

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

d'Ingénieur et de Master en Sciences de la Mer

Option : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

Evaluation du pouvoir de rétention des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire de la baie d'El Djamila.

Présenté par :

BOUSDJIRA Sarah Nibel

Soutenu le 06/07/2022, devant le jury composé de :

Mme. MEHDID S.	MAA	ENSSMAL	Présidente
M. BOUGHRIRA A.	MAA	ENSSMAL	Promoteur
M. FERNANE L.	MAA	ENSSMAL	Examineur
M. KADA M.	MAA	ENSSMAL	Examineur

Année universitaire : 2021- 2022

DEDICACES

A Mama et Papa ..

A Amira ..

A Mami, Allah yarhamha ..

A mes amies ...

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu mes parents et ma sœur pour tout leur soutien durant ces cinq dernières années.

Mes remerciements vont vers mon promoteur M. Boughrira A. pour m'avoir accompagné le long de la réalisation de ce travail et pour tous ses précieux conseils et sa confiance.

Je remercie aussi Mme. Mehdid S. d'avoir bien voulu présider ce jury et pour ses encouragements.

Ma gratitude va aussi vers M. Kada M. pour avoir d'abord accepté d'examiner ce travail, mais aussi pour tous les conseils et directives qu'il a bien voulu m'accorder durant les différentes étapes du projet.

Merci également à M. Fernane L. d'avoir accepté de faire part de l'équipe examinatrice du mémoire.

Sans oublier M. Maatouk Y., Mme. Gueroumi H., M. Misraoui A., M. Ait Kaci M., M. Boudjellal B. et Mme. Eddalia N. Equipes des laboratoires de l'ENSSMAL et de l'annexe de Sidi Fredj pour leur accompagnement lors de la réalisation des manipulations, le personnel de la bibliothèque de l'école ; M. Chedjari E., Mme Baouche F., et M. Arbouche R. ainsi que tout le personnel de l'école et les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin.

Un dernier « Thank you » pour M. Segmane K. pour son aide lors des travaux sur terrain.

Table des matières

Liste des figures	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des acronymes	10
Introduction	12
I. Généralités.....	14
I.1. Hydrocarbures.....	14
I.1.1. Définition.....	14
I.1.2. Classement.....	14
I.1.3. Propriétés physico-chimiques.....	15
I.1.4. Origines et Sources	16
I.1.5. Comportement dans le milieu marin.....	17
I.1.6. Toxicité.....	19
I.1.7. Impacts.....	20
I.2. Sédiments :.....	22
I.2.1. Définition.....	22
I.2.2. Processus de sédimentation	22
I.2.3. Classification granulométrique.....	22
I.2.4. Rétention des hydrocarbures	23
II. Présentation de la zone d'étude.....	25
II.1. Positionnement géographique.....	25
II.2. Choix du site	25
II.3. Caractéristiques du site.....	26
II.3.1. Caractéristiques géologiques et sédimentologiques.....	26
II.3.2. Caractéristiques morphologiques.....	26
II.3.3. Caractéristiques météorologiques	27
II.3.4. Caractéristiques hydrodynamiques	27
II.3.5. Réseau hydrographique.....	28

II.3.6.	Flore et faune	28
II.4.	Sources de pollution par HAPs dans la baie	29
III.	Matériel et méthodes	32
III.1.	Conditionnement du matériel	32
III.2.	Echantillonnage et conservation	32
III.3.	Paramètres physicochimiques	33
III.3.1.	Température	33
III.3.2.	Potentiel d'hydrogène	34
III.3.3.	Salinité	34
III.3.4.	Oxygène dissous.....	34
III.4.	Analyse Granulométrique.....	34
III.4.1.	La matière organique.....	35
III.4.2.	La teneur en eau.....	36
III.4.3.	La granulométrie	37
III.5.	Analyse des HAPs.....	41
III.5.1.	Préparation des produits.....	41
III.5.2.	Lyophilisation et broyage	42
III.5.3.	Extraction solide-liquide par Soxhlet.....	43
III.5.4.	Concentration par Rotavapor.....	43
III.5.5.	Purification et fractionnement	43
III.5.6.	Elimination des composés soufrés	44
III.5.7.	Concentration sous jet d'azote.....	44
III.5.8.	Analyse SFUV	45
III.5.9.	Expression des résultats	46
III.6.	Test de corrélation de Pearson	47
IV.	Résultats et discussion.....	49
IV.1.	Paramètres physicochimiques	49
IV.1.1.	Température	49

IV.1.2.	Potentiel d'hydrogène	49
IV.1.3.	Salinité	50
IV.1.4.	Oxygène dissous.....	51
IV.2.	Granulométrie.....	53
IV.2.1.	Matière organique.....	53
IV.2.2.	Teneur en eau.....	53
IV.2.3.	Fraction pélitique.....	54
IV.2.4.	Indices granulométriques.....	56
IV.2.5.	Pouvoir de rétention	57
IV.3.	Hydrocarbures	59
IV.4.	Corrélations	62
Conclusion.....		66

Liste des figures

Figure I.1 Comportement des hydrocarbures dans l'eau de mer	19
Figure I.2 Structure des 16 HAPs prioritaires de l'US-EPA (PARIS, 2017).....	20
Figure II.1 Situation géographique de la baie d'El Djamila	25
Figure II.2 Carte bathymétrique de la baie d'El Djamila (TERMOUL, 2014 d'après LECLAIRE, 1972).....	26
Figure II.3 Diagramme ombrothermique de la région d'El Djamila (1993-2003) (ONM, 2003 dans BELLAHSENE et MESSAOUDI, 2005)	27
Figure II.4 Courantologie dans la baie (TERMOUL, 2014 d'après HOUMA, 2009)	28
Figure II.5 Pressions anthropiques et naturelles sur la baie d'El Djamila (TERMOUL, 2014)	30
Figure III.1 Positionnement des stations de prélèvement.....	33
Figure III.2 a. Oxymètre ; b. Conductimètre ; c. pH mètre	34
Figure III.3 Protocole d'analyse granulométrique	35
Figure III.4 a. Four à moufle ; b. Dessiccateur.....	36
Figure III.5 a. Balance ; b. Etuve	37
Figure III.6 a. Tamisage sous l'eau ; b. Tamiseuse ; c. Pesage du refus.....	38
Figure III.7 Protocole d'analyse des HAPs dans le sédiment (d'après C.O.I, 1984).....	41
Figure III.8 a. Lyophilisateur ; b. Broyage	42
Figure III.9 a. Extracteur Soxhlet ; b. Evaporateur rotatif.....	43
Figure III.10 Chromatographie sur colonne (Schéma : BOUGHRIRA, 2012).....	44
Figure III.11 a. Traitement au mercure ; b. Concentration sous jet d'azote	45
Figure III.12 Courbe d'étalonnage	46
Figure III.13 Spectrofluorimètre UV	46
Figure IV.2 Répartition spatiale des températures selon les stations.....	49
Figure IV.4 Répartition spatiale des pH selon les stations.....	50
Figure IV.6 Répartition spatiale des salinités selon les stations	51
Figure IV.8 Répartition spatiale de l'oxygène dissous selon les stations	52
Figure IV.10 Répartition spatiale des taux de matière organique selon les stations.....	53
Figure IV.12 Répartition spatiale des teneurs en eau selon les stations	54
Figure IV.14 Répartition spatiale des teneurs de la fraction fine selon les stations	55

Figure IV.15 Positionnement des stations du port sur le triangle de texture (USDA in BROWN, 2003).....	55
Figure IV.16 Pouvoir de rétention des HAP par le sédiment de la baie d'El Djamila.....	58
Figure IV.17 Répartition spatiale du pouvoir de rétention selon les stations.....	58
Figure IV.18 Teneurs des HAPs dans le sédiment de la baie d'El Djamila.....	60
Figure IV.19 Répartition spatiale des teneurs des HAPs selon les stations	61
Figure IV.20 Concentration des HAPs et teneurs en FP, en MO et PR dans le sédiment de la baie d'El Djamila	63
Figure IV.21 Corrélations entre PR et a. HAP ; b. FP ; c. TE ; d. MO	64

Liste des tableaux

Tableau I.1 Classification granulométrique de WENTWORTH (1922).....	23
Tableau II.1 Caractéristiques des eaux usées de l'Oued Béni Messous (DHEEWA, 2001 dans TERMOUL, 2014).....	29
Tableau II.2 Principaux industries de la baie d'El Djamila (AOUIDAD, 1997 in YOUNES et ZINE, 2017)	30
Tableau III.1 Produits solides et liquides utilisés.....	42
Tableau IV.1 Résultats comparatifs des paramètres physicochimiques des études antérieurs.....	52
Tableau IV.2 Pouvoir de rétention du sédiment d'El Djamila.....	57
Tableau IV.3 Résultats du calcul des indices granulométriques et du PR	59
Tableau IV.4 Résultats comparatifs des teneurs en HAPs des études antérieures.....	61
Tableau IV.5 Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques, les teneurs en HAP et les caractéristiques du sédiment.....	62
Tableau IV.6 Teneur en HAPs selon la classe sédimentaire	63
Tableau IV.7 Matrice de corrélation HAP, PR, MO, TE et FP	64

Liste des acronymes :

ADN : Acide désoxyribonucléique

CDC : Center of Disease Control (centre pour le contrôle et la prévention des maladies)

COI : Commission Océanographique Intergouvernementale

FP : Fraction Pélitique

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes

MO : Matière Organique

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)

ONS : Office National des Statistiques

PR : Pouvoir de Rétention

SFUV : Spectrofluorométrie UV

SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observations (résumé des observations météorologiques synoptiques)

TE : Teneur en Eau

UNEP : United Nations Environmental Program (programme des nations unies pour l'environnement)

USDA : United States Department of Agriculture (département de l'agriculture des Etats-Unis)

US-EPA : United States Environment Protection Agency (agence de protection de l'environnement des Etats-Unis)

UV : Ultra-Violet

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, la pollution chimique du milieu marin n'a cessé d'augmenter suite à l'urbanisation et l'industrialisation continue de la zone côtière qui est à la fois un milieu récepteur des apports terrigènes, et la zone la plus riche biologiquement ce qui présente un problème alarmant pour le devenir des écosystèmes marins.

La méditerranée, mer semi fermée entourée par deux continents : l'Afrique et l'Eurasie, majeurs producteurs et exportateurs des produits pétroliers et de gaz naturel, et comptants plusieurs zones industrielles consommatrices des carburants. Prenant compte de tout ça, il est évident que la région, et plus particulièrement les eaux côtières présentent des tendances accélérées par rapport à l'océan mondial. (MedECC, 2020)

La côte algérienne, considérée comme étant l'une des plus peuplées dans le bassin méditerranéen, regroupe environ 40% de la population algérienne et plus de 50% des unités industriels du pays, dont 25% dans la région algéroise, capitale politique et économique. Des flux de pollution difficiles à gérer faute de systèmes d'épuration adéquats et suffisants qui ne comptent que quatre stations au niveau de la wilaya (U.N.E.P, 2006).

La distribution de la pollution organique dans l'environnement marin est influencée par deux facteurs : les composants des écosystèmes et les apports terrigènes (WANG. *et al.*, 2021)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques constituent une classe abondante des polluants chimiques toxiques POPs (polluants organiques persistants). Ils sont introduits dans l'environnement marin par plusieurs processus (FROEHNER. *et al.*, 2009).

La contamination de la matrice sédimentaire superficielle par les hydrocarbures aromatiques polycycliques des côtes algéroises a été l'objet de plusieurs études antérieures, citons les travaux d'AYACHE et BACHIR BEY (2011) sur la baie d'Alger, de BOUGHRIRA (2012) sur la baie de Bousmail.

Ce travail, a pour objectif d'évaluer le pouvoir de rétention des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire, et ce en relation avec la classification granulométrique des sédiments superficiels de la baie d'El Djamila et ses caractéristiques, ainsi que la charge de ces derniers.

Ce document, en plus de l'introduction générale se compose de trois chapitres :

INTRODUCTION

- CHAPITRE I : GENERALITES – Présenté en deux parties consacrées aux notions de bases sur le polluant et la matrice étudiés, leur classification, origines, sources et impacts environnementaux.
- CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE – Répartie également en deux titres principaux : la description de la zone étudiée et ses caractéristiques ; la deuxième explique la méthodologie suivie lors des manipulations au laboratoire.
- CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS – consacré à la présentation de tous les résultats obtenus et leur interprétation.

Le manuscrit est conclu par une synthèse des résultats et des recommandations.

GENERALITES

I. Généralités

I.1. Hydrocarbures

I.1.1. Définition

Les hydrocarbures sont des molécules constituées seulement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ce sont pour la plupart des composés incolores avec une faible odeur et ayant un caractère hydrophobe. Ils sont omniprésents, persistants dans la nature et présentent plusieurs structures avec de différents niveaux de toxicité (ABDEL-SHAFY et MANSOUR, 2015)

Les hydrocarbures sont caractérisés par le fait qu'ils ne contiennent que des liaisons covalentes, c'est-à-dire des liaisons où les atomes partagent une seule paire d'électrons (WILKES et SCHWARZBAUER, 2010).

I.1.2. Classement

La classification des hydrocarbures se fait sur le nombre d'atomes de carbone ainsi que les caractéristiques de linéarité de chaînes, d'insaturation et de cyclisation qu'ils possèdent (PICOT et MONTANDON, 2013).

I.1.2.1 Aliphatiques

- **Alcanes :**

Les alcanes (ou paraffines) se divisent en trois sous-groupes : les n-alcanes, les isoalcanes et les cycloalcanes.

Les n-alcanes sont des hydrocarbures linéaires saturés de formule générale C_nH_{2n+2} . Les atomes de carbone sont liés entre eux avec des liaisons simples de type σ (WILKES et SCHWARZBAUER, 2010).

Les isoalcanes sont des alcanes qui possèdent une ou plusieurs ramifications (PICOT et MONTANDON, 2013).

Les naphènes (ou les cycloalcanes) sont, comme leur nom indique, des alcanes de forme cyclique (WADE, 2013).

- **Alcènes :**

Appelés aussi oléfines (générateur d'huile), les alcènes sont des hydrocarbures insaturés contenant au moins une double liaison de type π . Ils peuvent être linéaires ou cycliques, de formule générale C_nH_{2n} .

- **Alcynes :**

Les alcynes, C_nH_{2n-2} , possèdent au moins une triple liaison, donc insaturés. Leur spécificité c'est qu'ils sont rigides difficiles à courber en un cycle car les alcynes doivent avoir quatre atomes linaires. C'est pour cela que les cycloalcynes sont rares et ne sont stables que lorsqu'ils contiennent plus de huit carbones (WADE, 2013).

I.1.2.2 Aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques sont des composés insaturés stables comportant trois doubles liaisons. Ils se composent d'un ou plusieurs cycles benzéniques (PICOT et MONTANDON, 2013), fusionnés entre eux linéairement, angulairement ou en coin (KOROGHLI, 2010). Les HAPs se trouve naturellement dans le charbon et le pétrole (C.D.C, 2013).

Plusieurs HAPs contiennent des atomes autres que le carbone et l'hydrogène, tel que le soufre, l'azote et l'oxygène (KOROGHLI, 2010).

I.1.3. Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physicochimiques des hydrocarbures dépendent principalement de leur structure (PICOT et MONTANDON, 2013). Ces propriétés peuvent affecter leur comportement dans l'environnement, ainsi que leur toxicité et impact.

I.1.3.1 La viscosité

C'est la résistance d'un liquide à écouler. Plus le liquide coule facilement, plus sa viscosité est basse. La viscosité du pétrole dépend de ses composants : un grand pourcentage des fractions légères, comme les hydrocarbures saturés, lui rend moins visqueux. Elle change aussi avec la température d'une façon logarithmique. Cela affecte donc son comportement dans le milieu marin (FINGAS, 2013).

I.1.3.2 La densité

C'est la masse d'un volume précis par rapport à la masse volumique de l'eau (ou de l'air dans le cas d'un gaz). Les types de pétrole sont ainsi définis par leurs densités. La plupart des hydrocarbures vont flotter puisque leurs densités varient entre 0.7 et 0.99 g/cm^3 (notant que la densité de l'eau de mer à 15°C est de 1.03 g/cm^3). Dans certains cas, la densité du pétrole augmente suit à l'évaporation de la fraction fine (FINGAS, 2013).

I.1.3.3 La solubilité

Définie par la quantité moléculaire capable de se dissoudre dans l'eau. Bien qu'ils soient considérés hydrophobes, donc peu solubles dans l'eau, leurs solubilités varient d'une façon inverse avec la masse molaire dans un grand intervalle (PICOT et MONTANDON, 2013; VARANASI, 1989).

En dehors de ces trois majeures propriétés, les HAPs possèdent d'autres caractéristiques telles que la résistance à la chaleur, la conductivité et la fluorescence (ABDEL-SHAFY et MANSOUR, 2015).

I.1.4. Origines et Sources

Il existe trois origines des HAPs dans le milieu marin : pyrogénique, pétrogénique et diagénique.

Origine pétrogénique : formés à partir des produits pétroliers ou ses dérivés.

On retrouve les aromatiques d'origine pétrogénique généralement dans des zones précises souvent près de la côte, correspondant à des points de rejets industriels, ou à proximité des routes (DOUBEN, P. E. T., 2003; U.S. E.P.A, 2003).

Origine pyrogénique : issus de la combustion incomplète de la matière organique (U.S. E.P.A, 2003).

Les hydrocarbures pyrogéniques sont plus retrouvés dans le sédiment que les pétrogéniques, et semblent être moins vulnérables à la dégradation biotique et abiotique (U.S. E.P.A, 2003).

Origine diagénique : issues de l'activité bactérienne, le plancton et les réactions diagéniques (FROEHNER *et al.*, 2009; ZAGHDEN *et al.*, 2017).

Il est difficile d'identifier l'origine des hydrocarbures dans le sédiment puisqu'il est possible qu'il y'est un mélange des trois origines connues. En plus, les propriétés physico-chimiques de certains HAPs peuvent contribuer à la modification de la distribution originelle des sources d'émissions (FROEHNER *et al.*, 2009).

I.1.4.1 Sources naturelles

Les hydrocarbures sont introduits dans le milieu marin depuis plusieurs sources indépendamment de l'activité humaine. Le pétrole (et le gaz naturel) fuite du fond depuis les fractures du sol et les sédiments, un phénomène appelé le suintement du pétrole (N.O.A.A, 2019).

CHAPITRE I : GENERALITES

Les volcans et les feux sont aussi une source majeure puisque l'atmosphère est considérée l'un des principaux facteurs qui contribuent à la pollution des océans par les hydrocarbures. Sujets aux lavages dues aux précipitations, les hydrocarbures, existants sous forme gazeuse ou particulaire dans l'air, sont introduits dans le milieu marin (MANOLI et SAMARA, 1999).

Certaines bactéries, champignons et algues biosynthétisent les hydrocarbures, mais l'origine biogénique reste beaucoup moins comprise, localisée et ne concerne que quelques HAPs (JAUTZY, 2015).

I.1.4.2 Sources anthropiques

L'activité anthropique intensive qui se produit au large aggrave la pollution causée par les polluants organiques dans la côte.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques se dispersent dans l'environnement marin à partir des décharges des eaux usées et rejets industriels non contrôlés, des exploitations offshore, du transport maritime en particulier le ballastage, théoriquement réalisée dans les installations portuaires prévues à cet effet, mais qui se fait en réalité souvent en mer de façon illégale (LAURENT et CASTELLANET, 2003), des déversements liés aux accidents des navires pétroliers et des dépôts atmosphériques qui sont issus des émissions industrielles, des moyens de transport et du tabac (SUN *et al.*, 2018).

I.1.5. Comportement dans le milieu marin

Dans un environnement aquatique, les HAPs légers, moins hydrophobes, sont retrouvés souvent dans la colonne d'eau. Les HAPs plus hydrophobes s'accumulent dans la fraction organique des sédiments (PARIS, 2017)(Figure I.1).

I.1.5.1 Evaporation

La plupart des composants volatiles contenus dans les hydrocarbures s'évaporent vers l'atmosphère juste après le déversement. Ce pouvoir d'évaporation dépend principalement de la nature des hydrocarbures, le plus léger s'évapore le plus rapidement (KINGSTON, 2002).

I.1.5.2 Photolyse

Quelques composants des hydrocarbures seront oxydés par les rayons UV. Cette réaction produit de nouveaux composants acides et phénoliques qui peuvent être beaucoup plus toxiques. Ils ne posent cependant pas de dangers importants à cause de leurs faibles concentrations (KINGSTON, 2002).

