

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL.

Thème :

**Caractérisation environnementale, réglementation et comportement
des sédiments de dragage**

Présenté par:

HADIDI Anissa

LABED Noureddine

Soutenu le 03/07/2018 à 13 :00H devant le jury :

M. HAMDI Boualem	Professeur (ENSSMAL)	Président
M. BOUGHRIRA	Maitre-assistant A (ENSSMAL)	Examinateur
M. AOUDJ C	Cadre (MICLAT)	Examinatrice
M^{me}. BACHARI HOUMA F.	Professeur (ENSSMAL)	promotrice
M^{me}. DJEHA L.	Ingénieur chef (LEM)	Co-promotrice

Remerciements

Des doutes, des certitudes, des euphories, des satisfactions, des moments de solitude, des présentations dont nous raffolons, des nuits, des week-ends, des étapes que l'on franchi, pas après pas. Un mémoire est un exercice passionnant. Un apprentissage à caractère scientifique. On se révèle et on prend confiance.

Nous tenons en premier lieu à remercier le bon DIEU de nous avoir procuré : santé, patience et amour ainsi aux membres de nos familles qui nous ont soutenu durant ce petit séjour pour réaliser ce modeste travail.

Nos premiers remerciements, et sans doute les plus vifs, s'adressent tout particulièrement à notre promotrice, Madame **BACHARI HOUMA F.**, pour l'intérêt incessant qu'il a porté au suivi de ce mémoire et pour avoir accepté d'encadrer ce travail.

Notre reconnaissance va aussi à notre co-promotrice, Madame **DJEHA L.**, qui, malgré son emploi du temps plus que chargé, a pu trouver un moment pour nous aider et même de nous réserver un accueil très chaleureux dans son bureau.

Nous tenons aussi à remercier les personnes qui ont accepté de participer à ce jury de thèse, à notre président du jury Monsieur **HAMDI B.** et à nos examinateurs : Monsieur **AOUDJ C.** et Monsieur **BOUGHRIRA A.**

Nous exprimons nos sincères remerciements à monsieur **AOUDJ C.** pour son orientation, ses aides, conseils, encouragements et sa disponibilité tout au long de notre travail ainsi que son suivi durant toute la durée du projet.

Nous tenons à remercier messieurs **HALAILI Y., MEZHOUD A. et Mostapha** pour leurs aide et conseils.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements aux personnes qui nous ont laissés leurs touches d'encouragements : **DJOUADI R., HANTAL A. et HOUGGAS C.** Ainsi que Mesdames **Houda et Soraya** et Messieurs **MATOUK Y. et BOUJELLAL** de nous avoir facilité le travail aux laboratoires (ENSSMAL).

En fin, nous remercions toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon accomplissement de notre travail.

Liste des figures

Chapitre I synthèse bibliographique

Figure I.1: l'origine des sédiments dans l'environnement aquatique (Maes, 2006).	16
Figure I.2 : Les modes de transport sédimentaire (Boulvain, 2012).	19
Figure I. 3 : Déclinaison des différents critères régissant le choix d'une technique de dragage (Foucher 2005).	21

Chapitre II : Description des zones d'études

Figure II.4 : Situation géographique de port d'ANNABA	27
Figure II. 5 : Situation géographique de port de Bejaia.....	27
Figure II.6 : les bassins de port de Bejaia.....	28
Figure II.7 : Les ouvrages du port de Bejaia (Entreprise Portuaire de Bejaia, 2007).	29
Figure II.8 : Répartition de la pluviométrie (1985-1986) (LEM).....	30
Figure II.9 : Rose des hauteurs de la houle pour Tr=1,10 et 100 ans au large.	31
Figure II.10 : Exposition du port aux différents secteurs de houle.	32
Figure II.11: Les Courants généraux et circulation des eaux de surface dans le golf de Bejaia (Leclair, 1972).	32
Figure II.12 : représente les composés de port.	35
Figure II.13: Histogramme des moyennes mensuelles de la pluviométrie (Station Annabales salines).	35
Figure II.14: exposition du port aux différents secteurs de la houle.	36
Figure II.15 : Courantologie dans la baie d'Annaba.	37
Figure II.16 : Localisation des stations de prélèvements des sédiments au niveau du port de Bejaia.	40

