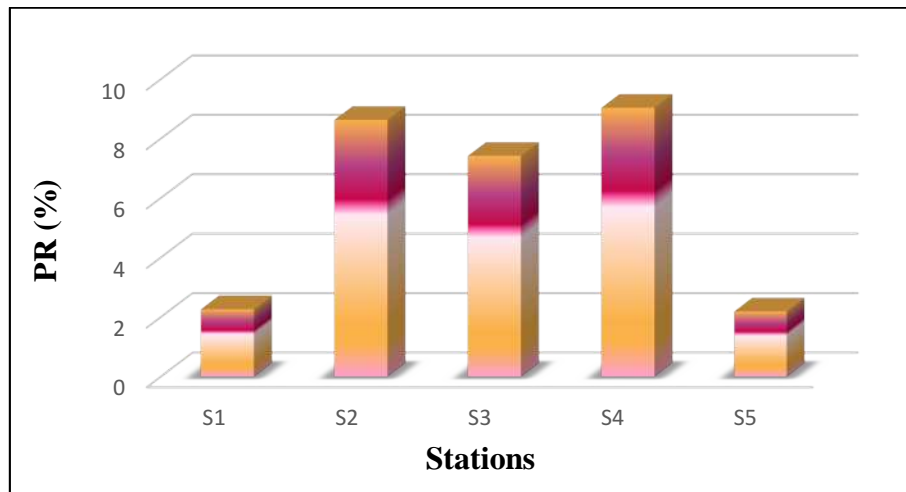


Figure 4.12: Pouvoir de rétention des hydrocarbures en fonction des stations.

On a enregistré des valeurs comprises entre un minimum de 2.20 trouvé dans la station 5 et un maximum de 9.05 trouvé dans la station 4 avec une moyenne de 5.9 et un écart type de 2.95. Les fortes teneurs enregistrés en PR sont observés au niveau des ports (Khmisti, Bouharoun) et au niveau de la station S4 (Bou Ismaïl). ceci est probablement liée à la nature de sédiment qui favorise l'accumulation des hydrocarbures

On retiendra que la rétention augmente quand la médiane diminue et elle est en relation avec l'hydrodynamisme, la courantologie et la taille des grains. En effet, le sédiment fin est caractérisé par une importante aptitude à intégrer et stocker ces contaminants organiques, contrairement au sédiment grossier.

IV.6.2 Résultats de la fraction pélitique

Le tableau suivant donne la classification des sédiments suivant le taux de la fraction pélitique :

Tableau 4.4 : Classification des sédiments selon le taux des pélites.

Type de dépôt	Taux des pélites (%)
Sable peu vaseux	<5
Sable vaseux	5 à 25
Vase sableuse	25à75
vase	>75

Les résultats de l'analyse pélitique sont mentionnés dans la figure 4.13

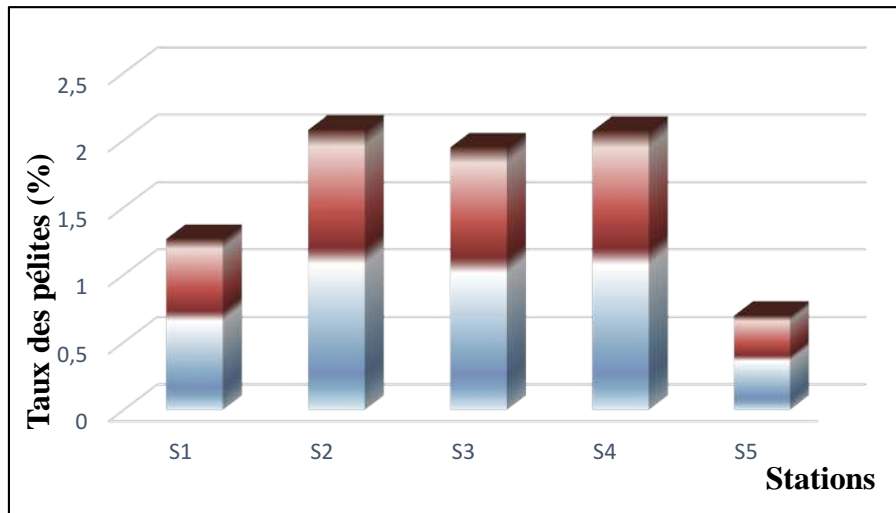


Figure 4.13: Taux des pélites aux différentes stations de prélèvements.

C'est la fraction la plus fine des sédiments. Les teneurs en pélites des échantillons sont faibles au niveau des cinq stations, elles sont comprises entre un minimum de 0.7 trouvé dans la station 5 et un maximum de 2.08 trouvé au niveau de la station 4, Cela est dû au renouvellement des eaux grâce aux houles et courants donc la présence ou l'absence des pélites est conditionnée par la force du courant.