I.1.5.3 Dissolution

Les composants du pétrole les plus solubles ainsi quelques aromatiques de faible masse moléculaire disparaissent grâce à la dissolution. La quantité introduite dans la colonne d'eau n'est donc qu'une petite fraction (moins de 1%). Ce processus est important pour la vie marine puisqu'il empêche l'accumulation des composés aromatiques toxiques pour les organismes aquatiques près de la côte (FINGAS, 2013).

I.1.5.4 Dispersion

La plus grande quantité des hydrocarbures sera éliminée par le processus de dispersion. L'action de la vague est responsable de ce phénomène : elle casse le pétrole en gouttelettes de 0.01 à 1 mm de diamètre. La colonne d'eau retient ces gouttelettes avant d'être dégradées par l'activité microbienne (KINGSTON, 2002).

I.1.5.5 Emulsification

L'émulsification est l'incorporation des gouttelettes d'eau dans le pétrole. Ce processus ne se produit que dans certaines conditions. L'émulsification forme une mousse visqueuse dont la stabilité dépend du type des hydrocarbures. Cette formation est accélérée par les conditions rugueuses de l'océan conduisant ainsi à l'augmentation de la densité, la viscosité et la persistance de la nappe (KINGSTON, 2002).

I.1.5.6 Biodégradation

Plusieurs types de bactéries, de champignons et d'autres microorganismes sont capables de dégrader les hydrocarbures pour les utiliser comme une source d'énergie. Ils peuvent être métabolisés en composés oxydés pour être par la suite dégradés, devenir solubles ou s'accumuler. Les produits de la biodégradation peuvent être beaucoup plus toxiques que le pétrole lui-même. Le processus est lent et dépend de la quantité et la nature des hydrocarbures, les conditions du milieu et la composition de la communauté microbienne (FINGAS, 2013; LEAHY et COLWELL, 1990).

I.1.5.7 Sédimentation

La sédimentation des hydrocarbures est le processus de décantation du pétrole avec d'autres substances de la colonne d'eau adsorbé sur les matières en suspension et portés par la suite vers la matrice sédimentaire. Leur accumulation provoque la formation des boules de goudrons ou « tarball » qui descendent vers le fond. Ce processus ne se produit que lorsque les quantités des

rejets pétroliers sont grands, où la biodégradation seule ne peut pas tout éliminer (KINGSTON, 2002).

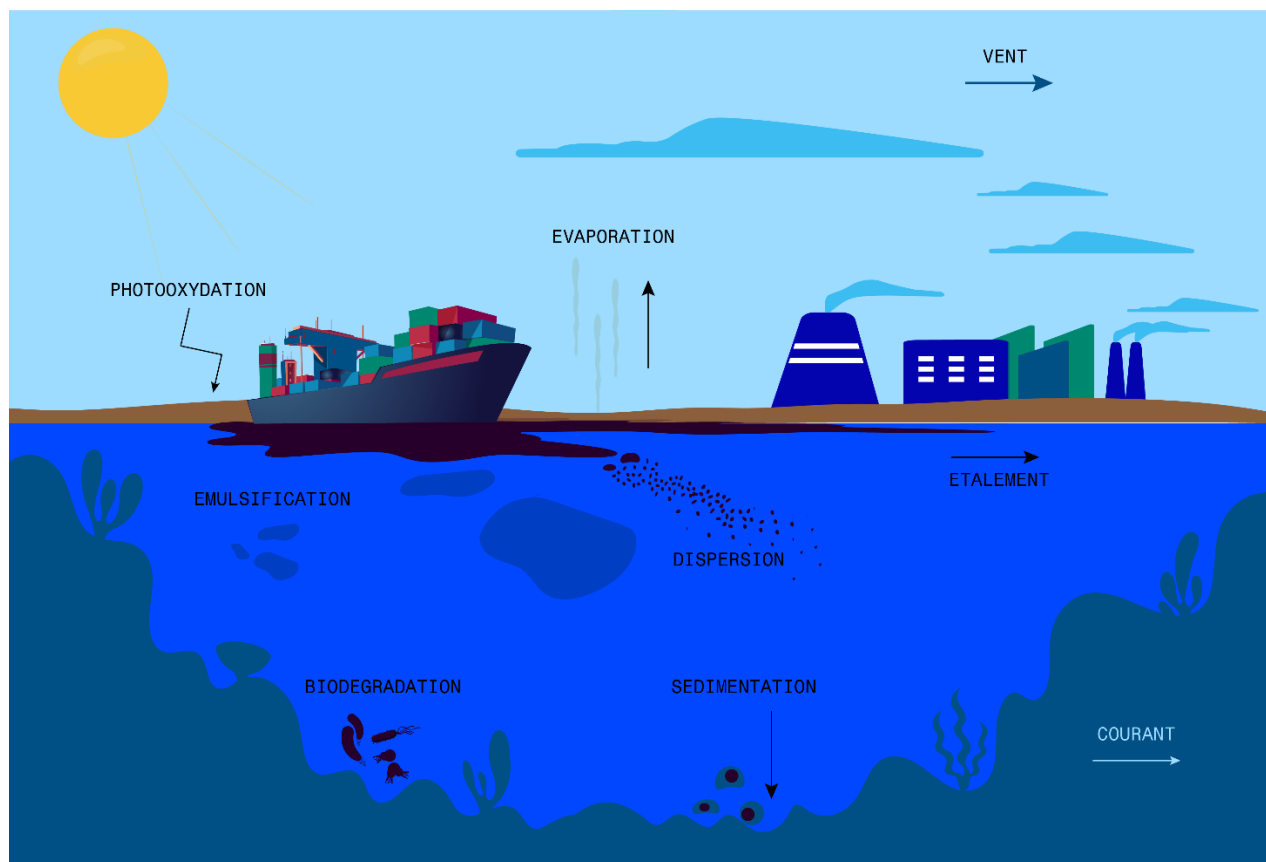


Figure I.1 Comportement des hydrocarbures dans l'eau de mer

I.1.6. Toxicité

La toxicité d'un composé peut dépendre de la présence ou l'absence d'un groupe méthyl ou éthyle. Le benzène par exemple est toxique et provoque la leucémie, mais le méthylbenzène est beaucoup moins dangereux car ces groupes peuvent être oxydés par les enzymes (WADE, 2013).

L'EPA a classée 16 HAPs comme étant prioritaires à cause de leur toxicité prouvée (Figure I.2). Ils sont des agents toxiques, mutagènes, carcinogènes et tératogènes (PATEL *et al.*, 2020). Ils se comportent aussi comme des anti-estrogènes chez les mammifères et induit la reprotoxicité chez les femmes (FROEHNER *et al.*, 2009).

Dans l'environnement, les HAPs sont retrouvés dans la plupart des temps en forme de mélanges, cela fait que les études épidémiologiques sur chaque HAP séparément sont irréalisables. Les effets toxicologiques de chacun de ces composés restent donc méconnus (PARIS, 2017).

CHAPITRE I : GENERALITES

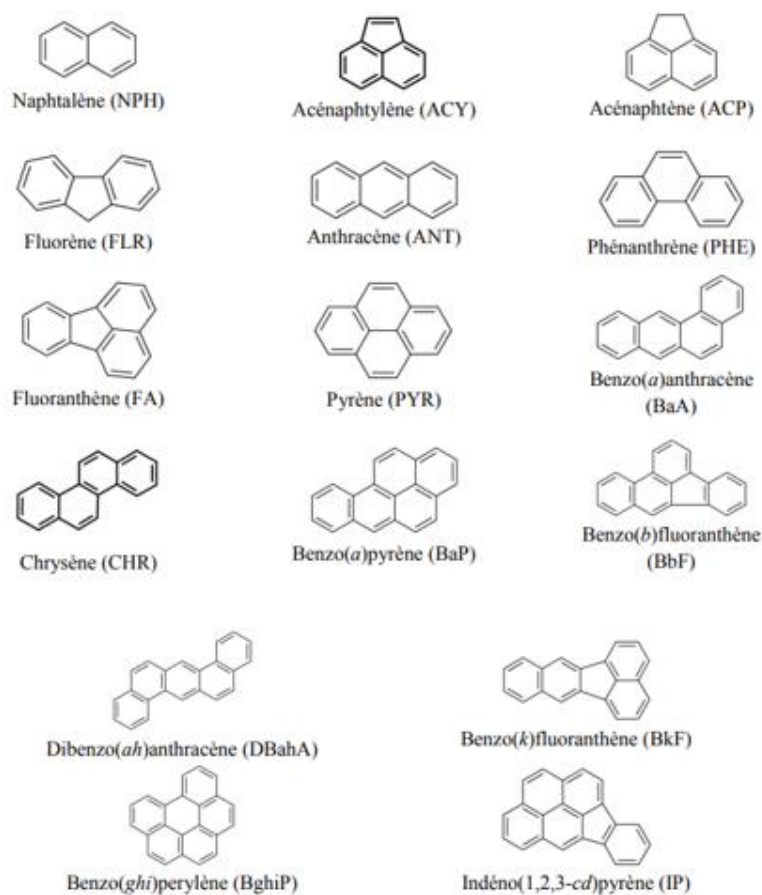


Figure I.2 Structure des 16 HAPs prioritaires de l'US-EPA (PARIS, 2017)

I.1.7. Impacts

La persistance des HAPs dans le milieu marin dépend principalement de leur structure aromatique, leur hydrophobicité et leur thermostabilité (PATEL *et al.*, 2020). Néanmoins, l'impact des hydrocarbures peut différer selon la zone où le déversement a eu lieu. Il peut diminuer d'une façon considérable si la distance entre le rejet et la côte est grande, puisque la grande majorité de la biomasse marine se situe dans la zone proche de la côte. De plus, les différents phénomènes que subissent les hydrocarbures dans le milieu marin réduisent la possibilité que les effluents rejoignent la côte. Autres facteurs tel que le type de la côte, l'hydrodynamisme et les conditions météorologiques peuvent contribuer à l'accentuation de ces impacts (I.S.T.P.M, 1983).

I.1.7.1 Impact sur les oiseaux marins

Les oiseaux de mer constituent le groupe d'espèces le plus affecté par les accidents de déversement à court terme, qui se traduit par des mortalités quasi instantanées. L'impact à long terme sur ce groupe est méconnu (KINGSTON, 2002).

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1.7.2 Impact sur les organismes marins

De nombreuses espèces marines telles que les mollusques bivalves, les phytoplanctons et les zooplanctons, se développent et se nourrissent dans le compartiment sédimentaire impliquant l'absorption et l'accumulation des hydrocarbures aromatiques peu solubles dans l'eau (PARIS, 2017).

Dans la majorité des cas, les œufs, les larves et les juvéniles sont les plus sensibles aux impacts des polluants, bien que les adultes subissent aussi des mortalités provoquant ainsi un effondrement du stock. Cette dégradation peut aussi être causée par l'altération des processus de reproduction ou de nutrition (I.S.T.P.M, 1983).

En dehors des mortalités, les aromatiques peuvent aussi provoquer des tumeurs hépatiques ou encore la formation d'adduits à l'ADN à cause de leur accumulation dans le foie, les branchies ou les organes digestifs des poissons et des bivalves (PARIS, 2017).

Les racines des plantes aquatiques absorbent les HAPs depuis le sédiment pour être transférés par la suite vers les autres parties. Les taux d'absorption dépendent de la concentration, les conditions physicochimiques ainsi que le type du sédiment. Il existe des plantes qui possèdent des substances de protection contre les effets des hydrocarbures, mais les données existantes sur ce sujet restent très limitées (ABDEL-SHAFY and MANSOUR, 2015).

I.1.7.3 Impacts sur la santé humaine

L'impact sur la santé humaine dépend principalement de la voie, la quantité et la durée de l'exposition aux polluants. La principale voie d'exposition aux HAPs existants dans le milieu marin pour l'homme est l'alimentation, et dans ce cas la consommation des espèces bioaccumulatrices comme les moules et les huîtres. Les effets à court terme comprennent l'irritation, les inflammations et le vomissement. Au long terme, les hydrocarbures peuvent induire une défaillance d'organes et des déficits immunitaires (ABDEL-SHAFY and MANSOUR, 2015).

I.1.7.4 Rétablissement des écosystèmes

Le rétablissement d'un écosystème peut être défini comme « le rétablissement d'une communauté biologique dont les caractéristiques de la faune et la flore de cette communauté sont présents et fonctionnent normalement. » (KINGSTON, 2002)

Le rétablissement d'un écosystème suite à un accident de déversement peut durer de quelques saisons à plusieurs années (U.N.E.P, 2017). Cela commence dès que la toxicité des composés diminue jusqu'à un niveau tolérable par les organismes du milieu (KINGSTON, 2002).

I.2. Sédiments :

I.2.1. Définition

Selon la définition du dictionnaire de géologie, le sédiment est « un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport. » (MOUKHCHAN *et al.*, 2013).

Le sédiment peut se former de deux origines : terrigène minérale ou biogène organique. Cependant, on peut retrouver plusieurs sources de sédiment, comme l'érosion côtière, les apports fluviaux, les volcans, les récifs coralliens et les coquilles. La nature et la source des apports ainsi que l'intensité des conditions environnementales dans une zone déterminent les caractéristiques de la matrice sédimentaire de cette zone (TRENHAILE, 2005) .

I.2.2. Processus de sédimentation

Le processus de sédimentation est le phénomène de dépôt des particules en suspension dans l'eau sous l'effet de la pesanteur. La précipitation des particules se fait après leur transportation par l'eau, le vent ou le courant pour être déposées par la suite lorsque la vitesse de l'agent transporteur diminue (BOULVAIN, 2021). Le taux de sédimentation dans les réservoirs dépend alors de l'hydrodynamisme et de la nature du sédiment (JULIEN, 2010).

I.2.3. Classification granulométrique

La granulométrie permet de classer les particules sédimentaires selon leurs tailles et leur poids.

L'échelle de Wentworth (1922) présente trois classes de sédiment meuble (Tableau I.1) :

- Les **rudites** ($D > 2$ mm) comprenant les blocs, les cailloux et les graviers
- Les **arénites** ($63 \mu\text{m} < D < 2$ mm) comprenant les sables
- Les **lutites** ($D < 63 \mu\text{m}$) comprenant les limons ou silts ($4 < D < 63 \mu\text{m}$) et les argiles ($D < 4 \mu\text{m}$).

CHAPITRE I : GENERALITES

Tableau I.1 Classification granulométrique de WENTWORTH (1922)

Diamètre (Φ)	Diamètre (mm)	Sédiment	
-3,32	10	Cailloutis et blocs	
-1	2	Graviers	
0	1	Très grossiers	Sables
1	0,5	Grossiers	
2	0,25	Moyens	
3	0,125	Fins	
4	0,063	Très fins	
5	0,0315	Très grossiers	
6	0,016	Grossiers	
7	0,008	Moyens	
8	0,004	Fins	
9	0,002	Très fins	
		Argiles	

I.2.4. Rétention des hydrocarbures

La capacité de rétention des hydrocarbures (ou d'eau) dépend entre autres de la porosité, la granulométrie et le taux de matière organique du sédiment, mais aussi des propriétés physicochimiques du composé notamment le coefficient de partage (K_{ow}) (E.P.R.I, 2000).

Les sédiments, les limons et les argiles en particulier, ont une grande capacité à stocker les polluants hydrophobes. Cela leur rend un outil efficace pour le recensement des impacts (FROEHNER *et al.*, 2009) environnementaux des HAPs (FROEHNER *et al.*, 2009). Cependant, le sédiment marin superficiel agit à la fois comme étant puits et source d'hydrocarbures. Les changements des conditions hydrodynamiques permettent une remobilisation de ces composés vers le plan d'eau (SCHNETGER *et al.*, 2000; SUN *et al.*, 2018).

ZONE D'ETUDE

II. Présentation de la zone d'étude

II.1. Positionnement géographique

Orientée du Sud-Ouest vers le Nord- Est, la baie d'El Djamila s'étale sur une superficie maritime de 350 km² avec une ouverture de 40 km et un linéaire côtier de 6km. Elle se situe à 30 km à l'Ouest d'Alger entre la presqu'île de Sidi Fredj (2°50' E ; 36°48' N) à l'Ouest et Ras Acrata (2°53' E ; 36°38' N) à l'Est (AL SID CHIKH *et al.*, 2008; KADRI et ATROUNE, 2021).

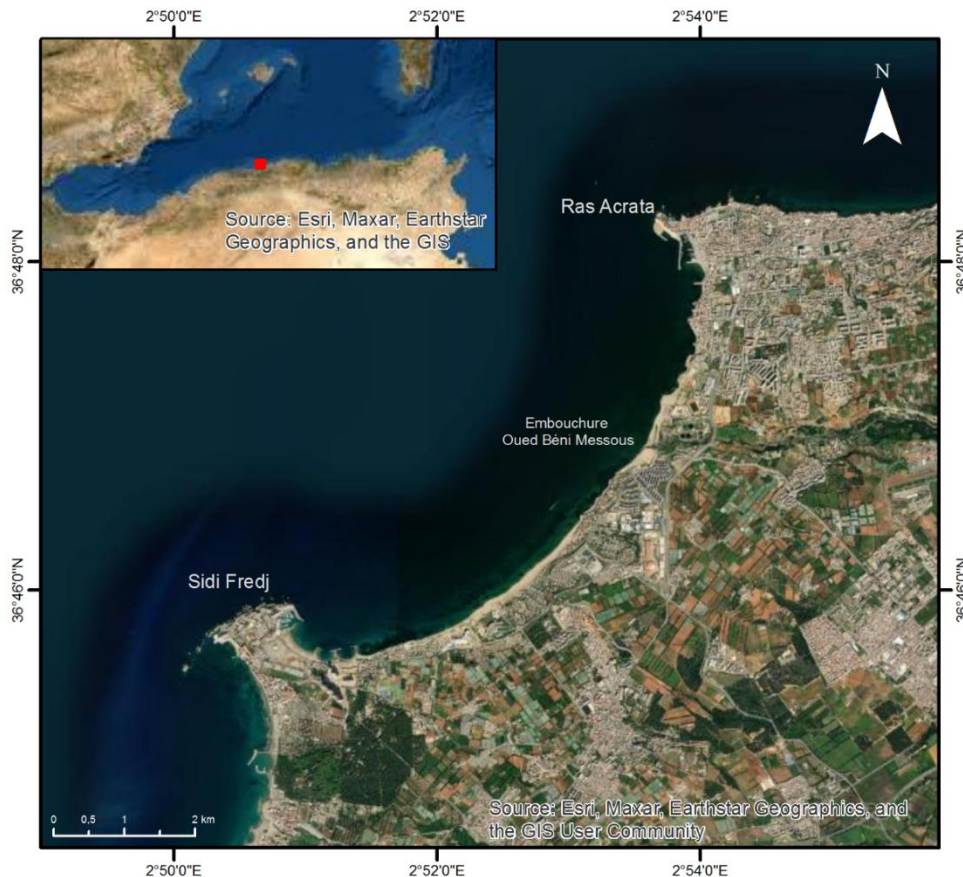


Figure II.1 Situation géographique de la baie d'El Djamila

II.2. Choix du site

El Djamila a été choisie comme zone d'étude pour plusieurs raisons ; notamment la présence de plusieurs pressions anthropiques subites sur la baie principalement par les activités portuaires (port La Madrague et port de Sidi Fredj) et touristiques ainsi que les rejets domestiques et industrielles affectant directement les écosystèmes de la région. Le site comprend aussi plusieurs plages autorisées pour la baignade le long de son linéaire côtier, ce qui rend l'évaluation des concentrations des polluants, dans notre cas les hydrocarbures aromatiques polycycliques, dans sa matrice sédimentaire nécessaire afin de prévoir de potentiels dangers sur la santé humaine.

II.3. Caractéristiques du site

II.3.1. Caractéristiques géologiques et sédimentologiques

Le domaine géologique de la région d'Alger où se trouve la baie d'El Djamila est caractérisé par les roches métamorphiques de type micaschistes, gneiss et calcaire (YOUNES et ZINE, 2017), bordées par des dépôts sédimentaires d'âge mioquaternaires du Sahel d'Alger. Il est constitué de terrains récents néogènes et quaternaires alors que les massifs de bordures (Bouzareah, Sidi Fredj) sont formés de terrains plus anciens (AIDOUUD et MIMOUNI, 2009).