Chapitre III : Matériel et Méthodes

Figure III.17 : Localisation des stations de prélèvements des sédiments dans le port d'Annaba.	41
Figure III.18 : Pilotine El Marsa BJ44 2018.	42
Figure III.19 : Echantillonnage des sédiments par la benne.....	42
Figure III.20 : Appareil multi paramètre.	42
Figure III.21 : Lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8).	45
Figure III.22 : Mortier en porcelaine.....	46
Figure III.23 : SAA model Hitachi Z-5000.	48
Figure III.24 : Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures.	53
Figure III.25 : figure représente Evaporateur rotatif.	55
Figure III.26 : le jet d'azote	55
Figure III.27 : Spectrophotomètre de Fluorescence HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe « Xénon ».	56

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Figure IV.28 : Valeurs moyennes de la température en fonction des stations.	61
Figure IV.29 : Carte de la répartition de la Température dans les ports de Bejaia et d'Annaba.....	61
Figure IV.30 : Valeurs moyennes du pH en fonction des stations.	62
Figure IV.31 : Carte de la répartition du pH dans les ports de Bejaia et d'Annaba.	62
Figure IV.32 : Valeurs moyennes de la salinité en fonction des stations.....	63
Figure IV.33 : Carte de la répartition de la salinité dans le port de Bejaia.	63
Figure IV.34 : Valeurs moyennes du pH en fonction des stations.	64
Figure IV.35 : Carte de la répartition de la conductivité dans le port de Bejaia.....	64
Figure IV.36 : Variation des taux de la matière organique (MO) dans les sédiments au niveau des ports de Bejaia et Annaba.	65
Figure IV.37 : Carte de la répartition de la Matière Organique dans les ports de Bejaia et Annaba.....	66
Figure IV.38 : Variation des concentrations de Cuivre (Cu) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	68
Figure IV.39 : Carte de la répartition du Cuivre dans les ports de Bejaia et Annaba.	68
Figure IV.40 : IC par le cuivre dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et Françaises.	68
Figure IV.41 : Variation des concentrations de zinc (Zn) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	70
Figure IV.42 : Carte de la répartition du Zinc dans les ports de Bejaia et Annaba.....	70
Figure IV.43 : IC par le Zinc dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et Françaises.	71
Figure IV.44 : Variation des concentrations de Chrome (Cr) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	72
Figure IV.45 : Carte de la répartition de le Chromes dans les ports de Bejaia et Annaba..	72
Figure IV.46 : IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes.	72
Figure IV.47 : Variation des concentrations de Plomb (Pb) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	74
Figure IV.48 : Carte de la répartition du Plomb dans les ports de Bejaia et Annaba.....	74
Figure IV.49 : IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et françaises.	74
Figure IV.50 : IC par le manganèse dans le sédiment dans le sédiment superficiel du port d'Bejaia.	75
Figure IV.51 : Variation des concentrations de manganèse dans le sédiment superficiel du port de Bejaia.....	75
Figure 52 : Carte de la répartition de la concentration du manganèse dans le port de Bejaia.	76
Figure IV.53 : Variation des concentrations de Plomb (Pb) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	77

Figure IV.54 : Carte de la répartition du Cadmium dans les ports de Bejaia et Annaba. ..	77
Figure IV.55 : IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et françaises.	77
Figure IV.56 : Variation des concentrations des hydrocarbures aromatique dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.	78
Figure IV.57 : Carte de la répartition de l'hydrocarbure aromatique dans les ports de Bejaia et Annaba.	78

Chapitre VI :

Les impacts des sédiments de dragage sur l'environnement et les solutions proposées