D'après la classification des sédiments selon le taux des pélites, tous les échantillons sont classés pour des sables peu vaseux.

IV.7. Corrélation entre pouvoir de rétention et les pélites

D'après le diagramme de corrélation entre le pouvoir de rétention et le taux des pélites il s'avère qu'il existe une très bonne corrélation entre le PR et le taux des pélites car le coefficient de corrélation qui apprécie le degré de liaison des deux paramètres est de l'ordre de 0.89

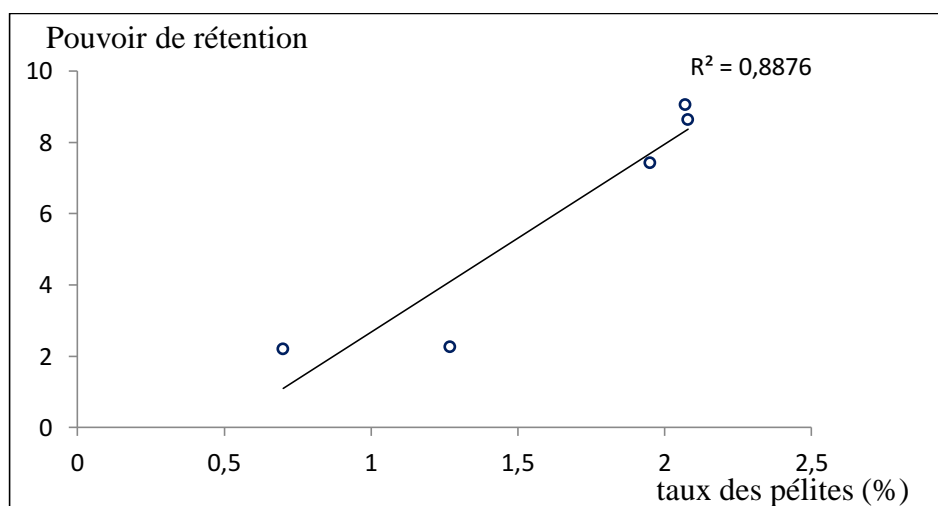


Figure 4.14 : Diagramme de corrélation entre les PR et le taux des pélites

Du même, dans les stations S2 (Bouharoun), S3(Khmisti) et S4 (Bou Ismaïl), nous avons remarqué que l'allure générale du graphe de pouvoir de rétention et le graphe des taux pélites sont presque identiques, et cela montre l'existence d'une relation étroite entre le pouvoir de rétention et le taux des pélites.

Dans les deux stations S2 et S4, nous avons enregistré aussi un niveau élevé de contamination par les HAP_s et qui s'accorde avec un pourcentage élevé du pouvoir de rétention des hydrocarbures, contrairement à la station S1 (Anse de Kouali) où on a relevé des concentrations faibles des HAP_s avec un pourcentage faible de PR.

Concernant la station S5 (au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran), on a enregistré des concentrations importantes des hydrocarbures aromatiques avec un pourcentage faible de pouvoir de rétention des hydrocarbures.

D'après tous ces résultats, on peut dire que la concentration des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le sédiment marin varie selon la nature du sédiment (le pourcentage de la fraction pélitique) et des facteurs hydrodynamiques qui caractérisent la zone d'étude.

Conclusion

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont l'une des classes des polluants persistants les plus recherchés dans l'environnement marin, à cause de leur rémanence, toxicité, pour l'homme, plus la faune et la flore marine. Et comme le sédiment est le refuge de ces deux dernières et il est considéré comme étant le réservoir extrême au quel sont acheminés ces polluants, nous l'avons choisis comme objet dans notre travail.

L'objectif de la présente étude est d'apprécier le taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire de la baie de Bou Ismaïl et le calcul de sa capacité de piégeage, et pour atteindre notre objectif dans cette étude, nous avons recouru à une sortie en mer, pendant la période estivale.

