

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'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en sciences de la mer

Option : Environnement Marin

THEME :

Contribution à l'évaluation de l'état de pollution du sédiment superficiel du port d'Alger en cas d'une opération de dragage

Préparé par :

HECHAICHI Wafa.

ZEROUALI Maya.

Soutenu le 24 Septembre 2016 devant le jury composé de :

<i>M BELKESSA</i>	<i>Rabeh</i>	Professeur	ENSSMAL	Président
<i>Mme BACHARI</i>	<i>Fouzia</i>	Professeur	ENSSMAL	Examinatrice
<i>M HAMDI</i>	<i>Boualem</i>	Professeur	ENSSMAL	Examinateur
<i>Mme HAMDI</i>	<i>Safia</i>	Maitre de conférences A	ENSSMAL	Promotrice

Le 24 Septembre 2016

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en
sciences de la mer

Option : Environnement Marin

THEME :

**Contribution à l'évaluation de l'état de pollution du
sédiment superficiel du port d'Alger en cas d'une
opération de dragage**

Préparé par :

HECHAICHI Wafa.
ZEROUALI Maya.

Soutenu le 24 Septembre 2016 devant le jury composé de :

<i>M BELKESSA</i>	<i>Rabeh</i>	Professeur	ENSSMAL	Président
<i>Mme BACHARI</i>	<i>Fouzia</i>	Professeur	ENSSMAL	Examinatrice
<i>M HAMDI</i>	<i>Boualem</i>	Professeur	ENSSMAL	Examineur
<i>Mme HAMDI</i>	<i>Safia</i>	Maitre de conférences A	ENSSMAL	Promotrice

Le 24 Septembre 2016

**« Le Plus Important N'est Pas Le But Lui-Même,
C'est De Se Battre Pour L'atteindre »**

Stefan Zweig

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Notre plus grande gratitude va à notre promotrice Madame **HAMDI, S.** à qui nous exprimons toute notre reconnaissance, nous la remercions pour la confiance qu'elle nous a accordé en acceptant d'encadrer ce travail, de nous avoir orienté et encourager pour la réalisation de ce manuscrit.

Nos remerciements s'adressent à l'ensemble des membres du jury :

À Monsieur **BELKESSA, R.** professeur à l'ENSSMAL qui nous fait l'honneur de présider le jury.

À Monsieur **HAMDI, B.** professeur à l'ENSSMAL d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.

À Madame **BACHARI HOUMA, F.** professeur à l'ENSSMAL, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la collaboration d'un grand nombre de personnes envers qui nous exprimons toute notre gratitude

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à madame **ZERROUKI R.** directrice de la pêche et des ressources halieutiques de la wilaya d'Alger de nous avoir accueilli et assuré le bon déroulement de notre sortie en mer, à l'inspecteur de pêche monsieur **BOUDRAA Omar** et aux accompagnateurs : le marin monsieur **Rabeh** et l'ingénieur monsieur **MEBARKI, C.** pour leur aide et leur temps consacré à notre mission en mer. Nos remerciements vont aussi à madame **BOUCHEFER, S.A.** directrice du laboratoire central de l'Office National de l'Assainissement (ONA) pour son accueil au sein du laboratoire et à monsieur **HAWESS Omar** directeur du laboratoire de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable(ONEDD) pour son aide et sa sympathie.

Un grand merci à l'équipe des ingénieurs du laboratoire de l'ENSSMAL à Sidi Fredj, Monsieur **BOUDJELLAL, Y.** et Madame **OUNADI, F.** qui n'ont ménagé aucun effort pour nous assister et aider à effectuer les analyses dans les bonnes conditions.

Nos remerciements, s'adressent aussi à l'ensemble des ingénieurs et techniciens et au personnel de l'ENSSMAL qui nous ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions et dans une bonne ambiance.

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, qui m'ont soutenu et encourager tout au long de ma vie pour arriver à ce que je suis maintenant, ce travail est le témoignage de leur persévérance et de labeur qu'ils m'ont donné.

À mes adorables sœurs.

À ma grand-mère et mes très chères tantes.

À mes amis le trio inséparable : Soumia, Wassim et Amine.

À mes camarades de ma promotion.

À toute mon équipe de rédaction du journal CEE avec qui j'ai appris beaucoup de choses.

À mon binôme Mayus.

À toute personne qui a m'a soutenu de près ou de loin.

Wafa

Je dédie ce travail à

Mes chers parents, que nulle phrase, aussi expressive soit-elle, ne saurait exprimer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous vous êtes dévoués et vous vous êtes sacrifiés pour moi tout au long de mon parcours. Vos prières et vos bénédictions m'ont accompagné durant toutes mes années d'études.

En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour vous, recevez ce travail en signe de ma vive reconnaissance et de mon profond dévouement.

Puisse Dieu, le Tout-Puissant, vous accorder santé, bonheur et longue vie à mes côtés.

Mon cher grand père qui vient de nous quitter, et qui peut être fier de sa seule et unique petite fille, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

Mon petit frère Sabri, Pour son grand amour, son soutien et sa patience illimitée.

Mes amies Lyna et Amira, Pour leur aide et leur soutien moral durant l'élaboration de ce travail et pour tous les bons moments qu'on a passé ensemble.

Mon binôme Wafa, avec qui j'ai partagé de bons moments.

Maya

µg : microgramme

µm : micromètre

AIEA ou IAEA: International Atomic Energy Agency (Agence Internationale de l'Energie Atomique).

C.O.I : Commission Océanographique Intergouvernementale.

Cd : Cadmium

COGRAL : Entreprise des Corps Gras d'Alger.

Cu : Cuivre

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

EPAL : Entreprise Portuaire d'Alger

ERENAV : Entreprise Nationale de Réparation Navale

ETM: Elements Traces Métalliques

GPS: Global Positioning System.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Hg : Mercure

IF : Intensité de Fluorescence

IFREMER : L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

L.E.M : Laboratoire d'Etudes Maritimes

M.O : Matière Organique

MES : Matière en Suspension

ml : Millilitre

MOP : Matière Organique Particulaire

NAFTAL : Société Nationale de Commercialisation et de Distribution de Produits Pétroliers

NAFTEC : Société Nationale de Raffinage de Pétrole

nm: nanomètre

O.N.E.D.D : l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

OD : Oxygène Dissous

OMS : Organisation Mondial de la Santé

ONA: Office National de l'Assainissement

ONM : Office National de Météorologique.

OSPAR : OSlo-PARis

P.N.U.E (U.N.E.P) : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

Pb: Plomb

PCB: PolyChloroBiphényle

pH : Potentiel d'Hydrogène

PS: Poids Sec

PSU: Practical Salinity Unit

S : Salinité

S.A.A : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

S.O.N.A.TRA.M : Société Nationale des TRAvaux Maritimes

SFUV : Spectrofluorimétrie Ultrat-Violet

SONELGAZ: Société Nationale de l'Electricité et du Gaz

T : Température

TBT : TriBuTylétains

U.A : Unité Arbitraire.

WHO: World Health Organization

Zn: Zinc

Tableau 1: Classes granulométriques d'un matériau.....	19
Tableau 2 : Origines des métaux traces dans le milieu marin.....	24
Tableau 3: Sources principales des contaminants métalliques étudiés.....	27
Tableau 4: Effets du dragage de l'immersion des sédiments.....	34
Tableau 5: Les points de rejets dans le port d'Alger.....	44
Tableau 6: Classification des grains de sables.....	59
Tableau 7: Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain.....	59
Tableau 8: Les valeurs adoptées pour S0 représentant les types de classement.....	60
Tableau 9: Les valeurs adoptées pour le Sk représentant l'asymétrie du sédiment.....	60
Tableau 10: Référence des solvants chimiques et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures.....	63
Tableau 11: Référence des produits chimiques solides et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures.....	63
Tableau 12 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère	70
Tableau 13: Références et mode d'utilisation des réactifs et solutions destinés aux analyses des métaux lourds.....	73
Tableau 14: Concentrations normales des métaux lourds dans le sédiment selon les normes Algériennes, Françaises ($\mu\text{g/g}$).....	78
Tableau 15: Valeurs de l'indice de contamination IC.....	78
Tableau 16 : Calcul des indices granulométriques et interprétation des résultats.....	89
Tableau 17: Valeurs et grano-classement des quartiles.....	90
Tableau 18: Récapitulatif des résultats obtenus	106

Figure 1: Structures moléculaires des 16 principaux HAP (ATTEIA O., 2005)	21
Figure 2 : Situation géographique du port d'Alger (Koroghli A., 2010)	37
Figure 3 : Carte des ouvrages du port d'Alger (Rebzani-Zahaf C., 1990) (modifiée)	40
Figure 4 : Carte d'occupation du port d'Alger par les unités industrielles causant une source de pollution (Hechaichi, Zerouali, 2016)	43
Figure 5 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle des précipitations enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)	45
Figure 6 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle de l'évaporation enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)	45
Figure 7 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle de la température enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)	46
Figure 8 : Bathymétrie du port d'Alger (Belkessa R., 2005)	48
Figure 9 : Localisation des stations de prélèvement au niveau du port d'Alger	51
Figure 10 : Préparation des matériels de sortie	51
Figure 11 : Les prélèvements lors de la sortie en mer	52
Figure 12 : La pesée des filtres contenant les MES	54
Figure 13 : Les étapes de la mesure de la MOP	55
Figure 14 : La pesée du refus du tamis	58
Figure 15 : Calcimètre de Bernard	62
Figure 16 : Conditionnement matériels HAP	64
Figure 17 : Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures	65
Figure 18 : Photo des étapes de l'extraction, concentration et traitement au mercure	67
Figure 19 : Photo de l'appareil SFUV	70
Figure 20 : Droite d'étalonnage des standards en équivalent du chrysène	71
Figure 21 : Minéralisation des échantillons	75
Figure 22 : L'appareil de spectrophotométrie par absorption atomique de marque analytikjena, modèle ZEEnit 700P	76
Figure 23 : Schéma résumant les étapes du traitement cartographique du logiciel (ArcGis) ..	79
Figure 24 : Représentation graphique de la variation de la température en °C	81
Figure 25 : Représentation graphique de la variation de la salinité	82
Figure 26 : Représentation graphique de la variation du potentiel d'hydrogène	83
Figure 27 : Représentation graphique de la variation de l'oxygène dissous	84
Figure 28 : Variation spatiale des teneurs de MES dans le port d'Alger	85
Figure 29 : Variation spatiale du pourcentage de la MOP dans le port d'Alger	86
Figure 30 : Représentation cartographique du pourcentage de la MO dans le port d'Alger ..	87
Figure 31 : Distribution spatiale des pourcentages des classes granulométriques du sédiment dans le port d'Alger	88
Figure 32 : Représentation cartographique du pourcentage des pélites dans le port d'Alger ..	91
Figure 33 : Représentation graphique de la variation des taux de carbonates (%CaCO ₃) dans le port d'Alger	92

Figure 34 : Représentation graphique de la variation des concentrations des HAP au port d'Alger	93
Figure 35 : Variation spatiale des HAP dans le port d'Alger.....	93
Figure 36 : Variation des concentrations du cuivre dans le sédiment superficiel du port d'Alger	95
Figure 37 : Indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes	96
Figure 38 : Variation des concentrations du zinc dans le sédiment superficiel du port d'Alger	97
Figure 39 : Indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes	98
Figure 41 : Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port d'Alger	99
Figure 41 : Indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes	100
Figure 42 : Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port d'Alger	101
Figure 43 : Indice de contamination par le Plomb dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algérienne	102
Figure 44 : Variation des concentrations du cadmium dans le sédiment superficiel du port d'Alger	103
Figure 45 : Indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algérienne	104
Figure 46 : Représentation cartographique montrant la corrélation entre les pélites et la matière organique dans le port	105
Figure 48 : Courbe d'étalonnage pour le cadmium.....	124
Figure 49 : Courbe d'étalonnage pour le plomb	124
Figure 50 : Courbe d'étalonnage pour le zinc	124
Figure 51 : Courbe d'étalonnage pour le cuivre.....	124
Figure 52 : Courbe d'étalonnage pour le mercure.....	124

Remerciement	I
Dédicaces	II
Liste des acronymes	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V

Introduction générale	15
------------------------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1 Généralités sur le sédiment.....	18
1.1 Définition et origine	18
1.2 Caractéristiques d'un sédiment.....	18
1.2.1 Granulométrie des sédiments :	18
1.2.2 Composition des sédiments :	19
1.3 Pollution et le pouvoir accumulateur des sédiments marins.....	20
1.4 Les polluants organiques (cas des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP))	21
1.4.1 Structure des HAP	21
1.4.2 Origine des HAP.....	22
1.4.3 Propriétés physico-chimiques des HAP	22
1.4.4 Toxicité des HAP	22
1.5 Les polluants inorganiques (métaux traces)	23
1.5.1 Classification des ETM	23
1.5.2 Origine des ETM.....	23
1.5.3 Toxicité des ETM	24
1.5.4 Présentation des ETM étudiés	24
1.5.5 Sources anthropiques des éléments traces métalliques étudiés :	26

Chapitre II : Matériaux de dragage et leur devenir

1 Généralités sur le dragage.....	29
1.1 Définition et intérêt de dragage	29
1.2 Types de dragage.....	29
1.3 Le risque représenté par les opérations de dragage	30
1.4 Réglementation relative à la gestion des sédiments immergés.....	30
1.4.1 Textes généraux.....	30
1.4.2 Réglementation nationale	32
1.5 Devenir des sédiments dragués.....	32
1.6 Effets globaux du dragage et de l'immersion des sédiments.....	34

Chapitre III: Description de la zone d'étude

Introduction générale du port d'Alger	36
1 Historique du port d'Alger	36

2	Situation géographique du port d'Alger	37
3	Accès au port	38
4	Ouvrages de protection : (composition du port).....	38
5	Pollution dans le port d'Alger	40
6	Sources de pollution au port d'Alger.....	41
6.1	Les unités industrielles	41
6.2	Les rejets urbains.....	43
7	Données météorologiques	44
8	Caractéristiques hydrodynamiques.....	47
9	Caractères bathymétrique et sédimentologie	47
Chapitre IV : Matériel et Méthodes d'Analyse		
1	Localisation et choix des stations	50
2	Prélèvement et échantillonnage	51
2.1	Préparation des matériels.....	51
2.2	Prélèvement d'eau de mer	52
2.3	Prélèvement du sédiment.....	52
3	Analyses des paramètres.....	53
3.1	Mesure in situ des paramètres physico-chimiques	53
3.2	Analyses au laboratoire	53
A.	Analyse de l'eau de mer.....	53
1	Analyse de la matière en suspension	53
1.1	Principe de la méthode	53
1.2	Matériels et Appareils.....	53
1.3	Mode opératoire	53
1.4	Calcul et expression des résultats	54
2	Analyse de la matière organique particulaire	54
2.1	Principe de la méthode	54
2.2	Matériels et Appareils.....	54
2.3	Mode opératoire.....	55
2.4	Calcul et expression des résultats	55
B.	Analyse des sédiments.....	56
1	Analyse de la matière organique	56
1.1	Principe de la méthode	56

1.2	Matériels et appareillage.....	56
1.3	Mode opératoire.....	56
1.4	Calcul et expression des résultats	56
2	Analyse granulométrique.....	57
2.1	Principe de la méthode	57
2.2	Matériels et appareillage.....	57
2.3	Mode opératoire.....	57
2.4	Les paramètres et indices granulométriques.....	58
2.4.1	Les paramètres centraux ou de position	58
2.4.1.1	La médiane	58
2.4.1.2	Les quartiles	58
2.4.2	Les indices granulométriques	59
2.4.2.1	L'indice central MZ	59
2.4.2.2	L'indice de classement S0	60
2.4.2.3	Le coefficient d'asymétrie Sk (Skewness)	60
3	Etude Calcimétrique	61
3.1	Principe de la méthode	61
3.2	Matériels et réactifs	61
3.3	Mode opératoire	61
3.4	Expression et calcul du résultat	62
4	Analyse des Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique.....	63
4.1	Principe de la méthode	63
4.2	Matériels et appareillage.....	63
4.3	Solution et réactifs.....	63
4.4	Mode opératoire.....	64
4.4.1	Conditionnement des matériels	64
4.4.2	Traitement des échantillons	64
4.5	Expression et calcul des résultats	71
5	Analyse des Métaux Lourds	72
5.1	Principe de la méthode	72
5.2	Matériels et appareillage.....	72
5.3	Mode opératoire	73
5.3.1	Nettoyage du matériel utilisé pour la détermination des métaux traces	73
5.3.2	Traitement des sédiments	73
5.4	Calcul et expression des résultats	77
5.5	Indice de contamination	78

6	Outils de traitement des analyses	78
6.1	Les systèmes d'information géographique (SIG)	78

Chapitre V : Résultats et discussion

1	Les paramètres physicochimiques	81
1.1	La température.....	81
1.2	La salinité	82
1.3	Le potentiel d'hydrogène.....	83
1.4	L'oxygène dissous	83
2	Matières en suspension.....	84
3	MOP	86
4	Taux de matière organique dans le sédiment (% M.O sédiment).....	86
5	Analyse granulométrique.....	88
5.1	Résultats des indices granulométriques	89
5.2	Résultats des quartiles	90
5.3	La fraction pélitique (pourcentage des pélites).....	91
6	Analyse calcimétrique	92
7	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	93
8	Métaux lourds.....	95
8.1	Cuivre	95
8.2	Zinc.....	97
8.3	Mercure.....	98
8.4	Plomb.....	101
8.5	Cadmium	102
9	Etude de la corrélation entre les différents paramètres.....	105
9.1	Pélites- Matière organique dans le sédiment	105
9.2	Corrélation HAP- matière organique/ HAP- taux de pélites	105
9.3	Corrélation ETM- taux de pélites	106
9.4	Corrélation ETM- taux de matière organique dans le sédiment	106
10	Synthèse des résultats.....	106
	Conclusion générale	108
	Références bibliographiques	111

Annexes

Introduction Générale

Introduction générale

Tous les ports sont sujets à des accumulations importantes de sédiments qui sont parfois des freins à la navigabilité (Achard R., 2013).

Le port d'Alger n'échappe pas à cette réalité, ce dernier est soumis à des phénomènes d'envasement qui réduisent considérablement les profondeurs, réduisant ainsi les capacités d'accueil (Belkessa R., 2005). Afin de développer et de maintenir les activités de navigation et l'accessibilité des infrastructures portuaires, des campagnes de dragages doivent être régulièrement réalisées pour garantir les meilleures conditions d'accès au port (El Fadili et Marion 2015). Les opérations de dragage sont donc un élément vital pour le fonctionnement de l'économie portuaire.

Ce port est le réceptacle final de la grande majorité des eaux usées de la ville d'Alger, à ceux-ci s'ajoutent les rejets qui découlent des activités portuaires et des installations industrielles implantées au sein de ce port qui génèrent une forte pollution, et classant le port d'Alger comme la plus importante zone à risque du littoral algérien (Grimes S., 2010). Etant un milieu semi fermé, les eaux portuaires sont donc favorables à une sédimentation importante, rendant les sédiments fortement pollués (Koroghli A., 2010).

Les sédiments sont cependant reconnus comme capables de piéger des teneurs importantes en contaminants. En raison de l'intensité des rejets qui déversent directement dans le port, des contaminants organiques (HAP, TBT, etc.) et/ou inorganiques (éléments traces métalliques (ETM)) peuvent être identifiés dans les sédiments portuaires (Song Y., 2016).

C'est pour cette raison que de nombreuses études se sont intéressées à la contamination des sédiments, révélant les impacts économiques, mais aussi environnementaux que peuvent causer le dragage et immersion. En effet, ces opérations peuvent nuire à l'environnement aquatique (faune et flore) et présentent par le biais de la bioaccumulation, un risque pour la santé de l'homme

La principale réponse à la question du devenir des sédiments pollués dragués était le rejet en mer. Mais les mentalités ont changé et le concept de développement durable est devenu un objectif s'imposant à tous (Agostini F., 2006). En effet, l'immersion des matériaux dragués est aujourd'hui strictement réglementée par les législations nationales et des conventions internationales.

Afin d'évaluer le degré de pollution des sédiments superficiels du port d'Alger en vue d'une opération de dragage, le présent travail permet par le biais des analyses effectuées sur le sédiment du port d'Alger d'apporter des données environnementales et contribuer dans les processus décisionnels en cas d'une opération de dragage.

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre propose une synthèse bibliographique portée sur les connaissances actuelles sur les sédiments marins : origine, caractéristiques, pouvoir accumulateur et les polluants organiques et inorganiques.
- ❖ Le deuxième chapitre abordera des généralités sur dragage et la problématique liée à cette opération.
- ❖ Le troisième chapitre sera consacré à la description du site d'étude (Port d'Alger).
- ❖ Les moyens matériels utilisés en mer et au laboratoire, et les méthodes appliquées pour les différentes analyses seront traités dans le quatrième chapitre.
- ❖ Le cinquième chapitre sera dédié à la présentation des résultats obtenus des différentes analyses effectuées et leurs interprétations

Enfin, une conclusion générale du travail avec des perspectives clôturent ce mémoire.

Synthèse Bibliographique

1 Généralités sur le sédiment

1.1 Définition et origine

Le sédiment est un matériau issu de l'érosion, transporté et déposé par les cours d'eau, n'ayant pas encore subi de transformation diagénétique (passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation de l'eau et de la pression) il a deux principales origines (Schneider G., 2001) :

- L'origine endogène de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Il s'agit de débris de macrophytes comme les plantes aquatiques, les cadavres de microphytes et d'animaux.
- L'origine exogène vient d'un apport de matières allochtones. Celles-ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. Cet apport peut être d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale), ou anthropique (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques).

1.2 Caractéristiques d'un sédiment

Le sédiment se caractérise essentiellement par :

- Sa granulométrie,
- Sa composition minérale,
- Sa teneur en eau et en matière organique.

1.2.1 Granulométrie des sédiments

La distribution granulométrique d'un sédiment et plus globalement, de n'importe quel matériau, constitue son empreinte physique. Elle caractérise en effet la taille des particules constituant la phase solide du matériau. D'autre part, la répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. Les différentes classes granulométriques couramment utilisées sont présentées dans le tableau suivant (Scordia J.Y., 2008) :

Classification des matériaux						
Matériaux fins	Dénomination en 5 classes	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers
	Limites de	< 2	2 à 20	20 à 50	50 à 200	200 à 2000
	taille en μm					
Matériaux grossiers	Dénomination en 3 classes	Argiles	Cailloux	Blocs rocheux		
	Limites de	< 2	2 à 50	50 à 2000		
	taille en μm					
Matériaux grossiers	Dénomination en 3 classes	Graviers	Cailloux	Blocs rocheux		
	Limites de	2 à 20	20 à 200	> 200		
	taille en mm					

Tableau 1: Classes granulométriques d'un matériau (Liang Y., 2012).

Pour une grande part (environ 70%), les sédiments de dragage sont constitués de limon dont la taille des particules est inférieure à 63 μm . Ainsi, les composants sont alors des argiles, des limons et quelquefois des sables fins (Ammami MT., 2013).

1.2.2 Composition des sédiments

La composition de la matrice sédimentaire est très hétérogène. C'est une des difficultés majeures pour l'étude des sédiments. Elle est constituée de matériaux détritiques inorganiques et organiques (Power et Chapman, 1992). Les sédiments de dragage sont constitués de trois phases :

a. La phase eau

C'est une fraction très variable dépendant de plusieurs facteurs, tels que les conditions de dragage et la position des dépôts. Généralement on peut distinguer l'eau libre, l'eau capillaire, l'eau colloïdale et l'eau pelliculaire (Marot F., 1998). La teneur en eau par rapport à la matière sèche dans les vases varie de l'ordre de 50 à 300 %.

b. La phase inorganique

Cette fraction est principalement formée de minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Elle se compose principalement d'argiles, de carbonates et de silicates. Les hydroxydes de fer, de manganèse et les substances organiques qui enrobent les particules inorganiques, leur procurent une grande capacité d'adsorption vis-à-vis des contaminants. Les principaux minéraux constituant sa matrice sont le quartz, le feldspath, et les argiles (dont les trois principaux constituants sont la kaolinite, l'illite et la smectite) (Scordia J.Y., 2008).

c. Phase organique

Les composés organiques rencontrés dans les sédiments sont généralement d'origines naturelles (Vermeulen J et al., 2003). Ils proviennent, soit de débris végétaux, soit de micro-organismes, ou encore de colloïdes humiques. Cette phase est constituée de polymères naturels jouant un rôle important en tant que complexant. La phase comprend deux catégories :

-Les acides non humiques : Ce sont des composés classiques relativement connus ; les acides organiques, les acides aminés, protéines, glucides.

-Les acides humiques : Cette fraction constitue la majeure partie de la matière organique. Ils peuvent constituer entre 80 et 90 % de la fraction organique totale (Colin C., 2003). On distingue deux grands groupes de substances humiques. Les acides humiques (insolubles dans l'eau mais solubles dans les milieux alcalins), et les acides fulviques représentant la fraction la plus importante, et sont solubles dans les acides et les bases (Cappuyens et Swennen, 2008).

1.3 Pollution et le pouvoir accumulateur des sédiments marins

Depuis le début de l'ère industrielle, certains compartiments sédimentaires ont reçu des apports importants en contaminants organiques (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, PCB, ...) et métalliques (Cd, Pb, Zn, ...). De par leurs propriétés chimiques, ces éléments ont tendance à s'accumuler dans la phase solide (Coulon F., 2014)

Aussi, on peut dire que les sédiments se comportent comme des indicateurs de pollution à mémoire, témoins du degré de pollution. Ils constituent donc un biotope privilégié pour rechercher l'état de pollution d'un écosystème aquatique (Mearns A.J et al., 1986).

Ceci prouve que, les sédiments ont le caractère d'indicateur intégrant et contrairement aux matières en suspension, ils sont capables d'enregistrer une pollution ponctuelle dans le temps (Rousseau et Suaudeau, 2008).

1.4 Les polluants organiques (cas des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP))

Les hydrocarbures aromatiques sont constitués d'un anneau aromatique, le benzène. Ces hydrocarbures sont caractérisés par un rapport (C/H) plus élevé que celui que l'on observe dans les autres hydrocarbures. Ils possèdent tous la caractéristique de contenir dans leur molécule un cycle hexagonal à six atomes de carbone, liée à un seul hydrogène ou à un seul autre carbone (Lefebvre G., 1978)

1.4.1 Structure des HAP

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une famille de molécules constituées uniquement de carbone et d'hydrogène dont la structure comprend au moins 2 cycles aromatiques fusionnés, chacun composé de 5 ou 6 atomes de carbone, et pouvant être substitués. Le HAP le plus simple, composé de deux cycles aromatiques fusionnés, est le naphthalène. Dans l'environnement, les HAP composés de 2 à 7 noyaux aromatiques sont les plus présents et les plus mobiles (Neff., 1979 in Pimsee P., 2014).

Des composés aromatiques polycycliques contenant des hétéroatomes (soufre, azote, oxygène) tels que le benzo(b)thiophène et le dibenzothiophène sont également présents en quantités importantes dans l'environnement (Olivier M., 2004).

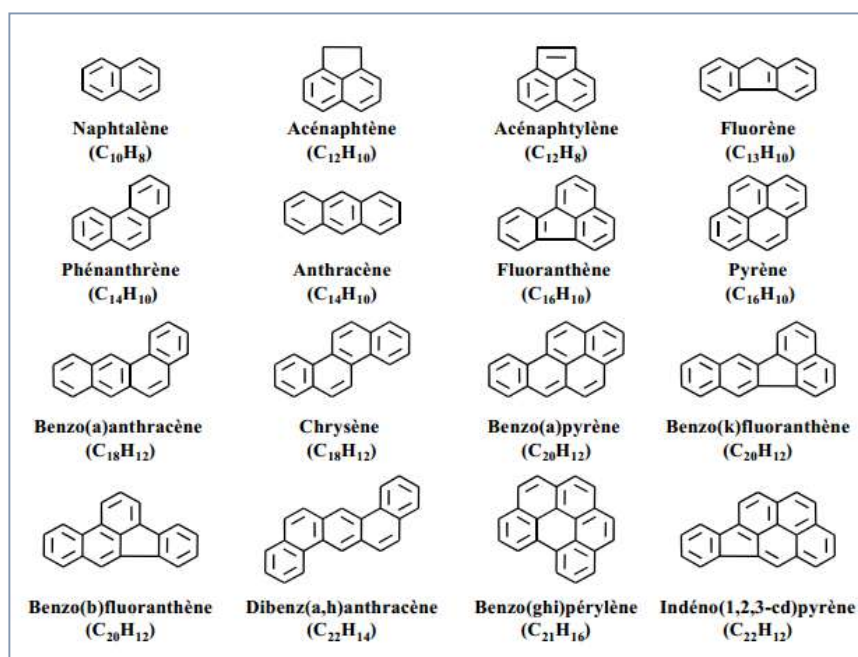


Figure 1: Structures moléculaires des 16 principaux HAP (ATTEIA O., 2005)

1.4.2 Origine des HAP

Deux origines de HAP sont distinguées :

- Origine pyrolytique : Il est établi que la majeure partie des HAP est d'origine pyrolytique (McElroy et Sisson., 1989 in Pimsee P., 2014). Ils proviennent de la combustion incomplète de la matière organique à haute température. Cette origine peut être naturelle (feux de forêts, éruptions volcaniques) ou anthropique (activité industrielle, production d'aluminium, d'énergie, cokeries), automobile, incinération des déchets, chauffage domestique) (Pimsee P., 2014).
- Origine pétrogénique : Les HAP peuvent également être d'origine pétrogénique, issus de la maturation lente (plusieurs millions d'années) de la matière organique dans le milieu sédimentaire profond (plusieurs milliers de mètres de profondeur à des températures de 100 à 150°C et des pressions de 300 à 1500 bars).

Ces composés sont introduits dans le milieu marin soit lors de déversements pétroliers dus à l'activité humaine (naufages, dégazages, activité des plateformes pétrolières), soit par des fuites de réservoirs naturels à travers l'écorce terrestre (Olivier M., 2004).