La mobilisation du sédiment devient plus importante vers la côte à cause des déferlements. La granulométrie dans la baie varie de la côte formée d'une bande de sables fins infralittoraux, vers le large où on trouve plutôt une prédominance des graviers envasés (AL SID CHIKH *et al.*, 2008).

II.3.2. Caractéristiques morphologiques

La morphologie de la zone est caractérisée par des accumulations sableuses d'origine éolienne. Le côté Est de la baie est taillé en falaises et bordé par un cordon dunaire limité par des plages plus ou moins larges (AL SID CHIKH *et al.*, 2008).

En ce qui concerne la morphologie sous-marine, la carte bathymétrique de la baie montre une pente douce régulière d'Ouest vers l'Est. Le milieu de sédimentation est instable en raison des transferts littoraux du sédiment de la région (AL SID CHIKH *et al.*, 2008).

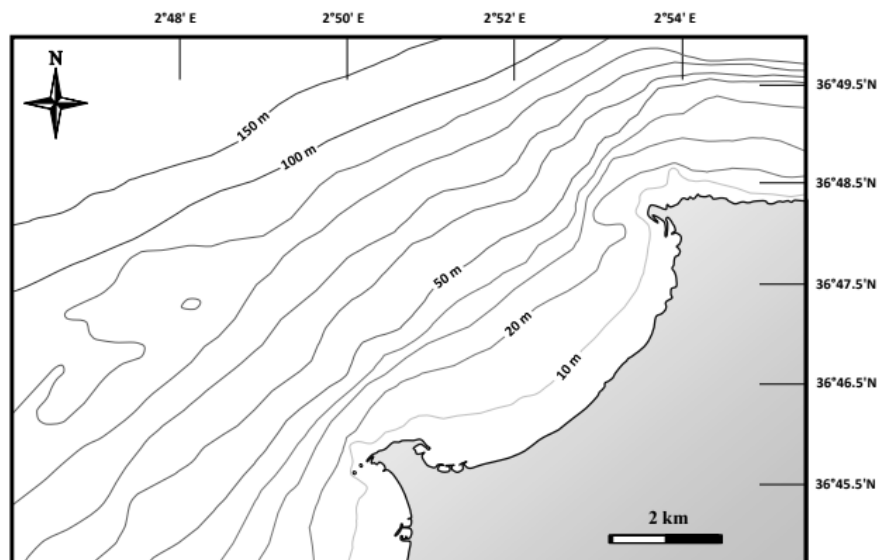


Figure II.2 Carte bathymétrique de la baie d'El Djamila (TERMOUL, 2014 d'après LECLAIRE, 1972)

II.3.3. Caractéristiques météorologiques

Le climat dans la baie est méditerranéen comme le reste de la wilaya. Ses étés sont chauds et secs et ses hivers doux et humides avec des précipitations qui peuvent dépasser les 100 mm (Figure II.3). La saison pluvieuse s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai (AL SID CHIKH *et al.*, 2008).

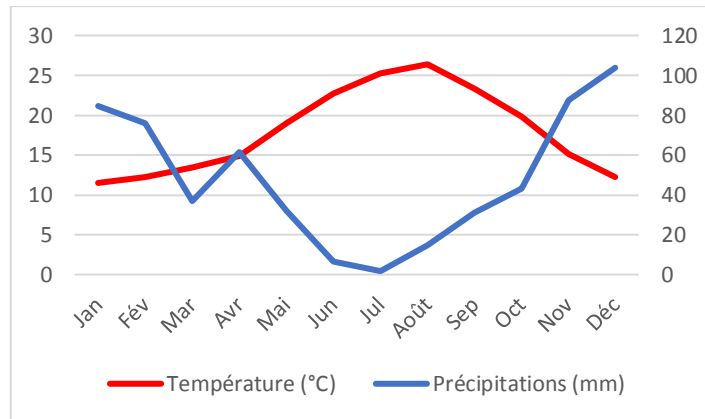


Figure II.3 Diagramme ombrothermique de la région d'El Djamila (1993-2003) (ONM, 2003 dans BELLAHSENE et MESSAOUDI, 2005)

Le vent des secteurs Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest prédomine le régime éolien dans la zone, avec des vitesses qui atteignent 16 à 20 m/s (KADRI et ATROUNE, 2021).

Le document SSMO du programme naval océanographique des Etats-Unis confirment l'existence de deux périodes distinctes des vents dans cette zone :

- Période hivernale : s'étalant du mois d'octobre jusqu'au mois de mars, prédominée par les vents de secteur Ouest et Nord-Ouest.
- Période estivale : les vents dominants sont de secteur Est et Nord-Est (BELLAHSENE et MESSAOUDI, 2005; HOUMA, 2009).

II.3.4. Caractéristiques hydrodynamiques

La zone est caractérisée par une activité hydrodynamique assez importante. La morphologie de la côte ainsi que les affleurements rocheux contribuent à l'accentuation du phénomène (AL SID CHIKH *et al.*, 2008).

La houle caractéristique de la baie est de secteurs Ouest, Nord-Est et Est selon le rapport de L.E.M, 1995, avec une légère prédominance du celle de secteur Ouest.

Selon les observations des amplitudes du SSMO, la houle au large présente une houle cinquantennale avec des périodes de 10s, (RABEHI et RAHAL, 2011; AL SID CHIKH *et al.*,

CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

2008) des amplitudes plus importantes en hiver et assez faibles en été, ce qui engendre une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest (KADRI et ATROUNE, 2021).

Les courants marins engendrés par les houles dans cette zone sont faibles, ce qui est dû aux faibles profondeurs de la côte algérienne (BELLAHSENE et MESSAOUDI, 2005).

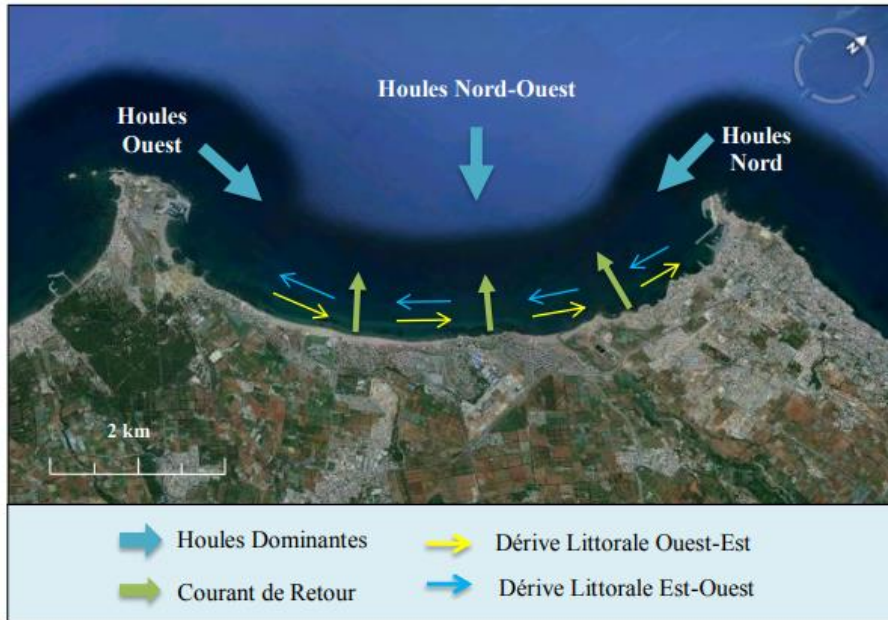


Figure II.4 Courantologie dans la baie (TERMOUL, 2014 d'après HOUMA, 2009)

II.3.5. Réseau hydrographique

La baie reçoit les eaux de l'Oued Beni Messous qui se situe cinq kilomètres à l'Est de Sidi Fredj. Il prend source dans le massif de Bouzeréah et il traverse les communes de Chéraga, au Nord, Bouzeréah au Nord Est, Dely Ibrahim à l'Est et Ain Benian à l'Ouest. D'une longueur de 11,5 km, il débauche au niveau de la plage « Les Dunes », avec un débit liquide plus au moins faible de 7,7 M m³/an. Les deux Oueds Bainem et Defla en font partie et jouent un rôle dans les apports sédimenteux et en eaux usées. (AKLI, 2016 ; BOUDAA et AYAT, 2013)

II.3.6. Flore et faune

HADJAZI et REZIG (2021) ont établi un inventaire des groupes floristiques retrouvés dans la partie Est de la baie. Les résultats montrent une prédominance du groupe des Rhodophytes suivies par les Chlorophytes, les Chromophytes et les Magnoliophytes.

La baie d'El Djamilia, comme plusieurs autres régions du littoral algérois, est considérée comme un site de nidification et de repos pour les oiseaux migrateurs. D'autres groupes d'espèces tels que

CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

les mollusques, les polychètes, les crustacés et les espèces commerciales sont retrouvés dans la zone (S.P.A/R.A.C, 2018).

II.4. Sources de pollution par HAPs dans la baie

Les pressions anthropiques sur cette zone sont principalement urbaines (Tableau II.1) du fait que les rejets domestiques des grandes agglomérations tel que la commune de Chéraga et Bouzeréah se jettent dans l'Oued Béni Messous, mais aussi les lessivages agricoles et les rejets industrielles de toutes les communes qui traverse. Ce constat a conduit à la fermeture des plages près de l'embouchure et à la réalisation d'une station d'épuration.

Tableau II.1 Caractéristiques des eaux usées de l'Oued Béni Messous (DHEEWA, 2001 dans TERMOUL, 2014)

Caractéristique	Valeur
Débit moyen des eaux usées urbaines	8336 m ³ /j
Débit des eaux industrielles	940 m ³ /j

Du côté Est de la baie se trouve la commune d'Aïn Benian qui elle seule compte 34% de la population et présente donc une pression urbaine sur la baie. Le côté Ouest quant à lui est plutôt soumis à la pression touristique notamment dans la saison estivale puisque la commune de Staoueli compte plusieurs complexes touristiques et hôtelières.

Entre l'année 1998 et 2008, la population des trois communes côtières de la baie d'El Djamila a augmentée de 30% selon les données de l'ONS. Cet accroissement a entraîné une intensification de l'activité agricole. Cela a conduit nécessairement à une augmentation de pollution par les engrais et pesticides, introduits dans le milieu marin par le phénomène du lessivage.

La réalisation des projets d'aménagement tel que les deux ports Sidi Fredj et El Djamila ainsi que la plage artificielle a également permis d'introduire d'autres types d'apports et de polluants dans la baie (Figure II.5)(TARMOUL, 2014).

CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

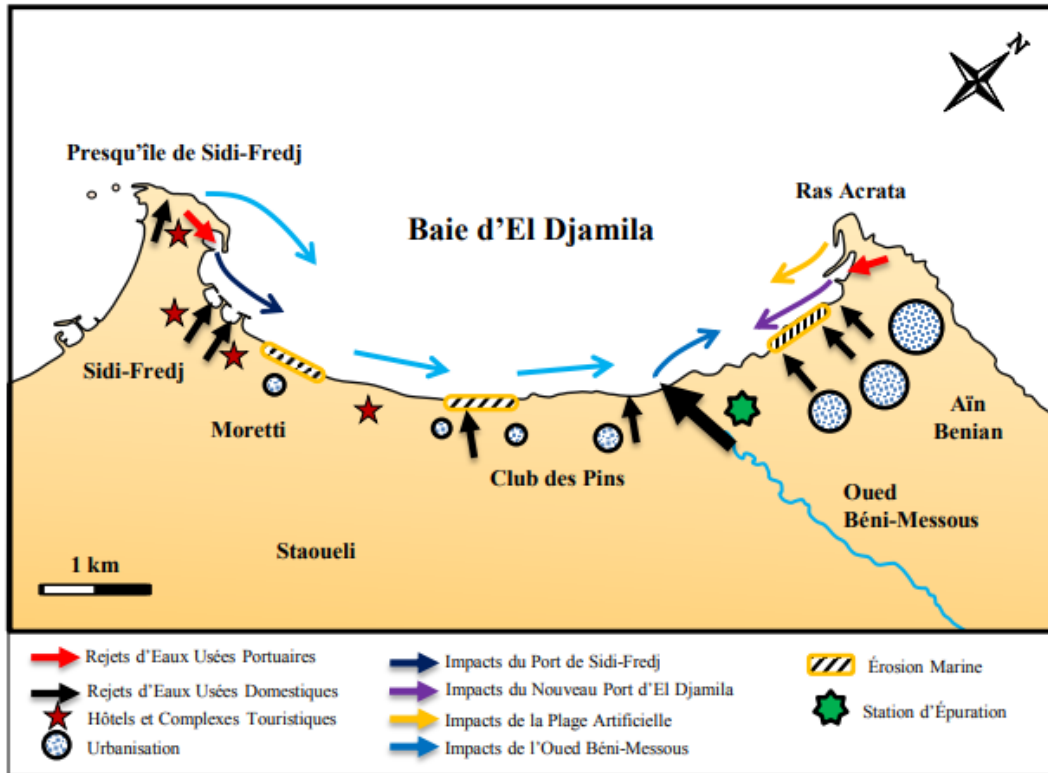


Figure II.5 Pressions anthropiques et naturelles sur la baie d'El Djamilia (TERMOUL, 2014)

Le Tableau II.2 présente les principaux types d'industries existantes dans la région selon AOUIDAD (1997). L'industrie textiles qui est une activité très polluante prédomine et se trouve principalement dans la partie Est de la baie.

Tableau II.2 Principaux industries de la baie d'El Djamilia (AOUIDAD, 1997 in YOUNES et ZINE, 2017)

	Industries textiles	Cuir et peaux	Plastiques, caoutchoucs et verres
Ain Benian	28	1	3
Staoueli	/	1	3

MATERIEL ET METHODES

III. Matériel et méthodes

III.1. Conditionnement du matériel

Avant l'utilisation du matériel destiné à l'échantillonnage ou les analyses d'hydrocarbures, il doit être conditionné selon le protocole tiré du manuel des analyses chimique en milieu marin (CNEXO, 1983) :

- Lavage à l'eau et au détergent
- Rinçage à l'eau acidulée 5% (HCl)
- Rinçage à l'eau distillée
- Rinçage à l'acétone
- Séchage à l'étuve à 70°C pendant 24h
- Rinçage au solvant : l'hexane
- Couvrir avec du papier aluminium préalablement rincé à l'hexane pour éviter la contamination.

III.2. Echantillonnage et conservation

La sortie a été effectuée la matinée du lundi 14/03/2022. Les conditions météorologiques étaient plus au moins bonnes, avec un ciel nuageux, des températures qui variaient entre 15 et 23 °C le long de la journée, et un vent de direction Ouest / Nord-Ouest avec une vitesse qui ne dépasse pas les 19 nœuds. La mer était peu agitée avec de faibles vagues.

10 stations de prélèvement ont été choisies le long de la baie, dont 5 stations au niveau différents bassins du port de Sidi Fredj. Les 5 stations restantes ont été prélevées au niveau de balancement des vagues des plages de la baie d'El Djamila. Elles ont été choisies selon leur proximité des points de déversements ou de rejets.

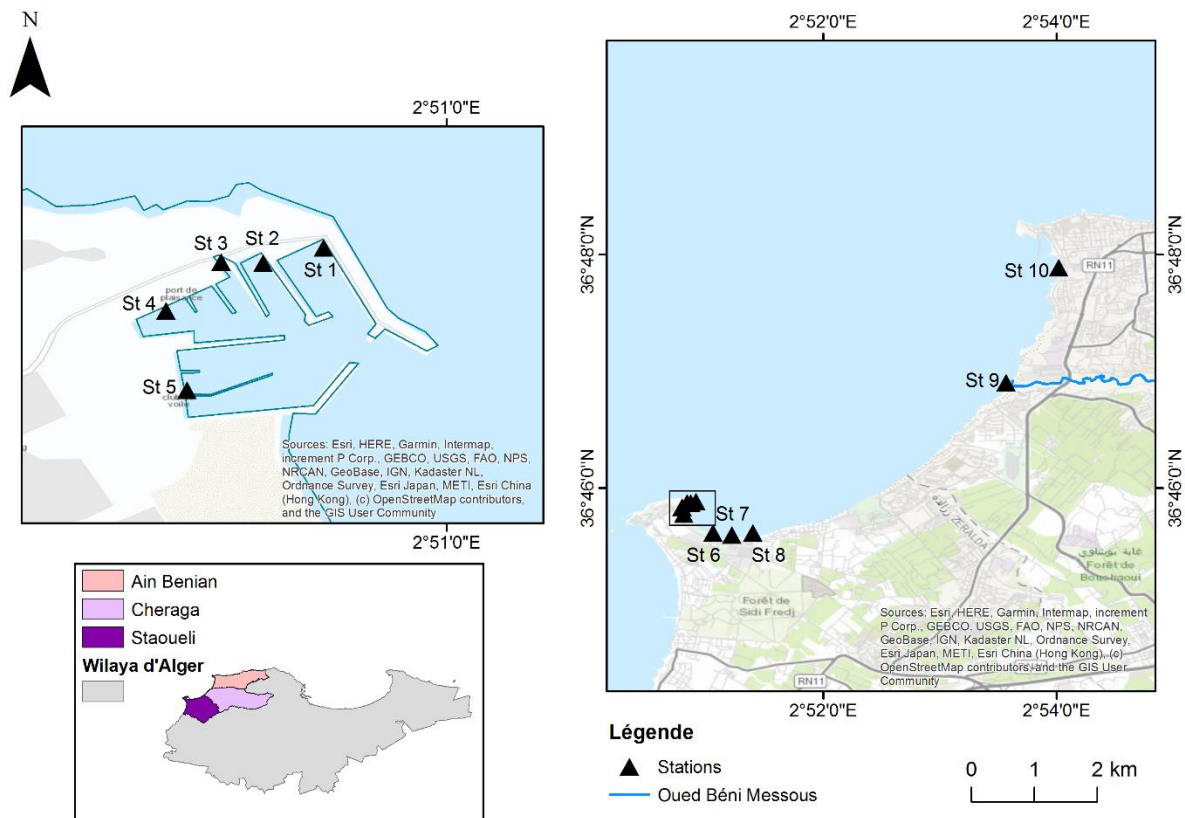
Le tableau de l'annexe I montre les dix stations et les coordonnées géographiques de chacune.

L'échantillonnage de sédiment du port a été réalisé à l'aide d'une benne VanVeen. Pour les échantillons destinés à l'analyse des hydrocarbures le sédiment a été prélevé avec une spatule et mis ensuite dans des piluliers en verre préalablement conditionnés et étiquetés. Ils sont par la suite transportés dans une glacière et conservés à -18°C avant d'entamer l'étape de lyophilisation.

Les échantillons destinés à l'analyse granulométrique ont été prélevés par la main et mis dans des sacs en polyéthylène.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Le port de Sidi Fredj a subi plusieurs opérations de dragage, une en 2008-2009 et la dernière en 2012 pour la passe d'entrée et de chenal d'accès uniquement afin de restaurer le triant d'eau. L'opération a été réalisée dans le cadre de la convention n°081/2012 du 02/07/2012, le volume de sable dragué était d'environ 25 000 m³ à une profondeur de 4 m. Le sédiment issu du port a été déposé au niveau de la plage Est de Sidi Fredj (DTP, 2012 dans MELIANI, 2019).



III.3. Paramètres physicochimiques

Les paramètres physicochimiques : température, pH, salinité et oxygène dissous ont été mesurés simultanément dans les points de prélèvement afin d'acquérir les caractéristiques de l'eau et déterminer les possibles corrélations existantes avec les teneurs d'hydrocarbures.

III.3.1. Température

Dépend principalement de la température de l'air. Elle est considérée la variable océanique la plus importante. Elle influence les autres paramètres, principalement l'oxygène dissous et la densité ainsi que les réactions géochimiques, chimiques et biologiques.

III.3.2. Potentiel d'hydrogène

Il mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau, donc la concentration en ions H^+ sur une échelle de 0 à 14. Il est contrôlé par la teneur de CO_2 dans l'eau. Les eaux marines ont un pH autour de 8,2. Les mesures ont été réalisées avec un pH mètre WTW PH 315i.

III.3.3. Salinité

Représente la quantité des sels en grammes dans un kilogramme d'eau. Elle est déterminée par des mesures in situ de la conductivité. La salinité de l'Océan mondial varie entre 34 et 37 psu. La distribution de la salinité dépend largement des phénomènes de précipitations et évaporation. Un conductimètre de type WTW Cond 197i a été utilisé.