Après l'analyse approfondie des différents travaux collectés, on peut conclure que :

- ✚ L'analyse granulométrique a montré que le sédiment de la baie de Bou Ismaïl qui est une baie plus au moins ouverte, plus large et de vocation touristique est un sable très bien classé, uniforme. Selon la médiane il y a une dominance du sable moyen dans les échantillons, cela peut expliquer que le régime des vents dans cette région est d'une intensité plus ou moins forte.
- ✚ L'utilisation de la technique d'analyse (SFUV) nous a permis de cerner une pollution des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire de la baie de Bousmaïl.
- ✚ Les teneurs des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments marins sont en relation avec la nature de ces derniers, de l'hydrodynamisme, de la courantologie, du protocole d'extraction des HAP_s et de la technique analytique utilisée.
- ✚ La fixation, le stockage et la capacité de piégeage des HAP_s dans le sédiment marin obéissent à plusieurs facteurs qui sont liés non seulement aux propriétés physicochimiques des HAP_s, mais aussi à la granulométrie (taille des grains). En effet, le sédiment fin est caractérisé par une importante aptitude à intégrer et stocker ces contaminants organiques, contrairement au sédiment grossier.

Pour terminer, nous souhaitons préciser que cette approche ne constitue qu'une base d'un travail continu pour avoir une banque de données concernant l'état actuel de la pollution par les hydrocarbures tout au long du littoral Algérien.

Références bibliographiques

ABDERRAHMANI, K. (2011). *Les hydrocarbures polyaromatiques dans la baie de Bou-Ismaïl : surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur.* Thèse Magister. Alger : ENSSMAL. 103 p.

AMINOT, A et KEROUEL,R. (2004). *Hydrologie des écosystèmes marins.Paramètres etanalyses.* France : Ifremer. 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-Ismaïl.* Mémoire d'ingénieur. Alger : ISMAL. 73 p.

BELLAIR, P et POMEROL, C. (1977). *Eléments de géologie.* Paris: Armand Colin. 528 p.

BENGAHANEM, I. (2006). *Morphologie et sédimentologie de la zone est de Sidi Fredj.* Mémoire de DEUA. Alger : ISMAL. 30 p.

BOKRETAOUI, S et BOUTOUILI, T. (1989). *Baie de Bou Ismaïl étude des paramètres physique et chimique approches biosédimentaire.* Mémoire d'ingénieur. Alger : ISMAL. 92 p.

BONNET, C. (2000). *Développement de bioessais sur sédiments et applications à l'étude, en laboratoire de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés.* Thèse Doctorat. France : Université de Metz. 309 p.

BOUGHRIRA, A. (2012). *Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution de la baie de Bou Ismaïl.* Thèse Magister. Alger : ENSSMAL. 110 p.

CAULET, J. (1972). *Les sédiments organogènes du précontinent Algérien.* Mém. Mus. Hist. Nat., Nlle série. pp. 25-289.

CAUMES, F et ROUSSEAU, P. (1967). *Etude de la sédimentation actuelle de la baie de Castiglione.* Rapport de la Sonatrach, n° 4931. 36 p.

C.O.I (1982). *La détermination des hydrocarbures pétroliers dans les sédiments.* Manuels et guides, 11, Commission Océanographique intergouvernementale de l'Unesco. 31 p.

DAGORNE, A. (1970). *Remarques préliminaires sur la sédimentation pré-littorale en baie de Bou-Ismaïl (Ouest d'Alger).* Annales Algérienne de Géographie, n°7. pp.73-78.

DEHANE, D. (2012). *Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire du littoral Algérois : état et analyse rétrospective.* Mémoire Master. Alger : ENSSMAL. 67 p.

- FATTAL, P. (2008).** *Pollution des cotes par les hydrocarbures.* France : Presses universitaires de Rennes. 395 p.
- GAUCEM, T et REBHI, M. (2011).** *Port Sidi Fredj : Quantités de sédiment à draguer.* Mémoire DEUA. Alger : ENSSMAL. 29 p.
- GEFFARD, O. (2001).** *Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires.* Thèse Doctorat. France : Université BORDEAUX I. 376 p.
- IDDIR, S. (2013).** *Evaluation de l'état de la pollution par les hydrocarbures polycycliques aromatiques dans les eaux et sédiments de la baie de Bou Ismaïl.* Mémoire Ingénieur. Alger : ENSSMAL. 64 p.
- IFREMER (2007).** *Synthèse de l'état de la contamination chimique du Golfe de Marseille.* Programme MEDICIS – Projet METROC, vol 1. 123 p.
- INAL, A. (2011).** *Les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou Ismaïl : surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques.* Thèse Magister. Alger : ENSSMAL. 124 p.
- INERIS (2005).** *Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Guide méthodologique. Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transfert dans les sols et les eaux souterraines.* Rapport d'étude n° 66244DESP-R01. 85 p+annexe.
- LEFEBVRE (1978).** *Chimie des hydrocarbures.* Paris: TCHNIP. 284 p.
- LEM (1998).** *Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.* 22 p.
- LOURGUIOUI, H. (2001).** *Niveau, sources et origines des hydrocarbures dans les sédiments superficiels du littoral Ouest Algérien (Golf d'Arzew, d'Oran et de Ghazaouet).* Mémoire d'ingénieur. Alger : ISMAL. 62 p.
- MARCHAND, M. (1983).** *Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie ultra-Violet. Manuel des analyses en milieu marin.* Ed. C.N.E.X.O. pp.329-336.
- MARCHAND, M. (2003).** *Les pollutions marines accidentelles. Au-delà du pétrole brut, les produits chimiques et autres déversements en mer,* revue Annales des Mines, Responsabilité et Environnement, juillet. pp.70-92.
- MILLOT, C. (1987).** *Circulation in the Western Mediterranean Sea.* Océanologica. Acta, vol.10. pp.143-149.