1.4.3 Propriétés physico-chimiques des HAP

Les propriétés physico-chimiques des HAP se révèlent très utiles pour évaluer leur impact potentiel dans l'environnement. Elles vont notamment permettre de mieux prévoir leur répartition, ainsi que leur comportement dans les différents compartiments de l'environnement (eau, sol, sédiments, atmosphère, végétaux, êtres vivants). Les principaux paramètres couramment utilisés pour prédire la distribution des composés organiques, dans les différents compartiments environnementaux sont (Jones et de Voogt., 1999 ; Wild et Jones., 1995)

- La pression de vapeur saturante ($P^{\circ}L$), qui reflète la volatilité et donc la capacité d'un composé à rester en phase gazeuse ou à se volatiliser.
- La constante de Henry (H), qui est caractéristique de l'équilibre entre les phases gazeuse et aqueuse.
- Le coefficient de partage octanol-air (KOW), qui reflète l'affinité d'un composé pour la matière organique. Cet indice permet notamment de prévoir leur bioaccumulation.

1.4.4 Toxicité des HAP

Actuellement, les effets toxicologiques de tous les HAP sont imparfaitement connus. Toutefois, les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montré que certains HAP pouvaient induire spécifiquement de nombreux effets sur la santé, des effets

systémiques (hépatiques, hématologiques, immunologiques et développement d'athéroscléroses), et/ou des effets sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques et cancérogènes (Doornaert et Pichard., 2005 in Pimsee P., 2014).

1.5 Les polluants inorganiques (métaux traces)

Les polluants inorganiques comportent les métaux toxiques (ex. Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn), les métalloïdes toxiques (ex. As) et les éléments non-métalliques (ex. Se). Ces éléments sont appelés éléments traces ou les métaux lourds (Song Y., 2016). Généralement l'appellation « métaux lourds » indique les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisées par une densité supérieure à 5g /cm³ (Miquel M., 2001). Mais, la notion d'ETM est plus précise pour décrire ces éléments. Donc ETM tend à remplacer celle de métaux lourds.

Dans ce mémoire, les ETM considérés sont : Cd, Pb, Hg Cu et Zn.

1.5.1 Classification des ETM

Les ETM peuvent être classés en fonction de leur caractère essentiel pour les organismes vivants :

-Les oligo-éléments : comme Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn, ces éléments présentent un rôle biologique pur pour les organismes ils sont indispensables mais en quantités minimes.

- Les métaux non essentiels ou métaux toxiques : ce sont principalement le plomb, le mercure et le cadmium. Ils ne sont pas nécessaires pour les organismes et ils présentent des effets toxiques dès les faibles teneurs (de l'ordre du µg/l) (Chiffolleau J.F *et al.*, 2001).

1.5.2 Origine des ETM

On distingue deux origines des ETM :

Naturelle : Les ETM naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires.

Anthropique : Les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière (Devallois V., 2009).

Origine naturelle	Origine anthropique
- L'érosion et le lessivage des sols par les eaux des pluies et les fleuves.	- L'emploi des produits dans l'agriculture (pesticides).
- Transport par voie atmosphérique.	- Des rejets domestiques.
- Les activités sismiques et volcaniques.	- des déversements industriels.

Tableau 2 : Origines des métaux traces dans le milieu marin

1.5.3 Toxicité des ETM

La toxicité est un phénomène très complexe, résultant d'interactions multiples entre des substances néfastes et des organismes vivants. On distingue alors 3 formes différentes de toxicité : aiguë provoquant la mort ou de graves troubles physiologiques, subaiguë ou à long terme. De plus, la toxicité d'un métal est déterminée par la nature chimique de l'environnement aqueux et par la spéciation des métaux (forme chimique sous laquelle le métal est considéré) (Karine N., 1996).

1.5.4 Présentation des ETM étudiés

a. Le plomb (Pb)

Le plomb existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire. Le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire (Cossa D *et al.*, 1993).

Il est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi a de nombreux autres éléments (Fe, Cu, Cd, As...) qui sont en grande partie récupérés lors des opérations métallurgiques. L'adsorption du plomb sur les oxydes de Fe et de Mn sont plus importants que sur les argiles et les matériaux organiques. En conséquence, le plomb est immobile dans l'environnement aquatique et tend à s'accumuler en sédiments près de son point d'entrée (Erdogan M., 2009). Aussi, l'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier.

b. Cadmium (Cd)

Contrairement à de nombreux métaux (Cu, Zn, Fe...) le cadmium est un élément non essentiel, et se range parmi les métaux les plus toxiques pour l'homme à très faibles concentrations. Sa toxicité est aggravée par sa capacité de bioaccumulation. (Lahmer N., 2010)

D'après Rollin et Quiot (2006), le comportement du cadmium dans le sédiment est fortement contrôlé par le pH. Dans des conditions acides, la solubilité du cadmium augmente et une légère adsorption de ce métal par des colloïdes de la matrice, des hydroxydes ou de la matière organique peut se produire. A des pH supérieurs à 6, le cadmium est adsorbé par la phase solide ou précipite et les concentrations en solution du cadmium sont fortement diminuées. En zone oxisque (colonne d'eau), ce sont les processus d'adsorption et de désorption sur différents types de fractions particulaires qui contrôlent sa partition dissous-particulaire. Dans les zones anoxiques (colonne sédimentaire) le cadmium est immobilisé sous forme de sulfures particulaires, mais la présence de ligands dissous ayant de fortes capacités complexantes pourrait favoriser une solubilisation non négligeable dans ces milieux appauvris en oxygène

Dans les sédiments, l'adsorption du cadmium est principalement en relation avec les concentrations en carbone organique (Gonzalez J.L *et al.*, 1991).

c. Mercure (Hg)

Le seul métal liquide à température ordinaire, il peut exister sous trois formes différentes : le mercure élémentaire (Hg⁰), les cations mercurieux (Hg⁺) et le cation mercurique (Hg⁺⁺). Dans le milieu aquatique il peut être sous forme dissoute ou particulaire avec la dominance de la forme particulaire (Marchand et Kantin., 1997).

Le mercure est très réactif vis-à-vis des particules en suspension. Il en résulte que les particules en suspension jouent un rôle majeur dans les flux de mercure issus du continent et dans les flux verticaux en zone littorale. (Alzieu C *et al.*, 1999)

Le pouvoir adsorbant du mercure sur les particules en suspension est responsable de la prédominance du mercure sous la forme particulaire. En plus, le mercure a la propriété de former des composés covalents avec le carbone, principalement du méthyl mercurique (CH₃-Hg⁺) et du diméthylmercurique (Marchand et Kantin., 1997).

Les sédiments constituent un réservoir important de contamination mercurielle. C'est donc un compartiment essentiel à prendre en considération pour l'examen de l'impact des rejets de dragages. (Alzieu C *et al.*, 1999)

d. Le zinc (Zn)

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion) (Pichard A *et al.* 2005b).

Le zinc est facilement adsorbé par les minéraux argileux, les carbonates ou hydroxydes (Rollin et Quiot 2006). Il est souvent présent dans de grandes proportions dans les sédiments de dragage (Ammami MT., 2013). Le zinc n'est pas classé dans les listes d'éléments cancérogènes, mais il est toxique pour les végétaux à de fortes teneurs (Sparks DL., 2003). D'après Rollin et Quiot (2006), la précipitation n'est pas un mécanisme majeur de rétention du Zn dans les sols/sédiments à cause de la solubilité élevée des dérivés de Zn.

En tant que métal cationique, l'adsorption du Zn augmente avec le pH. Le zinc s'hydrolyse à $\text{pH} > 7,7$ et les espèces hydrolysées sont fortement adsorbées sur la surface du sédiment.

e. Cuivre (Cu)

C'est un oligo-élément essentiel pour la croissance de la plupart des organismes aquatiques mais il devient toxique à partir d'un certain seuil.

Le cuivre a une toxicité physiologique élevée envers les plantes et les algues à des niveaux modérés, mais peu toxique envers les animaux (Sparks DL., 2003 ; Kabata-Pendias et Pendias 2010).

Le cuivre a une forte affinité pour les minéraux argileux, en particulier ceux riches en carbone organique et les oxydes de manganèse (Erdogan M., 2009).

L'oxyde de cuivre est aussi très utilisé dans la composition des peintures antifouling (Song Y., 2016).

D'après (Erdogan M., 2009), les sédiments les plus pollués ont des teneurs en cuivre qui dépassent 200 $\mu\text{g/g}$.

1.5.5 Sources anthropiques des éléments traces métalliques étudiés

Les sources anthropiques des éléments traces sont représentées dans le tableau suivant :

Eléments traces métalliques	Sources
Cadmium	Engrais phosphatés ; traitement de surface des métaux ; industries de stabilisation des matières plastiques ; fabrication des accumulateurs et des radiateurs automobiles ; fabrication de caoutchouc; colorants eau de ruissellement des voies de circulation.
Mercure	Piles, batteries, tubes fluorescents, industrie chimique du chlore, produits pharmaceutiques ou domestiques ; production et utilisation d'antifongiques, appareils électriques, produits électrolytiques, combustibles fossiles, incinération des déchets
Plomb	Canalisation d'eau, bac de batterie, peintures, additifs pour l'essence, eau de ruissellement des voies de circulation, industries pharmaceutiques et sidérurgiques, télévision et ateliers photographiques
Zinc	Produits pharmaceutiques ou domestiques, conduites d'eau, peinture, piles, galvanisation, traitement de surface.
Cuivre	Canalisation d'eau ; fils électriques ; radiateurs automobiles ; appareils de chauffage ; traitement de surface.

Tableau 3: Sources principales des contaminants métalliques étudiés (Marot F., 1998)

Matériaux de dragage et leur devenir

1 Généralités sur le dragage

1.1 Définition et intérêt de dragage

Le dragage est une technique qui consiste à enlever les boues du fond des ports marins. Les matériaux dragués sont généralement des matières transitées par les forts courants de marées. Suite au phénomène de sédimentation, les boues peuvent atteindre plusieurs mètres par an, selon la situation du port, ceci implique la nécessité d'un entretien permanent afin de ne pas empêcher la navigation dans le port (Mac F., 2004).

Pour éviter l'envasement des ports, le dragage constitue la solution adéquate pour remédier à ce problème. Cette opération a donc pour objet, d'extraire et évacuer les matériaux dragués afin d'assurer le bon fonctionnement des ports et le maintien des activités portuaires. (Mac F., 2004)

Habituellement, le dragage se fait par des moyens mécaniques, comme une benne à traction, une pelle à benne traînante ou une rétro caveuse (Miraoui M., 2010).

En Algérie, il n'existe pas de statistiques des quantités à excaver annuellement car les dragages ne suivent pas un planning établi. On peut seulement dire que près de 10 millions de m³ de sédiment doivent être enlevés pour l'ensemble des ports et seront pour leur plupart immergés. (Belkessa R., 2005)

1.2 Types de dragage

Les conditions écologiques, considérées aujourd'hui très pénibles, ne permettent plus de draguer les ports sans tenir compte des conditions attentives envers l'environnement. A cet effet plusieurs équipements de dragage ont été apparus dans les dernières années pour excaver les sédiments.

Le choix des outils de dragage dépend de plusieurs paramètres, à savoir l'épaisseur de la couche à excaver, l'éloignement du site de dépôt, la qualité tolérée de solides en suspension, la qualité des matériaux dragués, la hauteur d'eau dans les ports et la capacité de l'installation de traitement. On distingue trois types de dragage qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travaux à réaliser :

- **Les dragues mécaniques**

Le principe de fonctionnement de ce type de drague se fait soit par action mécanique d'un godet soit par une benne qui enlève les matériaux, elles sont employées en général pour l'extraction des sédiments graveleux.

- **Les dragues hydrauliques**

Le fonctionnement de ce type de dragues est basé sur le principe de la pompe centrifuge à eau. Ce sont les dragues les plus fréquemment utilisées dans le dragage des ports.

Les dragues hydrauliques présentent l'avantage de faible remise en suspension des sédiments et un rendement élevé par rapport aux autres dragues.

- **Les dragues pneumatiques**

Le matériel est dragué au moyen d'une pompe à air comprimé. Le système comprend des compartiments de réception des matériaux dragués.

Cet équipement est particulièrement bien adapté au dragage des sédiments contaminés.

1.3 Le risque représenté par les opérations de dragage

En 1977 J. Clark caractérisait le dragage comme la menace la plus sérieuse pour les écosystèmes littoraux. Les opérations de dragage posent un problème environnemental car elles favorisent la dispersion des contaminants et donc la bio accumulation. En effet, la solution la plus communément employée pour se débarrasser des sédiments dragués était le relargage en mer (Agostini F., 2006).

Selon Pinet (1999) cité dans un rapport de l'UNESCO (2003), actuellement les sédiments dragués représentent de 80 à 90% (en volume) de tous les matériaux d'origine anthropique immergés dans les océans du globe.

Plusieurs centaines de millions de mètre cubes de sédiments côtiers sont dragués et immergés chaque année dans le monde. La contamination se fait essentiellement par la dispersion des contaminants dans la colonne d'eau et par la mise en contact des matériaux pollués avec des organismes benthiques (Agostini F., 2006).

1.4 Réglementation relative à la gestion des sédiments immergés

1.4.1 Textes généraux

Les sédiments sont considérés comme des déchets à partir du moment où ils sont extraits de leur milieu naturel et issus du processus de dragage (Bel Hadj Ali I., 2014). Dans un contexte de développement durable, les opérations de dragage et la gestion des sédiments dragués sont soumises à des réglementations de plus en plus strictes. Dans certains cas, les sédiments sont si fortement pollués, qu'ils sont considérés comme des déchets dangereux et leur gestion est alors réglementée.

Le principe de protection des espaces maritimes a été adopté en 1972 par la ratification de **la convention de Londres** qui vise à réglementer tous les types d'immersions en mer. De portée universelle, cette convention concerne tous les océans et les mers. D'autres textes de portée moins générale ont également été ratifiés par différents Etats parmi eux l'Algérie, tels que **la Convention de Barcelone** en 1976.

La Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, communément appelée la convention de Londres (1972), est un traité visant la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets. Elle a pour objet de contrôler toutes les sources de pollution des mers et d'encourager les parties à prendre les mesures possibles pour prévenir la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets.

L'article 3 de cette convention, définit l'immersion comme « tout rejet délibéré dans la mer de déchets et autres matières à partir de navires, aéronefs, plates-formes ou autres ouvrages placés en mer ». Cette convention interdit l'immersion de certaines matières (les composés organohalogénés, le Mercure et ses composés, le Cadmium et ses composés, les plastiques non destructibles, le pétrole brut et ses déchets, les déchets radioactifs..), précise les substances et les matières dont l'immersion nécessite des précautions spéciales, énumère les dispositions qui doivent être prises en considération pour établir les critères régissant la délivrance des autorisations d'immersion

La convention sur la protection du milieu marin et du littoral de la Méditerranée, aussi appelée La convention de Barcelone (1976), adoptée une première fois en 1976, puis renforcée et amendée en 1995. Cette convention vise à réduire voire éliminer la pollution dans la zone de la mer méditerranée. Parmi les protocoles élaborés dans le cadre de cette convention on cite : «Protocole relatif à la prévention et à l'élimination de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs ou d'incinération en mer»

Ce protocole a été adopté le 16 février 1976 à Barcelone et entré en vigueur le 12 février 1978. Le 10 juin 1995 le présent protocole a été modifié et enregistré comme : « protocole pour la prévention et l'élimination de la pollution dans la mer méditerranée par immersion effectuées par les navires et aéronefs ou d'incinération en mer ». Mais il n'est pas encore mis en vigueur. Ce protocole contient 15 articles et trois annexes qui traitent :

- Les composés chimiques qui peuvent avoir des effets nuisibles sur l'environnement marin tels que : arsenic, cuivre, le plomb... Le contexte de ce protocole vise à réduire la nocivité de ces substances par des traitements avant leur immersion en mer ainsi de prévenir et réduire la pollution en mer résultant des opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs

1.4.2 Réglementation nationale

La loi n° 03-10 promulguée le 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durables stipule aux articles 52,53 et 55 du chapitre III intitulé «Des prescriptions de protection de l'eau et des milieux aquatiques» section 2 « protection de la mer » :

Art. 52. — Nonobstant les dispositions législatives en vigueur relatives à la protection de l'environnement marin, sont interdits le déversement, l'immersion et l'incinération dans les eaux maritimes sous juridiction algérienne, de substances et matières susceptibles :

- de porter atteinte à la santé publique et aux écosystèmes marins ;
- de nuire aux activités maritimes, y compris la navigation, l'aquaculture et la pêche ;
- d'altérer la qualité des eaux maritimes du point de vue de leur utilisation ;
- de dégrader les valeurs d'agrément de la mer et des zones côtières et de porter atteinte à leur potentiel touristique.

La liste des substances et matières visées dans cet article, est précisée par voie réglementaire.

Art. 53. — Le ministre chargé de l'environnement peut, après enquête publique, proposer des règlements et autoriser le déversement, l'immersion ou l'incinération en mer, dans des conditions telles que ces opérations garantissent l'innocuité et l'absence de nuisance du déversement, de l'incinération ou de l'immersion.

Art. 55. — L'embarquement ou le chargement de tous matériaux, substances ou déchets destinés à être immergés en mer est subordonné à l'obtention d'une autorisation délivrée par le ministre chargé de l'environnement.

1.5 Devenir des sédiments dragués

L'avenir des déblais de dragage pose de nombreuses problématiques, tant d'ordre technique qu'environnemental. Une attention toute particulière doit être portée aux opérations se réalisant à proximité de zones sensibles telles que les réserves protégées. De telles opérations

engendrent un volume considérable de sédiments, et peuvent entraîner des modifications sur l'environnement marin (Coulon F., 2014).

Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, leur niveau de contamination et les risques qu'ils présentent pour l'environnement, les matériaux dragués peuvent être : soit **rejetés en mer par surverse au moment du dragage**, soit **immergé dans les zones autorisées**, soit **déposés à terre en vue d'un stockage ou d'un traitement**.

- Le rejet en mer (Immersion) est l'option la plus retenue partout dans le monde par les gestionnaires des opérations de dragage. En effet, il représente la solution la moins coûteuse. Les coûts ne dépendent que de la distance séparant le site de mise en dépôt et la zone de dragage. Cette solution n'est permise que lorsque les sédiments ont des concentrations en métaux lourds et en polluants organiques inférieures aux seuils d'acceptabilité du rejet en mer fixés par les critères adoptés (Bel Hadj Ali I., 2014).

Le site d'immersion est choisi selon les critères physiques suivants :

- L'éloignement des côtes.
- Profondeur suffisamment importante pour que les sédiments ne soient pas repris par les courants (profondeur 100m et plus).
- Le site d'immersion doit être en dehors des zones d'intérêt écologique et halieutique.

Le choix final de la zone d'immersion est donc une étape importante du dragage. Ce choix découlera de la connaissance physique, chimique et biologique tant du fond marin que de la colonne d'eau, ainsi que de la connaissance des usages des zones concernées. La description de l'état initial dans l'étude d'impact propre aux zones d'immersion devra, par exemple, recenser les zones d'importance halieutique, les zones d'intérêt environnemental, les sites de cultures marines proches, les zones de baignade, les zones de prise d'eau, ainsi que d'une façon générale les zones économiques et de loisirs (Bachouche S., 2010).

- Le dépôt à terre constitue une solution alternative quand l'immersion présente des risques pour des zones sensibles mais il nécessite d'importantes surfaces de stockage. Le stockage à terre des matériaux sableux à des fins de génie civil est fréquemment utilisé. Ces matériaux sont recherchés pour la construction, les remblais ou le rechargement des plages (Alzieu C *et al.*, 1999 ;2003). Toutefois, les textes réglementaires d'admission des déchets en décharge sont pris en considération pour évaluer la dangerosité des sédiments, ils visent la protection de la santé humaine et de l'environnement des effets néfastes de la collecte des déchets, leur transport, traitement, stockage et élimination (Bel Hadj Ali I., 2014).

1.6 Effets globaux du dragage et de l'immersion des sédiments

Plusieurs publications présentent les effets du dragage et de l'évacuation des produits dragués sur l'environnement. Le dragage entraîne des changements au lieu de prélèvements, le long du trajet éventuel vers le site de rejet, ainsi qu'au site de rejet lui-même. Pour ce qui est des impacts sur le milieu naturel proprement dit, nous pouvons identifier les effets principaux suivants (ALZIEU C., 1999 in Coulon F., 2014) :

Effets de nature physique	<p>Accroissement de la turbidité.</p> <p>Modification de la topographie du fond et de l'hydrodynamisme.</p> <p>Modification des caractéristiques mécaniques des sédiments.</p> <p>Modification des équilibres sédimentologiques.</p>
Effets de nature chimique	<p>Modification de la composition chimique de la colonne d'eau (hausse de la concentration de matières en suspension, dispersion de contaminants et d'éléments nutritifs, diminution de la teneur en oxygène dissous).</p> <p>Modification de la composition chimique des sédiments (par oxydation, ou transfert de polluants avec la colonne d'eau).</p>
Effets de nature biologique	<p>Ensevelissement ou perturbation de la faune et de la flore benthique.</p> <p>Etouffement des oeufs et des larves de poissons.</p> <p>Modification des habitats aquatiques.</p> <p>Exposition des organismes à des substances toxiques.</p>

Tableau 4: Effets du dragage de l'immersion des sédiments.

La zone d'étude

Introduction générale du port d'Alger

Le port d'Alger constitue l'un des plus importants ports de marchandise générale avec près de 10 km de quais dont les profondeurs varient de 7 à 11 m et qui assure 27 à 30 % du trafic portuaire en hydrocarbures après Skikda, Arzew (spécialisés en hydrocarbures) et Béjaïa (EPAL, 1999 in Sefsaf C., 2008)

Il constitue un milieu semi-fermé et comprend une importante zone industrielle et commerciale à aire de stockage et de manutention et une zone de pêche et de plaisance. (Bachouche S., 2010)

Le port comprend 37 quais, dont les rejets des activités industrielles dans le port d'Alger y compris le bassin pétrolier, s'effectuent au niveau des abords quais.

1 Historique du port d'Alger

En 1529 : Première construction en bloc naturel du port par le grand Amiral Kheire -Eddie

De 1830 à 1865 : Durant la colonisation française :

- Construction du bassin du vieux port qui comprenait : la jetée Nord, l'actuelle grande jetée Kheir-Eddine, la jetée du Sud (dite du large) ;
- les rampes reliant les quais à la ville,
- deux formes de radoub,
- gare et voies ferrées.

De 1870 à 1914 : (Laama C., 2009)

- Fermeture de la passe Est
- Prolongement de la jetée Nord sur 40 m et élargissement sur 100 de la jetée Est
- Agrandissement du port vers le Sud-Est
- Construction du môle reliant l'îlot Al Djefna au rivage
- Construction d'un escalier passerelle d'accès du boulevard Carnot aux terre-pleins du vieux port
- Élargissement du môle Amiral-Mouchez et construction d'un musoir à la passe Sud du vieux port
- Construction du bassin de l'Agha

De 1914 à 1940 : Construction du bassin Mustapha qui est séparé du bassin de l'Agha par le grand môle Bologhine et par une passe de 100 m.

De 1950 à 1953 : Construction de la gare maritime au môle El Djazaïr.

De 1961 à 1963 : Construction du môle Skikda.

En 1962 : Après la révolution, le port a connu un trafic très important et a pris un place prépondérante.

De 1987 à 1988 : Comblement de la darse de Calvi et réalisation d'un appontement en duc d'Albe et de six rampes Ro/Ro.

En 1988 : Prolongement de la jetée Mustapha (700 m de longueur).

De 1994 à 1998 : Construction du Terminal à conteneurs d'une superficie de 17,5 ha sur la jetée Mustapha, il comprend un bâtiment administratif, de manutention, un parc d'engins, un atelier de maintenance et un poste de contrôle.

2 Situation géographique du port d'Alger

Le port d'Alger est construit dans la partie ouest de la baie d'Alger, ouvert sur la méditerranée sur une longueur de 15 km, protégé des houles Nord-Ouest et Ouest, par le cap Caxine et le mont de Bouzaréah

Ses coordonnées sont : 3° 3' 44" et 3° 4' 1" 66' longitude Est

et 36° 45' 44" et 36° 47' 43" latitude Nord

Le port se dresse au pied du massif de Bouzaréha, il est délimité par la jetée de kheiredine au Nord, par la brise-lame Est et la jetée de Mustapha au Sud-Ouest, par la ville d'Alger à l'Ouest, et par la Méditerranée à l'Est.



Figure 2 : Situation géographique du port d'Alger (Koroghli A., 2010)

3 Accès au port

a. Accès maritime

L'accès se fait par deux entrées :

Passé Nord : avec 176 m de largeur et 22 m de profondeur permet l'accès au vieux port, situé entre la jetée nord et l'épi sud de la jetée Agha

Passé Sud : permet l'accès au bassin Mustapha, située entre l'épi transversal de la jetée Mustapha et le brise-lames Est 240 m de largeur et 16 m de profondeur.

b. Accès terrestre

Il se fait grâce à un réseau routier reliant le port d'Alger avec l'intérieur

4 Ouvrages de protection (composition du port)

Le port comprend cinq digues artificielles construites sur des fonds sablonneux, d'une longueur totale de 6km dont deux prennent racine perpendiculairement à la côte et trois sont disposées en ligne brisée formant un brise-lame de 2,6 Km parallèle à la côte.

Elles sont fondées en moyenne à des profondeurs de 20 m à l'exception de la jetée Kheir-Eddine où les fonds peuvent atteindre 36 m vers le musoir.

Le port est constitué de 37 quais d'accostage, ces quais sont construits suivant des môles successifs allant d'Ouest en Est dont la profondeur varie de 5 m à 12 m (Mechekef Y., 2009).

Le linéaire total de ces quais est de 9655 m (Belkessa R.,2005)

a. Jetées et brise lames

- **Au Nord** : la jetée Kheir -Eddine de 200 ml ;
- **Au Nord-Est** : La jetée Nord enracinée dans l'îlot de la marine de 700 ml et prolongée par la jetée Watier de 600 ml ;
- **À l'est** : la jetée de l'Agha de 600 ml ;
- **Au sud-est** : la jetée Butavand et la jetée Mustapha de 1.300 ml ;
- **Au sud** : le brise-lames Est de Mustapha de 1.000 ml.

b. Les bassins (Sefsaf C., 2008)

Le plan d'eau abrité par ces ouvrages est de 184 hectares pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de 11m est subdivisé en 03 bassins successifs :

- Bassin du vieux port 75 ha ;
- Bassin de l'agha 35 ha ;
- Bassin de Mustapha 74 ha.

La surface de terres pleines est de 126ha

o Bassin du « vieux port »

75 ha avec un plan d'eau de -7 à -19 m, en relation avec la baie par la passe Nord, il comprend :

- un môle de pêche ;
- môle n° 1 et 2 réservé au trafic de marchandises ;
- môle de Guelma réservé au stockage du fuel et des navires ;
- quai n° 11 occupé par le trafic de passagers (gare maritime) ;
- quai n° 12 capitainerie du port avec une station de remorquage ; et
- quai n° 13 destiné à la réparation navale à flot.

o Bassin de « l'Agha »

35 ha, le plus petit, avec un plan d'eau de -6 à -12 m de profondeur, en relation avec le bassin Mustapha et le bassin du vieux port.

Il représente la partie centrale du port avec deux môles (5 et 6) destinés aux navires marchands avec des entrepôts couverts ou non couverts de quai.

o Bassin de « Mustapha »

75 ha avec un plan d'eau de -7 à -15 m de profondeur, il communique avec la baie par la passe Sud. Il possède deux môles (n° 7 et 8) ainsi qu'un port pétrolier au quai n° 37 et l'implantation d'importantes unités industrielles et aussi une intense activité portuaire. Le bassin de Mustapha est celui où le volume des eaux usées et la charge polluante de ces eaux sont au maximum.

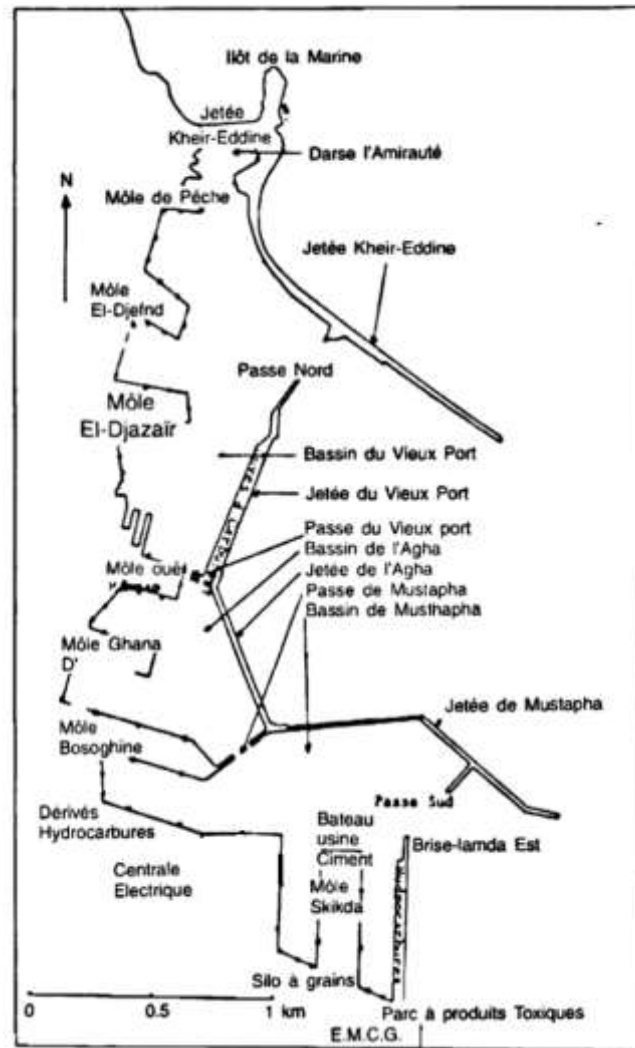


Figure 3 : Carte des ouvrages du port d'Alger (Rebzani-Zahaf C., 1990) (modifiée)

5 Pollution dans le port d'Alger

La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution. Ces eaux usées sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes ; génèrent des pollutions organiques et chimiques ; cette situation est aggravée par l'absence de traitement des eaux (Houma F et coll., 2004)

L'état de pollution dans le port d'Alger se caractérise par deux gradients : le premier qui affecte les fonds des darses en s'étalant vers les bassins, le second part du bassin Mustapha qui est le plus pollué à travers le bassin Agha pour atteindre le bassin du vieux port (LEM, 2007). Les rejets qui s'effectuent dans le port sont essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles.