III.3.4. Oxygène dissous

L'oxydation de la matière organique appauvrit le milieu en oxygène. Il est donc le paramètre qui a le plus d'impact sur la vie aquatique aérobie. Influencé inversement par la température et peut varier le long de la journée selon la température et la présence ou non de la flore aquatique. L'oxymètre utilisé pour la mesure est de type WTW Oxi 197i.



Figure III.2 a. Oxymètre ; b. Conductimètre ; c. pH mètre

III.4. Analyse Granulométrique

Le protocole d'analyse granulométriques a été établi à partir de la norme française NF P 94-056 – Méthode par tamisage à sec après lavage.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

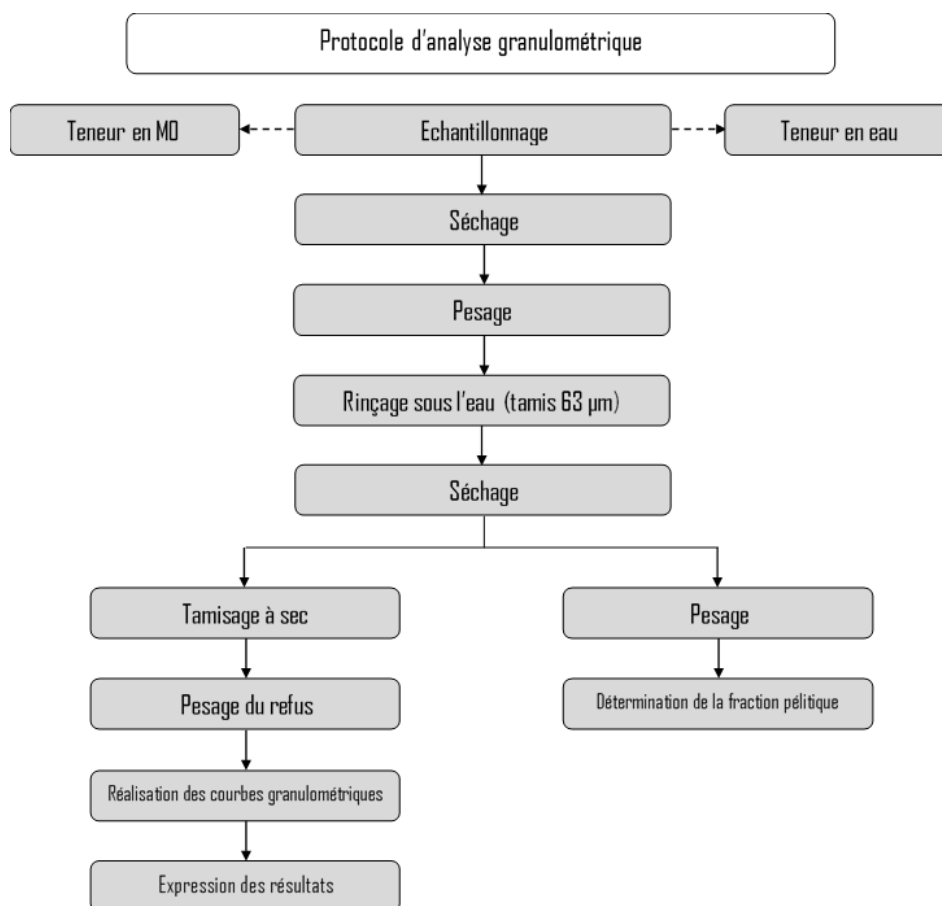


Figure III.3 Protocole d'analyse granulométrique

Les gros éléments ont été éliminés manuellement (y compris les gros algues, coquillages, bétons ...etc.) après avoir séché l'échantillon à l'étuve à 105°C pendant 24h.

III.4.1. La matière organique

Les HAPs introduits dans le milieu marin s'associent avec le sédiment par le biais des pelotes fécales du zooplancton selon GRIMALT, *et al* (1988) (in BOUGHRIRA, 2012). La quantification du taux de la matière organique permet donc de confirmer sa corrélation avec le pouvoir de rétention.

La méthode de détermination du taux de la matière organique dans les échantillons a été élaborée en référence à la NF EN 15169 : Caractérisation des déchets - Détermination de la perte au feu des déchets, des boues et des sédiments.

Une masse $P = 5$ g du sédiment sec pesée avec une balance de précision a été placée dans un four à moufle (WiseTherm) à 600°C pendant 2h dans des creusets en porcelaine. Lorsque la température a diminué jusqu'à environ 50°C, les creusets sont placés dans un dessiccateur pendant 2h pour absorber l'humidité. L'échantillon a été pesé une deuxième fois (P'). La matière organique

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

est oxydée et transformée en CO₂ et vapeur d'eau, le poids P' donc ne représente que la fraction minérale.

Le taux de la matière organique est déterminé par la loi :

$$MO (\%) = \frac{P - P'}{P} \cdot 100 \quad (3.4.1)$$

P : poids du sédiment sec.

P' : poids de la fraction minérale.



Figure III.4 a. Four à moufle ; b. Dessiccateur

III.4.2. La teneur en eau

La perméabilité et la porosité du sédiment influencent directement sa capacité à retenir l'eau. La détermination de la teneur en eau permet alors d'établir une possible corrélation avec sa capacité de rétention des HAPs.

Le protocole de la teneur en eau du sédiment est détaillé dans la NF P 94-050 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux – Méthode par étuvage.

- Peser une masse $M_h = 10$ g du sédiment humide
- Sécher l'échantillon à l'étuve pendant 24h à 105°C
- Peser de nouveau (M_s)
- La teneur en eau est déterminée par la loi :

$$TE (\%) = \frac{M_h - M_s}{M_h} \cdot 100 \quad (3.4.2)$$

M_h : masse humide du sédiment.

M_s : masse sèche du sédiment.

III.4.3. La granulométrie

1. La détermination du D_{max}

- L'échantillon sec est passé par une série de tamis, le D_{max} correspond au diamètre des mailles du tamis dont le refus a atteint 2 g pour un échantillon de 200 g (ce qui correspond au d_{99} – le diamètre des mailles du tamis qui laisse passer 99% de l'échantillon).
- La masse de l'échantillon à tamiser P_1 est supérieure ou égale à $0.2 \cdot D_{max}$ (kg)
- Pour une homogénéité des manipulations, le D_{max} des stations du port a été fixé à 1,6 mm ce qui correspond à 320 g de masse à tamiser ; et 2 mm pour les échantillons de plage ce qui correspond à 400 g.



Figure III.5 a. Balance ; b. Etuve

2. La fraction pélitique

Les polluants organiques hydrophobes sont généralement accumulés dans la fraction fine du sédiment. C'est pour cela, les données sédimentologiques sont souvent présentés en tandem avec les résultats analytiques (U.N.E.P, 1992).

- Peser la masse nécessaire de l'échantillon sec (P_1)
- Tremper l'échantillon dans l'eau du robinet pour favoriser la séparation des grains
- Rincer sous l'eau l'échantillon avec un tamis de 63 μm
- Sécher et peser de l'échantillon (P_2)
- La fraction pélitique est déterminée par la loi :

$$FP (\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (3.4.3)$$

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

3. Le tamisage

- La série de tamis de base selon AFNOR :

0,063 – 0,125 – 0,25 – 0,50 – 1

- La série choisie :

0,063 – 0,08 – 0,1 – 0,14 – 0,16 – 0,18 – 0,2 – **0,25** – 0,315 – 0,4 – **0,50** – 0,63 – 0,8 – **1** – 1,25 – 1,4.

- A l'aide d'une tamiseuse l'échantillon est passé par les tamis placés en ordre décroissant selon la taille des mailles. Une agitation d'une amplitude de 60 vibrations par minute est effectuée pendant 10 minutes.
- Le refus de chaque tamis est pesé par la suite.



Figure III.6 a. Tamisage sous l'eau ; b. Tamiseuse ; c. Pesage du refus

4. Expression des résultats

Une fois les poids des refus de chaque tamis sont pesés, les données seront présentées en pourcentages cumulés sous forme de graphes semi logarithmiques appelés « courbes granulométriques » à l'aide de l'outil informatique EXCEL.

Les paramètres granulométriques sont ensuite calculés. Ces indices permettent d'avoir des informations sur la nature et la distribution du sédiment.

Dans les formules qui suivent, les Q_i représentent les tailles des grains en ϕ ($\phi = -\log_2(D)$) correspondant à $i\%$ du poids cumulé du refus.

- **Le facteur d'uniformité de Hazen (C_u)** : Permet de caractériser l'étalement de la courbe granulométrique d'une façon quantitative.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

$$C_U = \frac{Q_{60}}{Q_{10}} \quad (3.4.4)$$

$C_U < 3$	$3 < C_U$
Granulométrie uniforme	Granulométrie étalée

- **Le facteur de courbure (C_C)** : Permet de décrire la forme de la courbe granulométrique.

$$C_C = \frac{(Q_{30})^2}{Q_{60} * Q_{10}} \quad (3.4.5)$$

$C_C < 1$ ou $C_C < 3$	$1 < C_C < 3$
Granulométrie mal graduée	Granulométrie bien graduée

- **Moyenne de Folk et Ward (Mg)** : indice central permet de positionner l'échantillon globalement sur l'échelle de dimensions.

$$Mg = \frac{(Q_{16} + Q_{50} + Q_{84})}{3} \quad (3.4.6)$$

Mg < -6	-6 < Mg < -2	-2 < Mg < -1	-1 < Mg < 0	0 < Mg < 1	1 < Mg < 2	2 < Mg < 3	3 < Mg < 3,98
Galet	Granule	Sable très grossier	Sable grossier	Sable moyen	Sable fin	Sable très fin	Vase

- **Indice de classement de Folk et Ward (Si)** : indice de dispersion (écart type) permet d'avoir une idée sur le classement du sédiment autour du grain moyen.

$$Si = \frac{(Q_{84} - Q_{16})}{4} + \frac{(Q_{95} - Q_5)}{6,6} \quad (3.4.7)$$

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Si < 0,35	0,4 < Si < 0,5	0,5 < Si < 0,7	0,7 < Si < 1	1 < Si < 2	2 < Si < 4	4 < Si
Très bien trié	Bien trié	Modérément bien trié	Modérément trié	Mal trié	Très mal trié	Extrêmement mal trié

- **L'indice d'asymétrie de Folk et Ward (SKi)** : permet d'indiquer la direction d'étalement de la courbe.

$$SKi = \frac{Q_{16} + Q_{84} - 2Q_{50}}{2(Q_{84} - Q_{16})} + \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{2(Q_{95} - Q_5)} \quad (3.4.8)$$

- **L'acuité du mode de l'histogramme (KG)** : permet de mesurer la forme du pic de la courbe et traduit le classement des particules de médiane par rapport au classement aux queues de la distribution.

$$KG = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,44} (\Phi_{75} - \Phi_{25}) \quad (3.4.9)$$

KG < 0,67	0,67 < KG < 0,9	0,9 < KG < 1,11	1,11 < KG < 1,5	1,5 < KG < 3	3 < KG
Courbe très platycurtique	Platycurtique	Mesocurtique	Leptocurtique	Très leptocurtique	Extrêmement leptocurtique

- **L'indice hydrodynamique (FH)** : Permet d'indiquer les conditions hydrodynamiques dans la zone étudiée.

$$FH = KG - \frac{\Phi_{75} - \Phi_{25}}{2} \quad (3.4.10)$$

2 < FH	1 < FH < 2	0,5 < FH < 1	FH ≈ 0	FH ≈ -1
Très fort	Fort	Moyen	Faible	Très faible

- **Le pouvoir de rétention (PR)** :

Formule établie par CONVEY en 1979, elle permet d'évaluer, en pourcentage, la capacité de piégeage des HAPs dans le sédiment selon sa classification granulométrique.

$$PR (\%) = 6,33 \cdot Mg^{-0,75} \cdot e^{0,8133 \cdot \sigma_g} \quad (3.4.11)$$

Mg : taille du grain moyen en mm.

$$\sigma_g = \frac{(Q_{16} - Q_{84})}{4} + \frac{(Q_5 - Q_{95})}{6,6}$$

III.5. Analyse des HAPs

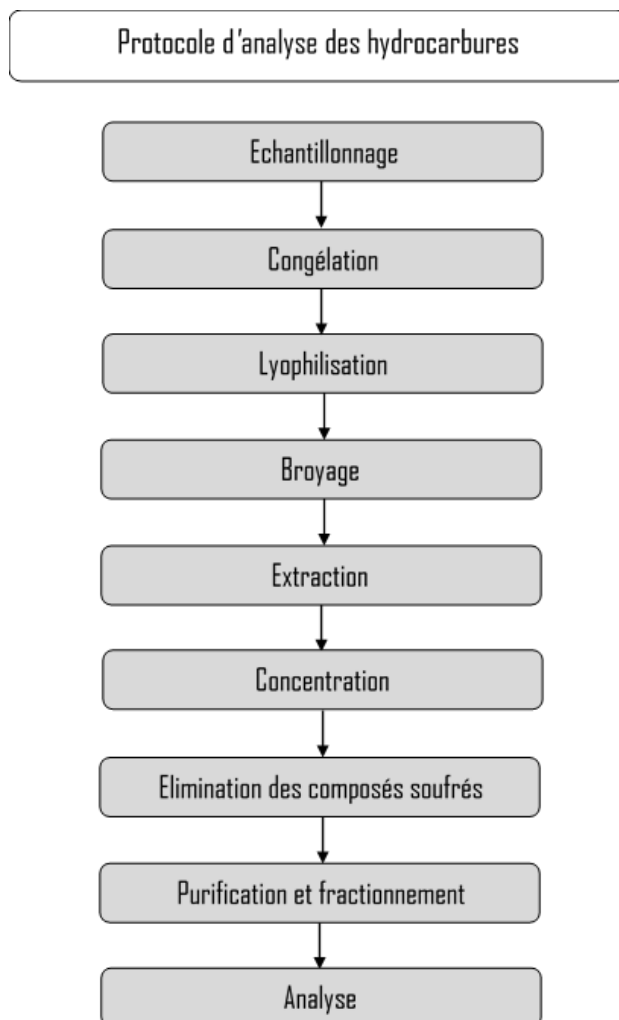


Figure III.7 Protocole d'analyse des HAPs dans le sédiment (d'après C.O.I, 1984)

III.5.1. Préparation des produits

Le gel de silice, l'oxyde d'alumine et le sulfate de sodium anhydride sont activés avant leur utilisation dans une étuve à 105°C pendant 24h. Le gel de silice et l'oxyde d'alumine ont subi ensuite une désactivation partielle par l'ajout de 5% d'eau distillée.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Tableau III.1 Produits solides et liquides utilisés

Type	Produit	Marque	Etape
Liquide	Hexane	CARLO ERBA	Conditionnement Extraction Purification et fractionnement
	Acétone	Honeywell	Conditionnement
	Dichlorométhane	CARLO ERBA	Extraction Purification
	Acide chlorhydrique (HCl)	SIGMA- ALDRICH	Conditionnement
Solide	Gel de Silice	BIOCHEM	Fractionnement
	Oxyde d'Alumine (Al ₂ O ₃)	Honeywell	Fractionnement
	Sulfate de sodium anhydride (Na ₂ SO ₄)	CHEM-LAB	Extraction Purification et fractionnement

III.5.2. Lyophilisation et broyage

A l'aide d'un lyophilisateur, les dix échantillons ont été séchés à une température de -40°C et une pression de 0,08 bar pendant 48h.

Broyage à l'aide d'un mortier en porcelaine conditionné à chaque utilisation. Le broyage sert à détruire les agrégations du sédiment et à l'homogénéisation.

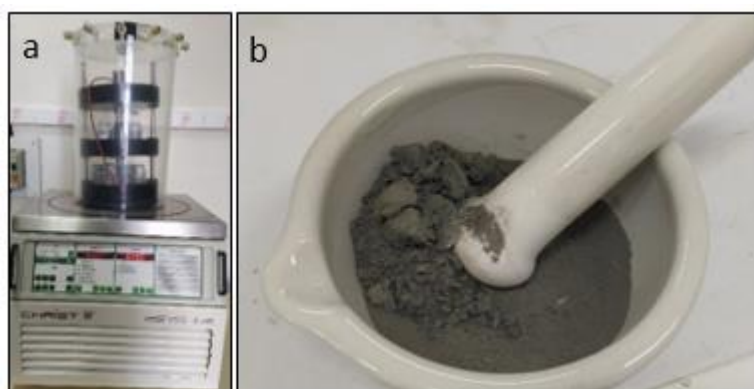


Figure III.8 a. Lyophilisateur ; b. Broyage

III.5.3. Extraction solide-liquide par Soxhlet

Les cartouches en cellulose (Whatman) ont été conditionnées en réalisant une extraction à blanc à l'aide du dispositif d'extraction Soxhlet (behr Labor-Technik) pendant 4h. Les cartouches sont ensuite recouvertes avec du papier aluminium conditionné avec de l'hexane et conservées jusqu'à l'utilisation.

On pèse 5 g de sédiment préalablement broyé de chaque échantillon et on le dépose dans les cartouches. Des grains de boiling chips sont aussi ajoutés aux ballons pour maintenir une température homogène lors de l'extraction.

L'extraction est réalisée avec 150 mL du mélange des deux solvants, hexane : dichlorométhane 1:1, en accompagnant chaque lot d'un blanc de procédure contenant du sulfate de sodium anhydride activé.

III.5.4. Concentration par Rotavapor

Les échantillons sont concentrés jusqu'à l'obtention d'un volume d'environ 10 mL à l'aide d'un évaporateur rotatif (IKA HB10) à 53°C et 1.5 bar. Ils sont ensuite versés dans des tubes à essai conditionnés, fermés avec des bouchons isolés avec du papier aluminium et du téflon, étiquetés et conservés au congélateur.



Figure III.9 a. Extracteur Soxhlet ; b. Evaporateur rotatif

III.5.5. Purification et fractionnement

L'étape de purification et fractionnement est réalisée par la technique de chromatographie sur colonne. Une burette d'un volume de 50 mL et 1 cm de diamètre. Un bout de laine de verre est déposé, 5g de gel de silice mélangé avec de l'hexane est ajouté à la colonne, cette phase sert au fractionnement des deux composés, aliphatiques et aromatiques. On ajoute ensuite 5g d'alumine, qui a un rôle de purification, mélangé avec de l'hexane. L'excès d'hexane est éliminé et on rajoute

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

l'échantillon et 20 mL d'une élution 7:3 d'hexane : dichlorométhane. La fraction F2 contenant les HAPs est récupérée dans des tubes à essai conditionnés.

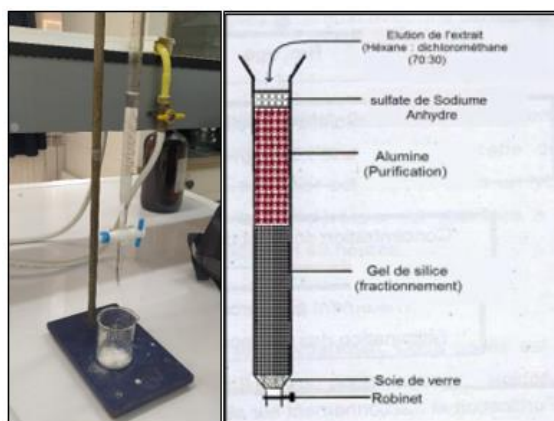


Figure III.10 Chromatographie sur colonne (Schéma : BOUGHRIRA, 2012)

III.5.6. Elimination des composés soufrés

La présence des composés soufrés dans l'échantillon peut constituer une interférence lors de l'analyse ou dans la lecture des résultats. Ils sont donc éliminés par le traitement au mercure.

Une à deux gouttes de mercure ont été ajoutées à chaque échantillon, suivi d'une agitation pendant 3 minutes à l'aide du vortex. Le mercure noircisse lorsqu'il piège le soufre, l'échantillon est donc transmis dans un autre tube à essai conditionné à l'aide d'une pipette., et l'opération est répétée jusqu'à ce que le mercure garde sa couleur grise argentée d'origine.

III.5.7. Concentration sous jet d'azote

Les tubes à essai sont mis sous le jet d'azote pour une deuxième concentration jusqu'à un volume qui ne dépasse pas les 2mm pour éviter la perte d'HAPs.