MURIELLE, B. (1995). *La biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques :métabolisme de substrats non conventionnels.* Thèse Doctorat : ENSIA. 120 p.

POWER, E et CHAPMAN, P. (1992). *Assessing sediment quality.* Lewis, Chelsea, MI, USA .pp.1-18.

RAMADE, F. (1998). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau.* Paris : Ediscience .785 p.

RIVIERE, A. (1977). *Méthode granulométrique : Technique et interprétation.* Paris. 170 p.

RODIER, J. (1997). *L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer).* 8^e éd. Paris : Dunod.

RODIERN, J. (2005). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* 8^e éd. Paris : Dunod. 1384 p.

SELLALI, B. (1996). *La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée Sud-Occidentale : contamination de l'eau et des sédiments superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie.* Thèse Magister. Alger : ISMAL. 118 p.

TELBAHR. (2006). *Rapport sur l'Etat de TELBAHR.* Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et du tourisme. Algérie. 94 p.

VATAN, A. (1967) : Manuel de sédimentologie. France : Technip. 397 p.

Annexes

Annexe 1 : Les noms des stations de la baie de Bou Ismaïl

Signe de la station	Nom de la station
S1	Anse de Kouali
S2	Bouharoun
S3	Khmisti
S4	Bou Ismaïl
S5	Oued Mazafran
S6	Oued Beni Messous

Annexe 2 : Protocol de la quantification de la MO dans le sédiment.

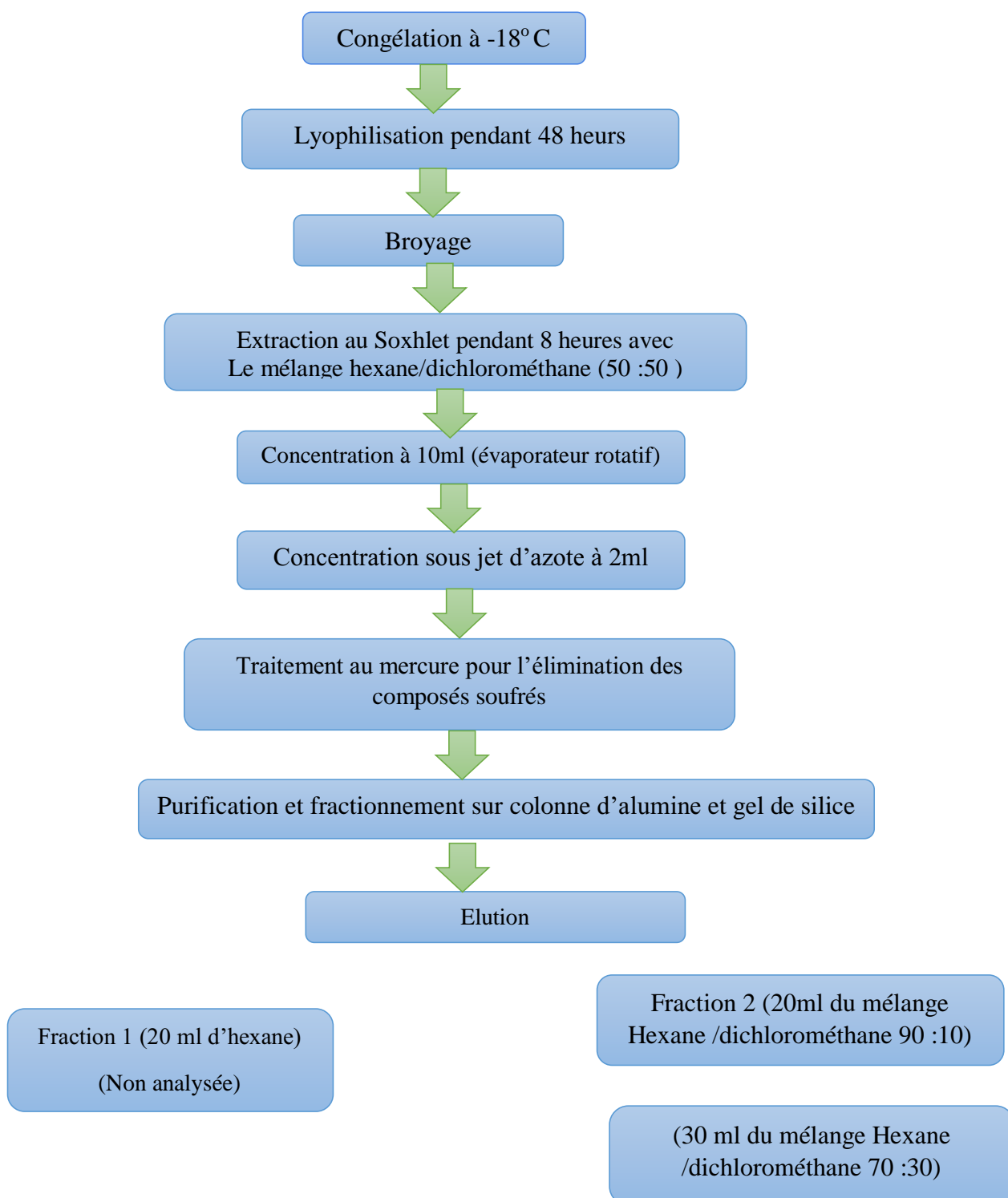
- ✚ Décongélation de sédiment.
- ✚ Homogénéisation du sédiment à l'aide d'un mortier.
- ✚ Mettre 5g de chaque échantillon dans des creusets en porcelaine.
- ✚ peser la masse de sédiment et le creuset avec une balance de précision, On obtient alors le poids (**P1**).
- ✚ Mettre les échantillons dans un four à moufle à 600°C pendant 2 heures.
- ✚ On effectue une deuxième pesée (P2) qui est le poids de sédiment calciné.
- ✚ La différence du poids entre P1 et P2 représente le poids de la matière organique contenu dans le sédiment.
- ✚ La matière organique s'exprime selon la relation suivante :