Selon (Bakalem et Romano, 1981) l'augmentation constante du flux de pollution liée au développement urbain de l'agglomération algéroise et aux activités croissantes des unités industrielles qui entraînent au niveau du port d'Alger (milieu semi-fermé) une détérioration du milieu, dont les répercussions tant sur le plan qualitatif, que quantitatif se font nettement sentir sur la macrofaune des fonds meubles.

6 Sources de pollution au port d'Alger

La pollution au port d'Alger est due essentiellement à l'influence directe de la ville d'Alger où convergent les rejets urbains ; la décharge directe des bateaux (les eaux de ballastes) ; l'intensité du trafic maritime ; la concentration importante des polluants métallique ; les densités des activités industrielles ; et le nombre impressionnant de rejets par les unités industrielles sans se munir d'une station d'épuration.

6.1 Les unités industrielles

○ Les installations de réparation navale

Il existe deux formes de Radoub (la grande forme & la petite forme) destinées à la réparation navale et exploitées par l'ERENAV qui dispose d'un ensemble d'ateliers au niveau du quai N° 16.

Ces deux ouvrages font face au quai N° 13 qui est exploité par la marine nationale au même titre que le quai 14 et 15.

Il existe des cales de halage au niveau :

- de la darse de l'amirauté relevant de la marine nationale entre le môle de la santé et le môle de pêche (pour les pêcheurs)
- au niveau de la capitainerie (pour les chalutiers)

○ Unités d'hydrocarbures :

Il existe 03 unités de bitume implantées à l'intérieur du port et reliées par des pipes aux quais de réception N° 26 et 36 :

- 1 unité de bitume de Naftal située à l'arrière quai 26 d'une capacité de stockage de 7000 tonnes.

- 1 unité de bitume d'ETRHB Haddad située à l'arrière quai 26 d'une capacité de stockage de 3700 tonnes (ELIROWA).
- 1 unité de bitume d'ETRHB Haddad située au quai 36 d'une capacité de stockage de 7850 tonnes.

Il existe une unité de fuel et Gasoil exploité par Naftal Marine située e à l'arrière quai 26, reliée par des pipes au quai 26 pour la réception des hydrocarbures.

○ **Huileries :**

L'entreprise des corps gras COGRAL exploite actuellement 03 unités de production situées à l'arrière des quais 32 et 36. Ces trois unités occupent une superficie totale de 6,5 ha.

○ **Silo à céréales vertical :**

Situé au quai 35/1, le silo à céréales qui est exploité par l'OAIC, est d'une capacité de stockage de 30 000 tonnes et équipé de 02 portiques à pompes suceuses pour le déchargement des céréaliers. Il occupe une surface totale de 8500 m².

○ **Centrale électrique :**

Il existe une Centrale électrique à l'arrière quai 26 dont l'exploitation relève de la Sonelgaz. Cette installation qui fournit de l'énergie électrique à la capitale s'étend sur une superficie de 22 400 m.²

○ **NAFTEC:**

NAFTEC est une filiale de Sonatrach spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers.

○ **Atelier EGER Marine:**

L'atelier est spécialisé dans la construction et réparation des Navires, Travaux maritimes, hydrauliques et fluviaux.

Carte d'occupation du port d'Alger

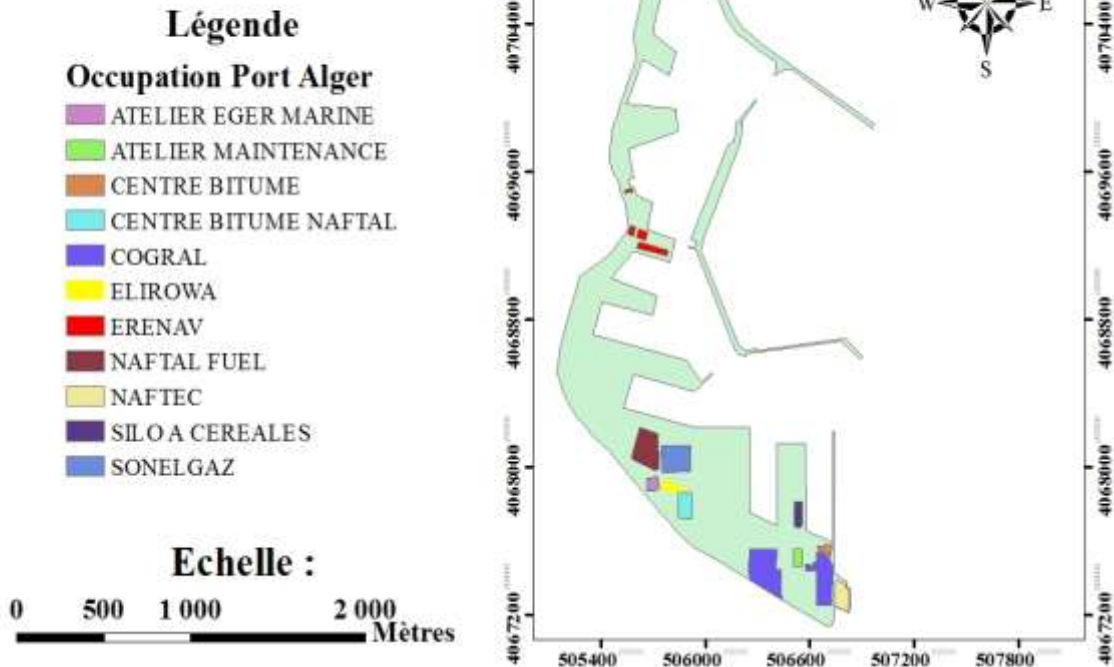


Figure 4 : Carte d'occupation du port d'Alger par les unités industrielles causant une source de pollution (Hechaichi, Zerouali, 2016)

6.2 Les rejets urbains

Il existe 34 émissaires urbains de différentes sources selon (Grimes S., 2010) qui aboutissent dans le port d'Alger (tableau 5)

Les eaux usées industrielles portuaires renferment des déchets provenant de l'industrie des corps gras et des silos à blé, des hydrocarbures résultant de l'activité des unités de transformation, transport et stockage des hydrocarbures, des produits chimiques divers (peintures, métaux lourds, produits anti-fouling) provenant de différentes industries (chantier naval, aires de stockage, centrale thermique).

Numéro de quai	Nombre de rejets
Darse de l'amirauté	Huit rejets
N° 04	Trois rejets
N° 08	Deux rejets
N° 12	Deux rejets
N° 17	Deux rejets
N° 21	Deux rejets (eaux domestique et pluviale)
N° 24	Trois rejets (eaux usées et pluviales du port)
N° 25	Un seul rejet
N° 26	Deux rejets (les eaux de refoulement de la central électrique – sonelgaz —)
N° 31	Quatre rejets
N° 32	Quatre rejets (les huiles, savonneries et eaux usées)
N° 36	Un seul rejet de l'entreprise nationale des corps gras

Tableau 5 : Les points de rejets dans le port d'Alger (Grimes S., 2010).

7 Données météorologiques

Les données météorologiques sont fournies par l'Office National de Météorologie (ONM) qui s'étalent sur six ans (de 2002 jusqu'à 2008) sur une, Altitude : 09 m, Latitude : 36° 46 N Longitude : 03° 06 E.

a. Pluviométrie

L'histogramme montre une fluctuation des pluies moyennes mensuelles, on remarque une période pluvieuse s'étalant généralement d'Octobre au mois de Mars, dont le maximum de pluies se situe au mois d'octobre et novembre. Alors que, la période de faible pluviosité s'étale de juin à août avec un minimum enregistré au mois de juillet.

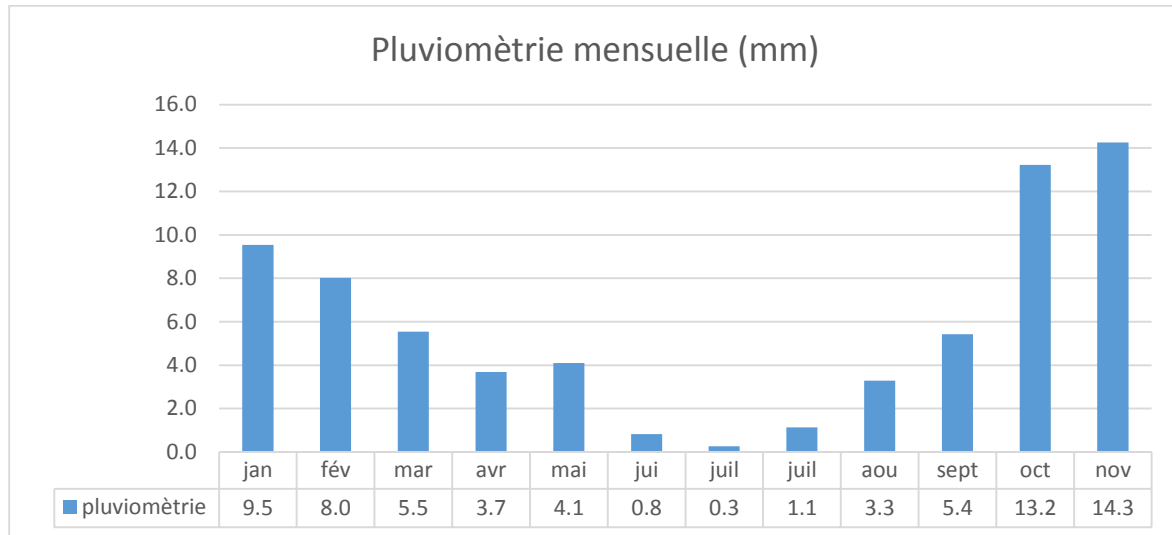


Figure 5 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle des précipitations enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)

b. L'évaporation

Les données de l'évaporation sont enregistrées sous l'abri par évaporomètre Piche, ces données montrent qu'il y a une faible variation entre les mois, d'où on remarque que le mois d'Aout correspond l'évaporation maximale, et le mois de janvier relève l'évaporation minimale. Ceci est relié avec la température mensuelle.

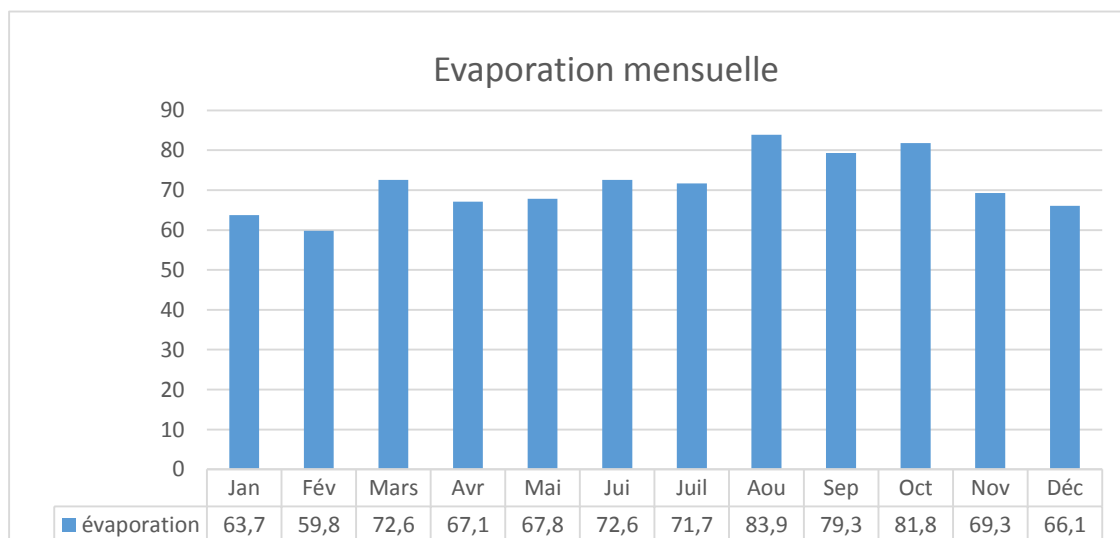


Figure 6 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle de l'évaporation enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)

c. La température

L'ONM a enregistré dans la région du port d'Alger les températures moyennes de l'air en °C (2002-2008). L'histogramme montre que la température maximale est enregistrée durant la période estivale pour les deux mois juillet et août (25,8 °C, 26,5 °C), et la température minimale est relevée en mois de Janvier (13,5 °C).

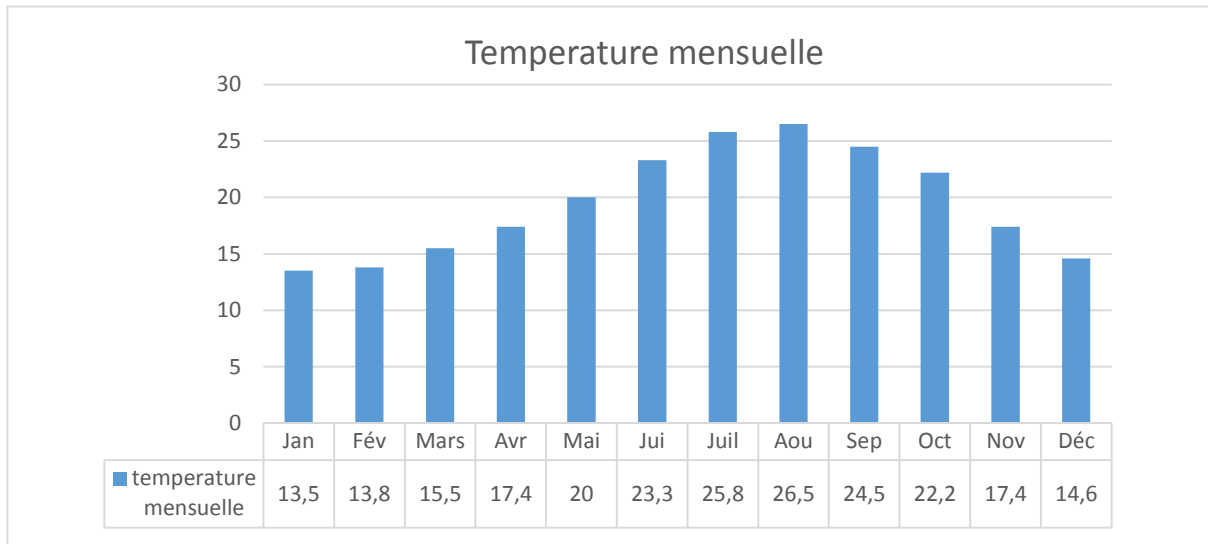


Figure 7 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle de la température enregistrée au port d'Alger (2002-2008) (ONM, 2016)

d. Les vents

L'analyse du régime des vents à la côte a été réalisée par l'ONM, nous avons exploité les enregistrements de la station de Dar El Baidha durant la période (1994-2013). L'analyse statistique de ces données a permis de tracer les roses annuelle et saisonnières des vents. Ces données démontrent une répartition similaire pour la rose annuelle et les quatre saisons. Les vents dominants proviennent du secteur Nord Est avec des fréquences d'apparition respectives de 65 % annuellement, 75 % durant l'hiver et 54 % durant l'été.

- Les vents avec des vitesses pouvant atteindre les 20 m/s apparaissent pendant l'hiver.
- Les vents avec des vitesses qui ne dépassent pas les 15 m/s sont rares et apparaissent surtout pendant les trois autres saisons (Automne, Printemps et Été). (Voir annexe I : rose des vents)

8 Caractéristiques hydrodynamiques

a. Circulation des eaux dans le port

La circulation des eaux établie par [Rebzani-Zahaf \(1999\)](#), montre des entrées d'eau dans l'enceinte portuaire qui viennent de la baie et se localisent au niveau des passes Nord et Sud du port, les eaux circulent dans les bassins du nord vers le sud et vice versa. La circulation est plus intense dans le bassin du vieux port contrairement au bassin Mustapha et l'Agha.

b. Les courants

Selon ([Koroghli A., 2010](#)) dans la baie ils existent des courants qui atteignent le port, ce sont :

- **Le courant de dérive littorale** : Les houles à incidences obliques sont les génératrices de ce courant, mais ils n'affectent le port que si les houles sont de direction Nord ou Nord-Est
- **Le courant de retour** : Résulte d'un écoulement des eaux superficielles poussées par le fond. Ce courant est induit par des houles d'incidences frontales ; leurs vitesses sont suffisantes pour éroder le fond et transporter les particules mises en suspension dans l'eau, vers le large. Il est ainsi responsable d'une grande partie de l'érosion côtière, et de l'amaigrissement des jetées portuaires.

Le port d'Alger est également affecté par le phénomène des seiches qui sont des oscillations de longues périodes pouvant atteindre 3 mn. Ces seiches sont le résultat du groupement des houles hors de leur propagation du large jusqu'au musoir du port.

9 Caractère bathymétrique et sédimentologie

a. La bathymétrie du port

Les travaux réalisés par [Belkessa \(2005\)](#) ont permis d'avoir une bathymétrie générale sur tout le plan d'eau du port d'Alger :

- Dans le bassin du vieux port, la profondeur moyenne est de 12.5 m avec des maximums enregistrés au niveau de la passe Nord (28m) et avec des minimums au niveau du môle de Guelma (8m à 11 m). Les profondeurs tendent à diminuer rapidement en allant vers le môle de pêche et l'intérieur du port.
- Dans le bassin de L'Agha, les profondeurs sont moins importantes et se situent entre 7.5 m et 10 m. Les darses connaissent les profondeurs les plus réduites (3 m à 8 m).
- Dans le bassin de Mustapha, les profondeurs se situent entre 10 m et 13 m avec des profondeurs les plus élevées au niveau du bassin (14 m), les darses 6, 8 et 9 présentent des petites profondeurs notamment aux abords quais (4 m à 8 m).

- La passe Sud par contre est légèrement obstruée et les profondeurs sont largement moins importantes que celles de la passe Nord.

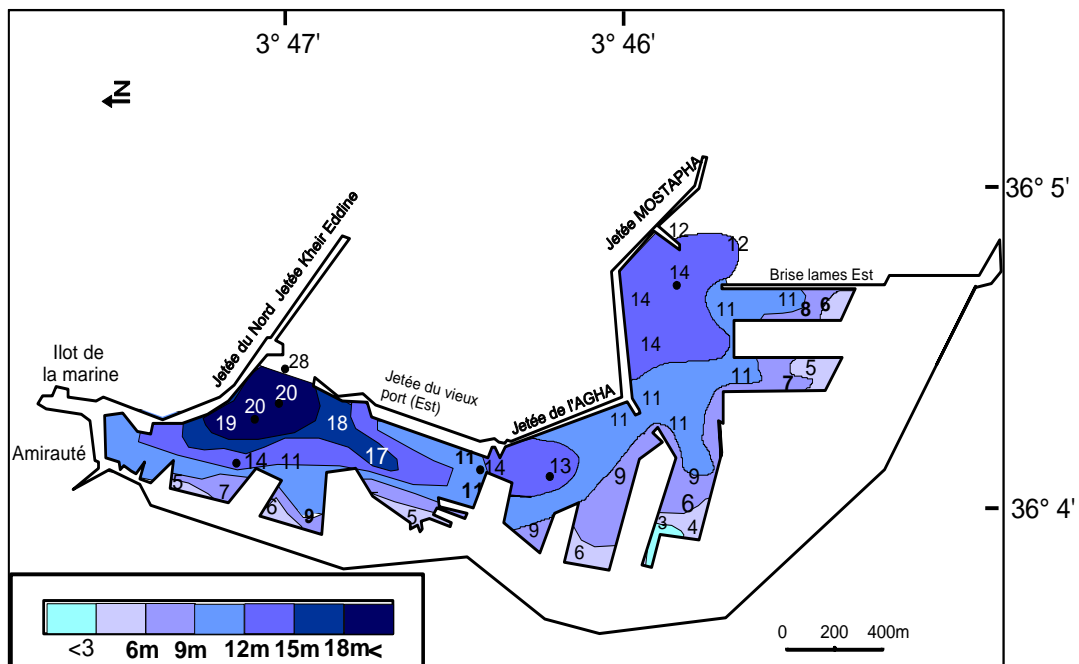


Figure 8 : Bathymétrie du port d'Alger (Belkessa R., 2005)

b. La sédimentologie du port

Leclaire (1972) a déterminé la nature des sédiments de la côte algéroise et caractérise trois principaux faciès qui influenceraient en outre le sédiment des milieux portuaires ; il s'agit des :

- Sables et sablons siliceux rencontrés aux faibles profondeurs ;
- Faciès à boues silico-argileuses plus au large ;
- Boues silico-argileuses et argilo-siliceuses.

Les travaux de Belkessa R. (2005) effectués sur le port d'Alger montrent un granoclassement décroissant en allant du vieux port vers le bassin Mustapha. . Les sables moyens sont retrouvés dans le bassin du vieux port. Les sables grossiers se cotonnent dans les darses 2 et 3 Tout le reste du port est parsemé de sables fins. Les sables très fins sont retrouvés au niveau de la passe Sud.

Matériel et Méthodes d'analyse

Dans ce chapitre on s'intéresse aux analyses des paramètres suivants :

- ✓ **Les paramètres physico chimiques in situ :**
 - pH, Salinité, Température, Conductivité ;
- ✓ **les paramètres indicateurs de pollution :**
 - Oxygène dissous (in situ), Matière en suspension dans l'eau, Matière Organique Particulaire dans l'eau, Matière Organique dans le sédiment,
- ✓ **la granulométrie par tamisage ;**
- ✓ **la calcimétrie ;**
- ✓ **les contaminants chimiques organiques/inorganiques :**
 - les Hydrocarbures Aromatique Polycycliques (HAP), les Métaux Lourds (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn).

1 Localisation et choix des stations

Les travaux en mer ont été réalisés à bord de l'embarcation : « ZAKARI AL70 ».

Les prélèvements ont été effectués lors de la sortie qui s'est déroulée le 24 avril 2016, dans des stations positionnées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) sur une carte géographique du port. Le nombre de station étudiées est de sept avec 14 échantillons y compris le réplica (voir annexe II : Fiche technique : sortie en mer)

Le choix des stations a été décidé par rapport à certains critères de façon à couvrir **toutes les darses du port d'Alger** ; D'après (Belkessa R., 2005) ce sont surtout **les darses** qui sont concernées par une opération de dragage, en effet les darses connaissent **les profondeurs les plus réduites** suite au phénomène d'envasement ce qui empêche la navigation dans le port. Ces zones sont aussi caractérisées par **un trafic maritime intense** et sont exposées directement aux **rejets** de natures et d'origines différentes. Ces critères de choix nous ont permis de cibler nos stations de prélèvement.

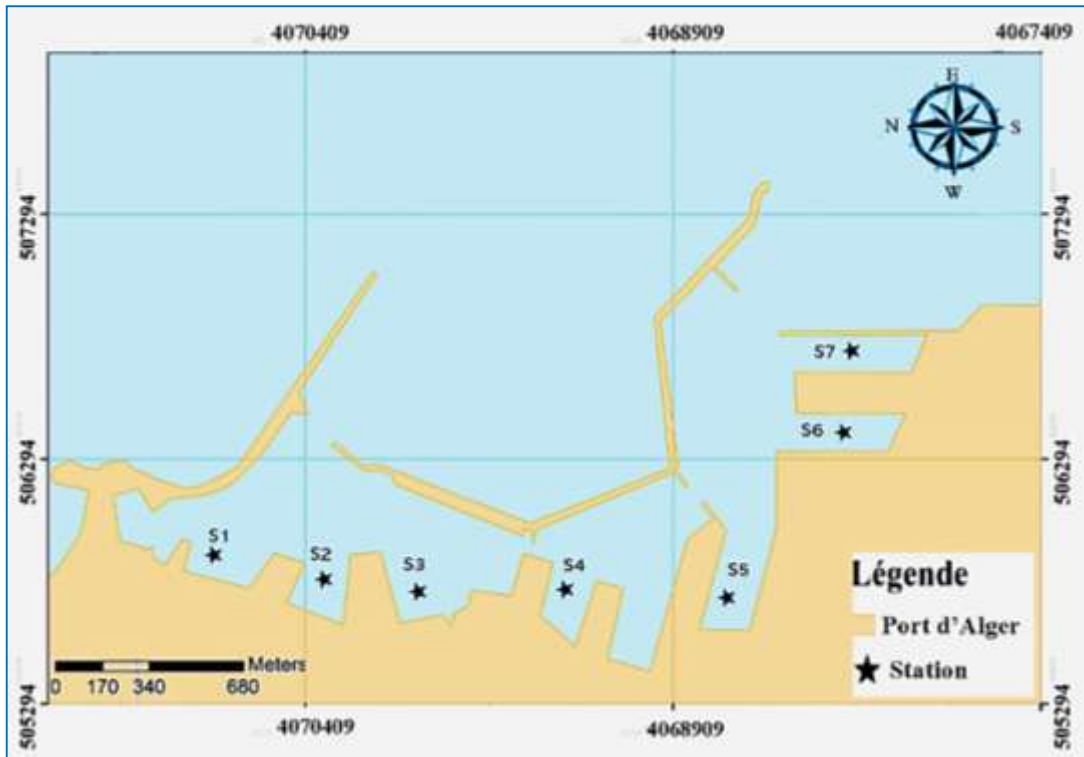


Figure 9 : Localisation des stations de prélèvement au niveau du port d'Alger

2 Prélèvement et échantillonnage

2.1 Préparation des matériels

Avant d'effectuer la sortie, la verrerie et le matériel destinés au prélèvement ont été préparés, nettoyés et conditionnés.



Figure 10 : Préparation des matériels de sortie

2.2 Prélèvement d'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués l'aide d'une bouteille Niskin, à une profondeur qui varie entre 1 à 3 m sous la surface de l'eau de mer.

L'échantillonnage a été effectué dans des flacons en polyéthylène d'une contenance de 250 ml étiquetés, destinés aux analyses des paramètres physico-chimiques, la matière en suspension et la matière organique particulaire. Ensuite ces flacons ont été mis à l'abri dans une glacière à + 4 °C.

2.3 Prélèvement du sédiment

Les prélèvements du sédiment ont été effectués à l'aide d'une benne inoxydable « van veen ».

Les sédiments destinés à l'analyse des hydrocarbures sont récoltés par des spatules en métal inoxydables et sont mis dans des boîtes de pétri en verre préalablement conditionnées et étiquetées.

Les sédiments destinés à l'analyse granulométrique et des métaux lourds, sont récoltés par des spatules en plastique et mis dans des sachets en plastiques traités auparavant et étiquetés.

Les échantillons sont immédiatement placés au frais dans une glacière et transportés au laboratoire de l'ENSSMAL.



Figure 11 : Les prélèvements lors de la sortie en mer

3 Analyses des paramètres

3.1 Mesure in situ des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques : pH, Salinité, Température, Oxygène dissous, Conductivité ; sont mesurés in situ à l'aide d'une valise multi paramètres HANNA HI 9828 pH/ORP/DO

L'appareil a été calibré avant son utilisation afin d'obtenir un comportement fidèle lors des différentes mesures, il mesure la température en degré Celsius avec une précision de ± 0.15 °C, la Salinité en PSU avec une exactitude ± 2 %, et il mesure l'oxygène dissous en mg/l ou bien en % avec une exactitude de ± 1.5 % à ± 3 %.

3.2 Analyses au laboratoire

A. Analyse de l'eau de mer

1 Analyse de la matière en suspension

1.1 Principe de la méthode

Cette méthode définit les matières en suspension (MES) comme étant les résidus retenus sur une membrane filtrante de 0.45 μm de porosité nominale après séchage à 105 °C, la différence du poids (avant et après filtration) permet d'avoir la masse sèche de MES dans le volume filtré (Aminot, et coll., 1983)

1.2 Matériels et Appareils

- Un dispositif de filtration sous vide.
- Des membranes filtrantes Fioroni ($\text{Ø} = 0,7\mu\text{m}$).
- Une étuve de type MEMMERT à 105 °C.
- Un dessiccateur contenant du gel de silice.
- Une balance de précision de type KERN ABS220-4N (dont la sensibilité est de 10^{-5} g).
- Pincettes en acier inoxydable, éprouvettes graduées de 100 ml, portes filtres avec couvercle.

1.3 Mode opératoire

Un échantillon représentatif de (100 ml) est filtré à travers une membrane filtrante en fibre de verre ayant une porosité de 0,7 μm , préalablement traitée et pesée à sec. Les matières retenues sur le filtre après filtration sont séchées à 105 °C pendant 2 heures puis pesées avec le filtre. (Figure 12).

Remarque : des filtres de porosité de 0,7 μm ont été utilisés lors de la manipulation au lieu 0,45 μm , par faute de moyens.



Figure 12 : La pesée des filtres contenant les MES

1.4 Calcul et expression des résultats

La masse de matières en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés (P2) et la masse initiale du filtre (P1), tout en tenant compte du volume filtré.

La détermination de la concentration de la matière en suspension est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (\text{P2} - \text{P1}) \times 1000/\text{VF} \dots\dots \text{IV (1)}$$

P1 : Poids du filtre avant filtration de l'échantillon (g).

P2 : Poids du filtre après la filtration de l'échantillon (g).

V_F : Volume d'eau filtrée en litres (l).

2 Analyse de la matière organique particulaire

2.1 Principe de la méthode

L'analyse de la M.O.P consiste à incinérer les filtres issus de la mesure de MES contenant les résidus sèches dans un four à moufle à 450 °C pendant deux heures afin d'éliminer toute trace de la matière organique (Rodier J., 1984).

2.2 Matériels et Appareils

- Creusets en porcelaine
- Filtres contenant la matière en suspension

- Une balance de précision de type KERN ABS220-4N (dont la sensibilité est de 1/10000 g).
- Four à moufle de type WiseTherm
- Pince, dessiccateur.

2.3 Mode opératoire

- Peser les creusets à vide préalablement nettoyés et numérotés au crayon sur la face rugueuse
- Peser les creusets munis du filtre contenant la matière en suspension (P3).
- Mettre les creusets dans le four à moufle de type WiseTherm
- Laisser refroidir au dessiccateur.
- Peser une seconde fois (P4).