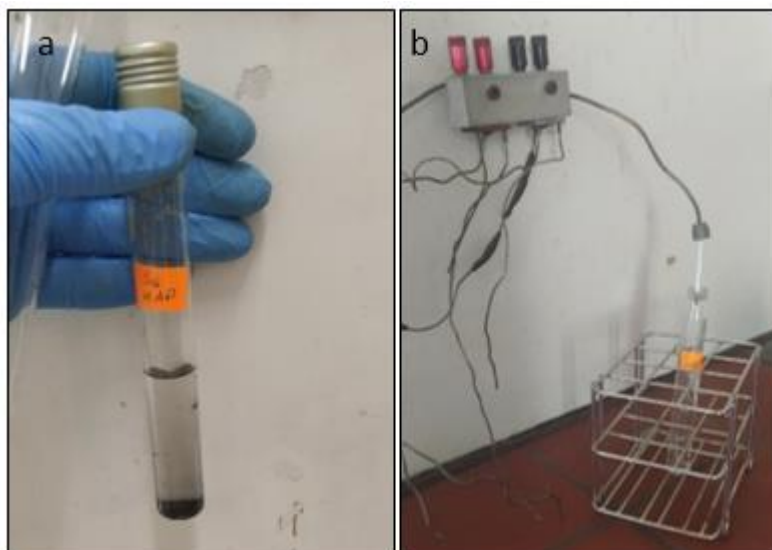


Figure III.11 a. Traitement au mercure ; b. Concentration sous jet d'azote

III.5.8. Analyse SFUV

L'analyse des HAPs par Spectrofluorométrie ultraviolette est une technique qui permet de quantifier les hydrocarbures déjà extraits et purifiés d'une matrice donnée. Le principe de la méthode consiste à émettre un rayonnement d'excitation UV de 310 nm, l'appareil mesure ensuite l'intensité de fluorescence émise par l'échantillon dans un intervalle de 310 à 500 nm pour une longueur d'onde fixée à 360 nm. Les concentrations sont enfin calculées à partir d'une courbe d'étalonnage.

1. Préparation de la gamme d'étalonnage

La réalisation d'une courbe d'étalonnage permet de tirer les concentrations des échantillons après la lecture des intensités de fluorescence.

La méthode consiste à préparer une solution mère de 100 µg/L de concentration en diluant 1 mg d'un HAP de référence, le Chrysène, dans une fiole de 10 mL remplie d'hexane.

Les standards sont par la suite préparés à partir de la solution mère avec des concentrations bien connus. Les fioles contenant les solutions filles sont placées dans un bac à ultrasons pour une agitation de 4 minutes afin de les bien homogénéiser.

Standards	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration (µg/mL)	0,2	0,4	0,6	0,8	1

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

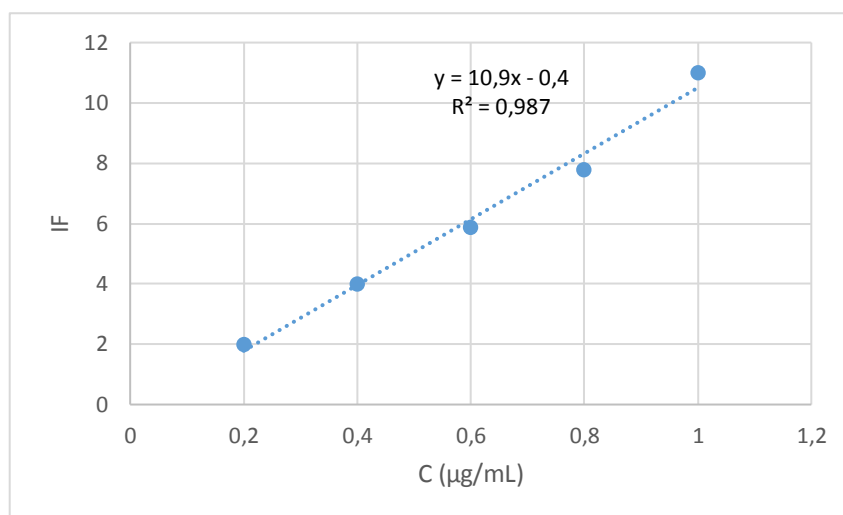


Figure III.12 Courbe d'étalonnage

Les solutions sont ensuite passées par un spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10s pour mesurer leurs intensités de fluorescence. L'appareil est équipé d'une lampe à xénon avec un balayage allant de 220 à 830 nm et contient des cellules en quartz polies sur les quatre faces.

La limite de détection d'un spectrofluorimètre est de l'ordre de 0,1µg/L (ROUSSEL, 1983 dans BOUYACOUB et DJILALI, 2021).



Figure III.13 Spectrofluorimètre UV

III.5.9. Expression des résultats

L'analyse des échantillons a permis de donner des valeurs d'intensité de fluorescence. Les échantillons trop chargés en HAPs ont affiché des valeurs beaucoup élevées, ils ont été donc dilués de 10 fois. Les concentrations en µg/mL sont extraites à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage. Les concentrations en µg/g sont calculées à partir de la formule :

$$C_f = (C_e * Fd - C_b) * \frac{V_p}{P} \quad (3.5.1)$$

C_f : Concentration finale des HAPs dans l'échantillon en $\mu\text{g/g}$.

C_e : Concentration des HAPs dans l'échantillon en $\mu\text{g/mL}$.

Fd : Facteur de dilution.

C_b : Concentration du blanc en $\mu\text{g/mL}$.

V_p : Volume final de l'extrait en mL.

P : Poids sec de l'échantillon extrait en g.

III.6. Test de corrélation de Pearson

Le coefficient de corrélation de Pearson est donné par la formule suivante :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Le coefficient de corrélation représente la force de la relation linéaire entre deux variables. Plus la valeur est proche de -1, plus la liaison négative entre les variables est forte, c'est-à-dire lorsqu'une augmente, l'autre diminue.

Plus la valeur est proche de 1, plus la liaison positive entre les deux variables est forte : les deux augmentent ou diminuent en même temps.

Un coefficient de corrélation qui tend vers le 0 veut dire l'absence d'une relation linéaire entre les variables. (XLSTAT, 2022)

Dans cette étude, le logiciel XLSTAT, complément de Microsoft Excel a été utilisé pour calculer les corrélations entre les différentes variables.

RESULTATS ET DISCUSSION

IV. Résultats et discussion

IV.1. Paramètres physicochimiques

Les résultats des mesures des paramètres physicochimiques sont retrouvés dans l'annexe II.

IV.1.1. Température

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de visualiser les températures des différentes stations de prélèvement afin de pouvoir réaliser un constat sur sa variabilité.

Les valeurs de températures varient autour d'une moyenne de 16,4°C avec un maximum de 17°C enregistré dans la station 3 qui représente un bassin presque fermé à l'intérieur du port où il y'aura forcément une stagnation des eaux, et un minimum de 15,6°C enregistré à la S6. Cette variation qui est plus au moins faible rentre dans la norme saisonnière et indique une homogénéité de la température le long de la baie pour les stations de port et de plages.

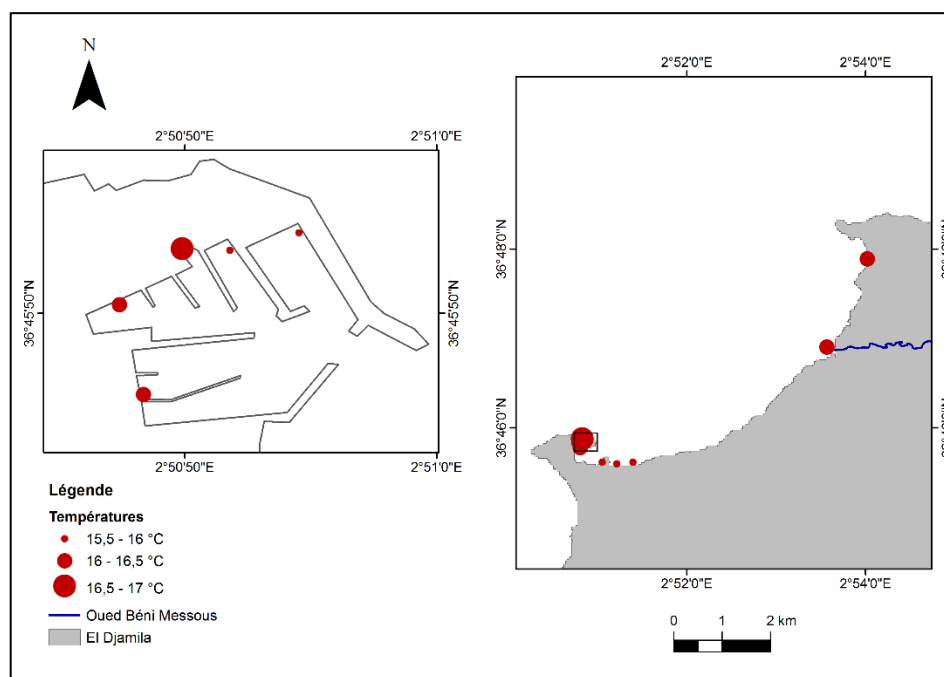


Figure IV.1 Répartition spatiale des températures selon les stations

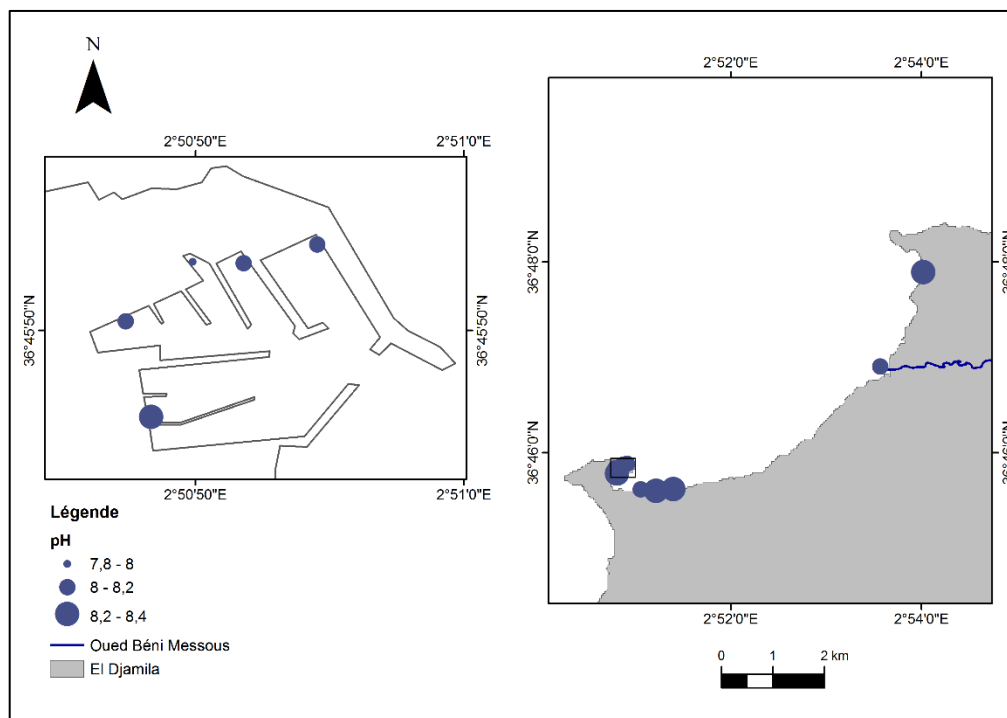
IV.1.2. Potentiel d'hydrogène

Les valeurs du potentiel d'hydrogène comme les montre la Figure IV.2 rentrent tous dans la norme pour les eaux méditerranéennes qui est aux alentours de 8,2 ainsi que celle des eaux du bassin algérien qui est de 8,16. On remarque une valeur minimale de 7,8 dans la station 3 possédant un écart de 0,38 par rapport à la moyenne (8,18). Cela pourrait être dû encore une fois à la position

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

de cette station qui rend la circulation des eaux, à savoir leur homogénéisation plus complexe. Un gradient ascendant d'Ouest vers l'Est est observé pour les 5 stations de plages mis à part un léger déclin pour la station 9, ce qui peut être expliqué par les apports d'Oued Béni Messous.

Le pH maximal a été enregistré dans la station 10 près du port d'El Djamila (8,4). D'une façon générale, on peut dire que le pH est homogène dans la zone d'étude.



IV.1.3. Salinité

Les valeurs de la salinité dans les cinq stations du port varient très légèrement avec un minimum relevé de la station 3 de 34,1 psu et une moyenne de 35.5 psu ; des valeurs qui rentrent dans la moyenne de l'océan global. Pour les stations des plages, les fluctuations plus ou moins remarquables et varient entre 36,4 psu et 24,2 psu. Cette valeur minimale observée dans la station 9 expliquée par les apports en eau douce de l'Oued Béni Messous (Figure IV.3). Les apports en eau de pluie peuvent aussi présenter une explication pour ces faibles teneurs.

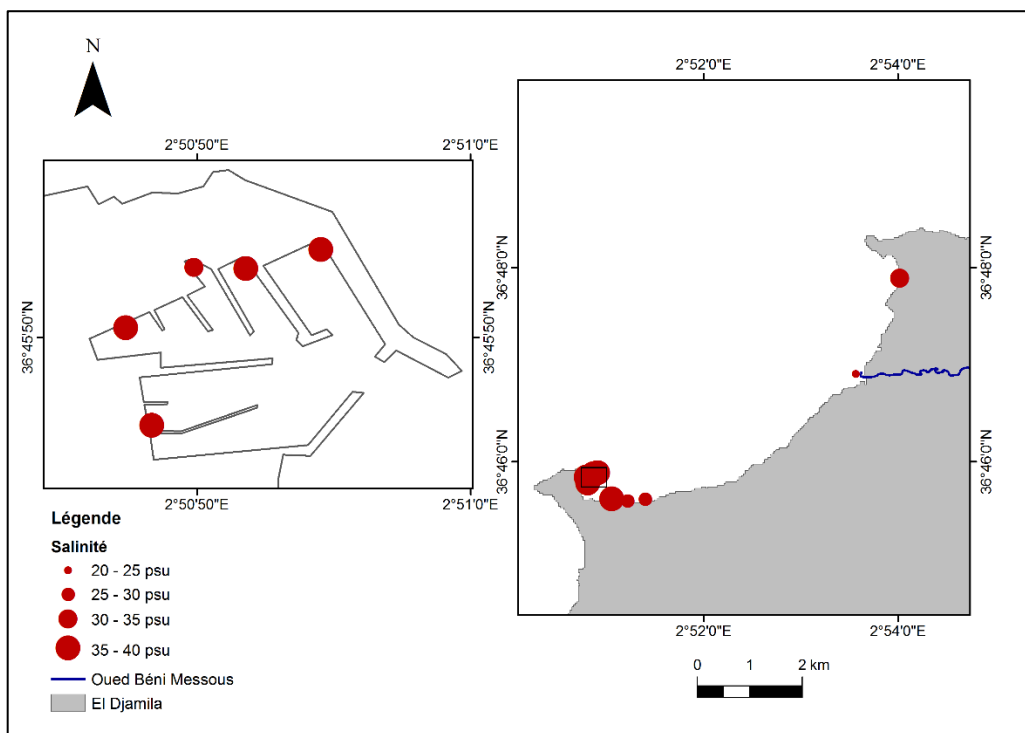


Figure IV.3 Répartition spatiale des salinités selon les stations

IV.1.4. Oxygène dissous

Les résultats des mesures de teneurs en oxygène dissous, représentés dans la Figure IV.4, montrent une certaine stabilité pour les stations du port aux alentours de 5,16 mg/L. Pour le reste des plages, on observe un gradient ascendant d'Ouest vers l'Est atteignant jusqu'à 9,7 mg/L, ce qui représente un pourcentage de saturation d'environ 102% liée très probablement à une activité photosynthétique.

La station 7 a enregistré la concentration la plus basse de 4,9 mg/L, légèrement au-dessous du seuil sensible pour la vie aquatique qui est de 5 mg/L. Ces faibles valeurs pourraient être expliquées soit par l'introduction de la matière organique qui augmente la consommation d'oxygène, ou alors par l'introduction des matières en suspension ce qui diminue l'activité photosynthétique et donc la production de l'O₂.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

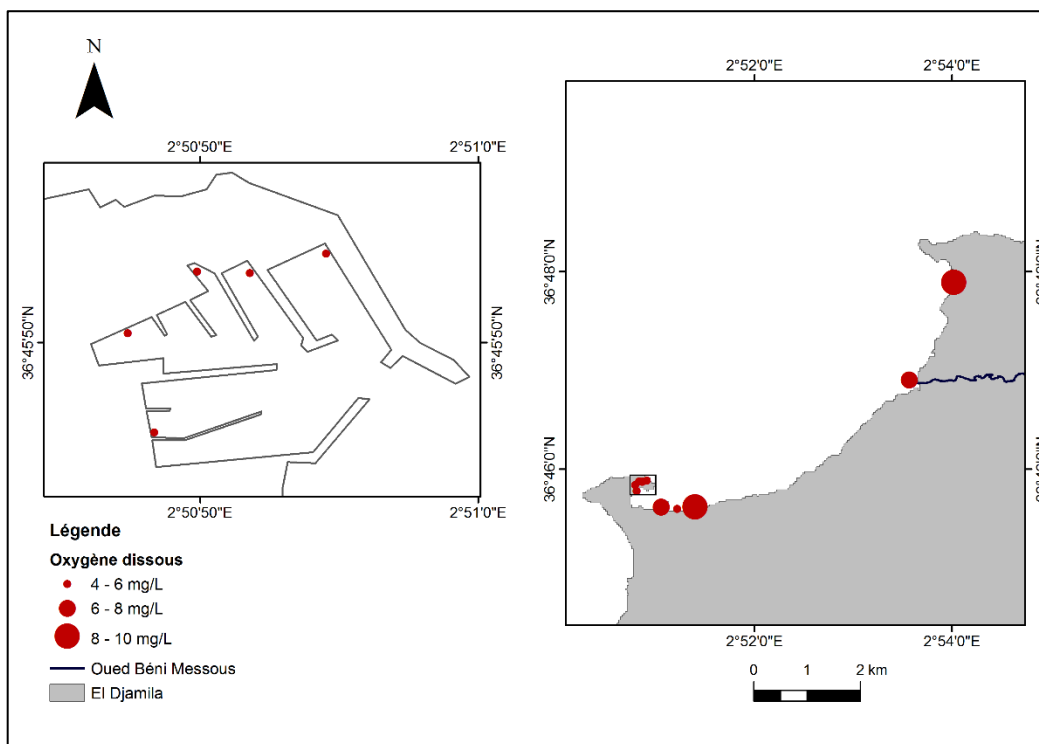


Figure IV.4 Répartition spatiale de l'oxygène dissous selon les stations

En général, les valeurs des paramètres physicochimiques pour les stations du port étaient tous autour de leurs moyennes à l'exception de la station 3 qui présente des fluctuations à cause de son exposition directe à un point de rejet. Les paramètres des stations de plages ont été beaucoup plus dispersées, et cela tout dépend de la position des points de prélèvement par rapport aux sources de rejets.

Tableau IV.1 Résultats comparatifs des paramètres physicochimiques des études antérieures

Stations	Nom St	Mois	T	pH	S	O ₂	Réf
S1-5	Port Sidi Fredj	Mars	16,24	8,122	35,52	5,16	Cette étude
		Juillet	24,91	7,82	37	3,09	(BOUYACOUB et DJILALI, 2021)
		Mai	19,3	-	35,5	4	(IDDIR, 2013)
S6-10	Plages d'El Djamila	Mars	16,04	8,244	29,14	7,3	Cette étude
		Mars	15,705	8,66	36,45	3,43	(TARMOUL, 2014)
		Mai	18,2	-	35,4	4,2	(IDDIR, 2013)

Les travaux précédents des paramètres physicochimiques présentent des valeurs moyennes dans les normes et ne diffèrent pas trop par rapport aux paramètres mesurés lors de cette étude tenant compte des différences de saisons, à l'exception de la salinité des eaux de plages qui est plus faibles par rapport aux résultats de IDDIR (2013) et TARMOUL (2014).

IV.2. Granulométrie

IV.2.1. Matière organique

Le pourcentage de la matière organique dans le sédiment représenté dans la Figure IV.5 montre des variations assez importantes pour les cinq bassins du port avec un minimum de 8,83% dans la première station et un maximum de 15,93% dans la station 5. Avec une moyenne de 13,33%, ce taux élevé de la MO est probablement dû aux rejets domestiques au sein de port, dégradation de la matière fécale venue des eaux usées déchargée, charge en M.O issue des différents restaurants...etc.

Les taux de la MO dans les plages sont beaucoup plus faibles et varient légèrement autour d'une moyenne de 3,69%. On peut dire que les apports en sédiments d'origine terrigène pour les stations 6, 7, 8 et 9 sont probablement issus de des ouvrages de protection. Les apports d'Oued Béni Messous sont à l'origine des sédiments terrigènes dans la station 9.