Figure VI.58 : Les modes de gestion des sédiments dragués.	90
Figure VI.59 : Schéma des opérations de gestion des produits dragué.	92
Figure VI.60 : schéma explicatif de rechargement artificiel par les produits de dragage ...	93
Figure VI.61, : photo représente un dépôt côtier (https://lareleveetlapeste.fr).....	93
Figure VI.62 : Disposition du traitement dans la chaîne du dragage.	94
Figure VI.63 : Photo d'une digue à talus (http://hmf.enseeiht.fr).	94
Figure VI.64 : Photo d'un géotubes (http://coastalnewstoday.com/).	94
Figure VI.65 : Photo représente une technique routière. (http://groupechevalinfos.blogspot.com)	95
Figure VI.66 : Photo représente une technique de réemploi en génie civil (https://www.lemoniteur.fr).	95
Figure VI. 67 : Schéma représentatif d'épandage des sols (https://www.verleo.re)... ..	95
Figure .VI68 : Comportement d'un rejet en eau libre avec impact au fond. (Alzieu ; 1999).	96

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Origines du sédiment.....	16
Tableau I.2: Diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française Source : AFNOR.1994.....	17
Tableau I.3 : représente les techniques de dragage (ifermer).....	22
Tableau I.4 : Synthèse des différents types d'analyse de caractérisation pour un sédiment de dragage (snouci,ouandenjli 2016).....	23
Tableau I.5 : les effets du dragage et de l'évacuation des produits dragués sur l'environnement.....	24

Chapitre II : Description de la zone d'étude

Tableau II.6 : Distributions de dépassements de Température de la Mer Région de Bejaia (Oceanweather. ; 2003).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau II.7 : Fréquence annuelle de la houle au large selon les directions (LEM). Erreur ! Signet non défini.	
Tableau II.8: Taux de transport annuels moyens.....	37
Tableau II.9 : les coordonnées des stations de prélèvements de port de Bejaia.	40
Tableau II.10 : les coordonnées des stations de prélèvements de port d'Annaba (LEM 2016).	41
Tableau II.11 : Valeurs guides proposées pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays signataires de la convention d'Oslo. (Alzieu et <i>al.</i> , 1999).	50
Tableau II.12 : Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC, 1984 et Alzieu <i>et al.</i> , 1999).....	51

Chapitre III Matérielle et méthodes

Tableau III.13 : Comparaison des mesure in situ des eaux du port de Bejaia avec des études antérieures.	79
Tableau III.14: Tableau présent des mesures de métaux lourds et de taux de matière organique effectuée dans notre étude en 2018 et des autres mesures qui sont faites par LEM en 2014.	80

Chapitre V: Réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage

Tableau V.15 : Synthèse des conditions d'utilisation des seuils N1 et N2 définies par la Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000.	85
Tableau V.16 : Niveaux relatifs aux éléments traces, en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm.	86

Liste des acronymes

BMT : Bejaia méditerranéen Terminal.

CETIM : Centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction

Cd : Cadmium.

COGB : Corps Gras de Bejaia.

CRD : Centre de recherche et développement.

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire.

DHB : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Bejaia.

EIE : Étude d'impact sur l'environnement.

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

EPB : Entreprise portuaire de Bejaia. **ERENAV** : Entreprise de Réparation Navale.

ETM: Eléments Traces Métalliques.

GPS: Global Positioning System.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

Hg : Mercure.

IC : Indice de contamination

IF : Intensité de Fluorescence.

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

Kg : Kilogramme.

L.E.M : Laboratoire d'Études Maritimes.

MES : Matière en Suspension

Mg : Milligramme.

ml : Millilitre.

M.O : Matière Organique

MOP : Matière Organique Particulaire. **NGA** : Nivellement Général de l'Algérie.

Nm: nanomètre.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des céréales.

OD : Oxygène Dissous.

ONA : Office National d'Assainissement.

ONM: Office National of Meteorology.

Pb: Plomb

PH : Potentiel d'Hydrogène.

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

PS: Poids Sec.

PSU: Practical Salinity Unit.

S% : Salinité.

S.A.A : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

SFUV: Spectrofluorimétrie Ultrat-Violet.

S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observations.

TBT : TriBuTylétains

Zn : Zinc.

µg : microgramme.

µm : micromètre.