Figure 13 : Les étapes de la mesure de la MOP

2.4 Calcul et expression des résultats

La masse de matières organique brûlée est obtenue en faisant la différence entre la masse du creuset contenant le filtre avant et après calcination :

$$[\text{M.I.P.}](\text{mg/l}) = (\text{P4} - \text{P3}) \times 1000 \dots \dots \text{IV (2)}$$

P3 : Poids du creuset avec le filtre avant calcination.

P4 : Poids du creuset avec le filtre après calcination.

La concentration de la matière organique particulaire MOP est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{M.O.P.}](\text{mg/l}) = \text{MES} - \text{MIP} \dots \dots \text{IV (3)}$$

B. Analyses du sédiment

1 Analyse de la matière organique

1.1 Principe de la méthode

La matière organique peut être analysée par différentes méthodes, la plus connue est la perte au feu, cette dernière permet de mesurer directement la matière organique après avoir calciné les sédiments (préalablement séché) à une haute température. La perte du poids représente le taux de la matière organique.

1.2 Matériels et appareillage

- Creusets en porcelaine préalablement numérotés et nettoyés
- Balance de type KERN ABS220-4N (dont la sensibilité est de 10^{-5} g).
- Four à moufle de marque WiseTherm
- Pinces, spatules

1.3 Mode opératoire

- Lyophiliser les échantillons pour éliminer l'eau dans les sédiments.
- Peser les creusets à vide préalablement nettoyés et numérotés (P_0).
- Peser les creusets avec l'échantillon broyé (P_1).
- Mettre les creusets au four à moufle à $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures.
- Retirer les creusets à l'aide d'une pince.
- Laisser refroidir les creusets et les mettre à l'abri pour éviter la perte des cendres.
- Mettre les creusets au dessiccateur pour absorber l'humidité.
- Peser les creusets (P_2).

1.4 Calcul et expression des résultats

La masse de matières organique brûlée est obtenue par l'expression suivante :

$$\%MO = \frac{((P_1 - P_0) - (P_2 - P_0))}{(P_1 - P_0)} \times 100 \dots \text{IV (4)}$$

% MO : pourcentage de la matière Organique

P_0 : Poids du creuset vide (g)

P_1 : Poids du creuset final (g)

P_2 : Poids du creuset contenant les cendres (g)

2 Analyse granulométrique

2.1 Principe de la méthode

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques : poids, taille,... il existe plusieurs types d'analyse granulométrique, dans notre étude on s'intéresse à l'analyse granulométrique par tamisage

Cette méthode consiste à faire passer l'échantillon à travers une série de tamis de différentes mailles normalisées classées en ordre décroissant, la dimension de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon. Ensuite peser le refus de chaque tamis. A partir des normes de tamisage on pourra déduire les différentes classes du sédiment analysé.

2.2 Matériels et appareillage

- Série de Tamis série AFNOR (norme NF X 11-501 : dont les mailles sont respectivement (5000 µm, 2500 µm, 2000 µm, 1600 µm, 1000 µm, 800 µm, 630µm, 500µm, 400µm, 315µm, 250µm, 200µm, 160µm, 125µm, 100µm, 80µm, 63µm, 50µm, 40µm.).
- Etuve ventilée de marque MEMMERT.
- Balance de précision de type ADVENTURER (de 1/100g)
- Colonne vibrante de marque RETSCH.
- Grandes boîtes de pétries en verre.

2.3 Mode opératoire

- Sécher les échantillons à 105 °C pendant 24 h dans des boîtes de pétries
- Peser 150g de chaque échantillon (P1).
- Laver l'échantillon sous le robinet à l'aide d'un tamis de 40 µm et agiter manuellement (pour éliminer la fraction pélitique).
- Sécher à nouveau l'échantillon lavé, à 105 °C pendant 24 h.
- Repeser l'échantillon après séchage P2 (pour déterminer la **quantité de fraction pélitique**).

Le taux des pélites est déterminé par l'expression suivante :

$$P \% = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \dots \dots \dots \text{IV (5)}$$

P1: Poids initial de l'échantillon.

P2: Poids sec de l'échantillon après rinçage.

- Tamiser sur une colonne vibrante pendant 10 min.

- Peser les refus de chaque tamis.



Figure 14 : La pesée du refus du tamis

2.4 Les paramètres et indices granulométriques

2.4.1 Les paramètres centraux ou de position

2.4.1.1 La médiane

La médiane est un paramètre clé, il correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50 % du poids total du sédiment échantillonné, elle est déduite aussi à partir de la courbe cumulative. La médiane est aussi le deuxième quartile Q_2 .

2.4.1.2 Les quartiles

- **Le 1^{er} Quartile Q_1** : Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.
- **Le 2^{ème} Quartile Q_2 (Médiane)** : est la taille pour laquelle il y a 50 % du matériel de taille supérieure et 50 % en dessous.
- **Le 3^{ème} Quartile Q_3** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment.

On peut grâce à ces paramètres définir quelques rapports

Diamètre du grain	Classification
< 110 µm	Sable très fin
110-150 µm	Sable fin
150-200 µm	Sable moyen
200-500 µm	Sable grossier
>500 µm	Sable très grossier

Tableau 6 : Classification des grains de sables (Folk et Ward, 1954)

2.4.2 Les indices granulométriques

Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont : la taille moyenne du sédiment (Mz), l'indice de triou de classement (So), et indice d'asymétrie (Sk)

2.4.2.1 L'indice central MZ

Cet indice nous permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments.

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \dots \dots \dots \text{IV (6)}$$

D'où $\Phi = -\log_2 D$

Valeur de Mz	Taille moyenne du grain
$MZ < -6$	Galet
$-6 < MZ < -2$	Granule
$-2 < MZ < -1$	Sable très grossier
$-1 < MZ < 0$	Sable grossier
$0 < MZ < 1$	Sable moyen
$1 < MZ < 2$	Sable fin
$2 < MZ < 3$	Sable très fin
$3 < MZ < 3,98$	Vase

Tableau 7 : Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain (Folk et Ward, 1954)

2.4.2.2 L'indice de classement S0

Cet indice nous permet d'étudier le classement des sédiments. Il indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (Chamley, 1987)

- Le starting de Trasca : $S_0 = (Q_{75}/Q_{25})^{1/2} \dots \dots \dots$ IV (7)
- Folk et Ward : $S_0 = [(\phi_{84} - \phi_{16})/4] + [(\phi_{95} - \phi_5)/6,6] \dots \dots \dots$ IV (8)

Valeur de S_0	[1 — 1,5]] 1,5 — 2,5]] 2,5 — 3,5]] 3,5 — 4,5]	> 4,5
Classement	Très bien classé	Bien classé	Normalement classé	Faiblement classé	Mal classé

Tableau 8 : Les valeurs adoptées pour S_0 représentant les types de classement (Folk et Ward, 1954)

2.4.2.3 Le coefficient d'asymétrie S_k (Skewness)

Le coefficient de skewness exprime la symétrie par rapport à la médiane. Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers le grossier, ou vers le fin. S'il est égal à 1, le mode qui est le sommet de la courbe de fréquence, coïncide avec le diamètre moyen. Si l'asymétrie est supérieure à 1, le classement est maximal du côté grossier ; au contraire, si elle est inférieure à 1, c'est du côté fin. Plus ce coefficient est loin de l'unité, plus le mode est loin du diamètre moyen, ainsi l'asymétrie reflète aussi bien le milieu de dépôt que les conditions de transport.

- Le Skewness de Trasca : $S_k = (Q_{25} * Q_{75}) / (D_{50})^2 \dots \dots \dots$ IV (9)
- Folk et Ward : $S_k = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{95} + \phi_5)) \dots \dots \dots$ IV (10)

La valeur de S_k	L'asymétrie
$S_k < 1$	Classement maximum vers les fines
$S_k = 1$	symétrie est parfaite
$S_k > 1$	Classement maximum vers le grossier

Tableau 9 : Les valeurs adoptées pour le S_k représentant l'asymétrie du sédiment

3 Etude Calcimétrique

3.1 Principe de la méthode

La calcimétrie permet de connaître la teneur en carbonate de calcium, ce dernier peut servir comme étant outils stratigraphique. Elle donne des indications sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques.

Cette méthode détermine le pourcentage de la fraction carbonatée contenue dans le sédiment, elle donne le volume de dioxyde de carbone dégagé sous l'action d'attaque d'acide chlorhydrique en excès pour un échantillon préparé. Le calcaire $CaCO_3$ réagit avec le HCl pour donner le dioxyde de carbone (CO_2), H_2O et dichlorure de calcium ($CaCl_2$). Ce qui n'est pas attaqué par l'acide chlorhydrique HCl est constitué par des éléments insolubles non organogènes. Le volume de CO_2 est mesuré dans un tube manométrique après l'attaque de l'échantillon par le HCl suivant la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO_2 à partir leur réaction avec H_2O selon la réaction suivante :



Le but de cette manipulation est de calculer le pourcentage de $CaCO_3$ dans les échantillons étudiés, cela se fait en comparaison avec un échantillon témoin de carbonate pur (100 % $CaCO_3$)

3.2 Matériels et réactifs

- Balance électronique de type ADVENTURER (dont la précision est de 1/100 g)
- Calcimètre de Bernard
- Boîtes de pétri, erlenmeyer, cuve.
- Etuve
- Solution saturée en chlorure de sodium (NaCl)
- Acide chlorhydrique (HCl à 10 %)

3.3 Mode opératoire

- Préparer une solution saturée de NaCl et la remplir dans le calcimètre, on note le volume V_1
- Peser 0.25g de l'échantillon broyé et 0.25g de carbonate pur
- Introduire d'abord l'échantillon témoin en carbonate.

- Remplir une cuve avec l'acide chlorhydrique et l'introduire dans l'erenmeyer avec précaution.
- Boucher l'erenmeyer avec un bouchon relié au tube gradué de calcimètre de Bernard
- Renverser l'acide contenu dans la cuve sur l'échantillon et agiter pour activer la réaction.
- À la fin de l'effervescence on note la division correspond au V_2 sur le tube gradué.
- Répéter les mêmes étapes pour chaque échantillon.

3.4 Expression et calcul du résultat

Pour l'échantillon témoin en carbonate pur ou l'échantillon du sédiment, le volume CO_2 dégagé (ml) est donné par l'expression suivante :

$$V_{\text{témoin/échantillon}} = V_2 - V_1 \dots \dots \dots \text{IV (11)}$$

On obtient le % de $CaCO_3$ Par une simple opération :

$$\%CaCO_3 = \frac{V_{\text{échantillon}}}{V_{\text{témoin}}} \times 100 \% \dots \dots \dots \text{IV (12)}$$



Figure 15 : Calcimètre de Bernard

4 Analyse des Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique

4.1 Principe de la méthode

Cette méthode consiste à analyser les hydrocarbures dans le sédiment, elle a pour but de quantifier les HAP dans un échantillon donné. Ce dernier subit une série de traitement (extraction-concentration-purification et fractionnement) (**Figure 16**)

4.2 Matériels et appareillage : (voir annexe III)

4.3 Solution et réactifs

a. Les solvants liquides

Produit chimique	Marque	Mode d'utilisation
Hexane (C_6H_{14})	Sigma-Aldrich	Conditionnement du matériel. Extraction des cartouches. Purification sur la colonne chromatographique.
Dichlorométhane (CH_2Cl_2)	VWR chemicals	Extraction des cartouches Purification sur la colonne chromatographique.
Acétone (C_3H_6O)	Chem-Lab	Conditionnement du matériel.

Tableau 10 : Référence des solvants chimiques et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures.

b. Les produits chimiques solides .

Produit chimique	Marque	Mode d'utilisation
Alumine (Al_2O_3)	<i>Biochem</i>	Purification sur la colonne chromatographique.
Gel de silice ($SiOH_4$)	<i>Biochem</i>	
Laine de verre	<i>Labosi</i>	
Sulfate de Sodium anhydre (Na_2SO_4)	<i>Riedel-deHaen</i>	• Absorber les traces d'eau
Mercure (Hg)	<i>Merck</i>	• Elimination des produits soufrés
Chrysene ($C_{18}H_{12}$)	<i>Fluka</i>	• Préparation des standards

Tableau 11 : Référence des produits chimiques solides et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures

Pour l'alumine, le gel de silice et sulfate de sodium anhydre doivent passer par une extraction à blanc durant 4 heures afin de les nettoyer

Ces produits chimiques solides, doivent être activés à l'étuve pendant 24 heures à 120 °C et désactivés lors de leur utilisation par addition de quelques gouttes d'eau distillée.

4.4 Mode opératoire

4.4.1 Conditionnement des matériels

Tout matériel utilisé doit être conditionné avant son utilisation, afin d'éviter tout risque et source de contaminations, le protocole établi par (UNEP, CIO, IAEA, 1997) pour le conditionnement des matériels est comme suit :

- Nettoyage au détergent
- Rinçage à l'eau chaude
- Rinçage à l'eau distillée
- Séchage à l'étuve à 70 °C pendant 2 heures
- Rinçage à l'acétone
- Rinçage à l'hexane
- Mettre à l'étuve à 300 °C pendant 24 h et Couvrir avec du papier aluminium calciné.



Figure 16 : Conditionnement matériels HAP

4.4.2 Traitement des échantillons

Les étapes du traitement des sédiments sont récapitulées dans le schéma suivant :

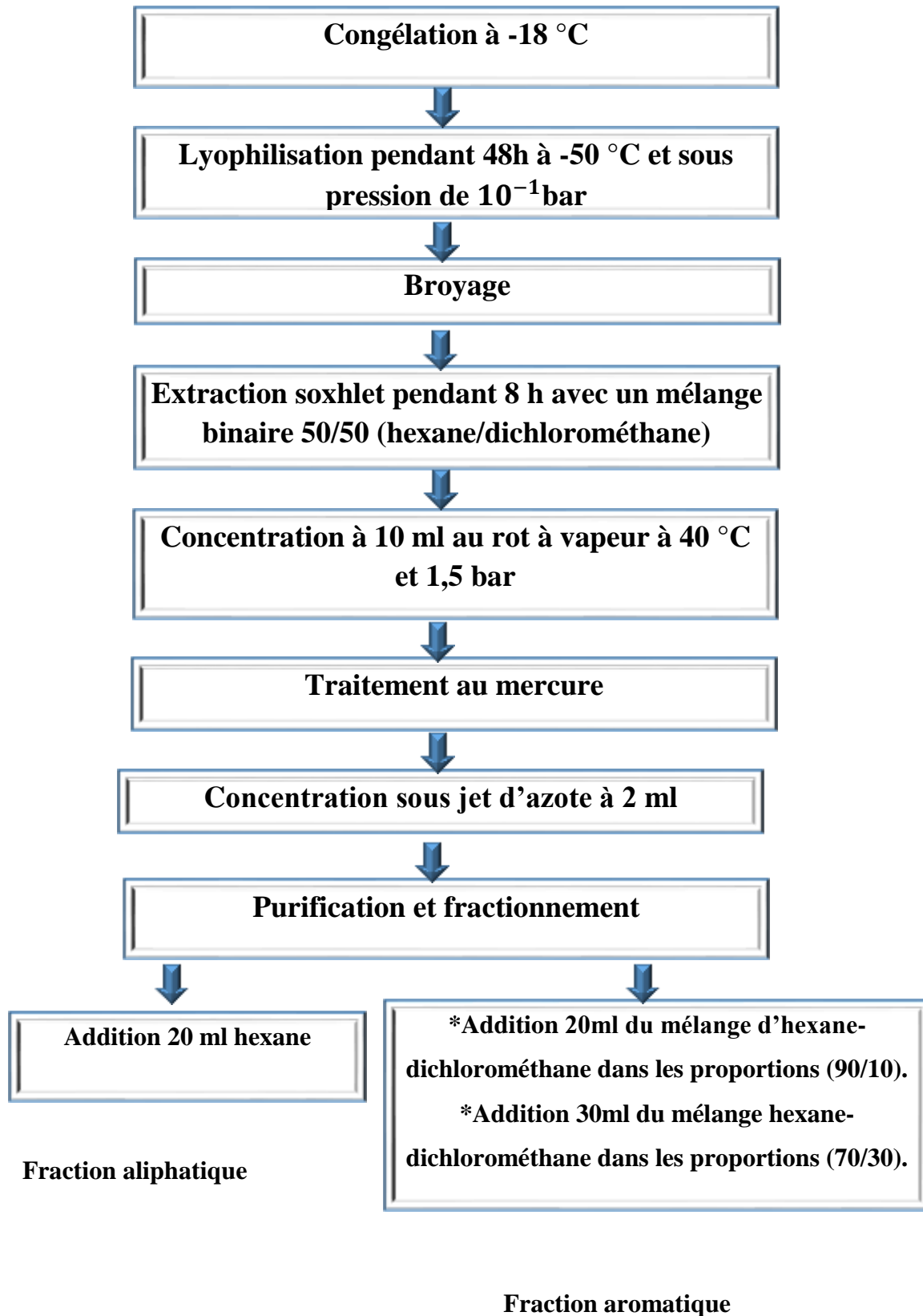


Figure 17 : Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures

a. Lyophilisation

Cette étape se repose à mettre les échantillons congelés dans le lyophilisateur pendant 48 h à $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ et sous pression de 10^{-1}bar . La lyophilisation consiste à éliminer l'eau de l'échantillon par une sublimation, ce dernier est soumis à une très basse température et une basse pression (-50°C 10^{-1}bar) pendant 48 h dans un lyophilisateur.

b. Le broyage

Les échantillons lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine conditionné au préalable pour chaque utilisation. Le conditionnement se fait comme suit :

- Lavage avec le détergent,
- Rinçage avec l'eau de robinet puis avec l'eau bi distillée,
- Séchage à l'étuve à $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Conditionnement avec l'acétone puis l'hexane.
- Deuxième séchage à l'étuve.

Le broyage a pour but d'homogénéiser l'échantillon sans appliquer une force physique sur ce dernier. L'échantillon est remis ensuite dans le pilulier en verre et conservé.

c. L'extraction des hydrocarbures

- L'extraction se fait par un extracteur soxhlet, à l'aide d'une cartouche préalablement conditionnée.

Remarque : Une extraction à blanc se fait auparavant pour les cartouches en cellulose ainsi que pour les produits suivants : Gel de silice, Alumine, Na_2SO_4 , la laine de verre pendant 4 h au minimum.

- Peser 5g de sédiment lyophilisé et homogénéisé, et le mettre dans la cartouche en cellulose
- Mettre 1 g de Na_2SO_4 dans la cartouche.
- Ajouter dans l'extracteur un mélange composé de solvants : hexane et dichlorométhane dans des proportions égales en volume afin de permettre l'extraction des hydrocarbures (150 ml de mélange est nécessaire pour chaque échantillon)
- Introduire les grains de bowling chips dans le ballon afin d'avoir une bonne ébullition
- Faire une extraction en parallèle d'un blanc de procédure pour chaque série. (3 échantillons et un blanc).
- L'extraction dure 8 heures pour chaque série.

d. Concentration des extraits et traitement au mercure

- À la fin de l'extraction, récupérer le volume extrait et le concentrer à l'évaporateur rotatif jusqu'à atteindre un volume de 10 ml. À 40 °C et 1,5 bar afin d'éliminer le maximum de solvants extrait de l'opération précédente.
- Mettre le volume récupéré dans des tubes à essais.
- Traiter l'échantillon par le mercure en ajoutant quelques gouttes de mercure sous hotte à flux laminaire, afin d'éliminer les éléments soufrés, car leur présence interfère lors de l'analyse des hydrocarbures.
- Agiter après chaque addition du mercure à l'échantillon, et attendre quelques minutes pour que le mercure piège le soufre se décante. Récupérer le surnageant sans toucher le fond du tube à essai à l'aide d'une pipette munie d'une pro pipette.
- Répéter la manipulation jusqu'à ce que le trouble noir des éléments soufrés disparaisse et le mercure se remet à sa couleur d'origine.
- Concentrer le reste de l'échantillon sous jet d'azote, pour éliminer toute trace d'hexane jusqu'à atteindre un volume de 2 ml.



Figure 18 : Photo des étapes de l'extraction, concentration et traitement au mercure

e. Fractionnement et Purification**1. Purification**

- La colonne chromatographique doit être conditionnée auparavant.
- Rincer la colonne avec de l'hexane.
- Couper la laine de verre à l'aide de deux pinces et faire l'introduire l'aide d'une tige.
- Ajouter quelques millilitres d'hexane dans la colonne à l'aide d'un entonnoir pour vérifier si le solvant passe par l'embout de la colonne et le laisser couler.

- Ajouter 20 ml d'hexane dans la colonne.
- Peser 5g de gel de silice, le mélanger avec l'hexane dans un petit bécher et le faire introduire dans la colonne par un petit entonnoir de 4 cm de diamètre.
- Frapper la colonne doucement pour qu'elle ne se casse pas à l'aide d'une spatule, et pour faire tasser l'alumine.
- Laisser couler l'hexane en évitant l'assèchement de la colonne.
- Peser 5g d'alumine, le mélanger avec l'hexane dans un petit bécher et le faire introduire dans la colonne par un petit entonnoir.
- Tasser bien l'alumine à l'aide d'une spatule.
- Laisser couler l'hexane jusqu'à atteindre un volume de 2 ml afin d'éviter l'assèchement de la colonne.
- Ajouter 0,5 g de Na₂SO₄ afin d'absorber l'eau si elle existe
- À présent la colonne est prête à l'utilisation, à noter qu'il faut répéter les mêmes étapes après introduction de chaque échantillon.

2. *Fractionnement de la phase aliphatique*

- Introduire l'échantillon dans la colonne après agitation.
- Ajouter 20 ml d'hexane.
- Récupérer la première phase qui est la fraction aliphatique dans des flacons en verre conditionnés au préalable d'une contenance de 25 ml. Et les fermés avec un bouchon séparé par du papier aluminium et enroulé avec du téflon.
- Conserver les flacons au frais.

3. *fractionnement de la phase aromatique*

- Ajouter 20 ml du mélange d'hexane-dichlorométhane dans les proportions (90/10).
- Ajouter 30 ml du mélange hexane-dichlorométhane dans les proportions (70/30).
- Récupérer la deuxième fraction qui est la phase aromatique dans des tubes à essais conditionnés.
- Faire une deuxième concentration sous jet d'azote.
- Conserver les échantillons au frais.

f. **Analyse des HAP par spectrofluorimètre ultraviolet**

Principe de la SFUV

La SFUV mesure l'émission de la fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation ultra-violet. Cette technique d'analyse nécessite des radiations

électromagnétiques comprises entre 200 et 400 nm dont l'énergie est élevée. Elle ne s'applique pas aux liaisons de covalence C-H (les hydrocarbures aliphatiques) mais elle s'applique aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées (les hydrocarbures aromatiques/poly aromatiques). La SFUV est une technique d'analyse appliquée et préconisée par le C.O.I (1984) pour la surveillance de la pollution des hydrocarbures en mer. La fluorescence représente un excellent indice de présence pollution pétrolière du fait des très faibles teneurs en hydrocarbures biogènes dans le milieu marin. (Bodennec et al, 1983) La fluorescence est un phénomène qui se produit en deux phases :

L'excitation

Dans cette phase la molécule passe de son état électronique fondamental vers un état excité. L'ensemble des transitions électroniques constitue le spectre d'excitation. La radiation ultraviolette de même que la lumière visible possède suffisamment d'énergie pour transférer des électrons vers des orbitales anti-liantes créant ainsi un état électronique excité.

L'émission

Cette phase représente le retour de la molécule à un état électronique de moindre énergie ou la désactivation est relativement stable. Il fait intervenir un grand nombre de transitions produisant chacune l'émission d'une radiation dans toutes les directions. L'ensemble des transitions constitue le spectre d'émission du rayonnement de fluorescence.

Appareillage analytique

Les hydrocarbures polyaromatiques sont analysés au laboratoire de chimie et pollution marine à Sidi fredj avec un spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10 *high sensitivity*, équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1,5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm. L'appareil contient des cellules en quartz de 1 cm de trajet optique, polies sur les quatre faces.

Un volume minimal de 0,5 ml d'échantillon est suffisant à l'analyse. (Figure 19)



Figure 19 : Photo de l'appareil SFUV

Etalonnage de l'appareil

Selon la C.O.I (1982), la détection limite doit être inférieure à 1 $\mu\text{g/l}$ de chrysène. Lorsque cette limite est franchie, l'environnement n'est plus adéquat aux analyses.

Préparation des standards

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence, celui préconisé dans cette méthode est le chrysène

Le mode opératoire pour la préparation des standards est le suivant :

- Préparation de la solution mère : faire diluer 1 mg de chrysène dans 10 ml d'hexane
- Préparation des solutions standards à partir de la solution mère présentées dans le tableau ci-dessous (tableau 12)
- Mettre les fioles des solutions standards dans un bac à ultrason afin de dissoudre les chrysène dans l'hexane.

<i>Standard</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>
<i>[C]$\mu\text{g/ml}$</i>	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>	<i>0,6</i>	<i>0,8</i>	<i>1</i>

Tableau 12 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère

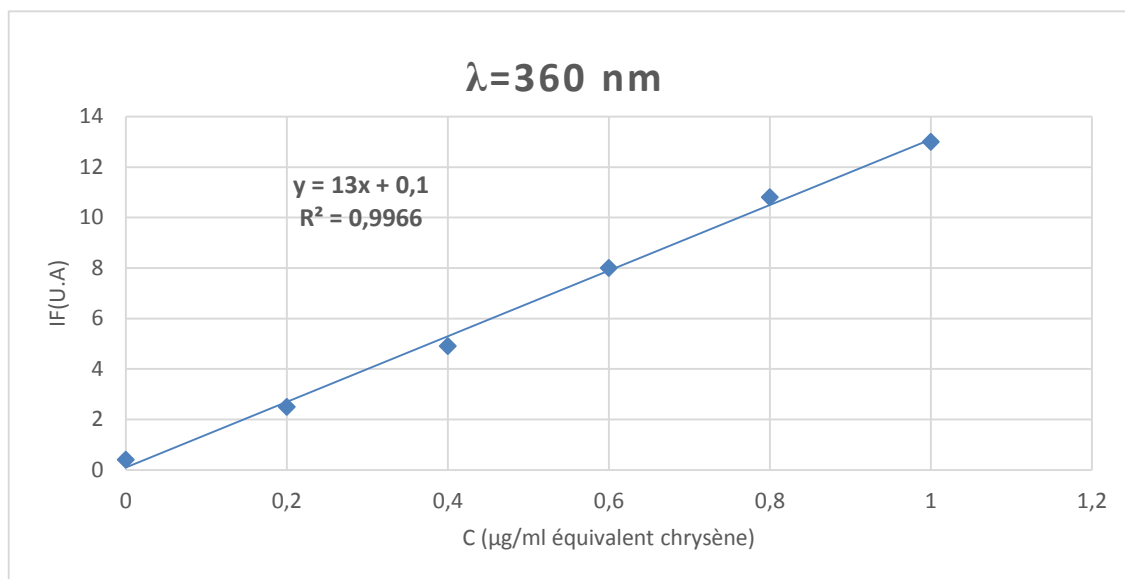


Figure 20 : Droite d'étalonnage des standards en équivalent du chrysène

Les lectures sont faites à partir des conditions opératoires suivantes :

- La longueur d'onde de l'émission est $\lambda=360$ nm
- La longueur d'onde de l'excitation est $\lambda=310$ nm

4.5 Expression et calcul des résultats

Les concentrations des HAP sont déterminées par les formules suivantes :

- D'abord il faut calculer la cotangente pour calculer la concentration des hydrocarbures en équivalent du chrysène, qui est donnée par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{[C]}{U.A} \dots \dots \dots \text{IV (13)}$$

α : Cotangente.

$[C]$: Concentration du standard ($\mu\text{g/ml}$).

$U.A$: Unité arbitraire de l'intensité de fluorescence du standard.

- Parfois il serait nécessaire dans certains cas de diluer l'échantillon traité pour être dans la gamme de réponse linéaire de l'appareil, déterminée par la courbe d'étalonnage. Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques sont données par l'expression suivante :

$$[C]_{\acute{e}cht} = (U.A_{\acute{e}cht} - U.A_{hex}) * \bar{\alpha} * f \dots \dots \dots \text{IV (14)}$$

$[C]_{\acute{e}cht}$: Concentration des hydrocarbures dans l'échantillon ($\mu\text{g/ml}$).

$U.A_{\acute{e}cht}$: Unité arbitraire de l'intensité de fluorescence de l'échantillon.

$U.A_{hex}$: Unité arbitraire de l'intensité de fluorescence de l'hexane.

$\bar{\alpha}$: Moyenne des cotangentes.

f : Facteur de dilution.

- Les concentrations finales des HAP dans le sédiment marin sont calculées par la formule suivante :

$$[C](\mu\text{g/g}) = \frac{([C]_{\text{écht}} - [C]_{\text{blanc}}) * V_{\text{purifié}}}{P} \dots \dots \dots \text{IV (15)}$$

C : Concentration finale des HAP ($\mu\text{g/g}$) par rapport au poids sec de l'échantillon

C écht : Concentration des HAP dans l'extrait purifié déjà calculée ($\mu\text{g/ml}$)

V purifié : Volume d'extrait purifié (*ml*)

P : Le poids sec du sédiment lyophilisé extrait (*g*)

5 Analyse des Métaux Lourds

5.1 Principe de la méthode

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds présentés dans la présente étude est la méthode d'extraction du métal total adsorbé à la surface des grains par une digestion partielle qui s'effectue généralement avec des acides forts concentrés et des oxydants (HNO_3 , HCl , HClO_4 , KMnO_4) (Charlou et Joanny, 1983 ; PNUE /FAO/OMS, 1989).

La spectrométrie d'adsorption atomique est la plus utilisée, elle permet de doser une soixantaine d'éléments atomiques à l'état de trace.