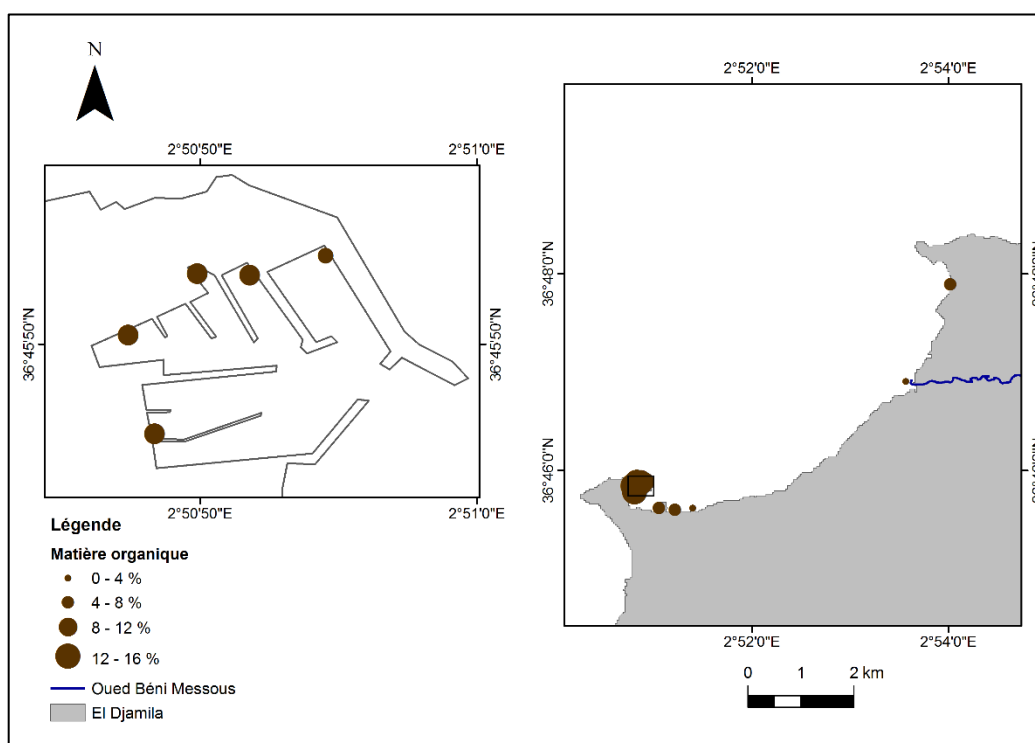


Figure IV.5 Répartition spatiale des taux de matière organique selon les stations

IV.2.2. Teneur en eau

La Figure IV.6 présente les résultats de la teneur en eau ; l'analyse des sédiments des stations du port a donné des valeurs plus au moins élevées, situées entre 40,19% et 49,08% avec une moyenne de 44,59%. Les teneurs en eau des sédiments des plages, en revanche, ne dépassent pas les 34,03% (valeur enregistrée dans la station 10) pour une moyenne de 27,06%.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

On peut observer que les teneurs en eau ont la même tendance que les taux de la matière organique. Cela est dû à la grande capacité de la matière organique à retenir l'eau. (KOULL et HALILAT, 2016)

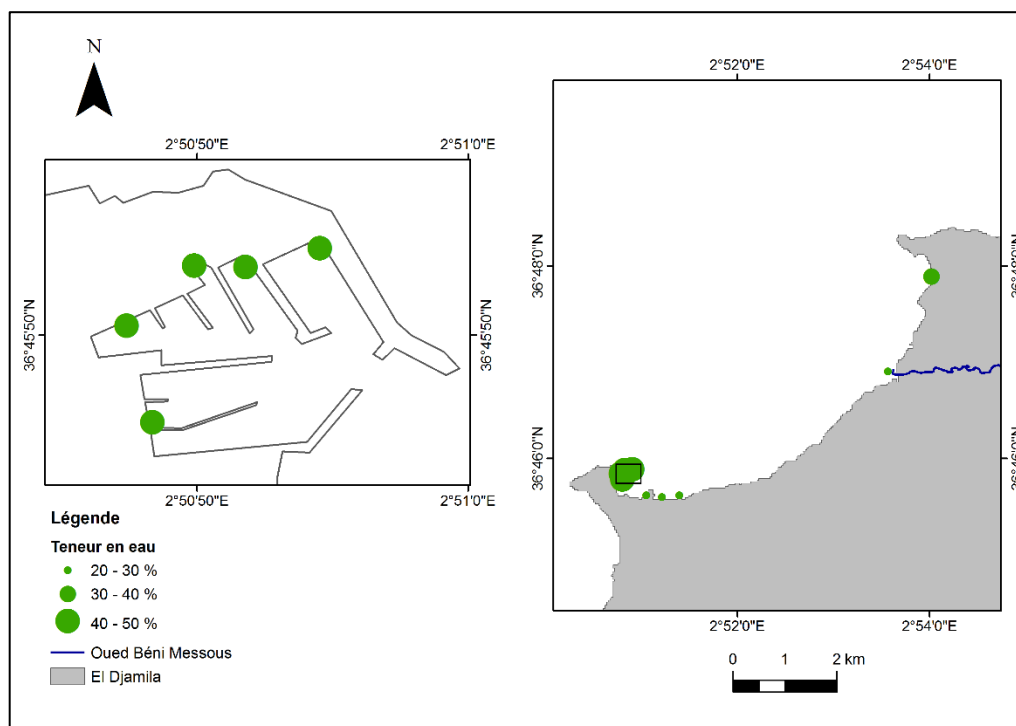


Figure IV.6 Répartition spatiale des teneurs en eau selon les stations

IV.2.3. Fraction pélitique

Les pourcentages de la fraction fine (Figure IV.7) dans les sédiments du port varient dans un intervalle très large ; une valeur minimale de 16,98% étant enregistrée dans la station 1, et la maximale de 70,24% dans la station 2. Les stations 3, 4 et 5 présentent des taux élevés : 46%, 44% et 29% respectivement. On peut conclure que le sédiment du port présente une hétérogénéité par rapport à la distribution de la fraction pélitique, cela étant probablement dû aux degrés d'exposition des bassins à la circulation de l'eau, c'est-à-dire le bassin 1 le plus près de la sortie du port présente le taux le plus faible grâce au contact avec l'hydrodynamisme du large à l'opposé du régime plus faible à l'intérieur.

Du point de vue texture, seul le sédiment de la station 1 est classé comme étant du sable limoneux, les quatre autres stations sont tous des limons (Figure IV.8).

Les sédiments de plages présentent une prédominance majeure de la fraction grossière avec des pourcentages des pélites quasi nuls, donc négligeables. Un résultat conforme avec le schéma admis : des faibles teneurs des fines dans la côte (plus élevées vers le large), expliquée par

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

l'augmentation de l'énergie de la houle qui favorise la mise en suspension des sédiments (KADRI et ATROUNE, 2021).

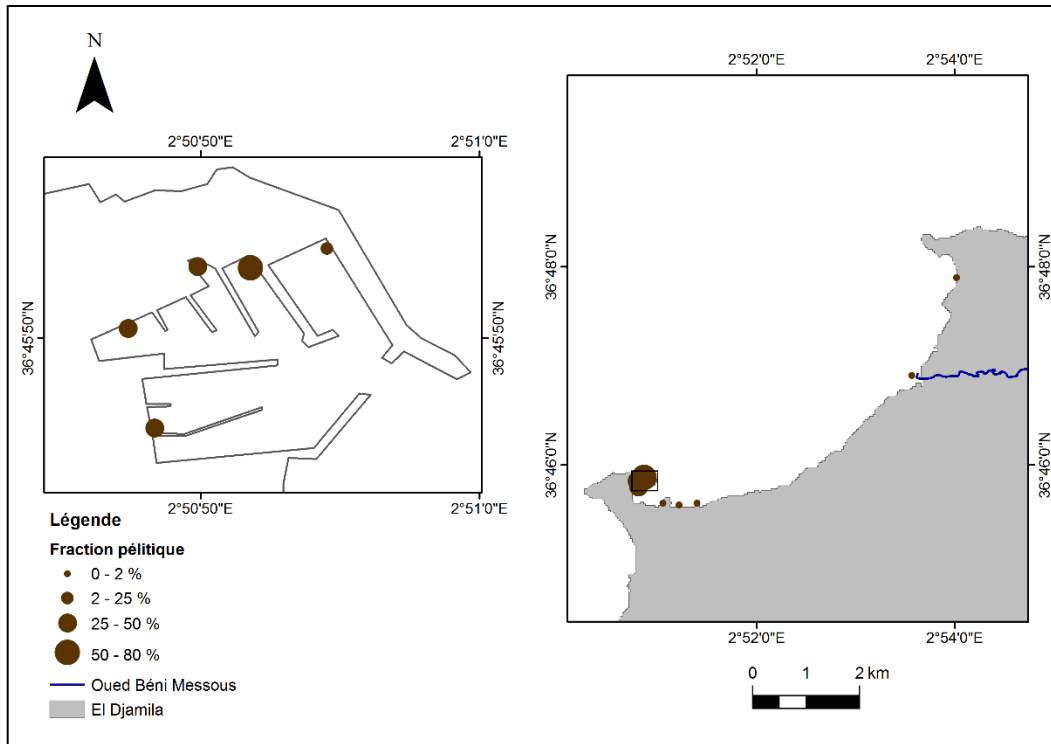


Figure IV.7 Répartition spatiale des teneurs de la fraction fine selon les stations

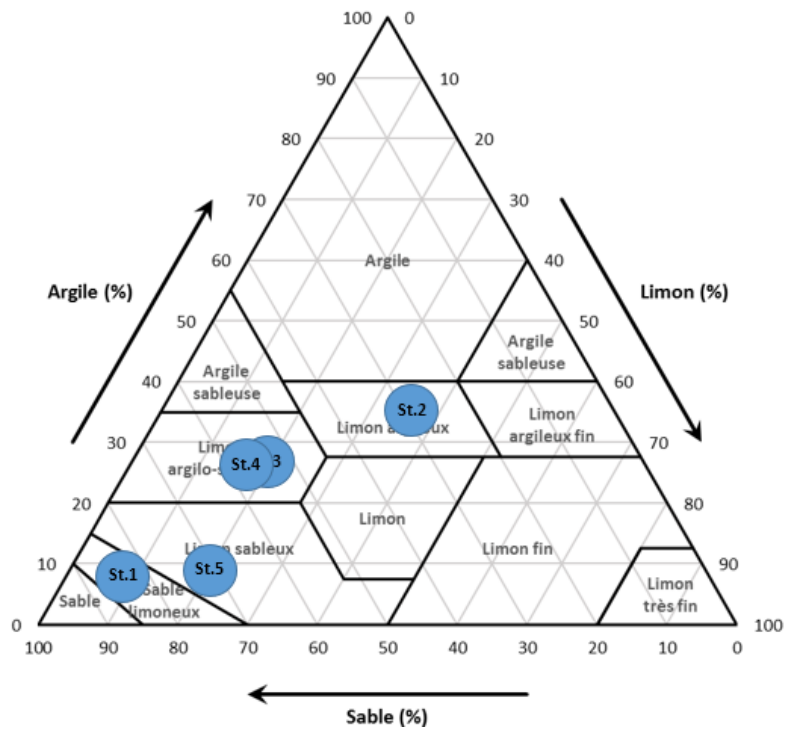


Figure IV.8 Positionnement des stations du port sur le triangle de texture (USDA in BROWN, 2003)

IV.2.4. Indices granulométriques

Pour les stations 2, 3, 4 et 5, le pourcentage de la fraction fine éliminée était supérieur à 25%. L'analyse sédimentométrique n'a pas été réalisée faute de matériel non disponible. Les indices granulométriques calculés ne sont donc pas représentatifs entraînant une perte d'information lors du traçage des courbes granulométriques (annexe III). Ce qui fait que le calcul du pouvoir de rétention pour ces quatre stations n'était pas réalisé.

Les facteurs d'uniformité et de courbure ont donné des valeurs très homogènes présentant tous des granulométries uniformes bien graduées, à l'exception de la station 1 qui était mal graduée.

Le calcul de la moyenne de FOLK et WARD (1954) pour la fraction grossière des échantillons de la station 1 indique une prédominance du sable très fin. Les plages ont montré une homogénéité des classes : elles varient du sable fin à l'Ouest (station 6 et 7) au sable moyen du côté Est (9 et 10) ; la station 8 étant à la limite du sable grossier à moyen. Ce gradient peut être expliquée par la houle du secteur Ouest dominante durant la période hivernale dans la zone.

Le classement selon l'indice de dispersion varie d'un sédiment mal trié dans la station 7, résultat expliqué par la position de la station présentant des obstacles qui affaiblissent l'hydrodynamisme et concentrent des particules des différentes tailles, au sédiment bien trié de la station 10. Le reste des stations étaient modérément à modérément bien triées avec l'observation d'une légère influence des apports de l'Oued caractérisées par un classement moyen à médiocre.

A l'exception de la station 1 et 7 qui ont donné une asymétrie négative, donc vers le sable grossier avec des sables fins bien classés, toutes les autres stations présentent une asymétrie positive ou très positive vers les fines ce qui correspond à un bon classement du sédiment grossier. En sédimentologie, un étalement vers l'un ou l'autre peut signifier un dépôt en plusieurs phases qui peut dépendre des sources des apports et des intensités des courants (MERCIER, 2013). Selon DUANE (1964) (CRONAN, 1972), une courbe granulométrique qui présente une asymétrie négative indique l'existence d'un phénomène d'érosion. Cela peut expliquer le cas de la station 7 située à l'intérieur de l'ouvrage de protection qui d'après (RABEHI et RAHAL, 2011), en bloquant le sable en amont, il cause une diffraction de la houle, aggrave l'effet des vagues en aval et provoque alors une érosion.

Pour l'acuité ou le kurtosis, l'indice est lié à la plurimodalité. Les stations 1 et 8 présentent des courbes mésocurtiques qui ressemblent fortement à des distributions normales, les courbes du reste des stations sont leptocurtique, donc unimodales à l'exception de la station 9 qui présente une tendance très platycurtique, c'est-à-dire une distribution diffuse sans qu'il y'est un mode apparent.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Le facteur hydrodynamique dans la station 7 est égal à 2,18 indiquant ainsi la présence d'un hydrodynamisme très fort, une valeur logique tenant compte du sédiment mal trié, elle ne se concorde cependant pas avec le régime calme qui caractérise la partie intérieure de l'ouvrage de protection.

Les moyennes à faibles valeurs obtenues du facteur hydrodynamique concordent avec le régime des courants de la région en particulier dans les faibles profondeurs où les prélèvements ont été réalisés.

IV.2.5. Pouvoir de rétention

Défini comme étant « le volume d'hydrocarbures retenu après un passage de ces hydrocarbures à travers le milieu par gravité. », Il est fortement dépendant de la porosité du sédiment, sa teneur en eau et en matière organique et la nature des hydrocarbures (BERNE, 1982).

Plusieurs études ont indiqué que les changements des conditions et des paramètres environnementales ou climatiques affectent la capacité des sédiments à retenir les polluants organiques, même si à ce jour, les effets de tels changements restent inconnus. Cependant il est très évident que le sédiment, actuellement puit d'hydrocarbures, va probablement devenir une source secondaire (TAO *et al.*, 2019).

Les résultats du pouvoir de rétention des sédiments des six stations (Figure IV.9) montrent un pourcentage beaucoup très élevé pour la station 1 du port par rapport aux cinq stations de plages où elles ont eu un pourcentage moyen de 3,88%. Des valeurs parfaitement logiques vu les résultats des analyses granulométriques trouvés notamment ceux du pourcentage de la fraction fine et de la matière organique.

Tableau IV.2 Pouvoir de rétention du sédiment d'El Djamilia

Stations	St1	St2	St3	St4	St5	St6	St7	St8	St9	St10
PR (%)	15,27	NF	NF	NF	NF	4,70	3,10	3,72	3,47	4,43

NF : non fait

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

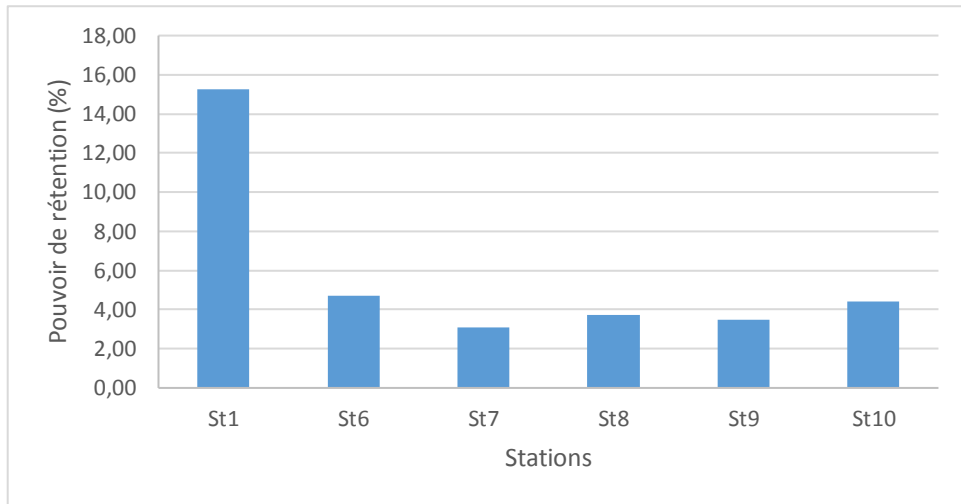


Figure IV.9 Pouvoir de rétention des HAP par le sédiment de la baie d'El Djamilia

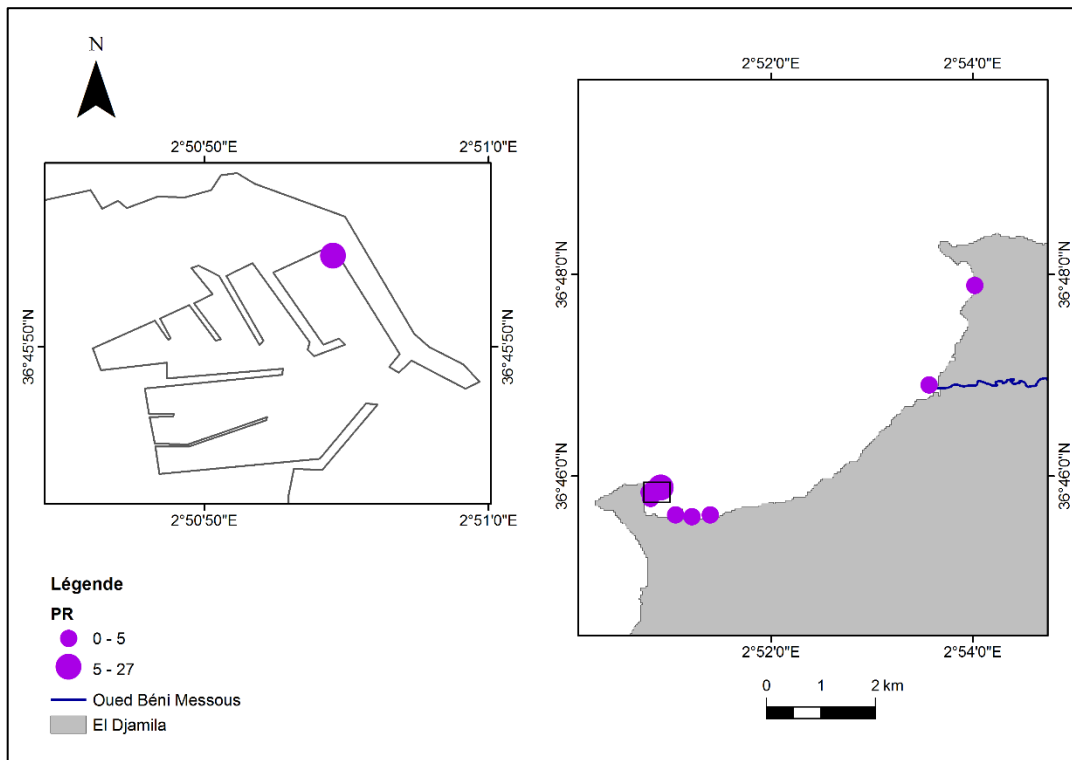


Figure IV.10 Répartition spatiale du pouvoir de rétention selon les stations

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV.3 Résultats du calcul des indices granulométriques et du PR

Stations	Cu	Cc	Mg	Si	Sk	KG	FH	PR (%)
St 1	Granulométrie mal graduée	Granulométrie uniforme	Sable très fin	Modérément bien trié	Négative	Mesocurtique	Faible	15,27
St 2	/	/	/	/	/	/	/	/
St 3	/	/	/	/	/	/	/	/
St 4	/	/	/	/	/	/	/	/
St 5	/	/	/	/	/	/	/	/
St 6	Granulométrie bien graduée	Granulométrie uniforme	Sable fin	Modérément trié	Positive	Leptocurtique	Moyen	4,70
St 7	Granulométrie bien graduée	Granulométrie uniforme	Sable fin	Mal trié	Négative	Extrêmement leptocurtique	Très fort	3,10
St 8	Granulométrie bien graduée	Granulométrie uniforme	Sable grossier	Modérément bien trié	Très positive	Mesocurtique	Faible	3,72
St 9	Granulométrie bien graduée	Granulométrie uniforme	Sable moyen	Modérément trié	Très positive	Très leptocurtique	Moyen	3,47
St 10	Granulométrie bien graduée	Granulométrie uniforme	Sable moyen	Bien trié	Positive	Très platycurtique	Faible	4,43

IV.3. Hydrocarbures

Les résultats des analyses des hydrocarbures obtenus indiquent la présence de fortes teneurs en HAPs d'une moyenne de 13,33 µg/g, à l'intérieur du port de Sidi Fredj et d'une façon particulière dans les bassins 3 et 1 avec des concentrations 21,79 µg/g et 19,29 µg/g respectivement. Une médiane de 9,78 indique une répartition asymétrique des résultats.