Table des matières

Introduction	13
1 Synthèse bibliographique	16
1.1 Généralités sur le sédiment.....	16
1.1.1 Définition et origine	16
1.1.2 Les caractéristiques d'un sédiment marin	17
1.1.3 La granulométrie.....	17
1.1.4 La composition	18
1.1.5 Le processus de sédimentation	18
1.2 Dragage des ports.....	19
1.2.1 Définition du dragage	19
1.2.2 Les types de dragage	20
1.2.3 Les techniques de dragages	20
1.2.4 La caractérisation d'un matériau de dragage.....	23
1.2.5 Contamination chimique des sédiments	24
1.2.6 Impact de dragage sur l'environnement	24
2 Chapitre II : Présentation des zones d'étude.....	27
2.1 Introduction.....	27
2.2 Présentation des zones d'Etude.....	27
2.2.1 Présentation du port de Bejaïa.....	27
2.2.1.1 Composition du port.....	28
2.2.1.2 Caractéristiques météorologiques et climatiques	29
2.2.1.2.1 La pluviométrie	29
2.2.1.2.2 Températures	30
2.2.1.2.3 Les vents.....	30
2.2.1.2.4 Les houles.....	31
2.2.1.2.5 Les courants.....	32
2.2.1.2.6 Marée et niveau d'eau	33
2.2.1.2.7 Le régime sédimentaire ;transitelittorale et érosion éventuelle :.....	33
2.2.2 Présentation du port d'Annaba	34
2.2.2.1 Composition du port.....	34
2.2.2.2 Caractéristiques météorologiques et climatiques	35
2.2.2.2.1 Précipitations	Erreur ! Signet non défini.

2.2.2.2.2	Pluviométrie	36
2.2.2.2.3	Vent	36
2.2.2.2.4	Houles	36
2.2.2.2.5	Courants	37
2.2.2.2.6	Marée et niveaux d'eau	37
2.2.2.2.7	Le régime sédimentaire transielittorale et érosion éventuelle.....	37
3	Matériel et Méthodes	40
3.1	Choix et localisation des stations.....	40
3.2	Prélèvement du sédiment.....	41
3.3	Mesures in situ.....	42
3.3.1	Mesure de la température	42
3.3.2	Mesure du potentiel d'Hydrogène (pH)	43
3.3.3	Mesure de la salinité	43
3.3.4	Mesure de la conductivité.....	43
3.4	Analyses des sédiments marins.....	43
3.4.1	Matière organique (MO).....	43
3.4.2	Analyse des éléments traces métalliques	44
3.4.3	Les hydrocarbures.....	51
4	Résultats et discussion.....	60
4.1	Mesures in situ.....	60
4.1.1	Mesure de la température	60
4.1.2	Mesure du potentiel d'Hydrogène (pH)	61
4.1.3	Mesure de la salinité	62
4.1.4	Mesure de la conductivité.....	63
4.2	Matière organique (MO) dans le sédiment.....	64
4.3	Résultats et interprétation de l'analyse des ETM.....	66
4.3.1	Les métaux traces dans les sédiments superficiels de port de Bejaia et d'Annaba	67
4.3.1.1	Cuivre	67
4.3.1.2	Zinc.....	68
4.3.1.3	Chrome	71
4.3.1.4	Plomb	73
4.3.1.5	Manganèse.....	75
4.3.1.6	Cadmium	76

4.4	Teneurs en Hydrocarbures.....	77
	4.5	
	Discussion.....	E
	rreur ! Signet non défini.	
4.6	Etude comparative.....	79
4.6.1	Comparaison des paramètres physico-chimiques avec des études antérieures	79
4.6.2	Comparaison les meneaux lourds, les hydrocarbures et le taux de matière organique.....	80
5	Réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage.....	82
5.1	Réglementations internationales relative à l'immersion des déchets.....	82
5.1.1	La convention de Londres 1972	82
5.1.2	Protocole de 1996 (Protocole de Londres)	83
5.2	Réglementations régionale relative à l'immersion des déchets :.....	84
5.2.1	Convention de Barcelone.....	84
5.2.2	Protocole de la convention de Barcelone	84
5.3	Réglementations nationales relative à l'immersion des déchets.....	86
6	Les impacts des sédiments de dragage sur l'environnement et les solutions proposées	89
6.1	Impact des produits de dragage sur l'environnement.....	89
6.1.1	Impacts d'immersion sur l'environnement.....	89
6.2	Règlementation de gestion des sédiments de dragage.....	90
6.2.1	Les filières de gestion des matériaux de dragage	90
6.2.2	Les types des sédiments-déchets	91
6.2.3	Devenir des sédiments de dragage.....	93
6.2.3.1	Dans le cas des sédiments contaminé.....	93
6.2.3.2	Dans le cas des sédiments pollués.....	93
	Conclusion	99
	Bibliographie.....	102