5.2 Matériels et appareillage

- Piluliers en plastique
- Plaque chauffante
- Micro-onde
- Lyophilisateur
- Mortier en porcelaine
- Four à moufle
- Godets en téflon
- SAA

Réactifs et solutions :

<i>Solution</i>	<i>Marque</i>	<i>Mode d'utilisation</i>
<i>Acide nitrique HNO₃ (69 %)</i>	<i>Spectrosol</i>	<i>Minéralisation à blanc des godets. Minéralisation des échantillons pour l'analyse des métaux.</i>

<i>Acide sulfurique H₂SO₄ (96 %)</i>	<i>Panreac</i>	<i>Minéralisation des échantillons pour l'analyse de mercure</i>
<i>Eau régale</i>	<i>Solution préparée</i>	<i>Minéralisation des échantillons</i>
<i>Eau acidulée</i>	<i>Solution préparée</i>	<i>Nettoyage des matériels</i>

Tableau 13 : Références et mode d'utilisation des réactifs et solutions destinés aux analyses des métaux lourds

5.3 Mode opératoire

5.3.1 Nettoyage du matériel utilisé pour la détermination des métaux traces

Afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisés pendant le prélèvement, le traitement et le stockage des échantillons, doivent subir préalablement des opérations de nettoyages spécifiques :

- Laisser tremper le matériel toute une nuit dans une solution de savon (Savon+ eau) dans un bac en plastique.
- Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet, puis avec l'eau bidistillée obtenue sur système Milli Q (Millipore).
- Séchage à l'étuve à 70 °C pour le matériel en verre en Téflon et à 40 °C pour le matériel en polyéthylène (tels que les flacons) et en matière plastique (tels que les sachets).
- Laisser tremper le matériel dans une solution d'acide nitrique (HNO₃) acidulé à 10 % pour analyse pendant au moins 6 jours à température ambiante.
- Rincer abondamment avec l'eau bidistillée.
- Séchage à l'étuve.

5.3.2 Traitement des sédiments

Les échantillons du sédiment superficiel sont prélevés et conservés au congélateur et ont subi la série des traitements suivants :

a. Lyophilisation

La lyophilisation est le procédé de déshydratation par sublimation. C'est-à-dire que l'eau contenue dans l'échantillon passe directement de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide, ce qui permet à l'échantillon de maintenir ses propriétés chimiques initiales. Les échantillons congelés sont immédiatement mis à sécher dans le lyophilisateur à -40 °C et sous vide (10⁻¹bar) pendant 48 h par un lyophilisateur.

Ce moyen de déshydratation est préférable à celui de l'évaporation à l'étuve car dans ce dernier cas l'élévation de température peut être une source de pertes des métaux les plus volatiles en particulier le mercure. (Charlou et Joanny, 1983).

b. Broyage

Après lyophilisation, Les sédiments sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine sans appliquer une force physique sur ces derniers.

Cette dernière est récupérée dans des piluliers en plastique et stockée dans un dessiccateur en présence de gel de silice.

c. Homogénéisation

Pour avoir une répartition homogène des particules de sédiment dans l'échantillon, ce dernier nécessite une opération d'homogénéisation. Cette dernière permet de prélever ainsi une quantité de sédiment représentative de l'échantillon. Homogénéisation du sédiment broyé se fait soit par agitation manuelle ou par un agitateur électrique pendant quelques minutes.

d. Extraction des métaux lourds

La digestion consiste à libérer les différents métaux adsorbés à la surface des particules sédimentaires et/ou piégés par la matière organique et les minéraux par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique. ce protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P./I.A.E.A.(1985 a et b, 1986a et b, 1998, 2001). Cependant, certaines étapes ont été modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

- **Minéralisation à blanc**

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet à téflon 4 ml d'acide nitrique 69 %. On ferme hermétiquement les godets. Puis on réchauffe sur une plaque chauffante à 120 °C pendant 2 h 30 min

On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on rince à l'eau bidistillée et on sèche dans l'étuve.

- **Minéralisation des échantillons de sédiment**

Selon le protocole décrit par l'A.I.E.A. (1998), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans des godets en téflon. On pèse environ 0.5 g de sédiment lyophilisé et l'introduire dans chaque godet. On y ajoute 6 ml d'eau régale (1 volume d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 69 % + 3 volumes d'acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %) puis on ferme hermétiquement les godets. (Figure 21)

- Laisser les échantillons à température ambiante toute une nuit (**minéralisation à froid**) puis on les met le lendemain sur la plaque chauffante à 120 °C pendant 2 h 30 min
- En ce qui concerne les échantillons destinés à l'analyse du mercure, il faut peser le même poids de sédiment lyophilisé et ajouter 4 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 69 % et 2 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré à 96 %, puis fermer hermétiquement les godets.
- Laisser les échantillons à température ambiante toute une nuit puis les mettre sur plaque chauffante à 90 °C pendant 2 h 30 min
 - Laisser refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis ouvrir les godets et transférer les minéralisâtes dans des tubes en polypropylène de 50 ml. il faut rincer bien les godets avec l'eau bidistillée au moins 3 fois en récupérant le maximum des rinçages dans les tubes en polypropylène. Et ajuster ensuite jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bidistillée.
 - Ajouter dans les tubes destinés à l'analyse du mercure 1 ml de bichromate de potassium
 - La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à + 4 °C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).
 - Un godet pour témoin blanc a été inséré avec chaque série d'échantillons et subit le même traitement que ces derniers.



Figure 21 : Minéralisation des échantillons

e. Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse quantitative, fondée sur le phénomène d'absorption de radiations lumineuses par des atomes libres. Elle est largement appliquée, simple et très documentée (AIEA, 2001), bien adaptée et recommandée pour l'analyse des métaux lourds (Asso A., 1982). En outre, d'après, cette méthode est principalement utilisée pour déterminer les niveaux de concentration en métaux lourds dans l'environnement.

Les éléments métalliques adsorbés sur les sédiments marins ont été analysés par SAA de marque analytikjena, modèle ZEEmit 700P (Figure 22) au niveau du laboratoire de Office National de l'Assainissement (ONA).



Figure 22 : L'appareil de spectrophotométrie par absorption atomique de marque analytikjena, modèle ZEEmit 700P

- **Principe de la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique**

Le dosage d'élément par SAA repose sur le principe qu'un atome soumis à un rayonnement d'énergie E , peut passer d'un état fondamental à un état excité, caractérisé par des électrons à un niveau d'énergie plus élevé et instable : c'est le phénomène d'absorption. Le retour de l'atome à son état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement photonique spécifique caractérisé par sa longueur d'onde λ .

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert.

D'après cette dernière, la densité optique d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant transparent est proportionnelle à l'épaisseur de la solution traversée et à la concentration des substances absorbante de la solution (Audigié C *et al*, 1985).

$$I = I_0 \cdot e^{-\epsilon l C} \dots \dots \dots \text{IV (16)}$$

En pratique, l'absorbance A peut être appréhendée par la variation de l'intensité lumineuse à travers la chambre d'atomisation de l'élément à doser.

La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :

$$A = DO = \log I_0 / I = \epsilon \cdot l \cdot C \dots \dots \dots \text{IV (17)}$$

Où :

I : Intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergente).

I₀ : Intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).

ε : Coefficient d'absorption atomique (constant).

l : Longueur du trajet optique (constante).

C : Concentration de l'élément absorbant (analyte).

- **Etalonnage de l'appareil**

L'étalonnage doit être réalisé très soigneusement, dans un domaine de concentration où la loi de Beer Lambert est respectée. La mesure de la concentration d'un élément dans l'échantillon est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage. La gamme d'étalonnage doit autant que possible être comprise autour de valeurs de l'échantillon à analyser. Les solutions étalons sont préparées au moment de l'analyse à partir de solution mère qui a une concentration connue en g/l de l'élément à doser. (Voir annexe IV : les courbes d'étalonnage)

5.4 Calcul et expression des résultats

La concentration de chaque métal est déterminée à partir de l'équation de la droite d'étalonnage, cette dernière est établie par régression linéaire. Connaissant la densité optique du métal (calculée par le programme), on calcule alors la concentration de l'échantillon.

$$CF = \frac{((C(\text{éch}) \times Fd) - C(\text{blanc}))}{Pc} * V \dots \dots \dots \text{IV (18)}$$

CF : Concentration finale du métal dans le sédiment (μg/g.Ps),

(Ps : poids sec).

C (éch) : Concentration de l'échantillon donnée par le programme (μg/ml).

V : Volume de la solution finale après minéralisation (50 ml).

Pc : Poids corrigé du sédiment traité (0,5 g environ).

Fd : Facteur de dilution.

5.5 Indice de contamination

L'indice de contamination est calculé afin d'évaluer le niveau de contamination du sédiment marin, et afin de cerner le devenir des matériaux dragués.

Pour le cas de notre étude, les analyses des métaux lourds, ont été déterminées sur la comparaison des concentrations par rapport aux normes algériennes et françaises (Tableau 14)

Métaux	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn
Norme					
Algérienne	1,5	250	2	150	500
Française	0,2	22	0,6	26	80

Tableau 14 : Concentrations normales des métaux lourds dans le sédiment selon les normes Algériennes, Françaises ($\mu\text{g/g}$) (Belkessa R., 2005)

L'indice de contamination correspond au rapport de la concentration observée par rapport à la concentration normale, il est calculé par la formule suivante :

$$IC = \frac{\text{concentration observée}}{\text{concentration normale}} \dots\dots\dots IV \quad (19)$$

IC	Observation
IC < 3	Concentration normale
3 < IC < 10	Cas de pollution
IC > 10	Zone à risque

Tableau 15 : Valeurs de l'indice de contamination IC (Alzieu C et al, 1999)

6 Outils de traitement des analyses

6.1 Les systèmes d'information géographique (SIG)

L'apport du système d'information géographique (SIG) est devenu incontournable dans la compréhension, l'estimation et la gestion des risques environnementaux, notre démarche a permis d'élaborer à l'aide d'un outil de SIG, une base de données contenant tous les paramètres physique-chimiques et de pollution étudiés.

En effet, après acquisition, analyse au laboratoire et classement statistique des résultats, nous avons effectué un traitement en nous basant essentiellement sur l'utilisation d'un logiciel connu par son performance dans le domaine des SIG, qui est ArcGis® 10.2.2, ce dernier nous a permis d'apporter des supports d'aide à la compréhension de notre problématique en illustrant sous forme des cartes les variations spatiales des paramètres de pollution.

La première étape de la démarche géomatique consiste à digitaliser et géoréférencer le port d'Alger qui constitue un fond de carte, l'étape qui suit permet d'élaborer une base de données comportant tous les paramètres déjà traités sous Excel, et en fin l'étape la plus importante est de faire un traitement selon le besoin illustratif pour aboutir à effectuer des cartes reflétant les résultats finaux afin de pouvoir interpréter les variations spatiales d'une façon pragmatique.

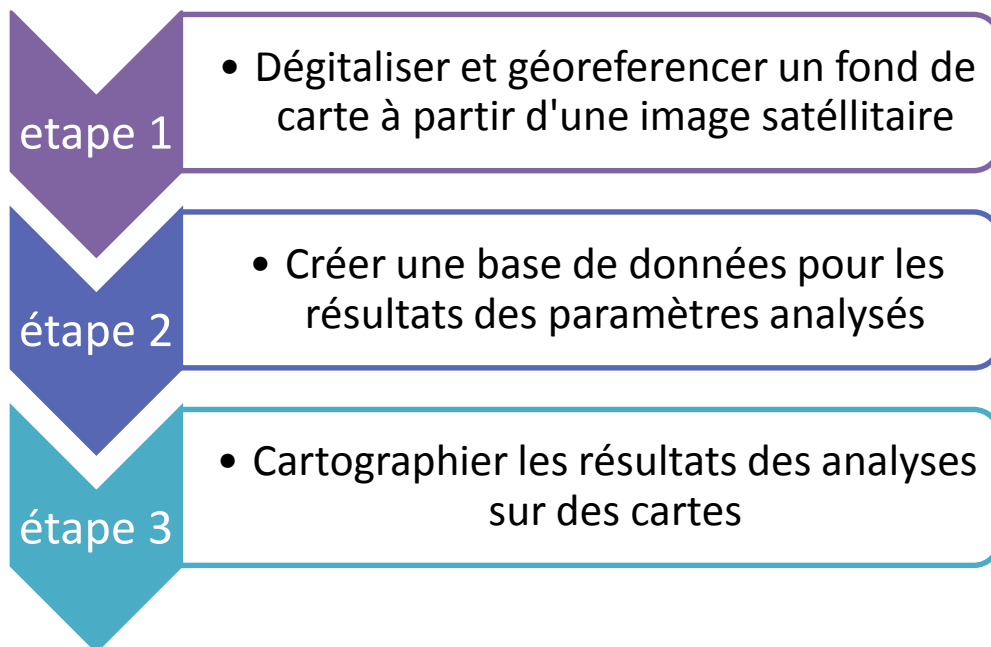


Figure 23 : Schéma résumant les étapes du traitement cartographique du logiciel (ArcGis)

Résultats et Discussion

Après avoir expliqué en détail les différentes méthodes et procédés utilisés lors de cette étude, nous passons à l'expression des résultats obtenus des différentes analyses effectuées sur le sédiment superficiel du port d'Alger.

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'un traitement statistique par Microsoft Office Excel.

Pour la représentation des résultats nous avons élaboré des cartes à l'aide d'un outil du système d'information géographique Arcgis version 10.2.2.

1 Les paramètres physicochimiques

1.1 La température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud G., 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (W.H.O, 1987).

Observation :

Dans la zone d'étude, les températures d'eau de surface enregistrées (Figure 23) varient de 17,72 °C (station S1) à 18,53 °C (stations S6), avec une moyenne de 18 °C et un écart type de 0,28.

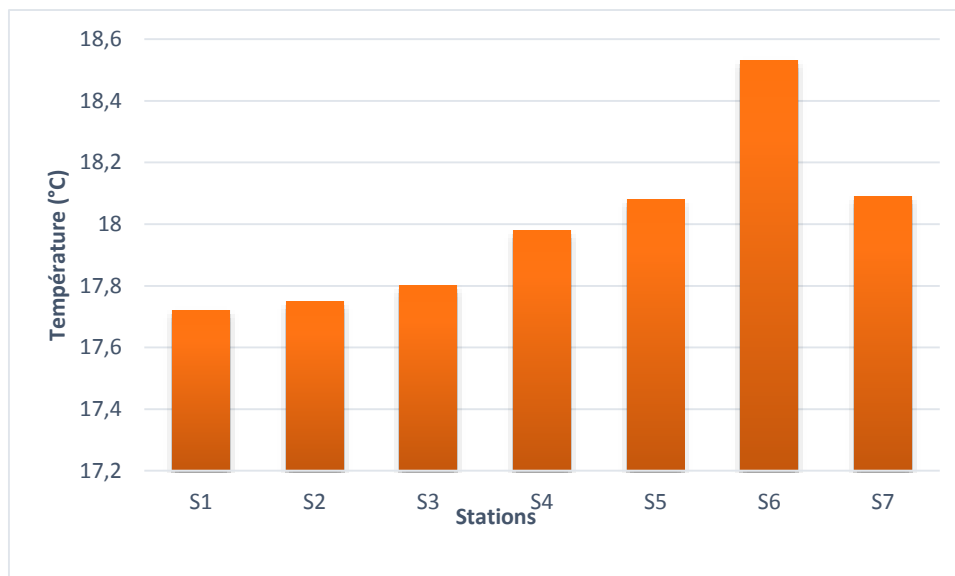


Figure 24 : Représentation graphique de la variation de la température en °C

Commentaire :

Les valeurs de la température ne manifestent pas des variations significatives au niveau des différents sites d'études. D'une manière générale, on peut remarquer une relative stabilité thermique. La légère remontée de température enregistrée au niveau de la station (S6) est peut être due aux rejets d'eaux chaudes issues de la station thermique située à l'arrière quai N°26. Dans l'ensemble, les valeurs mesurées reflètent une période saisonnière (printemps), elles sont influencées par celles de l'air et sont en relation avec les conditions météorologiques car la couche superficielle est soumise à l'influence directe des échanges atmosphère-mer (Rouibah M et al, 2005).

1.2 La salinité

Observation:

La mesure de la salinité de l'ensemble des stations du port d'Alger montre qu'elle est comprise entre un minimum de 34,89 PSU et un maximum de 36,79 PSU avec une moyenne de 36,15 et un écart type de 0,61.

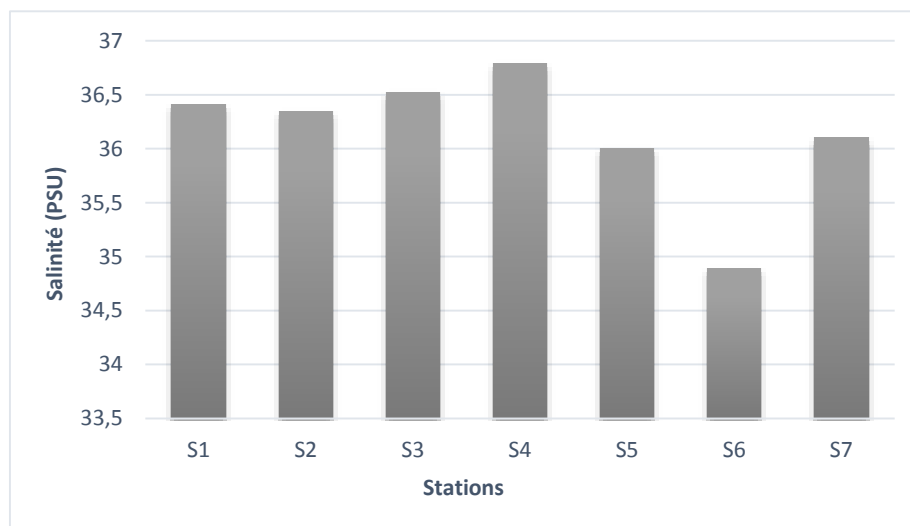


Figure 25 : Représentation graphique de la variation de la salinité

Commentaire :

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

Les valeurs obtenues sont relativement faibles, ceci ne peut être que l'empreinte des eaux douces provenant des rejets de différentes sources qui déversent dans le port. La valeur la plus faible s'observe au niveau de la station (S6) du bassin Mustapha, résultante des rejets d'eaux usées et les eaux de ruissèlement.

1.3 Le potentiel d'hydrogène

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (El Blidi et Fikhaoui, 2003). Le pH des eaux salines donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

Observation :

Les valeurs enregistrées oscillent entre un pH minimum de 7,91 (station S5) et un pH maximum de 8,2 (station S2) avec une moyenne de 8,06 et un écart type de 0,13

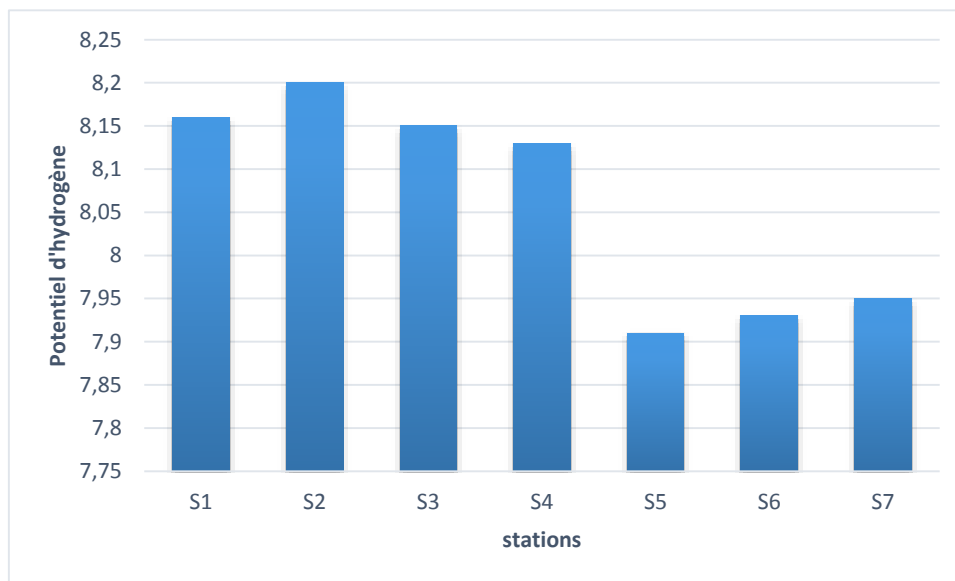


Figure 26 : Représentation graphique de la variation du potentiel d'hydrogène

Commentaire :

Les valeurs du pH mesurées dans l'ensemble des stations indiquent une légère différence entre les trois bassins du port, Les valeurs les plus basses (<8) exceptionnellement observées dans les stations du bassin Mustapha dénotent l'importance des apports d'eaux usées domestique et industrielles (acidification du milieu).

1.4 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. Il est l'un des paramètres les plus sensibles à la pollution, sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution du milieu.

Observation : Les valeurs d'oxygène dissous des eaux de surface oscillent entre un minimum de 3,31 mg/l (station S5) et un maximum de 5,71 mg/l (station S1) avec une moyenne de 4,36 mg/l et un écart type de 0,88.

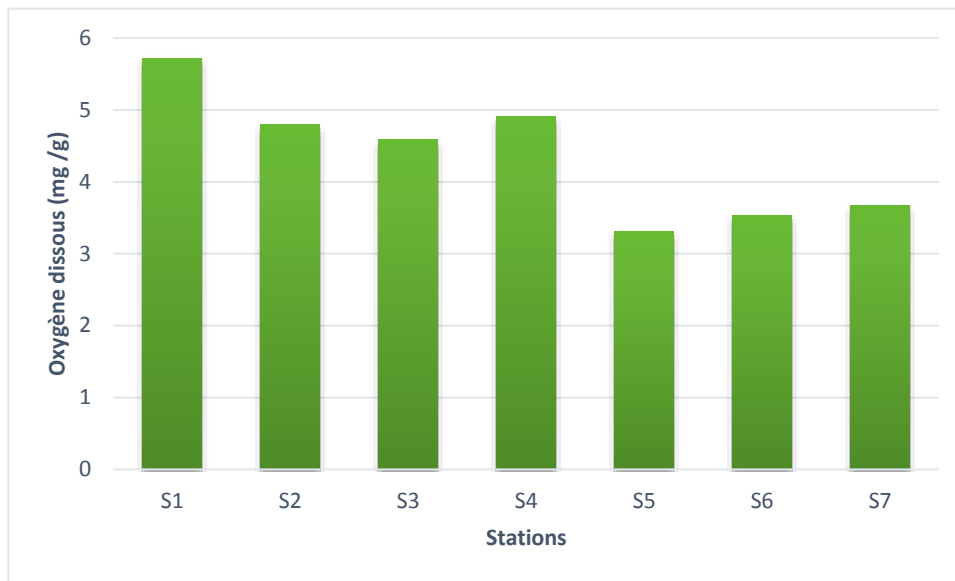


Figure 27 : Représentation graphique de la variation de l'oxygène dissous

Commentaire :

Pour l'ensemble des stations, les concentrations de l'oxygène dissous sont faibles car elles se trouvent au près des quais et les darses où l'apport des rejets d'eaux usées est intense. Selon (Bakalem A. et al 1986) la majorité des darses sont des milieux azoïques.

Une eau très aérée et pauvre en matière organique, est généralement sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée (Boudraa W., 2014). C'est le cas des teneurs faibles enregistrées au niveau des stations (S5, S6 et S7) du bassin Mustapha qui indiquent une intense consommation d'oxygène par le processus de dégradation de la matière organique en prévenance des eaux usées. Sans l'influence des eaux du bassin de l'Agha et surtout sans l'apport des eaux de la baie par la passe sud, le bassin de Mustapha serait azoïque toute l'année (Rebzani-Zahaf C et al, 1997).

2 Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier J., 1996). Les teneurs élevées en matières en suspension ont des effets néfastes comme la réduction aussi bien de la transparence de l'eau que la production primaire photosynthétique, la modification de la turbidité des eaux, et la réduction de la pénétration de la lumière (Teghezout F., 2015).

Observation:

Les résultats obtenus durant notre étude révèlent des concentrations très diversifiées entre un minimum de 51,2 mg/l et un maximum de 97,6 mg/l, avec une moyenne de 71,6 mg/l et un écart type de 14,84.

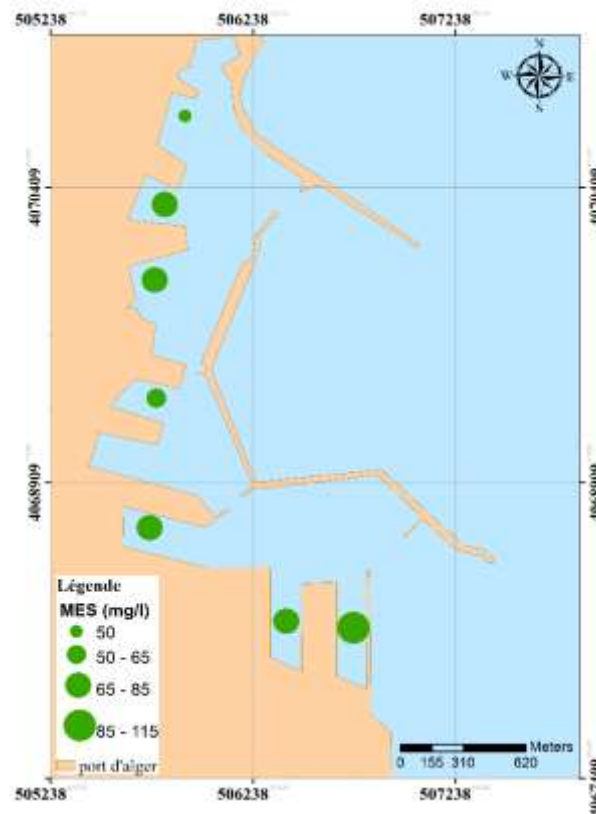


Figure 28 : Variation spatiale des teneurs de MES dans le port d'Alger

Commentaire :

Ces résultats montrent une hétérogénéité des concentrations de la matière en suspension de tous les échantillons analysés. Les eaux des bassins du port étaient calmes durant le prélèvement donc on peut éliminer l'influence de l'état de la mer sur les teneurs de MES. Les concentrations obtenues sont alors causées par les eaux de ballast des navires, déversement d'égouts et les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles riches en matière colloïdale d'origine organique ou minérale.

La matière en suspension est en excès au niveau des stations du bassin Mustapha, et plus particulièrement la station (S7) qui marque la teneur la plus élevée. Cette dernière est exposée directement aux rejets d'eaux usées industrielles provenant des unités des corps gras COGRAL situées à l'arrière des quais 32 et 36, du silo à céréales qui est exploité par l'OAIC situé au quai 35, et de l'usine flottante de condensation de ciment face au quai 34.

3 MOP

La teneur en matières organiques suit celle de la MES et oscille entre un minimum de 46,2 mg/l et un maximum de 95,6 mg/l avec une moyenne de 67,1 mg/l et un écart type de 16

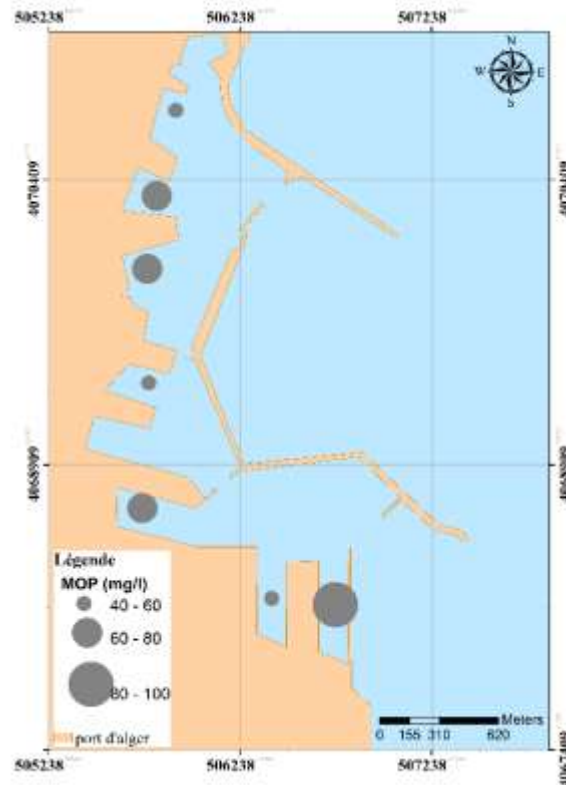


Figure 29 : Variation spatiale du pourcentage de la MOP dans le port d'Alger

Commentaire :

Selon (Mouni L *et al*, 2009), la concentration en matières organiques augmente avec l'augmentation de la matière en suspension, ce qui nous renseigne sur le caractère organique de la matière en suspension dans cette étude.

4 Taux de matière organique dans le sédiment (% M.O sédiment)

Les teneurs en matières organiques dans le sédiment superficiel du port d'Alger sont comprises entre un minimum de 14,07 % et maximum de 20,66 % avec une moyenne de 16,71 % et un écart type de 2,39.

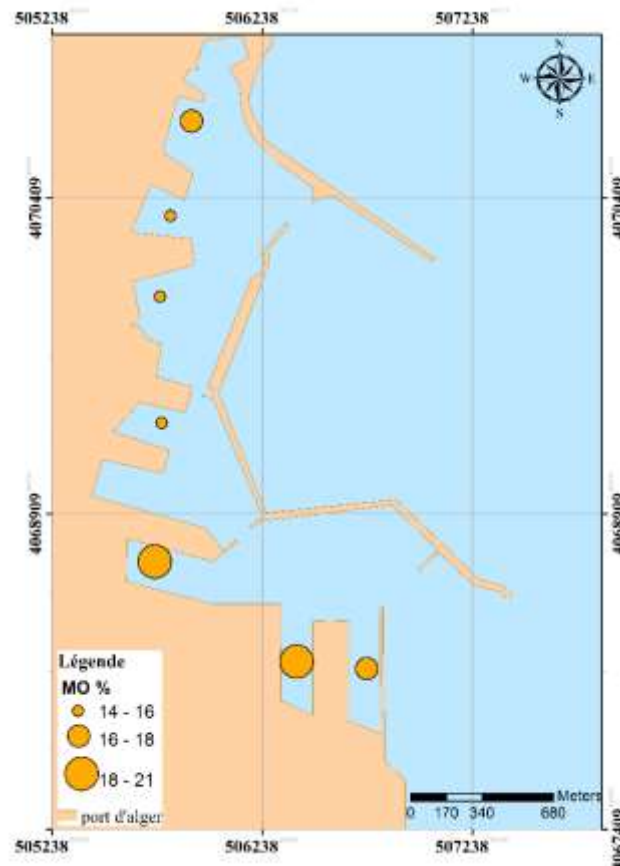


Figure 30 : Représentation cartographique du pourcentage de la MO dans le port d'Alger

Commentaire :

Les taux de matière organique obtenus sont tous énormément élevés, d'après Chamley (1987), les teneurs dépassant 1 % sont considérées pour la mer Méditerranée comme très élevées.