Des teneurs trop élevées expliquées par les différents effluents domestiques et urbains existants qui se jettent directement dans les eaux du port sans passer par des traitements préalables ainsi que les possibles fuites des embarcations et les autres activités portuaires reliées aux navires. La pollution est aussi accentuée par le régime calme à l'intérieur du port qui aide à l'accumulation des HAPs.

Autre explication c'est que les prélèvements ont été réalisées en période hivernale, avec quelques orages produits les semaines qui précédaient celle de la sortie. Les teneurs en HAPs sont très affectées par la saison et les conditions météorologiques de la période d'échantillonnage. Les eaux de pluies favorisent l'introduction des polluants au milieu marin par lessivage.

Ces valeurs sont bien au-dessus des normes préconisées par le journal officiel français (12 µg/g (in BOUGHRIRA, 2012)) pour la qualité du sédiment. Les trois autres stations présentent

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

également des valeurs élevées entre 7,13 $\mu\text{g/g}$ et 9,78 $\mu\text{g/g}$, dépassants l'ERL¹ qui est de 4 $\mu\text{g/g}$ mais reste en-dessous de la norme française et de l'ERM² qui est de 44,79 $\mu\text{g/g}$ (valeurs préconisées par le N.O.A.A.).

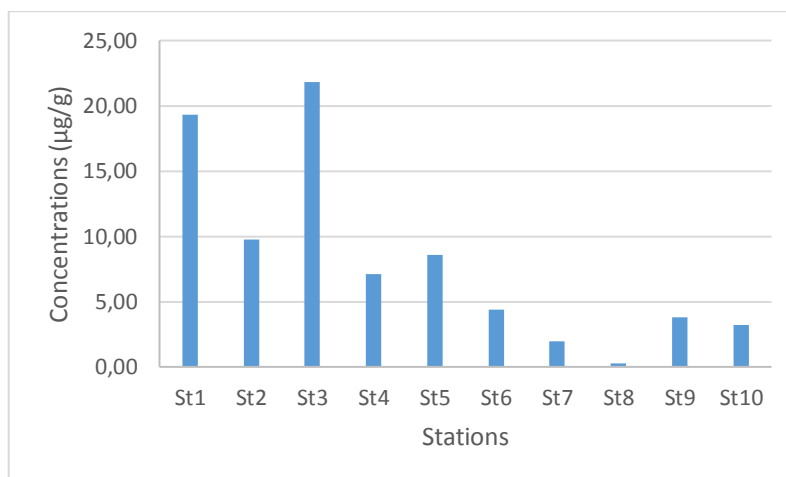


Figure IV.11 Teneurs des HAPs dans le sédiment de la baie d'El Djamilia

Les concentrations dans les sédiments des plages ne sont pas négligeable du fait qu'ils sont exposés aux pressions des ports, des rejets des complexes touristiques ainsi que l'apport de l'Oued Béni Messous pour la station 9 ; à l'exception de la valeur minimale de 0,28 $\mu\text{g/g}$ enregistrée dans la station 8 plus ou moins abritée et loin des sources de rejets. La moyenne était de 2,74 $\mu\text{g/g}$, la médiane de 3,24 et l'écart type de 1,64 indiquant une faible dispersion.

Le nombre et la répartition des stations de notre étude ne permet pas d'évaluer la distribution spatiale des variations des concentrations des HAPs, ni l'amplitude des impacts des trois majeures sources de pollution dans la baie.

Ces résultats confirment l'existence d'un danger potentiel de toxicité sur les organismes benthiques mais moins important pour la santé humaine.

¹ Effect Range Low : concentration en dessous de laquelle des effets adverses apparaissent rarement.

² Effect Range Median : concentration au-dessus de laquelle apparaissent fréquemment des effets.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

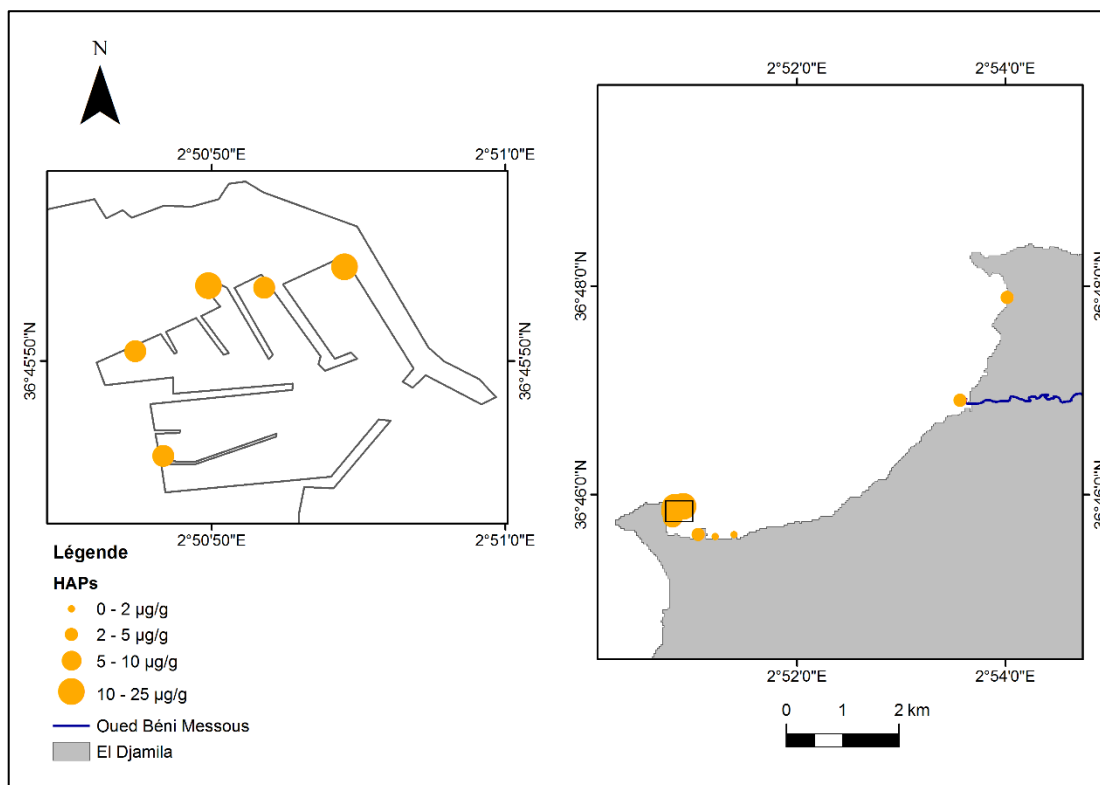


Figure IV.12 Répartition spatiale des teneurs des HAPs selon les stations

A partir des résultats des études précédentes réalisées sur la même zone, on peut constater que sur une échelle de temps, les teneurs en HAPs dans le sédiment ont une tendance ascendante, sauf pour la valeur moins élevée dans le port de Sidi Fredj des travaux d'IDDIR (2013) qui est probablement due à l'opération de dragage subite par le port l'année d'avant. Cela est expliqué par l'augmentation des sources des rejets industriels et domestiques suite à l'urbanisation continue de la région.

Tableau IV.4 Résultats comparatifs des teneurs en HAPs des études antérieures

Stations	Nom St	Mois	HAPs	Réf
S1-5	Port SF	Mars	13,31	Cette étude
		Mai	3,4	(IDDIR, 2013)
		-	10,79	(HADJAMMAR, 1993)
S6-10	Plages El Djamila	Mars	2,74	Cette étude
		Mai	1,9	(IDDIR, 2013)
		-	0,11	(HADJAMMAR, 1993)

IV.4. Corrélations

Le test de corrélation de Pearson (Tableau IV.5) a moyennement associé les paramètres physicochimiques avec les teneurs en HAP des sédiments : corrélation positive pour la salinité et température et négative pour l’oxygène dissous et le pH ; le paramètre oxygène dissous a présenté aussi des relations négatives avec le taux de la matière organique et de pélites. En effet, la dissolution de l’oxygène dans l’eau est empêchée par la présence d’une pollution par les hydrocarbures

Enfin, une interaction positive significative a été détectée entre la salinité et les trois paramètres MO, FP et TE.

Tableau IV.5 Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques, les teneurs en HAP et les caractéristiques du sédiment

	<i>HAP</i> ($\mu\text{g/g}$)	<i>Oxygène</i> <i>dissous</i>	<i>pH</i>	<i>Salinité</i>	<i>Température</i>	<i>MO</i>	<i>Teneur en eau</i>	<i>%</i> <i>FP</i>
HAP ($\mu\text{g/g}$)	1							
O2 dissous	-0,510	1						
pH	-0,691	0,535	1					
Salinité	0,553	-0,337	-0,129	1				
Température	0,519	-0,074	-0,662	-0,140	1			
MO	0,562	-0,644	-0,324	0,714	0,220	1		
Teneur en eau	0,587	-0,492	-0,157	0,798	0,137	0,926	1	
% FP	0,551	-0,586	-0,427	0,612	0,243	0,910	0,872	1

La prépondérance des particules pélitiques est associée avec une aire de surface plus large ce qui permet une plus grande accumulation de la matière organique. La valeur obtenue lors du calcul du coefficient de corrélation entre les deux variables confirme la présence d’une forte relation positive (0,91).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques, polluants organiques hydrophobes vont donc naturellement s’adsorber sur la fraction organique de la matrice sédimentaire fine. La Figure IV.13 permet de bien visualiser les fluctuations de ces trois paramètres d’une station à une autre. La station 1 a présenté une concentration très élevée des HAPs malgré la faible teneur en fraction fine par rapport aux autres stations du port probablement car elle est classée comme étant du sable très fin pouvant accumuler des grandes quantités d’hydrocarbures.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

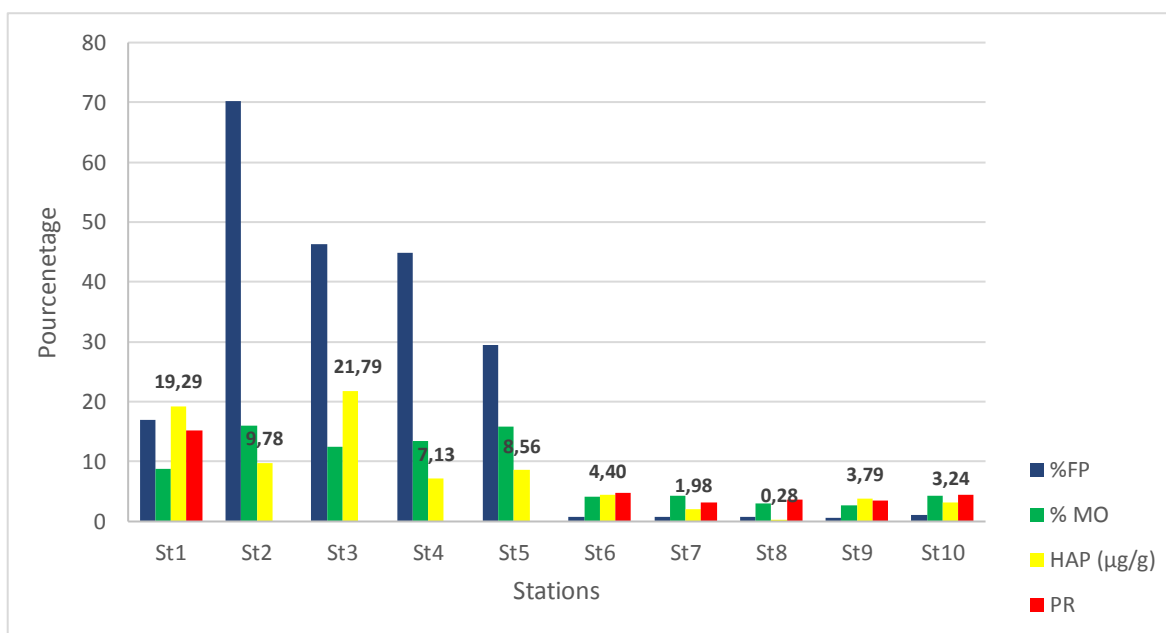


Figure IV.13 Concentration des HAPs et teneurs en FP, en MO et PR dans le sédiment de la baie d'El Djamilia

Le Tableau IV.6 présente les concentrations des hydrocarbures selon les classes des sédiments de la baie. Les valeurs ont été obtenues par le calcul de la moyenne des concentrations en HAP des stations ayant la même nature sédimentaire tirée des résultats de l'analyse granulométrique. Les résultats montrent un gradient descendant des teneurs des fines vers les grossiers ce qui confirme la forte corrélation entre la granulométrie et la rétention des HAPs.

Tableau IV.6 Teneur en HAPs selon la classe sédimentaire

Texture du sédiment	Limon	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier
Concentration moyenne des HAP (µg/g)	11,81	11,24	3,52	0,28

La matrice du Tableau IV.7 nous a permis d'identifier de fortes corrélations positives entre le pouvoir de rétention et les différentes caractéristiques du sédiment (les stations 2, 3, 4 et 5 ne sont pas prises en considération). La teneur en eau étant la variable avec les plus faibles corrélations avec les autres, et le trio HAP, PR, FP avec les valeurs les plus élevées.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV.7 Matrice de corrélation HAP, PR, MO, TE et FP

	<i>HAP (µg/g)</i>	<i>% PR</i>	<i>% MO</i>	<i>% TE</i>	<i>% FP</i>
HAP (µg/g)	1				
PR (%)	0,983	1			
MO (%)	0,941	0,956	1		
TE (%)	0,854	0,885	0,922	1	
FP (%)	0,977	0,993	0,950	0,853	1

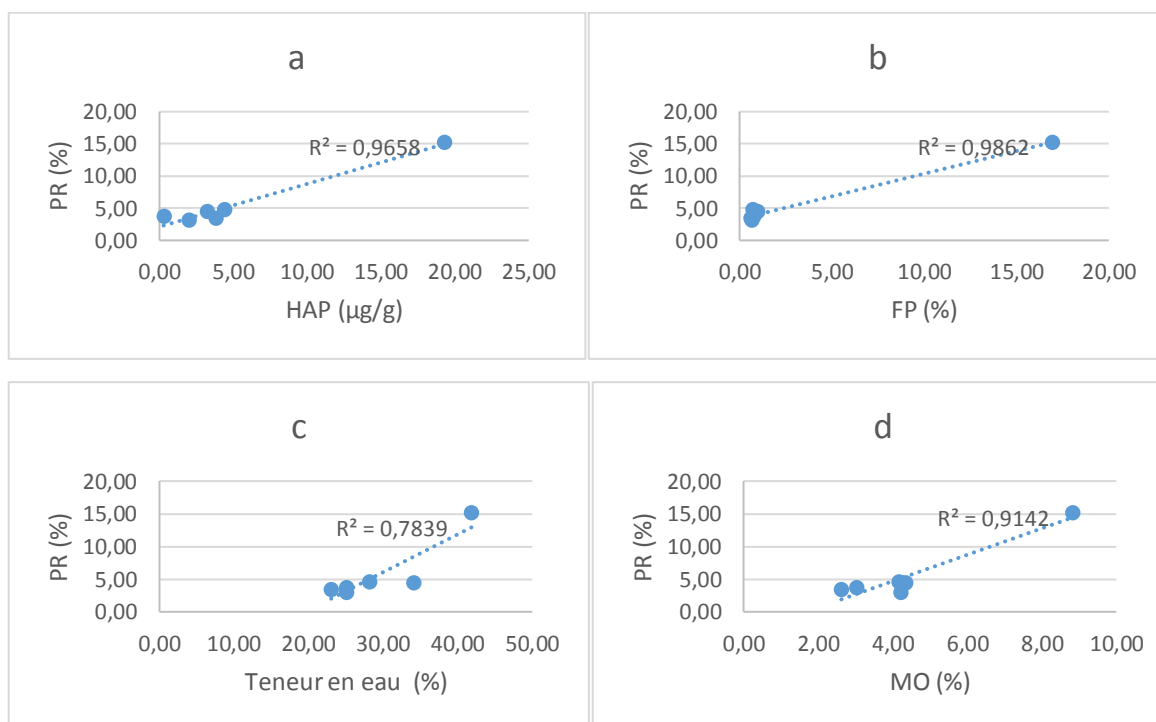


Figure IV.14 Corrélations entre PR et a. HAP ; b. FP ; c. TE ; d. MO

L'indice de vulnérabilité morpho-sédimentaire est calculé en tenant compte de quatre axes : l'intensité de pollution, type de côtes, exposition aux facteurs météorologiques et la sensibilité biologique.

La capacité de piégeage constitue un des paramètres nécessaires pour calculer l'intensité de pollution (FATTAL et al., 2010). Cette étude permettra donc la réalisation d'une carte de vulnérabilité côtière face à la pollution aux hydrocarbures.

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans ce travail, la baie d'El Djamilia, faisant partie de la région algéroise fortement exposés aux pressions anthropiques, a été soumise à une étude d'évaluation quantitative des taux des HAPs dans sa matrice sédimentaire superficielles par spectroscopie de fluorescence ainsi que sa classification granulométrique au but de déterminer, éventuellement, son pouvoir de rétention.

Les résultats des paramètres physicochimiques ont été majoritairement comparables aux valeurs de la période hivernale, tenant compte des intempéries des semaines qui précèdent le jour de la campagne d'échantillonnage.

Les teneurs en hydrocarbures répertoriées indiquent la présence des sources non négligeable de pollution notamment à l'intérieur du port de Sidi Fredj.

Une corrélation est observée entre la capacité à piéger ces teneurs en HAPs et les caractéristiques du sédiment ainsi que le pourcentage en matière organique.

Le calcul du pouvoir de rétention permet la réalisation d'une carte de vulnérabilité pour mieux gérer les risques de déversements accidentels d'hydrocarbures.

Pour mieux expliquer ces résultats, l'établissement d'un réseau de surveillance de la qualité du sédiment (et de l'eau) reste une nécessité afin de gérer les différentes sources de pollution pour éviter d'éventuels risques sur les populations faunistiques et floristiques, qui peuvent affecter par la suite la santé humaine.