Introduction Générale

Introduction générale :

Les infrastructures portuaires occupent un rôle économique incontournable. Leur construction, souvent établie dans des zones peu profondes, nécessitent des approfondissements et des dragages périodiques pour leur entretien afin de faciliter les manœuvres des navires. **(Alzieu. C & al., 1999).**

Le nombre d'infrastructures portuaires en Algérie n'a pas d'une part, évolué au rythme du développement économique du pays et d'autre part, l'ensablement et l'envasement ont réduit considérablement les profondeurs. En effet, les différentes études ont montré que la réduction de la profondeur dans la grande majorité des ports notamment au niveau des passes d'entrée et des quais et l'existence de polluants aussi bien organiques que métallique dans les sédiments. **(Belkessa/CNEPRU, 2004)**.

Le port de Bejaia est l'un des ports stratégiques dans le développement économique en Algérie. Pour répondre aux besoins du marché et à l'évolution des technologies, le port de Béjaïa poursuit sa politique de modernisation de ses équipements.

Les opérations de dragage sont des pratiques indispensables à la navigation et aux activités portuaires. Elles donnent essentiellement lieu à l'immersion en milieu marin des produits dragués, dans des zones spécialement désignées **(Pierre Rouse ., 1999)**.

La bonne gestion des produits de dragage est devenue une préoccupation majeure ces dernières années, à cause de leurs dangers qu'ils peuvent présenter pour l'environnement par leurs toxicités **(Alzieu et al, 2003)**, cela a incité la mise à jour des lois règlementant leurs devenir qui sont devenues de plus en plus sévères.

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. **(SongY., 2016)**.

Le problème est d'autant plus complexe que les volumes sont importants. Pour cela les pouvoirs publics ont mis en place une politique de développement durable de l'environnement tout en préservant les écosystèmes côtiers **(Agostini F., 2006)**

Introduction

Le transfert et le devenir de ces matériaux de dragage est une question environnementale majeure. En effet, il s'agit de trouver une issue pour ces derniers qui soit raisonnable à la fois « économiquement et en matière de dommage écologique ». Et qui doit répondre à l'exigence réglementaire nationale et internationale en matière des rejets de déchet en mer.

Dans le cadre d'un suivi et afin d'apprécier la quantité et le devenir des sédiments dragués dans le port de Bejaia et d'Annaba, notre projet de fin d'étude porte sur quantification et caractérisation des matériaux à draguer ainsi de proposer leur devenir en se basant sur les mesures des différents paramètres physico-chimiques et chimiques des sédiments ainsi qu'une analyse des paramètres physico-chimiques de la colonne l'eau.

Et pour répondre à la problématique préalablement posée, nous avons procédé avec la répartition suivante:

Le premier chapitre : nous citons quelques généralités sur le dragage et les techniques de dragage ;

Le second : est consacré pour la présentation des deux zones d'étude à savoir: le port de Béjaia et le port d'Annaba.

Le troisième chapitre : Dans ce chapitre on cite le protocole qu'on a suivi pour nos analyses ainsi que le matériel utilisé.

Le quatrième chapitre : illustre les résultats obtenus pour les deux ports ainsi que l'interprétation de ces résultats.

Le chapitre cinquième : qui suit décrit la réglementation de devenir des sédiments de dragage et englobe sa partie juridique.

Le sixième chapitre : conclu avec quelques impacts des sédiments de dragages sur l'environnement avec une proposition de solution concernât la gestion des sédiments dragués.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

1 Synthèse bibliographique

1.1 Généralités sur le sédiment

1.1.1 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 diagenèse (passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation de l'eau et de la pression) (Schneider G., 2001).