La grande majorité des eaux usées de la ville d'Alger et les eaux usées des industries portuaires sont rejetées directement dans le port, ces eaux usées sont hautement chargées en matières organiques ce qui explique les fortes teneurs trouvées.

La stagnation des eaux des bassins protégées de la houle favorise le dépôt et la sédimentation de la matière organique. Ainsi que l'état d'anoxie des darses limite la dégradation de la matière organique au cours de sa chute le long de la colonne d'eau, ceci contribue donc à l'enrichissement du fond en matière organique.

C'est le bassin Mustapha qui marque les teneurs les plus élevées en MO où les plus fortes teneurs ont été signalées (S5 et S6). Ceci est dû au fait que ce bassin est celui où le volume des eaux usées et la charge polluante de ces eaux sont au maximum. À noter que les eaux usées industrielles portuaires de ce bassin renferment des déchets provenant de l'industrie des corps gras et des silos à blé, elles sont donc chargées en matière organique.

Si l'option d'immersion est envisagée, les taux très élevés de matière organique poserait un problème de dispersion de contaminants ainsi qu'une diminution de la teneur en oxygène dissous sur le site de rejet (Coulon F., 2014).

Si l'option de valorisation des produits de dragage comme matériaux de construction est prévue, il est nécessaire de déterminer le taux de matière organique contenue dans le sédiment car sa présence en excès peut être un obstacle à la valorisation. En effet, la matière organique influe directement les propriétés mécaniques des matériaux en provoquant sur le ciment un retard ou une inhibition de prise (Loustau Cazalet M., 2012).

5 Analyse granulométrique

Les sédiments sont tout d'abord caractérisés par les répartitions des fractions granulométriques. Ces données sont importantes à double titre. Tout d'abord pour apprécier la charge en contaminants (capacités d'adsorption dépendantes des surfaces spécifiques) et ensuite pour prévoir le mode de dragage qui sera le plus approprié.

L'analyse granulométrique a permis d'identifier que la région d'étude montre une hétérogénéité dans la distribution spatiale des pourcentages de la fraction fine et grossière, en effet, leurs pourcentages varient respectivement entre 13 et 92 % et entre 00 et 41 %.

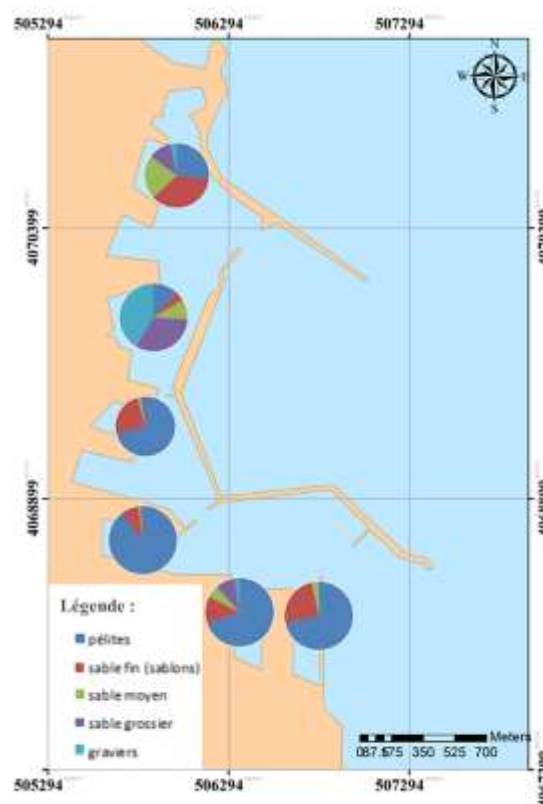


Figure 31 : Distribution spatiale des pourcentages des classes granulométriques du sédiment dans le port d'Alger

5.1 Résultats des indices granulométriques

Après avoir calculé les différents indices granulométriques et les avoir classés, on obtient les résultats élaborés dans le tableau suivant :

Stations	Mz	Classification du diamètre moyen	S0	Classification du tri	Sk	Classification d'asymétrie
S1	1,1427	Sable fin	3,28	Normalement classé	0,95	Classement vers les fines
S3	-0,108	Sable grossier	5,25	Mal classé	1,300	Classement vers les grossiers
S4	3,058	vase	1,67	Bien classé	0,55	Classement vers les fines
S5	3,043	Vase	1,26	Très bien classé	0,60	Classement vers les fines
S6	2,77	Sable très fin	2,70	Normalement classé	0,52	Classement vers les fines
S7	3,05	Vase	1,68	Bien classé	0,54	Classement vers les fines

Tableau 16 : Calcul des indices granulométriques et interprétation des résultats

Commentaire :

A partir des résultats obtenus pour le Mz, on peut constater qu'il y a une prédominance de la vase et sable très fin qui occupe la majeure partie du port.

A partir des résultats obtenus pour le S0, on constate que les valeurs sont diversifiées, ce qui permet de dire qu'il y a une hétérogénéité de classement, à l'exception de l'échantillon 5 qui est très bien classé.

Nous remarquons que les valeurs de Sk, de la majorité des stations sont inférieures à 1 et supérieures à 0,3 cela nous informe que le classement tend vers les fines et l'asymétrie est très positive ; à l'exception de l'échantillon 3 où le classement tends vers le grossier.

5.2 Résultats des quartiles

Station	Q25		Q50		Q75	
	Valeur (µm)	Grano classement	Valeur (µm)	Grano classement	Valeur (µm)	Grano classement
S1	45	Sable très fin	156.8	Sable moyen	275.5	Sable grossier
S3	600	Sable très grossier	1608.6	Sable très grossier	3120.9	Sable très grossier
S4	40.6	Sable très fin	43.8	Sable très fin	72.6	Sable très fin
S5	40.4	Sable très fin	41.9	Sable très fin	46.1	Sable très fin
S6	40.7	Sable très fin	40.4	Sable très fin	107.8	Sable très fin
S7	40.8	Sable très fin	43.6	Sable très fin	92.4	Sable très fin

Tableau 17 : valeurs et grano-classement des quartiles

Commentaire :

1^{er} quartile (Q25) : Les valeurs du premier quartile montrent l'existence de deux faciès : le premier (sable très grossier) se localise dans la station (S3) où on trouve des diamètres de 600 µm. Le deuxième faciès qui caractérise le reste du port est celui du sable fin avec des valeurs inférieures à 45 µm.

La médiane (Q50) : Les valeurs de la médiane montrent l'existence de trois faciès ; le premier et le deuxième faciès (sable moyen et sable grossier) se trouvent dans le bassin Vieux-Port respectivement dans les stations (S1 et S3) avec un diamètre de 156,8 µm pour le premier faciès et un diamètre de 1608,6 µm pour le deuxième.

Le troisième faciès (sable très fin) se localise dans le reste des stations du port (bassin Agha et Mustapha) avec des valeurs inférieures à 43,8 µm.

Le 3^{ème} quartile (Q75) : les valeurs du troisième quartile montrent l'existence de trois faciès ; le premier et le deuxième faciès (sable grossier et sable très grossier) se trouvent dans le bassin Vieux-Port respectivement dans les stations (S1 et S3) avec un diamètre de 275,5 μm pour le premier faciès et 3120,9 μm pour le deuxième.

Le troisième faciès (sable très fin) se localise dans le reste des stations du port (bassin Agha et Mustapha) avec des valeurs inférieures à 107 μm .

5.3 La fraction péltique (pourcentage des péltites)

Le taux de la fraction fine (<40 μm) s'échelonne entre un minimum de 11,92 % et un maximum de 88,56 %. Le pourcentage moyen des péltites est de 56,25 % avec un écart type de 29,87

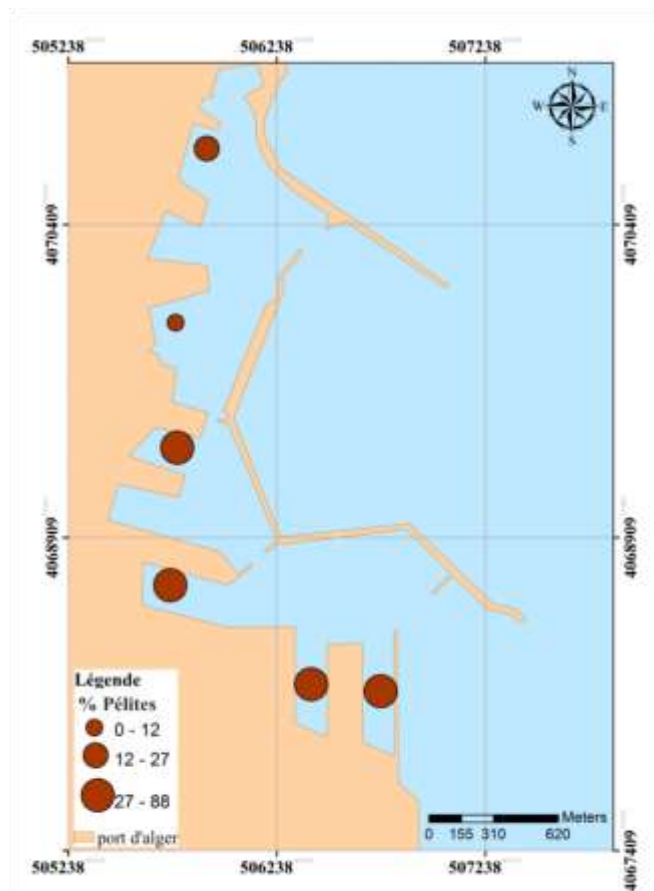


Figure 32 : Représentation cartographique du pourcentage des péltites dans le port d'Alger

Commentaire :

Les teneurs les plus faibles sont localisées dans les stations (S1 et S3) du bassin Vieux-Port, d'après (Bachouche S., 2010) la répartition des péltites est à son minimum dans ce bassin cela est dû au renouvellement des eaux grâce aux courants entrants de la passe Nord.

Les stations (S5, S6, S7) du bassin Mustapha et la station (S4) du bassin Agha représentent les taux les plus élevés de pélites dans le port dépassant largement 60 %. Ces dépôts se sont constitués marées après marées avec la sédimentation des particules en suspension favorisée par la stagnation des eaux dans ces zones calmes protégées des houles.

Ces taux élevés de pélites posent pour le port d'Alger un problème dans le cas d'un dragage et d'une immersion, aussi bien pour le site de prélèvement que pour le site de rejet. Ce problème se traduit par des effets physiques (accroissement de la turbidité), chimiques (hausse de la concentration de matières en suspension, dispersion de contaminants) et biologiques (ensevelissement ou perturbation de la faune et de la flore benthique)(Coulon F., 2014).

Si les sédiments dragués sont destinés à être valorisés, il est indispensable de considérer la nature et la quantité d'argiles contenues dans la fraction pélitique, il faut savoir que ces pélites sont des roches constituées de grains de sable enrobés d'un important ciment argileux (Meuzelaar T., 2015). La présence en excès d'argiles peut être un obstacle à la valorisation car certaines argiles (notamment les smectites et certains chlorites) ont un pouvoir gonflant incompatible avec certaines utilisations (Colin D., 2003).

6 Analyse calcimétrique

Observation :

Les carbonates de calcium sont présents dans le port d'Alger avec des taux allant de 27,27 % (S3) à 34,55 % (S6-S7) avec une moyenne de 31,82 et un écart type de 2,76.

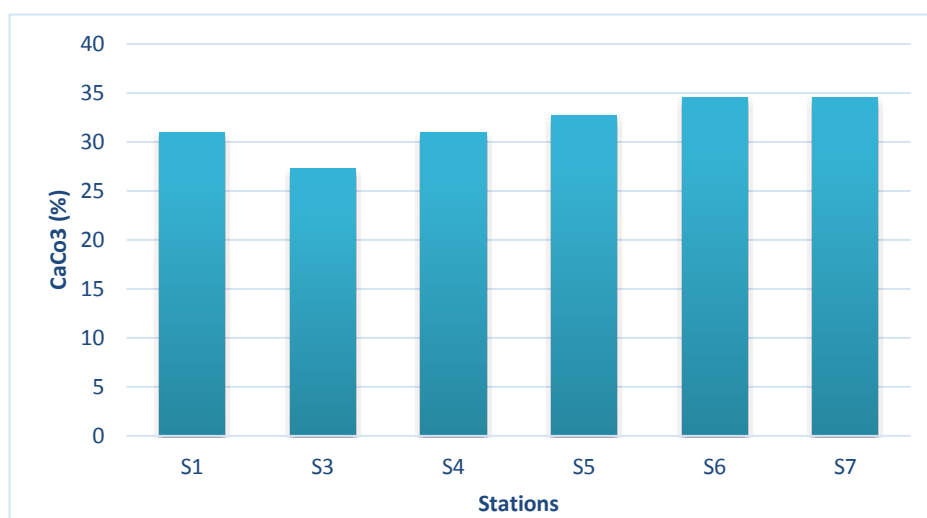


Figure 33 : Représentation graphique de la variation des taux de carbonates (%CaCO₃) dans le port d'Alger

Commentaire :

Si les sédiments sont destinés à être immergés, ce taux ne pose pas de problème particulier. Par contre le taux de la calcite intervient dans la valorisation des sédiments dragués comme matériaux de construction, il donc nécessaire de déterminer les teneurs en calcite. En effet cette dernière influe sur les propriétés mécaniques des matériaux (carbonatation du béton et mise à nu des armatures en acier) (Ngo D., 2015)

7 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les résultats obtenus des analyses des HAP du sédiment superficiel du port d'Alger par SFUV reflètent des variations très significatives au niveau des stations étudiées et une distribution spatiale hétérogène.

Observation :

Les concentrations des (HAP) appartiennent à l'intervalle [193,62-1089,84] ($\mu\text{g/g PS}$) avec une valeur moyenne de 430,83 ($\mu\text{g/g PS}$) et un écart type de 340,26.

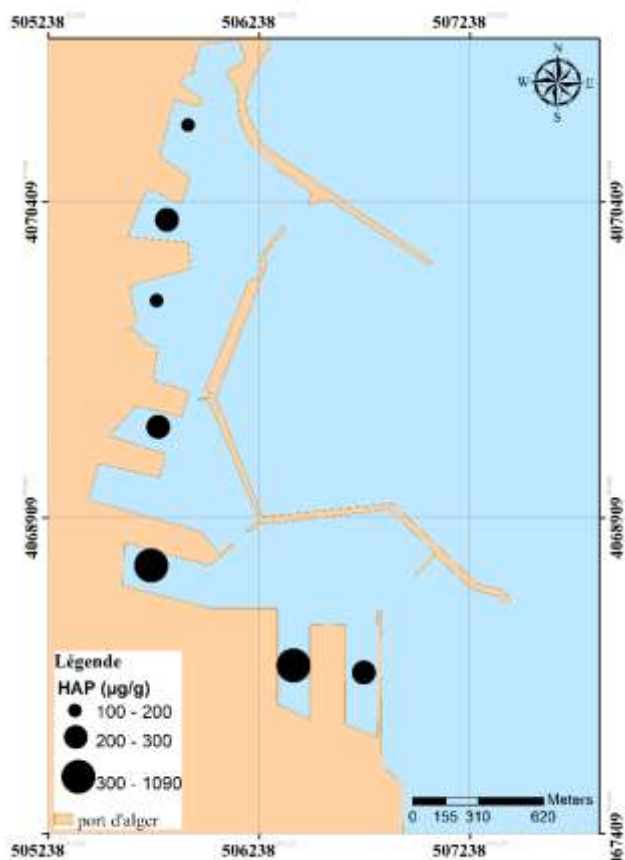


Figure 35 : Variation spatiale des HAP dans le port d'Alger

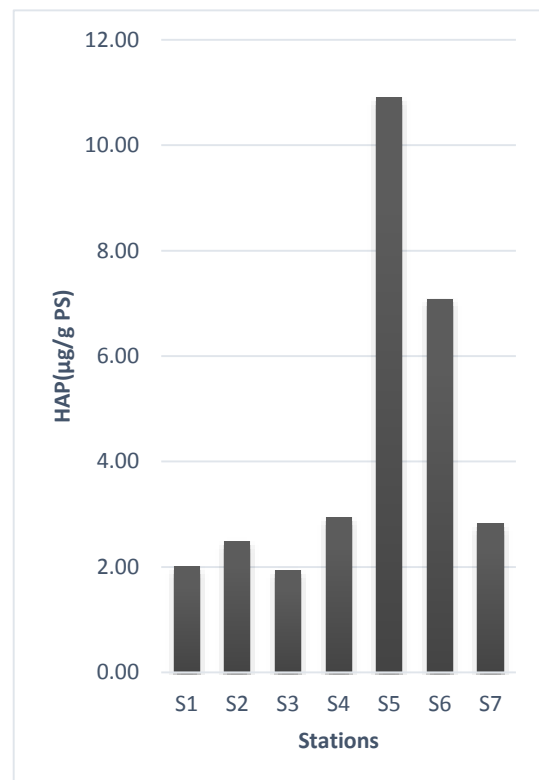


Figure 34 : Représentation graphique de la variation des concentrations des HAP au port d'Alger

Commentaire :

Les plus faibles concentrations s'observent au niveau des stations (S1, S2 et S3) localisées respectivement aux centres des trois premières darses N° 1,2 et 3 dans le bassin Vieux-Port, tandis que les concentrations les plus élevées qui apparaissent nettement sur l'histogramme et la carte appartiennent aux stations (S5 et S6) localisées respectivement aux centres des deux darses N° 6 et 8 dans le bassin Mustapha. Ces dernières sont exposées à une forte pollution liée à un trafic maritime important, particulièrement pétrolier, et aux activités portuaires liées à l'utilisation de carburants fossiles et d'huile de synthèse se traduit par des élévations des teneurs en hydrocarbures principalement polyaromatiques essentiellement lors des rejets des eaux de cales sans aucune précaution. Et les rejets des unités industrielles (essentiellement d'hydrocarbures) implantées dans ce bassin telles que les unités de bitume de Naftal et l'unité de fuel et Gasoil exploité par Naftal Marine situées à l'arrière quai 26. D'après (Bachouche S., 2010) la variation des concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port.

Les HAP peuvent être dégradés par oxydation chimique, photo-oxydation et transformation métabolique par les organismes vivants, animaux et végétaux. Dans les milieux anoxiques, tel que le bassin Mustapha, les HAP sont résistants à la dégradation chimique et biologique (Alzieu C et al, 1999). Ceci favorise la formation de boulettes de goudrons qui flottent dans un premier temps puis en fur et à mesure que leur densité augmente finissent par couler (Fattal P., 2008)

En raison de leur forte hydrophobie ainsi que leur faible solubilité dans l'eau, les HAP ont une forte affinité pour la matière organique particulaire (Qiu et coll., 1994), ils deviennent alors moins biodisponibles pour le transfert et la dégradation (Shann et Boyle, 1994). Ces propriétés provoquent leur accumulation dans les sédiments (Dahle S et al, 2003).

Il y a souvent une corrélation positive entre les teneurs en matière organique et les niveaux de contaminants hydrophobes dans les sédiments (Kim C.J et al, 2014). Une telle corrélation existe aussi généralement entre la fraction de Pélite (taille de grain inférieure à 40 mm) et les concentrations des contaminants dans les sédiments (Dahle S et al, 2003).

En effet, les stations ayant les plus fortes concentrations en HAP correspondent à celles où les plus fortes teneurs en matière organique et la fraction pélitique ont été signalées. Tandis que les plus faibles teneur en HAP ont été observées au niveau des stations ayant les plus faibles teneurs en matière organique et la fraction pélitique.

8 Métaux lourds

Habituellement l'étude des métaux lourds est portée sur la fraction fine du sédiment en raison de l'affinité des métaux pour les particules fines (argiles, matière organique et oxyde de fer et de manganèse...). Cependant, depuis un certain temps on a tendance à suivre les recommandations de l'AIEA (2001) qui consistent à utiliser la fraction totale, ce qui est plus juste et pratique. Ainsi, dans notre étude, la quantification des métaux lourds dans les sédiments superficiels du port d'Alger a été effectuée sur cette fraction totale du sédiment ce qui permet d'éviter aussi les contaminations et les pertes lors du tamisage (Rouibah M, et al, 2005).

8.1 Cuivre

Observation :

Les teneurs en cuivre du sédiment superficiel du port d'Alger fluctuent entre un minimum de 63,58 $\mu\text{g/g}$ PS (S3) et un maximum de 159,13 $\mu\text{g/g}$ PS (S5). La moyenne de cette distribution est de 116,49 $\mu\text{g/g}$ PS avec un écart type de 31,80.

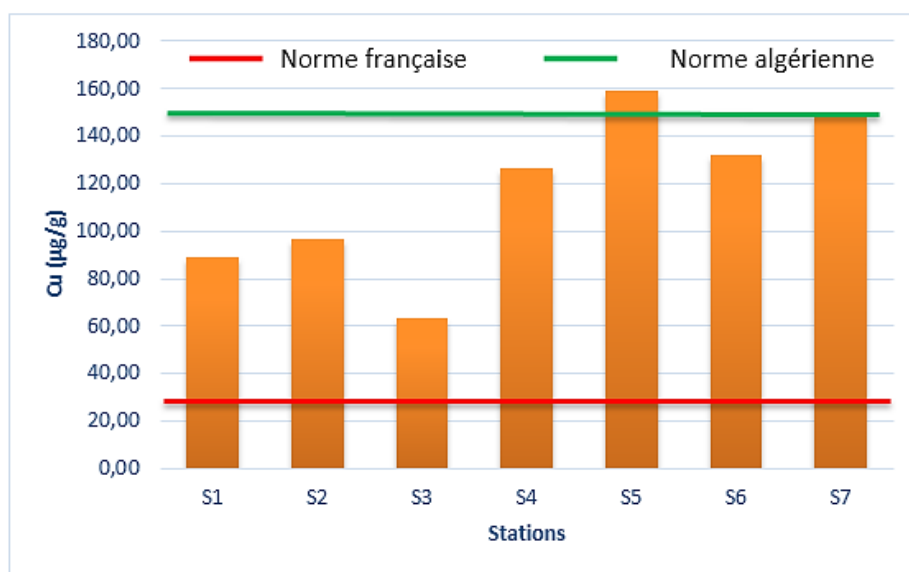


Figure 36 : Variation des concentrations du cuivre dans le sédiment superficiel du port d'Alger

Commentaire :

Les teneurs extrêmes s'observent au niveau des stations (S5, S6 et S7) du bassin Mustapha, ceci est dû probablement aux activités portuaires intenses qui caractérisent ce bassin et à l'exposition directe des stations aux effluents industriels.

Ainsi, l'utilisation de l'oxyde cuivreux (Cu_2O) comme matière active des peintures anti-salissures marines constitue une source importante d'introduction dans les zones portuaires (Alzieu C et al., 1999).

La répartition du cuivre au niveau du port d'Alger semble être en fonction de la couverture sédimentaire du port. En effet, les sédiments vaseux présentent les teneurs les plus élevées contrairement aux sédiments sableux. La nature vaseuse du sédiment explique ces fortes teneurs liées à l'affinité de ces deux éléments pour les argiles et la matière organique (Rouibah M et al, 2005).

En général, ce métal présente pour le port d'Alger des teneurs inférieures aux normes algériennes ($150 \mu\text{g/g PS}$) à l'exception de la station (S5) du bassin Mustapha qui dépassent légèrement la norme. Pour les normes françaises ($26 \mu\text{g/g PS}$), les teneurs en cuivre dans toutes les stations du port dépassent largement la norme définie.

- **Indices de contamination par le cuivre**

Les indices de contamination par le cuivre dans le port d'Alger selon les normes algériennes sont largement inférieurs à 3, indiquant des concentrations normales. Le dragage et la mise en dépôt ne poseraient pas de problèmes majeurs.

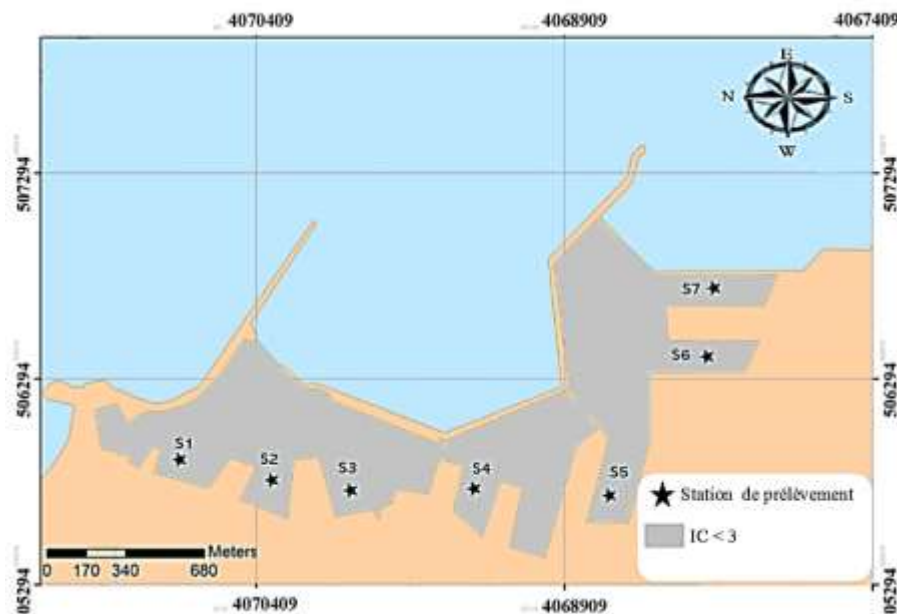


Figure 37: Indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes

Les indices de contamination par le cuivre selon les normes françaises se situent entre 3 et 10 indiquant des zones polluées à suivre soigneusement en cas d'une opération de dragage,

à l'exception de la station (S3) du bassin Vieux-Port qui révèle une concentration normale qui ne pose pas de problème majeur en cas de dragage et mise en dépôt.

Zinc

Les valeurs en zinc sont comprises entre un minimum de 1123,70 $\mu\text{g/g}$ PS (S3) et un maximum de 1785,39 $\mu\text{g/g}$ PS (S4) avec une moyenne de 1470,94 $\mu\text{g/g}$ PS et un écart type de 260,84.

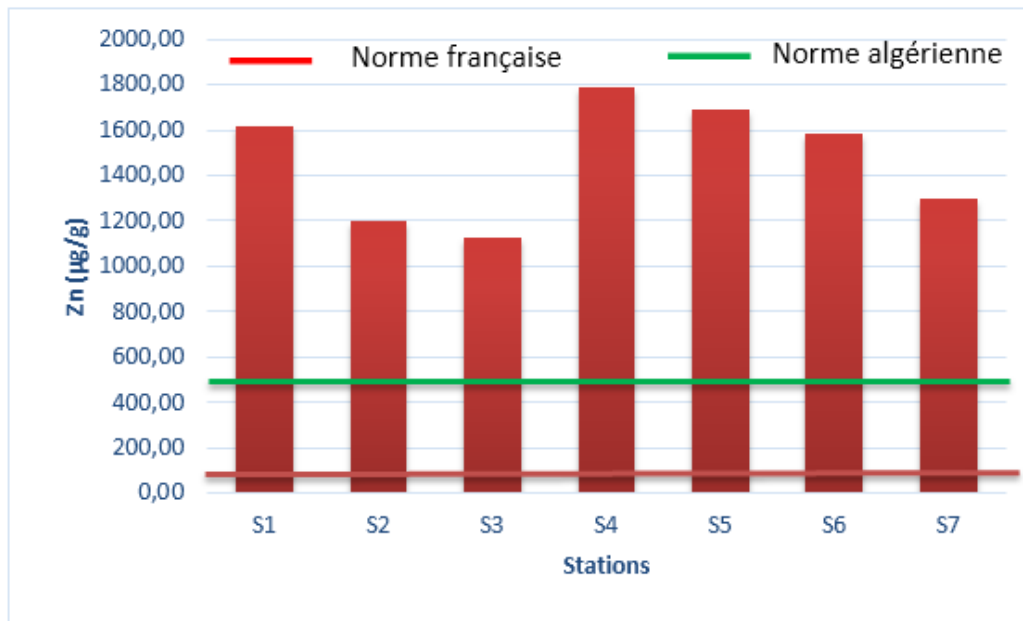


Figure 38 : Variation des concentrations du zinc dans le sédiment superficiel du port d'Alger

Commentaire :

Une grande partie des apports en zinc dans l'environnement est imputable à la métallurgie, la valeur extrême du zinc trouvée au niveau de la station (S4) peut s'expliquer alors par la proximité de celle-ci aux rejets de zinc des unités d'ERENAV.

Dans les zones portuaires, le zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes sacrificielles destinées à la protection des coques des bateaux contre la corrosion, il est aussi contenu dans certaines peintures antisalissure (Alzieu C et al, 1999).

D'une manière générale, les teneurs élevées en zinc résultent de la proximité des différentes stations aux centres des darses du port qui sont exposées aux déversements urbains et industriels (Nadem S et al, 2015), et soumises à un trafic maritime intense et à un séjour en rade des navires (dissolution des peintures antifouling)

Les teneurs en ce métal dans toutes les stations étudiées du port, sont largement supérieures aux normes algériennes ($500 \mu\text{g/g PS}$) et aux normes françaises ($80 \mu\text{g/g PS}$).

• Indices de contamination par le zinc

Les indices de contamination par le zinc selon les normes algériennes dépassent légèrement 3 dans les stations (S1, S4, S5 et S6) indiquant l'existence d'une pollution par le zinc au niveau de ces stations, le dragage et la mise en dépôt des produits qui en résultent doivent être soigneusement étudiés. Pour le reste des stations (S2, S3 et S7) les IC sont inférieurs à 3, révélant des concentrations normales, Le dragage et mise en dépôt ne poseraient pas de problèmes majeurs.