$$\mathbf{M.O (mg) = P1 - P2}$$

P1 : poids de sédiment avant calcination

P2 : poids de sédiment après calcination.

Annexe 3 : le protocole expérimental de l'analyse des HAP préconisé par C.O.I.



Annexe 4 : Résultats des paramètres physico-chimiques :

Stations	Longitude	Latitude	T (C°)	H	S	OD mg/l	M O (mg)	HAP (µg/g)
S1	2° 29' 46.2''	36° 35' 29.4''	22,84	8,12	37,34	3,45	0,1334	0,4960
S2	2° 39' 20.1''	36° 37' 37.9''	23,38	7,67	36,85	3,12	0,1734	1,2199
S3	2°40' 13.0''	36° 38' 16.0''	23,06	7,47	37,26	3,19	0,1157	0,6384
S4	2° 41' 29.3''	36° 39' 02.1''	25,01	7,99	37,16	3,69	0,1724	0,8480
S5	2° 48' 14.1''	36° 41' 55.7''	24,76	7,93	36,93	3,44	0,144	1,0123
S6	2° 53' 11,0''	36° 47' 59,0''	-	-	-	-	0,2097	0,9408

Annexe 5 : pourcentages des refus cumulés dans les différentes stations.

Q (µm)	Q (mm)	Station n°1	Station n°2	Station n°3	Station n°4	Station n°5
1200	1.2	81.98	100	99.90	100	83.20
1000	1.0	66.36	99.93	99.67	100	63.20
800	0.8	51.01	99.91	99.40	99.99	38.49
630	0.63	48.25	99.89	98.89	99.98	33.09
500	0.50	35.26	99.76	97.40	99.95	25.70
315	0.32	18.89	98.31	87.70	99.09	15.65
250	0.25	3.61	96.14	80.64	81.75	13.30
200	0.20	2.63	86.47	69.03	81.73	7.30
180	0.18	2.36	73.14	53.70	77.07	5.30
160	0.16	2.08	50.99	34.03	43.51	2.68
140	0.14	2.01	41.66	20.69	35.89	2.65
125	0.13	1.99	41.59	20.18	28.67	2.63
100	0.10	1.97	21.55	3.01	3.51	0.78
80	0.08	1.93	3.01	2.69	2.51	0.73
63	0.06	1.91	2.39	2.61	2.36	0.71
50	0.05	1.90	2.10	2.56	1.76	0.71
< 50	0.00	1.89	2.10	2.40	1.73	0.71

Annexe 6 : Les courbes cumulatives