Les sédiments peuvent être classés selon leur provenance, ainsi on peut distinguer deux origines quant à la provenance des particules sédimentaires (voir tableau 1).

Tableau I.1 : Origines du sédiment.

<p>Origine endogène</p>	<p>Les particules sont directement formées dans le milieu où elles vont se déposer. On peut prendre pour exemple les particules dues à la décomposition des plantes aquatiques ou des cadavres d'animaux. les débris des macrophytes et les produits de décomposition d'organismes animaux ou végétaux)</p>
<p>Origine exogène</p>	<p>Type naturel : issues de l'érosion du bassin versant sous l'effet des agents météorologique (ruissellement et apports fluviatiles). Type anthropique : rejets agricoles, industriels et domestiques (les apports de matière en suspension, de matières organiques :les nutriments et les hydrocarbures, inorganiques : les éléments traces métalliques).</p>

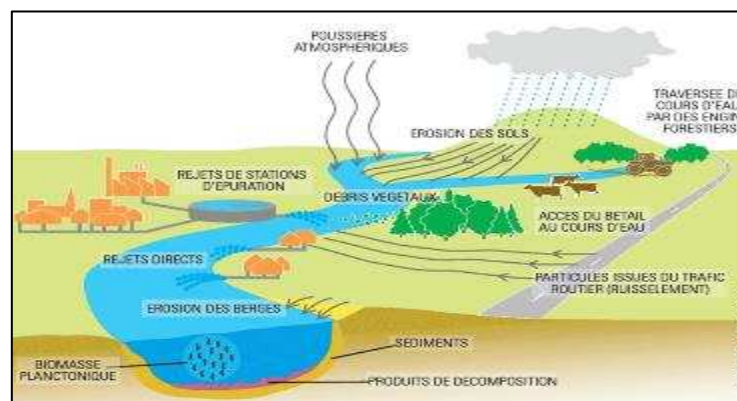


Figure I.1: l'origine des sédiments dans l'environnement aquatique (Maes, 2007).

1.1.2 Les caractéristiques d'un sédiment marin

Le sédiment marin se caractérise essentiellement par :

1.1.3 La granulométrie

Les sédiments se caractérisent également par leur granulométrie. L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions de grains qui constituent les ensembles de grains de substances diverses. C'est le principe de l'analyse granulométrique. Les limites de différentes classes de taille sont conventionnelles et sont choisies en fonction de l'objectif de l'application

Tableau I.2: Diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française Source : AFNOR.1994.

Diamètre Maximum	Appellation	Diamètre Minimum
200 mm	Cailloux	20 mm
20 mm	Graviers	2 mm
2 mm	gros sables	0,2 mm
0,2 mm	sables fins	20 μm
20 μm	Limons	2 μm
2 μm	Argiles	< 2 μm

Habituellement, la caractérisation physico-chimique des sédiments sont réalisée sur la fraction granulométrique inférieure à 2 mm Le choix de cette fraction est lié à plusieurs raisons.

Les limites entre les classes granulométriques correspondent généralement à un changement dans les propriétés physiques et mécaniques (Dia, 2013).

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).

1.1.4 La composition

Le sédiment de dragage est constitué essentiellement de deux phases :

a. Phase liquide (l'eau)

L'eau occupe l'espace entre les grains solides d'un sédiment, la teneur en eau d'un sédiment de dragage varie entre (100 et 300%), elle dépend essentiellement de la technique de dragage utilisée (Tran Ngoc, 2009).

L'eau dans le sédiment de dragage peut se présenter sous plusieurs formes : libre, pelliculaire, capillaire et en eau de constitution.

b. Phase solide

La phase solide comporte une fraction organique et autre minérale (inorganique).

La fraction organique :

La proportion de la fraction organique dans un sédiment est faible, elle varie entre 02 à 10% et peut atteindre 20% dans certains cas (Miraoui, 2010), cette fraction peut être des débris de végétaux, des résidus d'animaux, des micro-organismes et l'ensemble des rejets agricoles et domestiques (exemple : les hydrocarbures et les sels nutritifs).