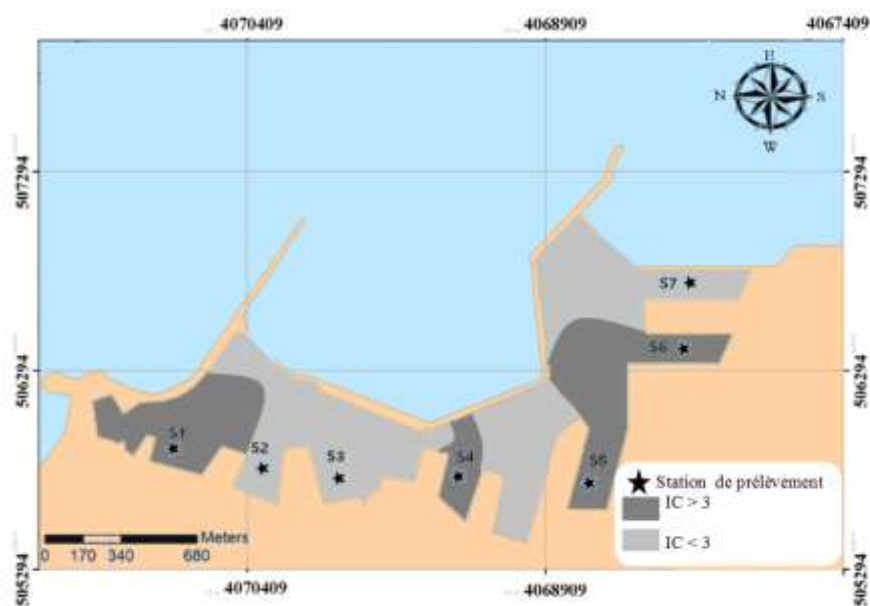


Figure 39 : Indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes

Les indices de contamination par le zinc selon les normes françaises dépassent largement 10, indiquant des zones à risque aussi bien pour le dragage que pour la mise en dépôt des matériaux qui en résultent.

8.2 Mercure

Les teneurs en mercure du sédiment superficiel du port d'Alger présentent des fluctuations significatives entre les différentes stations du port et montrent des valeurs qui se situent entre un minimum de $1,39 \mu\text{g/g PS}$ (S7) et un maximum de $5,91 \mu\text{g/g PS}$ (S1) avec une moyenne de $2,61 \mu\text{g/g PS}$ et un écart type de 1,54.

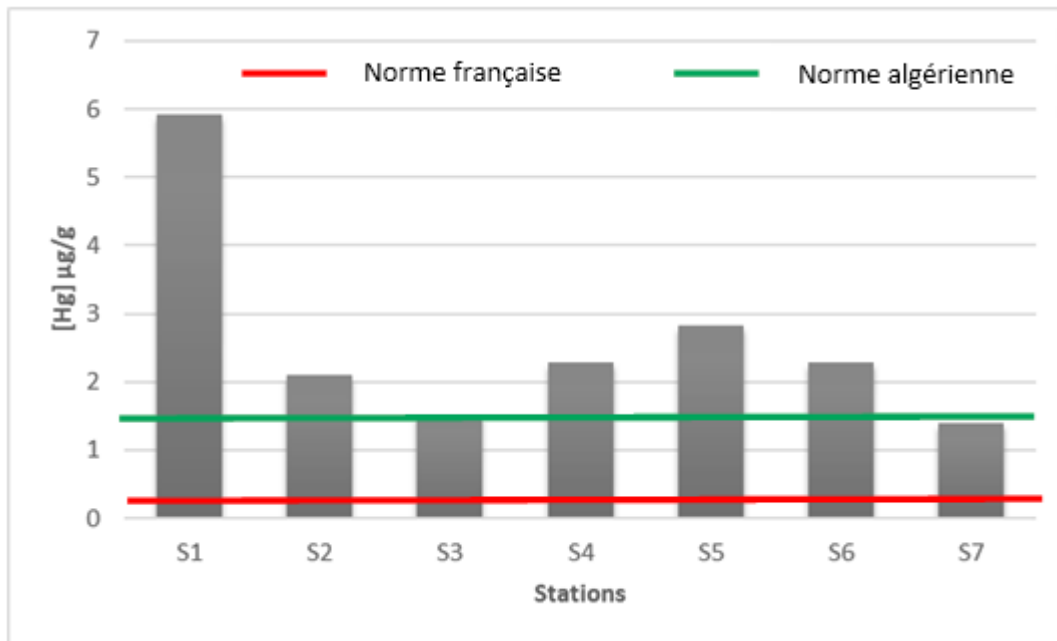


Figure 40 : Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port d'Alger

Commentaire :

Les teneurs élevées du mercure ont différentes origines principalement anthropiques qui résultent dans un premier temps des activités portuaires et industrielles au sein du port telles que vidange, nettoyage, peinture, soudure des bateaux et navires et leur déballastage (Bachouche S., 2010), et la présence dans le port de nombreux rejets urbains de la ville d'Alger notamment le rejet des déchets médicaux riches en mercure (Wang Q et al., 2004) générés par l'hôpital Mustapha.

La concentration la plus élevée a été signalée au niveau de la station (S1) située au centre de la darse N°1 dans le bassin Vieux-Port (la pêcherie) Cette teneur élevée peut être expliquée selon trois hypothèses :

1. Cette zone reçoit des apports d'eaux usées et pluviales qui constituent d'après (Cossa et Ficht, 1999) Les principales sources du mercure en milieu marin.
2. Le mercure est le plus toxique des métaux traces, plus particulièrement ses formes organiques (méthylmercure). La méthylation du mercure est effective dans les sédiments sous l'action des microorganismes et dans la colonne d'eau, il devient alors bioaccumulable par les organismes vivants (GEODE, 2012), la mort et la décomposition

des nombreux poissons issus de l'activité de pêches, peuvent être à l'origine de cette teneur élevée en mercure.

3. L'entrée et stagnation des eaux polluées venues de la baie d'Alger sous l'influence d'Oued El Harrach par la passe Nord.

Le port d'Alger présente des valeurs supérieures à la norme algérienne ($1,5 \mu\text{g/g PS}$) sauf la station (S3) du bassin Vieux-Port et la station (S7) du bassin Mustapha.

Pour la norme française ($0,2 \mu\text{g/g PS}$), les teneurs en mercure dépassent largement pour toutes les stations du port la norme définie.

• Indices de contamination par le mercure

Les indices de contamination par le mercure selon les normes algériennes sont largement inférieurs à 3, le dragage et la mise en dépôt ne poseraient pas de problèmes majeurs. Sauf la station (S1) du bassin Vieux-Port qui révèle un IC légèrement supérieur à 3 indiquant une zone polluée à surveiller en cas de dragage et mise en dépôt.

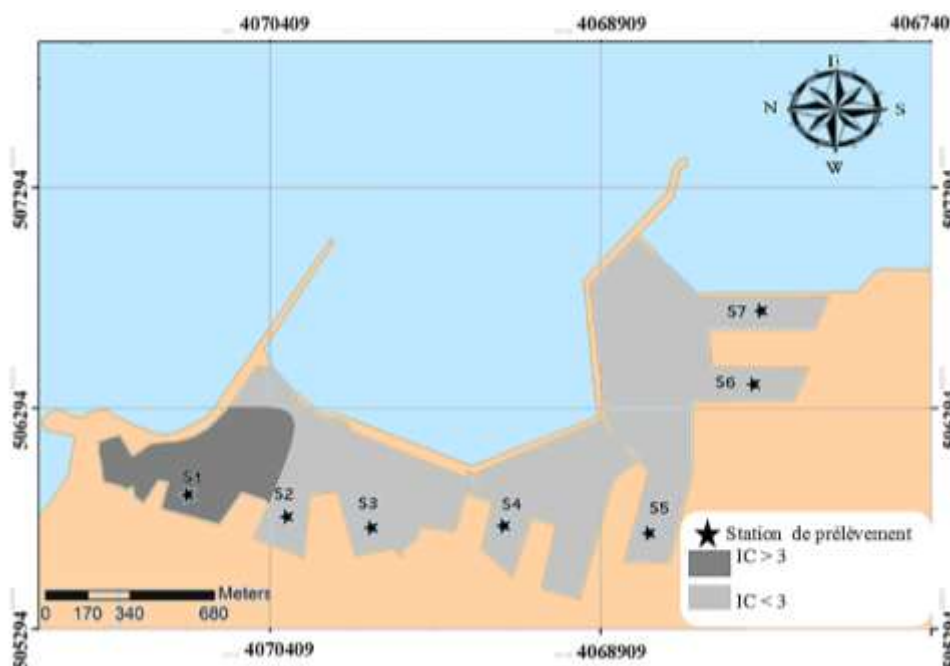


Figure 41 : Indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algériennes

Les indices de contamination par le mercure selon les normes françaises sont supérieurs à 10 aux niveaux des stations (S1, S2, S4, S5 et S6) révélant des zones à risque pour le dragage et le dépôt. Les stations (S3 et S7) présentent des IC inférieurs à 10 indiquant des zones polluées à suivre rigoureusement en cas des opérations de dragage et de dépôt.

8.3 Plomb

Le sédiment superficiel du port d'Alger présente des concentrations en plomb qui oscillent entre un minimum de 82,06 $\mu\text{g/g}$ PS et un maximum de 176,29 $\mu\text{g/g}$ PS avec une moyenne de 128,97 $\mu\text{g/g}$ PS et un écart type de 34,42.

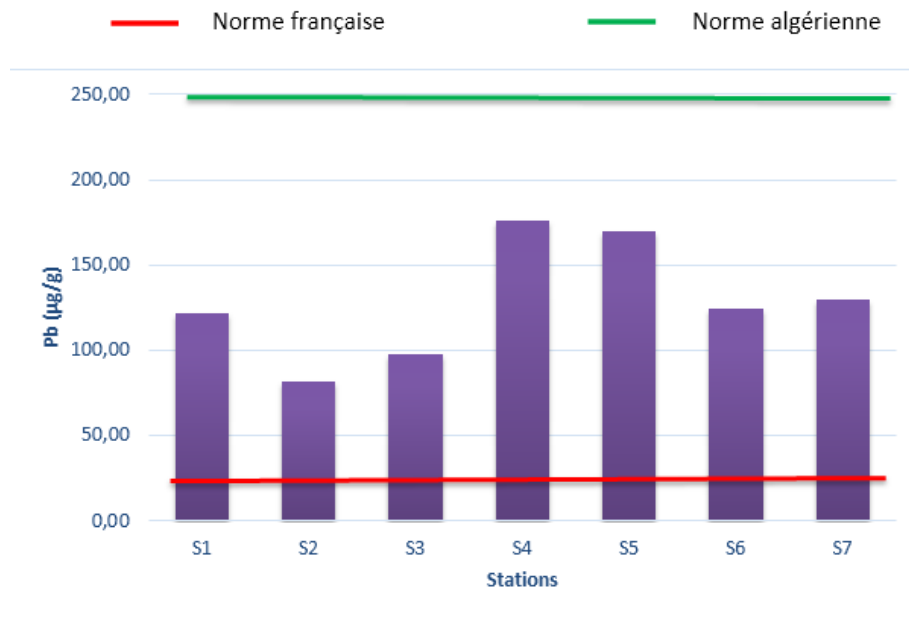


Figure 42 : Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port d'Alger

Commentaire :

Les valeurs les plus élevées s'observent au niveau de la station (S4) et la station (S5).

Les rejets de (Radoub) exploitées par l'ERENAV qui dispose d'un ensemble d'ateliers de réparation naval au niveau du quai N° 16, ainsi la détérioration de la peinture à base de plomb recouvrant les surfaces des coques des embarcations constitue également une source de pollution par le plomb (Chouba et Mzoughi-Aguir, 2006). Ce qui explique la forte concentration en plomb dans la station (S4).

Le Plomb arrive majoritairement en milieu marin par lessivage des zones urbanisées. Il est, aussi introduit dans les sédiments par des rejets lors des réfections de canalisations domestiques (GEODE, 2012) ce qui explique une concentration élevée au niveau de la station (S5).

Toutefois, les concentrations considérées comme élevées, peuvent être dues essentiellement à l'activité portuaire à travers la large utilisation du plomb dans les filets de pêcheurs, la forte consommation du carburant contenant le plomb tétraéthyle (additif) par les barques à moteur.

Ce métal présente des teneurs inférieures aux normes algériennes ($250 \mu\text{g/g PS}$), tandis que pour les normes françaises ($22 \mu\text{g/g PS}$), les teneurs sont largement supérieures.

- **Indices de contamination par le plomb**

Les indices de contamination par le plomb selon les normes algériennes sont largement inférieurs à 3 indiquant des zones à concentrations normales (non polluées), qui ne posent pas de problèmes majeurs en cas d'un dragage.

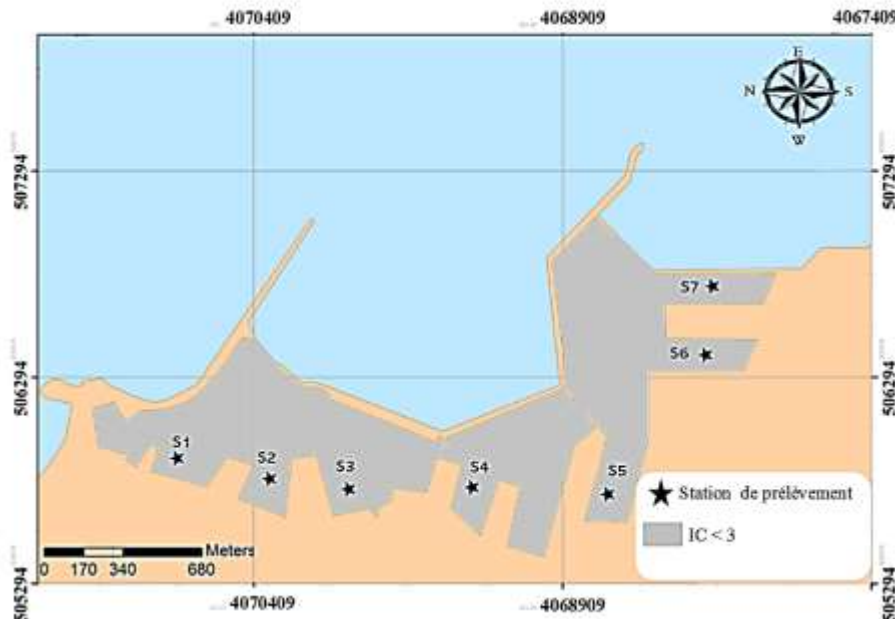


Figure 43 : Indice de contamination par le Plomb dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algérienne

Les indices de contaminations par le plomb selon les normes françaises se situent entre 3 et 10 révélant des zones polluées à surveiller en cas de dragage et mise en dépôt.

8.4 Cadmium

Les teneurs en cadmium du sédiment superficiel du port d'Alger varient entre un minimum de $3,31 \mu\text{g/g PS}$ et un maximum de $8,89 \mu\text{g/g PS}$ avec une moyenne de $6,43$ et un écart type de $1,78$.

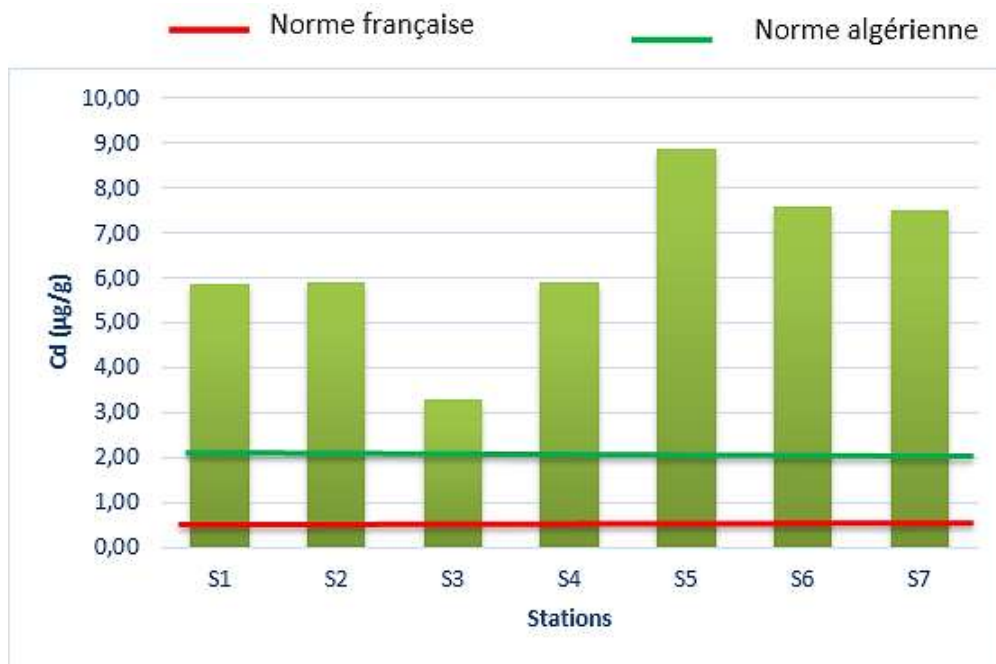


Figure 44 : Variation des concentrations du cadmium dans le sédiment superficiel du port d'Alger

Commentaire :

La station (S5) du bassin Mustapha présente la teneur extrême du cadmium qui est de l'ordre de 8,89 µg/g PS, cette concentration élevée s'explique par la proximité de cette station aux rejets des unités industriels (Nadem S et al, 2015), notamment de la centrale thermique située à l'arrière quai 26 dont l'exploitation relève de la Sonelgaz, la central thermique constitue l'une des principales sources anthropique du Cadmium dans l'environnement.

D'une manière générale, toutes les stations du port reflètent des concentrations assez élevées du cadmium qui dépassent largement les normes algériennes (2 µg/g PS) ainsi que les normes françaises (0,6 µg/g PS). Ceci est probablement dû aux dépôts des rejets industriels et aux activités portuaires telles que les activités d'entretien des bateaux (peinture, soudure) étant donné que ce métal est exploité industriellement comme un sous-produit de la métallurgie du zinc. Il est principalement utilisé pour le traitement de surface des aciers (revêtements anticorrosion) il entre aussi dans le revêtement appliqué par électrodéposition sur d'autres métaux, comme des produits en fer et en acier pour en améliorer l'apparence et les protéger les coques des navires contre la corrosion (Chouba et Mzoughi-Aguir, 2006)

À noter aussi que le port d'Alger est sous l'influence des apports par la passe sud des eaux d'Oued el Harrach, réceptacle d'une variété d'effluents d'origine agricole et industrielle. Ce dernier comprend des engrais phosphatés et des produits chimiques sources principales du cadmium dans l'environnement (Nadem S et al, 2015), ceux-ci s'ajoutent aux rejets

industriels intenses qui expliquent alors les fortes teneurs en cadmium signalées dans les stations du bassin Mustapha.

Le cadmium présente des valeurs largement supérieures aux normes algériennes ($2 \mu\text{g/g}$ PS) et aux normes françaises ($0,6 \mu\text{g/g}$ PS) pour toutes les stations du port.

• Indices de contamination par le cadmium

Les indices de contamination par le cadmium selon les normes algériennes dépassent 3 dans les stations (S5, S6 et S7) du bassin Mustapha montrant des zones polluées à suivre soigneusement en cas de dragage et dépôt. Pour les stations (S1, S2 et S3) du bassin Vieux port et la station (S4) du bassin Agha, les IC sont inférieurs à 3, indiquant des concentrations normales qui ne posent pas de problèmes majeurs en cas de dragage et mise en dépôt.

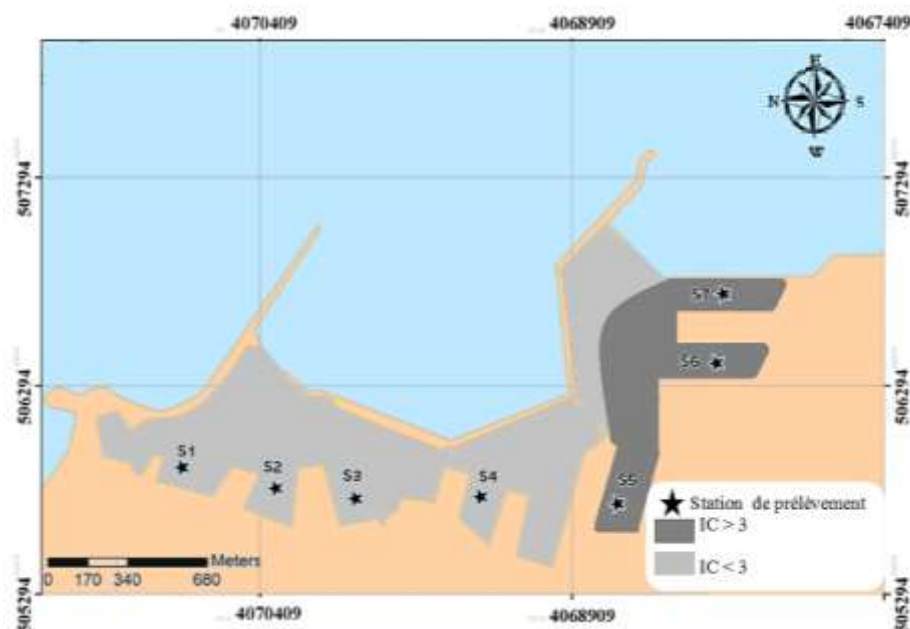


Figure 45 : Indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du port d'Alger selon les normes Algérienne

Les indices de contamination par le cadmium selon les normes françaises sont supérieurs à 10 au niveau des stations (S5, S6 et S7) du bassin Mustapha révélant des zones à risque aussi bien pour le dragage que pour la mise en dépôt des matériaux qui en résultent. Pour les stations (S1, S2 et S3) du bassin Vieux port et la station (S4) du bassin Agha, les IC se situent entre 3 et 10 indiquant des zones polluées à étudier rigoureusement en cas de dragage et dépôt.

9 Etude de la corrélation entre les différents paramètres

9.1 Pélites — Matière organique dans le sédiment

Le taux de la matière organique et celui de la fraction pélitique dans les sédiments superficiels du port d'Alger sont très corrélés ($r = 0,91$). Ceci s'explique par le fait que les pélites sont enrichies en matière organique en raison de leur surface spécifique (d'adsorption) qui est considérablement plus grande que celle d'un sable (Achard R., 2013).

La relation entre le carbone organique et les pélites est donc confirmée par la valeur élevée et hautement significative de leur coefficient de corrélation.

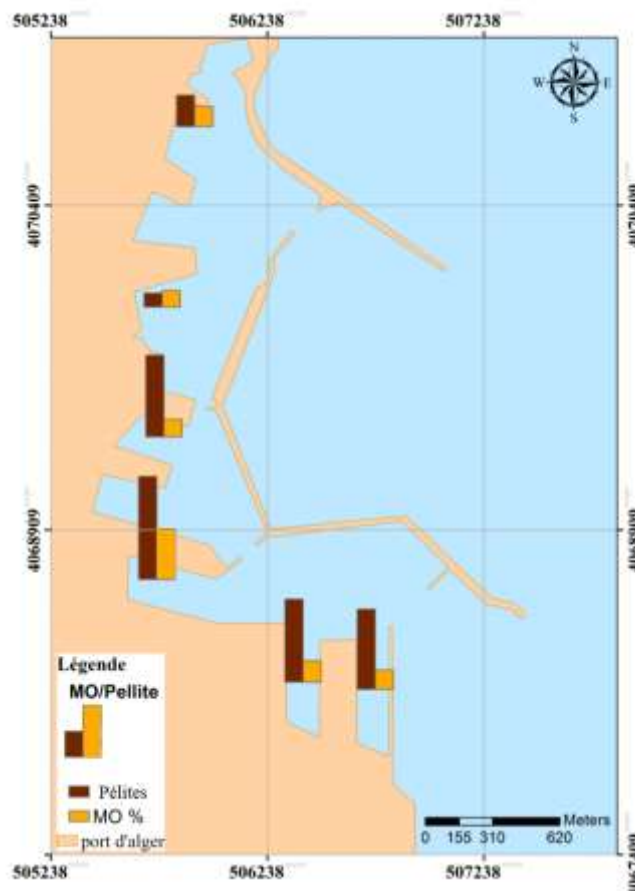


Figure 46 : Représentation cartographique montrant la corrélation entre les pélites et la matière organique dans le port

9.2 Corrélation HAP — matière organique/HAP — taux de pélites

Pour confirmer l'affinité que présentent les HAP vis-à-vis de la matière organique et les pélites, nous avons calculé les coefficients de corrélation entre ces différents paramètres. On a obtenu les résultats suivant :

$$r_{(\text{HAP} - \% \text{ M.O})} = 0,91$$

$$r_{(\text{HAP} - \% \text{ pélites})} = 0,70$$

Pour la matière organique comme pour les pélites, les coefficients de corrélations présentent des valeurs élevées et hautement significatives.

L'affinité des HAP du sédiment superficiel du port d'Alger vis-à-vis la matière organique et les pélites est donc confirmée.

9.3 Corrélation ETM — taux de pélites

Les résultats obtenus dans cette étude montrent une forte corrélation entre les ETM suivants (Cu, Cd et Pb) et le taux de pélites. La plus hautement significative est celle entre le cuivre et les pélites avec un coefficient de corrélation très élevé ($r = 0,98$) Ceci vient corroborer les études antérieures stipulant que les métaux s'associent de préférence à la fraction la plus fine du sédiment (El Baghdadi M et al, 2015)

Pour le zinc, son coefficient de corrélation est supérieur à 0.5, signifie que cet élément est lié en partie aussi aux variations du taux des pélites. La distribution de cet élément semble être aussi en fonction de l'exposition du sédiment aux sources de pollution par le zinc dans le port d'Alger.

9.4 Corrélation ETM — taux de matière organique dans le sédiment

Une bonne corrélation positive entre la matière organique et les ETM tels que Cu, Cd et Pb avec un coefficient de corrélation ($r > 0,70$)

Les substances organiques sont en effet capables de piéger et de concentrer les métaux lourds par les mécanismes d'adsorption au niveau des sédiments (Mseddi H et Ben Mammou A, 2014).

10 Synthèse des résultats obtenus

Stations	Nature de sédiment	% M.O (séd)	HAP ($\mu\text{g/g}$)	IC (Normes algériennes)		
				$IC < 3$	$3 < IC < 10$	$IC > 10$
S1	Sable fin	15,00	200,57	Cu, Pb, Cd	Zn, Hg	
S2	-	14,56	247,69	Cu, Zn, Hg, Pb, Cd		
S3	Gravier	14,07	193,62	Cu, Zn, Hg, Pb, Cd		
S4	Pélites	17,46	293,10	Cu, Hg, Pb, Cd	Zn	
S5	Pélites	20,66	1089,84	Cu, Hg, Pb	Zn, Cd	
S6	Pélites	18,60	707,87	Cu, Hg, Pb	Zn, Cd	
S7	Pélites	16,71	283,12	Cu, Zn, Hg, Pb	Cd	

Tableau 18 : Récapitulatif des résultats obtenus

Conclusion générale

Le port d'Alger est une zone où s'intensifie la pollution de différents types et origines, Toutefois, les usages et les apports par les bassins versants (urbains, industriels) ont fait que ceux-ci se retrouvent dans des quantités anormalement élevées dans le port. Ce dernier nécessite un dragage régulier car il est connu par des problèmes d'envasement (Belkessa R., 2005) qui réduisent la circulation des navires. Le dragage est alors indispensable pour le maintien et le développement des activités maritimes.

En effet cette étude a permis d'apporter un support d'aide à la prise de décision concernant le devenir des sédiments du port d'Alger au cas où une opération de dragage aura lieu, en évaluant leur degré de pollution,

Effectivement, la présente étude a révélé que la proportion des polluants dans les sédiments est de plus en plus élevée par la cause des productions industrielles et rejets urbains ou domestiques ainsi l'intensité du trafic maritime. Nous avons constaté que les sédiments du port d'Alger sont des matrices qui contiennent un certain nombre de contaminants. Parmi ceux-ci on citera les **métaux**, les **hydrocarbures**, certains **composés organiques**.

Les valeurs sont très significatives dans le bassin Mustapha., les résultats obtenus apportent des informations pertinentes pour la toxicité des sédiments surtout par rapport à certains métaux. Toutefois il faut faire une étude rigoureuse et bien contrôlée en cas de dragage et de dépôt ; Car la remise en suspension et la propagation de ces matériaux peuvent engendrer des actions dommageables vis-à-vis de la faune et de la flore sous l'influence des dragages alors, l'immersion et le dépôt de ces sédiments risquent de redistribuer des polluants dans milieu naturel.

Actuellement, dans une tendance d'une gestion écologique basée sur le développement durable, les législations internationales conduisent à une plus grande protection de l'environnement. En fonction de leur pollution, les sédiments seraient utilisés en remblais lors des travaux d'assainissements, ou bien déposé dans des sites de stockage.

De point de vue écologique, la quantité de matériaux à draguer et immerger affecte directement l'ampleur de l'impact de l'opération sur l'environnement. :

Impact des du dragage sur l'environnement en cas d'immersion

Au niveau des sites de dragage, la quantité de matériaux est directement liée aux objectifs de profondeur et de surface à atteindre : l'augmentation de la profondeur favorise la création des milieux anoxiques entraînant une recolonisation plus lente et une transition des communautés d'espèces plus tolérantes à ces conditions ;

- Outre les impacts directs sur les fonds, l'augmentation des volumes de dragage accroît également les risques de perturbations des conditions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires.
- Dispersion de la matière en suspension que ce soit pour le milieu dragué ou le milieu réceptacle : Les matières en suspension sont au cœur des problématiques de dragage et d'immersion du fait de la remise en suspension des matériaux et de la création de panaches turbides. En interceptant en partie la lumière, elles peuvent constituer une source de perturbation pour des éléments biologiques, comme les végétaux sous-marins (herbiers) ou les invertébrés filtreurs (benthos). En se déposant et s'incorporant aux sédiments, ces particules vont ensuite modifier la structure et le degré de contamination des fonds.
- Les hydrocarbures peuvent aussi avoir un effet dommageable en bloquant physiquement les processus de respiration des animaux et des végétaux, voire de permettre à d'autres contaminants d'exprimer leur toxicité.