A l'issu de cette étude, un certain nombre de limites et de questions restent ouvertes et nécessitent un approfondissement lors des prochains travaux de recherche :

- L'utilisation des méthodes d'analyse plus performante : HPLC, extraction assistée par ultrasons, granulométrie laser.
- La réalisation d'une analyse sédimentométrique de la fraction fine pour minimiser la perte d'information et aboutir à des résultats plus précis.
- Avoir l'aspect qualitatif pour déterminer l'origine des hydrocarbures, plus particulièrement ceux des plages qui ne sont pas directement exposés aux rejets. En plus la détermination du risque écologique.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ABDEL-SHAFY, H.-I., MANSOUR, M.-S.-M., (2015).** A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. Pp. 107–123.
- AIDOUD, D.-K., MIMOUNI, H., (2009).** Ensablement des ports de Sidi Fredj et d'El Djamila et le devenir des produits de dragage. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 60p.
- AKLI, S., (2016).** Contribution à l'étude de la contamination de la Saupe *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) et de la Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 au niveau de la baie de Bou Ismail. Mémoire de master. Biologie des populations et des organismes. Boumerdes : Université M'Hamed Bougara, 37p.
- AL SID CHIKH, S. et al., (2008).** Baie de Bou-Ismaïl et baie d'El Djamila : paramètres océanographiques, gestion littorale et imagerie bathymétrique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 98p.
- BELLAHSENE, Y., MESSAOUDI, S., (2005).** Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 51p.
- BERNE, S., (1982).** Veille écologique vulnérabilité morpho-sédimentaire du littoral aux pollutions par hydrocarbures de la pointe Saint Mathieu au sillon du Talbert. [en ligne]. [consulté le 28/05/2022]. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00101/21227/18844.pdf>
- BOUDAA, L., AYAT, Y., (2013).** Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la baie d'El Djamila. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. ENSSMAL : 91p.
- BOUGHRIRA, A., (2012).** Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bousmail. Thèse de magister. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL. 110p.
- BOULVAIN, F., (2021).** Sédimentologie du domaine marin. [en ligne]. [consulté le 03/06/2022]. Disponible sur le web : <http://www.geolsed.ulg.ac.be/sedim/sedimentologie.htm>
- BOUYACOUB, N., DJILALI, H., (2021).** Evaluation de la qualité des sédiments superficiels du port de Sidi Fredj en vue d'une opération de dragage. Mémoire d'ingénieur. Ingénierie de l'environnement marin et côtier. Alger : ENSSMAL. 89p.

BIBLIOGRAPHIE

- C.D.C., (2013).** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) fact sheet. [en ligne]. [consulté le 20/05/2022]. Disponible sur le web : https://www.cdc.gov/biomonitoring/PAHs_FactSheet.html
- CNEXO, (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p.
- CRONAN, D.-S., (1972).** Skewness and kurtosis in polymodal sediments from the Irish sea. *Journal of Sedimentary Petrology*. Pp. 102–106.
- DOUBEN, P.-E.-T., (2003).** An ecotoxicological perspective. Wiley. 404p.
- E.P.R.I, (2000).** Literature review of background polycyclic aromatic hydrocarbons. 108p.
- FATTAL, P. et al., (2010).** Coastal vulnerability to oil spill pollution: the case of Noirmoutier island (France). *Journal of Coastal Research*. Pp. 54–69.
- FINGAS, M.-F., (2013).** The Basics of Oil Spill Cleanup. Taylor & Francis Group. 3ème édition. 286p.
- FROEHNER, S. et al., (2009).** Characterization of granulometric and chemical composition of sediments of Barigui river samples and their capacity to retain polycyclic aromatic hydrocarbons. *Water Air Soil Pollution*. Pp. 381–389.
- HADJAMMAR, S., (1993).** Niveaux en hydrocarbures polyaromatiques des sédiments superficiels de la baie de Bou Ismail (Frangé côtière). Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL. 106p.
- HADJAZI, R., REZIG, N.-E.-H., (2021).** Biodiversité de la flore marine benthique de la région d'El Djamila : Taxonomie et écologie. Mémoire d'ingénieur. Biodiversité marine. Alger : ENSSMAL. 74p.
- HOUMA, F., (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat. Sciences de l'univers et de l'environnement. Paris : Université du Val de Marne Paris XII. 274p.
- IDDIR, S., (2013).** Evaluation de l'état de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques dans les eaux et les sédiments de la baie de Bu-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL. 64p.
- I.S.T.P.M, (1983).** Impact des hydrocarbures sur la flore et la faune marines. [en ligne]. [consulté le 09/03/2022]. Disponible sur le web : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00443/55438/56957.pdf>

BIBLIOGRAPHIE

- JAUTZY, J.-J., (2015).** Sources d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca : approches isotopiques. Thèse de doctorat. Sciences de la terre. Québec : INRS-ETE. 211p.
- JULIEN, P.-Y., (2010).** Erosion and sedimentation. Cambridge University Press. 2ème édition. 371p.
- KADRI, I., ATROUNE, F., (2021).** Synthèse de la dynamique sédimentaire de la baie d'El Djamila. (Sidi Fredj, Club des Pins). Algerian Journal of Engineering Architecture and Urbanism. Pp. 310–323.
- KINGSTON, (P.-F., 2002).** Long-term environmental impact of oil spills. Spill Science & Technology Bulletin 7. Pp. 53–61.
- KOROGHLI, A., (2010).** Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse de magister. Ecologie et environnement. Alger : USTHB. 150p.
- KOULL, N., HALILAT, M.-T., (2016).** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). Etude et Gestion des Sols. Pp. 9–19.
- LAURENT, E.-N., CASTELLANET, F., (2003).** Rapport sur la pollution marine par hydrocarbures et les dégazages sauvages en Méditerranée. WWF. Paris.
- LEAHY, J.-G., COLWELL, R.-R., (1990).** Microbial Degradation of Hydrocarbons in the Environment. Microbiological Reviews. Pp. 305–315.
- MANOLI, E., SAMARA, C., (1999).** Polycyclic aromatic hydrocarbons in natural waters: sources, occurrence and analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry 18. Pp. 417–428.
- MEDECC, (2020).** 1er rapport d'évaluation scientifique sur les changements climatiques et environnementaux en Méditerranée. [en ligne]. [consulté le 26/06/2022]. Disponible sur le web : <https://planbleu.org/wp-content/uploads/2020/05/communique%CC%81-de-presse-1.pdf>
- MELIANI, A., (2019).** Contribution à la valorisation des sédiments de dragage portuaire domaine : génie civil : cas du port de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 99p.
- MERCIER, J.-L., (2013).** Indices granulométriques et lois de distributions. Groupe Français de Géomorphologie. Pp. 379–392.

BIBLIOGRAPHIE

- MOUKHCHAN, F., AMMARI, M., BEN ALLAL, L., (2013).** Caractérisation physico-chimique des sédiments marins du littoral de Tanger. Déchets Sciences et Techniques. Pp. 1-6.
- N.O.A.A., (2019).** What are natural oil seeps? [en ligne]. [consulté le 10/05/2022]. Disponible sur le web : <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/what-are-natural-oil-seeps.html>
- PARIS, A., (2017).** Extractions et analyses des hydrocarbures aromatiques : approches méthodologiques et applications à des matrices fruitières. HAL. Thèse de doctorat. Sciences agricoles. Normandie : Université Caen. 331p.
- PATEL, A.-B. et al., (2020).** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Frontiers in Microbiology*. 23p.
- PICOT, A., MONTANDON, F., (2013).** Ecotoxicochimie appliquée aux hydrocarbures. Lavoisier. Paris. 668p.
- RABEHI, W., RAHAL, F., (2011).** Aménagement du port d'El Djamila avantages et inconvénients et comportements des structures. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 82p.
- SCHNETGER, B. et al., (2000).** Geochemical characteristics of deep-sea sediments from the Arabian Sea: a high-resolution study. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Pp 2735–2768.
- S.P.A/R.A.C, (2018).** Programme national de surveillance de la biodiversité et des espèces non-indigènes marines en Algérie. [en ligne]. [consulté le 12/06/2022]. Disponible sur le web : http://www.rac-spa.org/sites/default/files/ecap/formation_algeria/imap_algerie%20.pdf
- SUN, R. et al., (2018).** Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and marine organisms: Implications of anthropogenic effects on the coastal environment. *Science of the Total Environment*. Pp. 264–272.
- TAO, Y. et al., (2019).** Climate change has weakened the ability of Chinese lakes to bury polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Pollution* 255. 9p.
- TARMOUL, F., (2014).** Évaluation de la qualité du milieu marin dans la baie d'El Djamila en vue de la mise en place d'un réseau de surveillance. Thèse de magister. Gestion et surveillance du milieu marin et littoral. Alger : ENSSMAL. 105p.

BIBLIOGRAPHIE

- TRENHAILE, A.-S., (2005).** Beach Sediment Characteristics. Encyclopedia of Coastal Science. Pp. 177–179.
- U.N.E.P, (2017).** Pollution tellurique. [en ligne]. [consulté le 06/04/2022]. Disponible sur le web : <https://www.medqsr.org/fr/node/238>
- U.N.E.P, (2006).** Programme d'aménagement côtier "Zone côtière algéroise." [en ligne]. [consulté le 24/05/2022]. Disponible sur le web : <https://digitallibrary.un.org/record/597211?ln=en>
- U.N.E.P, (1992).** Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. [en ligne]. [consulté le 30/03/2022]. Disponible sur le web : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31506/rsrm020.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
- U.S. E.P.A, (2003).** Procedures for the derivation of equilibrium partitioning sediment benchmarks (ESBs) for the protection of benthic organisms: PAH Mixtures. [en ligne]. [consulté le 12/06/2022]. Disponible sur le web : <https://clu-in.org/conf/tio/porewater1/resources/EPA-ESB-Procedures-PAH-mixtures.pdf>
- VARANASI, U., (1989).** Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. CRC Press. 360p.
- WADE, L.-G., (2013).** Organic Chemistry, 8th ed. Pearson Education. 1251 p.
- WANG, Y. et al., (2021).** Evaluation of the spatial heterogeneity in marine organic pollution and land-based influencing factors: a case study of the marine area of Laizhou Bay, China. Regional Studies in Marine Science. 11p.
- WENTWORTH, C.-K., (1922).** A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology. Pp. 377-392.
- WILKES, H., SCHWARZBAUER, J., (2010).** Hydrocarbons: an introduction to structure, physico-chemical properties and natural occurrence, in: handbook of hydrocarbon and lipid microbiology. Springer. Pp. 1–48.
- XLSTAT, (2022).** Coefficient de corrélation de Pearson dans Excel. [en ligne]. [consulté le 11/09/2022]. Disponible sur le web : <https://help.xlstat.com/fr/6646-coefficient-de-correlation-de-pearson-dans-excel>

BIBLIOGRAPHIE

YOUNES, H., ZINE, A., (2017). Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière de la baie d'El Djamila. Mémoire d'ingénieur, Alger : ENSSMAL. 82p.

ZAGHDEN, H. *et al.*, (2017). Origin and distribution of hydrocarbons and organic matter in the surficial sediments of the Sfax-Kerkennah channel (Tunisia, Southern Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*. Pp. 414–428.

ANNEXES

Annexe I : Les coordonnées des points de prélèvement

Stations	Nom	Longitude	Latitude
St 1	Port Sidi Fredj – bassin 1	2.8484 E	36.7648 N
St 2	Port Sidi Fredj – bassin 2	2.8477 E	36.7645 N
St 3	Port Sidi Fredj – bassin 3	2.8471 E	36.7646 N
St 4	Port Sidi Fredj – bassin 4	2.8465 E	36.7640 N
St 5	Port Sidi Fredj – bassin 5	2.8467 E	36.7630 N
St 6	Plage Est	2.8509 E	36.7603 N
St 7	Plage El Riadh	2.8536 E	36.7600 N
St 8	Plage El Minzah	2.8566 E	36.7603 N
St 9	Plage les dunes	2.8923 E	36.7808 N
St 10	Plage la méditerranée	2.9003 E	36.7982 N

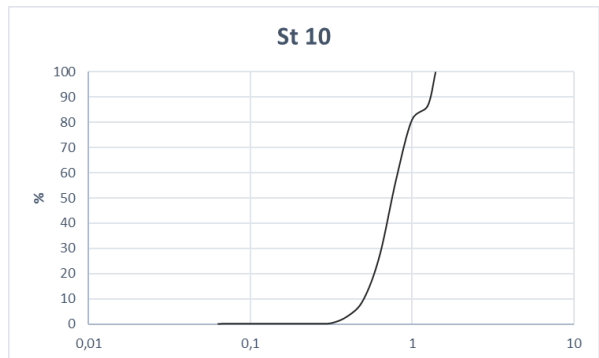
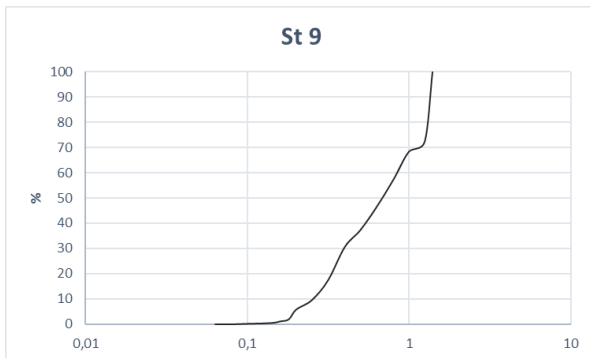
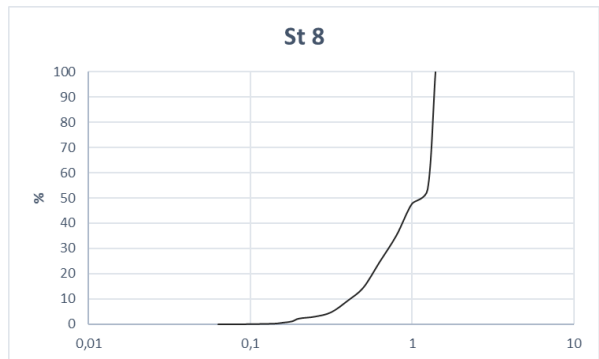
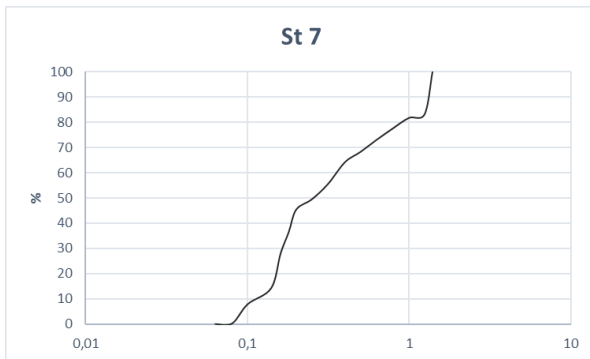
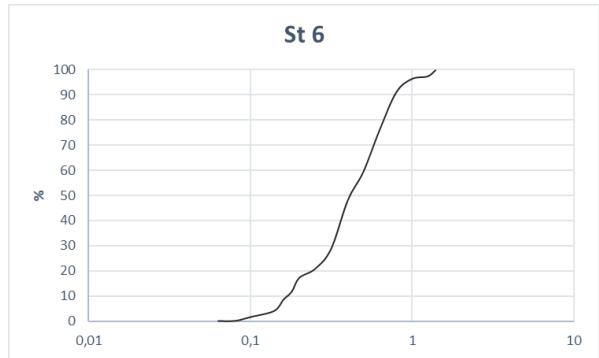
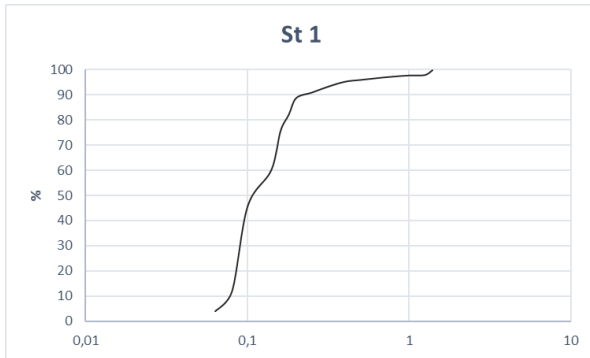
ANNEXES

Annexe II : Résultats des analyses physicochimiques, MO, TE, FP et HAPs.

Stations	Température (°C)	pH	Salinité (psu)	Oxygène dissous (mg/L)	MO (%)	TE (%)	FP (%)	HAPs (µg/g)
St 1	16	8,2	36	5,3	8,83	41,85	16,98	19,29
St 2	15,9	8,19	36	5,2	15,93	49,08	70,24	9,78
St 3	17	7,8	34,1	5,2	12,52	40,19	46,37	21,79
St 4	16,1	8,2	35,9	5	13,46	48,46	44,96	7,13
St 5	16,2	8,22	35,6	5,1	15,91	43,38	29,51	8,56
St 6	15,6	8,2	36,4	7	4,18	28,12	0,76	4,40
St 7	16	8,21	26,1	4,9	4,23	25,10	0,70	1,98
St 8	16	8,28	28,3	8,2	3,04	25,01	0,81	0,28
St 9	16,3	8,13	24,2	6,7	2,62	23,02	0,66	3,79
St 10	16,3	8,4	30,7	9,7	4,36	34,03	1,03	3,24

ANNEXES

Annexe III : Courbes granulométriques



Résumé

Dans le but d'évaluer les niveaux de contamination du sédiment superficiel de la frange côtière de la baie d'El Djamilia ainsi que sa capacité de piégeage des HAPs, une étude quantitative a été conduite. Deux types d'analyses ont été réalisés sur la matrice sédimentaire ; une, granulométrique par la méthode du tamisage à sec, effectuée simultanément avec une caractérisation du sédiment par l'appréciation des teneurs en eau et de la MO ; la deuxième consiste à une analyse des HAPs extraits par la méthode SFUV. Les résultats obtenus ont permis d'identifier des classes texturales variantes du limon au sable grossier. Les valeurs moyennes du pouvoir de rétention étaient de 15,27% et 3,88% et les concentrations des HAPs étaient de $13,31 \pm 6,72 \mu\text{g/g}$ et $2,74 \pm 1,64 \mu\text{g/g}$ pour les stations du port et des plages respectivement. Ces teneurs élevées dépassent les normes, tout en restant logiques vues les quantités des effluents rejetés dans la zone. Une forte corrélation positive a également été déterminée entre le pouvoir de rétention, la taille des grains, le pourcentage de la MO et les concentrations en HAPs.

Mots clés : Pouvoir de rétention, HAP, pollution organique, granulométrie, sédiment, spectrofluorimétrie.

Abstract

With the aim of evaluating the levels of contamination of the superficial sediment in the coastal fringe of the El Djamilia bay and the burial capacity of PAHs; a study has been established. The sediment matrix was exposed to two types of analysis: a granulometric analysis using the dry sieving method, simultaneously carried out with an estimation of the moisture content and organic matter. The second is about analyzing the extracted PAHs with the Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy method. The results allow identifying the textural classes varying from silt to coarse sand. The mean values of the retention capacity were 15.27% and 3.88%, and the PAHs concentrations were $13.31 \pm 6.72 \mu\text{g/g}$ and $2.74 \pm 1.64 \mu\text{g/g}$ for the stations of the harbor and the beaches respectively. High concentrations exceeding the norms were observed, yet expected given quantities of discharged effluents in the area. In addition, a strong positive correlation was found between the burial capacity, the organic matter percentage, and the PAHs concentration.

Keywords: Burial capacity, PAH, organic pollution, granulometry, sediment, fluorescence spectroscopy.

ملخص

يهدف تقييم مستويات تلوث الراسب الرملية السطحية للواجهة البحرية لخليج "الجميلة"، وكذلك تقييم القدرة على حبس الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات HAPs، قمنا بإجراء دراسة كمية باستعمال طريقتين من طرق تحليل عينة الراسب الرملي. إذ تعتمد الطريقة الأولى على فرز حبيبات الرمل باستعمال عملية "الغربلة الجافة"، مع تحديد تركيز الماء والمواد العضوية في العينة الخاضعة للغرلة. والطريقة الثانية تتمثل في تحليل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات المستخرجة من العينة بواسطة التحليل الطيفي الفلوري باستعمال الأشعة فوق البنفسجية SFUV. وقد سمحت النتائج المتحصّل عليها بتصنيف حبيبات الرمل من فئة الطمي إلى فئة الرمل الخشن. كما تمّ التوصل إلى النتائج التالية: 15.27% و 3.88% بالنسبة للقدرة على حبس الـ HAPs، و 6.72 ± 13.31 ميكروغرام/غرام و 1.64 ± 2.74 ميكروغرام/غرام بالنسبة لتركيز الكربوهيدرات العطرية متعددة الحلقات، وذلك لعينتين تمّ أخذهما من محطات الميناء والشواطئ (على الترتيب). تمّت ملاحظة قيم تركيز عالية تتجاوز القيم المعيارية، لكنها تظل نسبا معقولة بالأخذ بالاعتبار كميات النفايات الملقاة في المنطقة. كما تمّ تحديد علاقة طردية قوية بين القدرة على حبس الـ HAPs، النسبة المئوية لتركيز المادة العضوية، وتركيز الكربوهيدرات العطرية متعددة الحلقات.

الكلمات المفتاحية: الهيدروكربونات، الملوثات العضوية، قياس الحبيبات، الرمل، التحليل الطيفي الفلوري.