La fraction minérale :

Cette fraction est représentée essentiellement par des minéraux dont l'origine est l'écorce terrestre et les squelettes d'origine endogène, ces composés sont essentiellement les argiles, les carbonates et les silicates, leurs teneurs varient en fonction de leur provenance.

1.1.5 Le processus de sédimentation

Le transport sédimentaire (fig 2) est étroitement lié à l'intensité des courants et à la granulométrie des grains, il existe généralement trois modes de transport : **charriage**, **saltation** et en **suspension**.

- **Le charriage** est un transport par roulement des particules sur le fond ;
- Le transport par **saltation** : Le courant fait les grains sauter selon une trajectoire balistique, ces deux modes de transport concernent les matériaux grossiers (sables, graviers et galets) ;
- Le transport en **suspension** : Il concerne les particules fines (sables fins, argiles et silts), lorsque la courantologie est forte, ces particules sont mises en suspension sans qu'elles sont redéposées (Aoudj et Bouaziz, 2014).

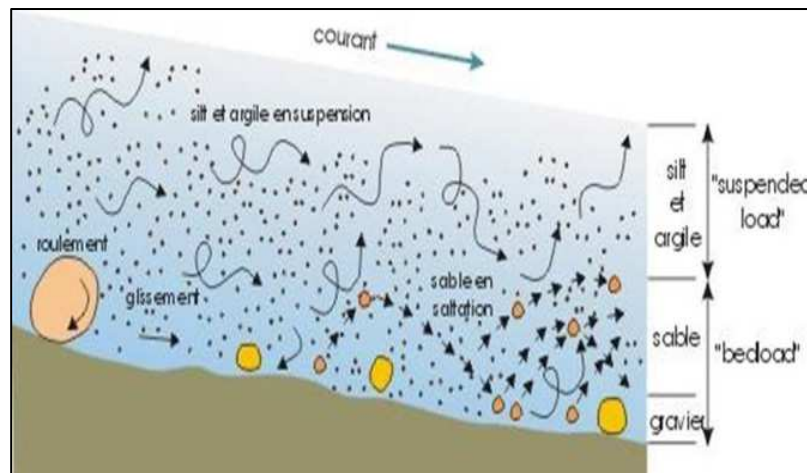


Figure I.2 : Les modes de transport sédimentaire (Boulvain, 2012).

Les matériaux fins en suspension représentent 90-95% des matériaux transportés, ces particules sont transportées essentiellement lors des crues (Anger, 2014), l'absence de toute agitation favorise leur sédimentation.

1.2 Dragage des ports

Toute activité maritime repose, pour une part essentielle, sur l'accès au port, lieu d'escale, de manutention, de ravitaillement, de construction et d'entretien des navires, que ceux-ci soient armés ; de commerce, de pêche ou de plaisance. Cet accès est donc vital non seulement pour les marins et leur armateur, mais également pour les actifs des agglomérations et territoires environnant dont l'emploi dépend souvent directement ou indirectement du port.

Les ports sont des infrastructures semi-fermées qui piègent les sédiments soit par dérive littorale soit par les différents apports continentaux. Leur entretien pose souvent un problème d'aménagement et d'environnement.

La sédimentation dans les ports ou l'ensablement pose un problème socioéconomique et environnemental

Pour éviter l'envasement des ports, le dragage est la solution adéquate pour remédier à ce problème. Dans cette optique, Le dragage a pour objectif principal d'extraire et évacuer les matériaux de dragage, pour assurer le bon fonctionnement des ports et le maintien des activités portuaires.

1.2.1 Définition du dragage

D'une manière générale, le dragage peut être défini comme étant l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau et par un déversement de ces produits dans la veine d'eau ou sur le rivage (Boutin ; 2000).

Dragage :

Action d'enlever le sable, le gravier ou la vase reposant au fond d'une rivière, d'un lac ou d'un port maritime. Les matériaux extraits au-dessous du niveau de l'eau sont appelés déblais. Les engins utilisés pour le dragage, les dragues, sont composés d'un dispositif de levage et d'aspiration, habituellement actionné par un moteur Diesel monté sur un flotteur en forme de péniche, connu sous le nom de dragueur. Le dragage est donc une pratique courante pour restaurer des seuils acceptables pour la navigation, quand les exhaussements sont trop importants (Robbe ; 1989).