Perspectives et recommandations

- À ce titre, une stratégie d'échantillonnage au niveau du site de dragage (nombre et densité de stations, fréquence des prélèvements, durée du suivi, le volume à draguer) est nécessaire avant d'entamer une opération de dragage.
- Il est indispensable d'agir en amont pour éviter les flux polluants à la source en appliquant le principe « pollueur-payeur » sur l'ensemble des activités contribuant à la pollution des sédiments, et d'inciter aux bonnes pratiques en matière de dragage et d'immersion.
- Il faut que la réglementation algérienne actuelle soit plus rigoureuse et permet de prendre en compte la protection de l'environnement et la santé humaine, en évitant l'immersion des sédiments pollués dont la teneur en certaines substances présenterait un risque de contamination des milieux marins tel est le cas pour le port d'Alger.
- Encourager le développement de filières de valorisation des sédiments dans un concept de développement durable afin de créer un meilleur équilibre entre les dimensions économique, sociale et environnementale.
- Il est important de compléter cette étude avec d'autres stations et analyses telles que (l'analyse bactériologique, TBT, PCB...etc) pour que la présente étude soit effective, afin de mieux gérer l'opération de dragage et prévoir son impact,

Références Bibliographiques

- **ACHARD, R. (2013).** *Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage : rôle spécifique de la matière organique naturelle.* Thèse de doctorat. Chimie de l'environnement. Toulon : université du Sud Toulon Var, 183 p.
- **ACHOUR, R. (2013).** *Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage.* Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : Université des Sciences et Techniques, 199 p.
- **AGOSTINI, F. (2006).** *Inertage et valorisation des sédiments de dragages marins.* Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : Université des Sciences et Techniques, 207 p.
- **AIEA, (1998).** *Programme préliminaire pour MED POL sur l'analyse des métaux traces dans les échantillons biologiques et les sédiments.* IAEA-MEL : Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : Laboratoire sur l'Etude de l'Environnement Marin.
- **AIEA, (2001).** *The performance study for MED POL determination of trace elements and methylmercury in estuarine sediment sample:* Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: MED POL.
- **ALZIEU, C. (2003).** *Bioévaluation de la qualité environnemental des sédiments portuaires et des zones d'immersion.* Plouzané : Ifremer. 247 p.
- **ALZIEU, C. (1999).** *Dragage et environnement marin : Etats des connaissances.* Plouzané : Ifremer. 223 p.
- **AMMAMI, M. (2013).** *Contribution à l'étude des processus électrocinétiques appliqués aux sédiments de dragage.* Thèse de doctorat. Génie civil. Havre : Université du Havre, 183 p.
- **ASSOU, A. (1982).** *Contribution à l'étude des polluants métalliques chez les moules PernaPerna (L) dans la région d'Alger.* Thèse de magister. Océanographie biologique. Marseille : Université d'Aix-marseille II, 138 p.
- **ATTEIA, O. (2005).** *Chimie et pollutions des eaux souterraines.* Paris : Lavoisier. 398 p.
- **AUDIGIE, C. (1985).** *Principes des méthodes d'analyse biochimique.* France : Doin. 190 p.
- **BACHOUCHE, S. (2010).** *Les ports d'Alger et de Bouharoun : étude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une*

- opération de dragage*. Thèse de magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 182 p.
- **BAKALEM, A. (1986)**. *Cartographie des peuplements benthiques du port d'Alger* : Rapport d'activité. Document non publié. France : Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer méditerranée.
 - **BEL HADJALI, I. (2014)**. *Contribution à l'étude des sédiments marins tunisiens : cas des ports de Radès et de Gabès*. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : Ecole centrale de Lille, 195 p.
 - **BELKESSA, R. (2005)**. *Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments*. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Constantine : Université Mentouri, 412 p.
 - **BENOUD, T. (1991)**. *Contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger*, Mémoire DEUA. Alger : ISMAL. 54 p.
 - **BOUDRAA, W. (2015)**. *Qualité bactériologique et physicochimique de l'eau des plages d'Annaba*. 1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques : Rapport d'activité. Document non publié. Algérie : Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk ahras.
 - **CHAMLEY, H. (1987)**. *La sédimentologie*. Paris : Dunod, 175 p.
 - **CHANG, J. (2014)**. *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in starfish body and bottom sediments in Mohang Harbor (Taean), South Korea*. Environmental monitoring and assessment, p. 4343-4356.
 - **CHARLOU, J. (1983)**. *Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in : Aminot, A., et Chaussepied, M. (Ed) : Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Brest : Cnexo, p. 285-295.
 - **CHOUBA, L. (2006)**. *Les métaux traces (cd, pb, hg) et les hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la frange côtière du golfe de gabes*. Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, p. 93-100.
 - **COLIN, D. (2003)**. *Valorisation des sédiments fins de dragage en technique routière*. Thèse de Doctorat. Génie civil. Cean : Université de Caen, 180 p.

- **COSSA, D. (1993).** *Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie.* France : Ifremer, 76 p.
- **COSSA, D. (1999).** *La dynamique du mercure.* France : Ifremer, 25 p.
- **COULON, F. (2014).** *Contribution à l'étude des sédiments marins lors d'opérations de dragage portuaire : re-sédimentation et mobilisation de la pollution organique.* Thèse de doctorat. Chimie et physicochimie des matériaux. Montpellier : Université de Montpellier, 231 p.
- **DAHLE, S. (2003).** *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay.* The Science of The Total Environment, p. 57-71.
- **DEVALLOIS, V (2009).** *Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux.* Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement. France : Université de Provence ,237 p.
- **DIA, M. (2013).** *Traitement et valorisation de sédiments de dragage phosphatés en technique routière.* Thèse de doctorat. Génie civil et Environnement. France : Université d'Artois. 169 p.
- **DJAMEL, T. (2009).** *Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger.* Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 98 p.
- **EL BAGHDADI, M. (2015).** *Effet de la décharge publique de la ville de Béni-Mellal sur les sédiments et les sols au niveau d'Oued Sabeq.* J. Mater. Environ. Sci. Vol. 6, n° 11, p. 3371-3381.
- **EL BLIDI, S. (2003).** *Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc).* Bulletin de l'Institut Scientifique, n°25, p. 57-65.
- **EL FADILI, M. (2015).** *Enquête dragage 2011, Synthèse des données : Rapport d'activité.* Document non publié. France : MargnyLès-Compiègne.
- **ERDOĞAN, M. (2009).** *Monitoring and statistical assessment of heavy metal pollution in sediments along izmir bay using ICP-MS.* Thèse de doctorat. Chimie. Turkey: Izmir institute of technology, 116 p.
- **FATTAL, P. (2008).** *Pollution des côtes par les hydrocarbures.* France : Presse universitaire de Rennes, 395 p.

- **GEODE (2012).** *Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion, guide méthodologique* : Rapport d'activité. Document non publié. France : GEODE.
- **GONZALEZ, J.L. (1999).** *Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire*. Plouzané : Ifremer, 31 p.
- **Houma, F. (2004).** *Développement d'une méthodologie pour caractériser et déterminer la pollution des eaux de mer par les hydrocarbures en utilisant des images satellites* : Rapport d'étude. Document non publié. Barcelone : CIESM.
- **JONES, K.C. (1999).** *Persistent organic pollutants (POPs): state of the science*. Environmental Pollution. Vol. 100, p. 209-221.
- **KOROGHLI, A. (2010).** *Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger*. Thèse de magister. Écologie et environnement. Alger : USTHB, 150 p.
- **LAAMA, C. (2009).** *Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du port d'Alger*. Mémoire DEUA. Alger : ENSSMAL, 98 p.
- **LAHMER, N., (2010).** *Etude du comportement des métaux lourds Pb, Zn, Cu et Cd en surface d'une matrice de type sédiment*. Thèse de magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 196 p.
- **LEFEVRE, G. (1978).** *Chimie des hydrocarbures*. Paris : Technip, 284 p.
- **LEYNAUD, G. (1968).** *Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique*. Rapport d'activité. Document non publié. Algérie : Ministère de l'agriculture.
- **LIANG, Y. (2012).** *Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres*. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université de Caen, 194 p.
- **LOUSTAU, C.M. (2012).** *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques, Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques*. Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement industriel et urbain. Lyon : L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 239 p.
- **MAC, F. (2004).** *Méthodologie de gestion des matériaux de dragage maritime, application au port de Dunkerque*. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Ecole des Mines de Douai, 298 p.
- **MARCHAND, M. (1997).** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. *OCEANIS*. Vol. 23, n°4, p. 597-629.

- **MAROT, F. (1998).** *Caractérisation et traitement de sédiments de dragage contenant des polluants métalliques.* Paris : BRGM, 330 p.
- **MAZEAS, O. (2004).** *Evaluation de l'exposition des organismes aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le milieu marin par le dosage des métabolites de HAP.* Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement. Bordeaux : Université de Bordeaux I, 456 p.
- **MECHEKEF, Y. (2009).** *Evaluation de la contamination par les hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau et le sédiment superficiel dans le port d'Alger : cartographie des polluants.* Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 83 p.
- **MEUZELAAR, T. (2015).** *Hydrothermal alteration of carbonaceous mudstones hosting the eskay creek au deposit.* Thèse de doctorat. Géologie. Columbia : L'école des mines de Colorado, 187 p.
- **Miquel, M. (2001).** *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques : Rapport d'activité.* Document non publié. France : Sénat.
- **MIRAOU, M. (2010).** *Prétraitement et traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation dans le génie civil.* Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : Université des Sciences et Technologies de Lille1, 210 p.
- **MOUNI, L. (2009).** *Étude et caractérisation physicochimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie).* Revue Sécheresse. Vol. 20, n°4, p. 360-366.
- **MSEDDI, H. (2014).** *Evaluation de la contamination des sédiments des oueds Rémir et Siliana par les rejets miniers d'El Akhouat (Bassin versant de Siliana, Nord-Ouest de la Tunisie).* Geo-Eco-Trop. Vol.38, n° 2, p. 305-316.
- **NADEM, S. (2015).** *Evaluation de la contamination en métaux lourds des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc).* J. Mater. Environ. Sci. Vol. 6, n° 11, p. 3338-3345.
- **NGO, V.D. (2015).** *Contribution à l'approche probabiliste de la durabilité des structures en béton soumises à la carbonatation.* Thèse de doctorat. Mécanique des matériaux. Toulouse : Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 229 p.
- **NOPPE, K. (1996).** *Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons.*

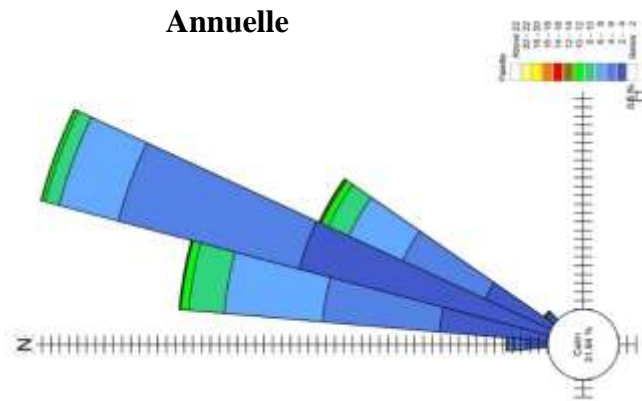
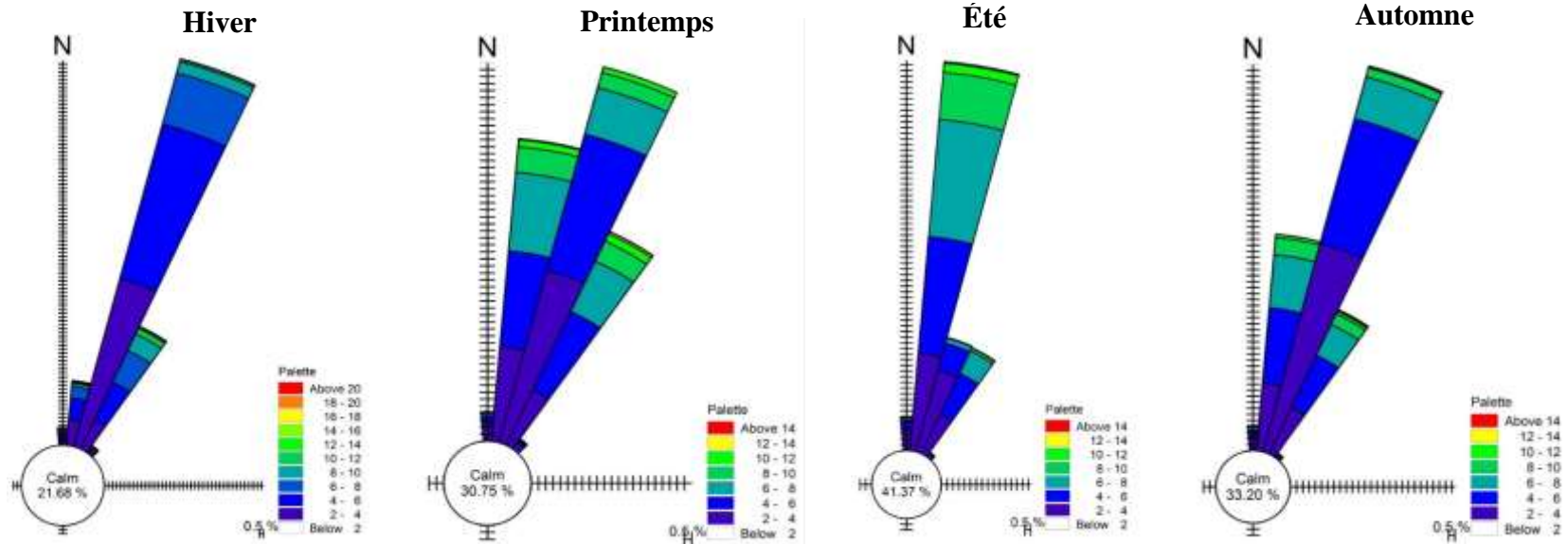
- Mémoire DEA. Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistiques et Géochimie. Paris : Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 41 p.
- **PICHARD, A. (2005).** Zinc et ses dérivés : Rapport d'activité. Document non publié. France : INERIS-DRC.
 - **PIMSEE, P. (2014).** *Etude du comportement des Hydrocarbures aromatique Polycycliques (HAP) lors du déversement accidentel d'Hydrocarbures en eaux continentales.* Thèse de doctorat. Sciences des Agroressources. France : Université de Toulouse, 175 p.
 - **PNUE/FAO/OMS, (1989).** *Evaluation de l'état de la pollution de la mer méditerranée par le Cadmium et les composés de Cadmium :* Rapport d'activité. Document non publié. France : UNEP.
 - **QIU, X. (1994).** *Grass-enhanced bioremediation for clay soils contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons:* Rapport d'activité. Document non publié. Washington D.C: American Chemical Society.
 - **RABAH EL MAZARI KELAI, F. (2009).** *Etude et détermination des seuils de pollution aquatique au littoral dans le port d'Alger et le secteur Ferhani.* Mémoire DEUA. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 56 p.
 - **REBZANI ZAHAF, C. (1996).** *Cycle annuel du peuplement macrobenthique du port d'Alger.* OCEANOLOGICA ACTA. Vol. 20, n° 2, p. 461-477.
 - **RODIER, J. (2005).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* Paris : Dunod, 1384 p.
 - **ROLLIN, C. (2006).** *Eléments traces métalliques, guide méthodologique : recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines :* Rapport d'activité. Document non publié. France : INERIS.
 - **ROUIBAH, M. (2005).** *Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia :* Rapport d'activité. Document non publié. Alger : ISMAL.
 - **SCHNEIDER, G. (2001).** Le curage des sédiments des cours d'eau [En ligne]. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA. Consulté le [15/07/2015]. Disponible sur : <http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm>.

- **SCORDIA, P.Y. (2008).** *Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers.* Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : L'école centrale de Lille, 189 p.
- **SEFSAF, B. (2008).** *Etat de la pollution du port d'Alger par les navires : cas du bassin pétrolier (darse8 et 9).* Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 95 p.
- **SELLALI, B. (1996).** *La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée sud occidentale : contamination de l'eau et du sédiment superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie.* Thèse de magister. Océanographie. Alger : USTHB, 203 p.
- **SHANN, J.R. (1994).** *Influence of plant species on in situ rhizosphere technology:* Rapport d'activité. Document non publié. Washington DC: American Chemical society.
- **SONG, Y. (2016).** *Traitement électrocinétique des sédiments de dragage et valorisation par solidification/stabilisation.* Thèse de doctorat. Génie civil. Normandie : Normandie université, 164 p.
- **SPARKS, D.L. (2003).** *Environmental Soil Chemistry.* USA : Elsevier, 352 p.
- **TAGHEZOUT, F. (2015).** *Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental algérien.* Thèse de magister. Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, 122 p.
- **TALAMI-TALEB, R. (1970).** *Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger.* Thèse de doctorat. Océanographie biologique. Alger : USTHB, 194 p.
- **UNEP/IAEA, (1985).** *Determination of total chromium in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies:* Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : UNEP.
- **UNEP/IAEA, (1985).** *Determination of total copper in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies :* Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: UNEP.
- **UNEP/IAEA, (1986).** *Determination of total zinc in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies :* Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : UNEP.

- **UNEP/IAEA, (1986).** *Determination of total manganese in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies* : Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: UNEP.
- **WANG, Q. (2004).** *Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems. Environmental Pollution.* Vol. 131, n° 2, p. 323-336.
- **WHO, (1987).** *Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global environment monitoring system* : Rapport d'activité. Document non publié. Genève : WHO.
- **WILD, S. (1995).** *Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. Environmental pollution,* p. 91-108.

Annexes

Annexes I



Rose annuelle et saisonnières des vents station Dar el Baidha

(ONM 1994-2013).

Annexes II

Fiche technique : Sortie en mer

Lieu de prélèvement : Port d'Alger

Date de prélèvement : 24 /04/2016

Membres d'équipage : HECHAICHI Wafa – ZEROUALI Maya – Le marin : Rabeh-MEBARKI Chawki

Nom de l'embarcation : ZAKARI AL70

Matériels utilisés : Benne « van veen »- bouteille Niskin- Valise multi paramètres (PH, S, T, OD.)- flacons en polyéthylène- boites de pétrie en verre – sachets- spatules en plastique- spatules inoxydable

Station s	Heure de prélèvement	Longitude	Latitude	Etat de la mer	observation	Mesures in-situ				
						PH	S	T°	OD (ppm)	conductivité
01	9 h 30	3° 3' - 1"54.0"E	36° 46' - 1"58.1"N	Calme	Temps nuageux vent secteur ouest	8,16	36,41	17,72	5,71	47,25
02	10 h 6	3° 3' - 1"55.9"E	36° 46' - 1"42.9"N	Agitée	Vent secteur ouest (10-15km/h) Sédiment gravier Difficulté de prélèvement (quai de la force naval)	8,20	36,34	17,75	4,79	47,2
03	10 h 27	3° 3' - 1"54.2"E	36° 46' - 1"33.0"N	Peu agitée	Vent secteur ouest (10-15km/h)	8,15	36,52	17,8	4,58	47,46

Annexes II

04	10 h 58	3° 3' - 1"52.8"E	36° 46' - 1"12.3"N	Peu agitée	Vent secteur ouest (10-15km/h)	8,13	36,79	17,98	4,91	47,96
05	11 h 20	3° 3' - 1"55.7"E	36° 45' - 1"49.8"N	Calme	Eau et sédiment très pollués à cause des rejets (égouts) Mauvaise odeur	7,91	36	18,08	3,31	47,15
06	11 h 34	3° 4' - 1"14.6"E	36° 45' - 1"36.3"N	Calme	Eau et sédiment très pollués (rejets des raffineries...) Sédiments pollué compact	7,93	34,89	18,53	3,53	46,3
07	11 h 51	3° 4' - 1"27.8"E	36° 45' - 1"37.0"N	Calme	Eau trouble Sédiment vaseux	7,95	36,1	18,09	3,67	47,27

Matériels et appareillage des hydrocarbures :

- Lyophilisateur
- Balance à précision
- Sous-jet et générateur d'azote
- Extracteur Soxhlet multi-post
- Evaporateur rotatif
- Etuve
- Cartouches en cellulose
- Tubes à essais
- Piluliers en verre
- Entonnoirs
- Bobine d'aluminium
- Mortiers en porcelaine
- Ballons à col rodé et base plate
- Béchers
- Colonne chromatographique
- Laine de verre
- Spatules en métal inoxydable

Annexe IV

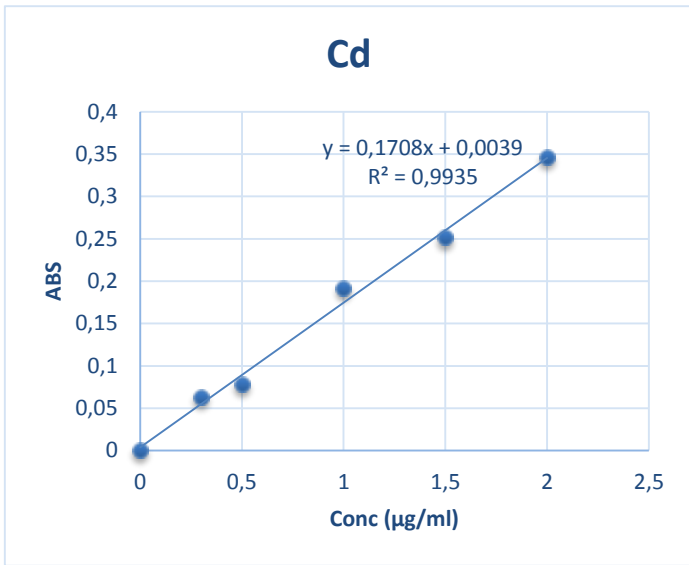


Figure 49 : courbe d'étalonnage pour le cadmium

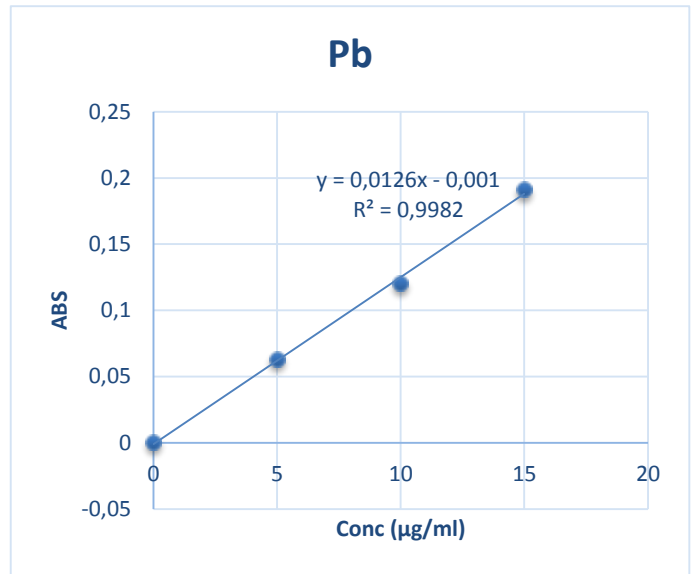


Figure 51 : courbe d'étalonnage pour le plomb

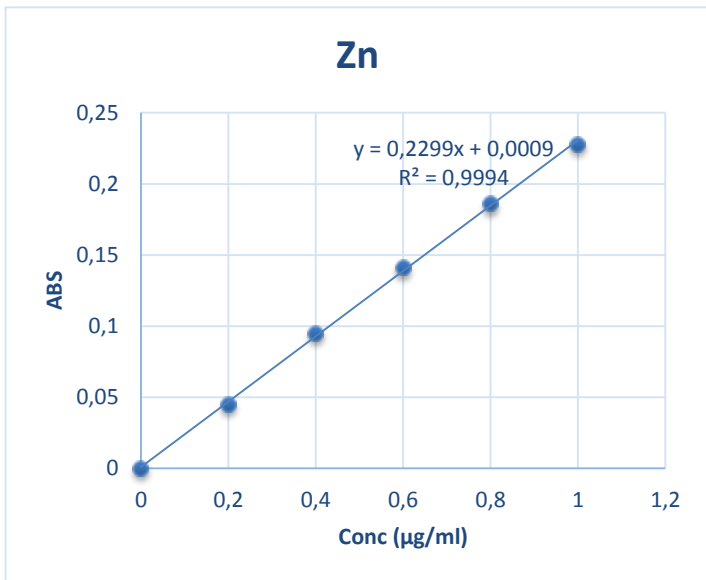


Figure 50 : courbe d'étalonnage pour le zinc

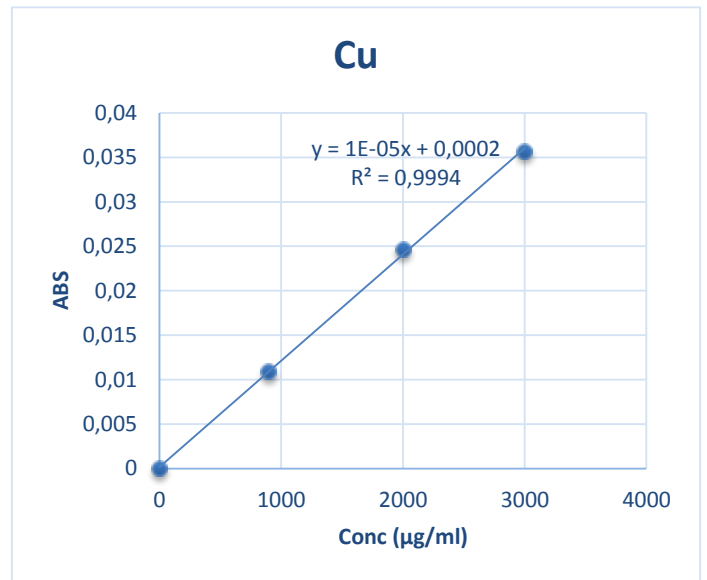


Figure 48 : courbe d'étalonnage pour le cuivre

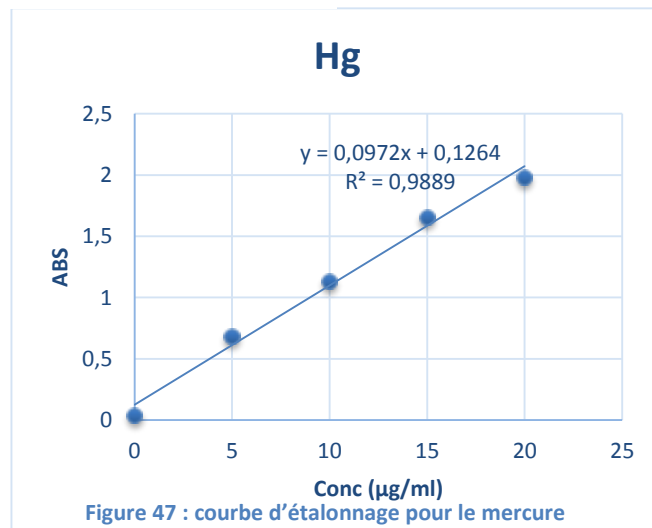


Figure 47 : courbe d'étalonnage pour le mercure

Contribution à l'évaluation de l'état de pollution des sédiments superficiels du port d'Alger en cas d'une opération de dragage

Résumé

Le dragage est une activité nécessaire permettant d'assurer les meilleures conditions d'accès des navires au port. Les grandes quantités des sédiments dragués peuvent nuire à l'environnement aquatique. En raison de l'activité industrielle portuaire et les rejets de différentes sources ; des contaminants organiques (HAP, TBT, PCB, etc.) et inorganiques (ETM) peuvent être identifiés dans les matrices sédimentaires.

Dans la présente étude, plusieurs paramètres de pollution ont été étudiés dans le but d'évaluer le degré de contamination des sédiments superficiels du port d'Alger. Les résultats indiquent que ces sédiments sont fortement contaminés par les métaux lourds, essentiellement le zinc, le Mercure et le Cadmium dont les concentrations dépassent largement les normes définies. Ainsi que par les hydrocarbures aromatiques polycycliques qui révèlent des teneurs assez élevées. Les taux les plus élevés de pélites ainsi que la charge la plus importante en contaminants ont été signalés au niveau du bassin Mustapha où sont implantés la quasi-totalité des unités industrielles du port d'Alger. Il est donc nécessaire de prendre en compte la mauvaise qualité de ces sédiments dans les processus décisionnels au cas où un dragage aura lieu.

Mots clés : Dragage, port d'Alger, sédiments superficiel, pollution, HAP, ETM.

Abstract

Dredging is a necessary activity to ensure the best conditions for access of ships in port. The large quantities of dredged sediments can harm the aquatic environment. Because of the port industrial activity and discharges from various sources; organic (PAHs, TBT, PCBs, etc.) and inorganic (MTE) contaminants can be identified in the sedimentary matrix.

In this study, several pollution parameters were studied in order to assess the degree of contamination of surficial sediments from the port of Algiers. The results indicate that these sediments are highly contaminated with heavy metals; mainly zinc, mercury and cadmium whose concentrations far exceed the defined standards. As well as polycyclic aromatic hydrocarbons that reveal high levels. The highest rate of mudstones and the most important contaminant loads were reported at the Mustapha basin where are located almost all industrial units of the port of Algiers. It is therefore necessary to take into account the poor quality of these sediments in the decision-making process if dredging takes place.

Keys words: Dredging, port of Algiers, surficial sediments, pollution, PAHs, MTE.

الملخص

التجريف هو نشاط ضروري لضمان أفضل الظروف لوصول السفن إلى الميناء. كميات كبيرة من الرواسب المجروفة يمكن أن تضرر بالبيئة البحرية. من جراء النشاط الصناعي في الميناء و التفريغ من مصادر مختلفة؛ يمكن التعرف على الملوثات العضوية (الهيدروكربونات متعددة الحلقات، ثلاثي بوتيل القصدير، ثنائي الفينيل متعدد الكلور، الخ) وغير العضوية (المعادن الثقيلة) في الرسوبيات.

في هذا العمل، تمت دراسة العديد من معلمات التلوث من أجل تقييم درجة تلوث الرواسب السطحية لميناء الجزائر العاصمة. وتشير النتائج إلى أن هذه الرواسب ملوثة بشكل كبير بالمعادن الثقيلة، وخاصة الزنك والزنابق والكاديوم بتركيزات تتجاوز بكثير المعايير المحددة. وكذلك الهيدروكربونات متعددة الحلقات التي تكشف أيضا عن مستويات مرتفعة. أعلى مستويات التربة الطينية والملوثات تم الكشف عنها في حوض مصطفي حيث تتواجد اغلب الوحدات الصناعية لميناء الجزائر العاصمة. ولذا فمن الضروري أن تأخذ في عين الاعتبار النوعية الرديئة لهذه الرواسب في عملية صنع القرار في حالة حدوث التجريف.

الكلمات الدالة: التجريف، ميناء الجزائر، الرواسب السطحية، التلوث، الهيدروكربونات متعددة الحلقات، المعادن الثقيلة