Le dragage constitue une activité vitale pour l'exploitation des ports. En Algérie, il n'existe pas des 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 la plupart immergés (Belkessa, 2005).

1.2.2 Les types de dragage

Selon l'objectif désigné, on distingue trois types de dragage :

A-Dragage d'entretien

Le dragage d'entretien se fait d'une façon périodique, il consiste à extraire les matériaux accumulés dans le fond d'un port afin de rétablir le tirant d'eau pour la navigation et restaurer le milieu naturel, le dragage d'entretien ne prévoit aucun agrandissement de la zone draguée, il vise à garder le bon fonctionnement d'un port (Achour, 2013).

B-Dragage d'approfondissement

Ce type de dragage s'inscrit dans le contexte de développement des activités portuaires (commerce, navigation et autres ...), et incité ainsi par l'évolution de la taille des navires afin de s'adapter au seuil de la navigation (Bachouche, 2010).

C-Le dragage d'aménagement des nouvelles aires portuaires

La création de nouvelles installations portuaires occasionne souvent l'excavation et le déplacement des volumes importants de matériaux : roches, graviers, terres, argiles et vases au moyen des dragues (Bekari et al, 2010).

1.2.3 Les techniques de dragages

Pour de définir la technique là mieux adaptée à priori, il convient de prendre en compte un certain nombre de critères de jugement objectifs, liés les uns aux autres, permettant de

mieux appréhender le degré d'application. Le choix d'une technique de dragage résulte donc de contraintes imposées qui, cumulées les unes aux autres, doivent permettre de cibler le matériel le mieux adapté (figure 3).

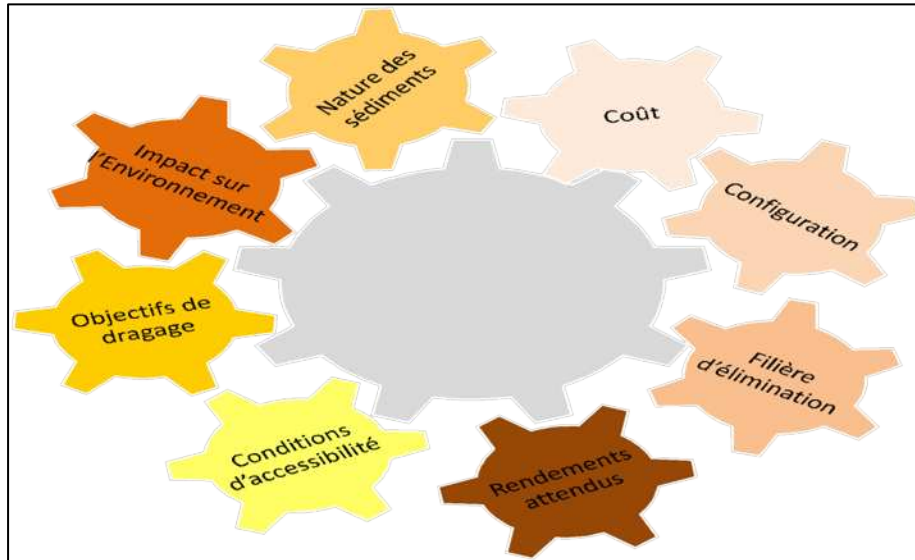


Figure I.3 : Déclinaison des différents critères régissant le choix d'une technique de dragage (Foucher 2005).

Les conditions d'accessibilité du site et sa configuration, la nature des déblais de dragage leur degré de contamination, et leur destination finale, les enjeux environnementaux et économiques orienteront le choix de la technique adéquate à mettre en œuvre pour répondre de la manière la plus satisfaisante à l'ensemble de ces contraintes. (Foucher ; 2005).

Le choix des outils de dragage dépend de plusieurs paramètres, à savoir

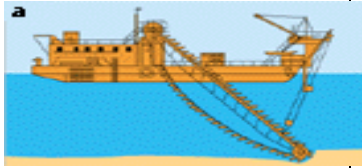
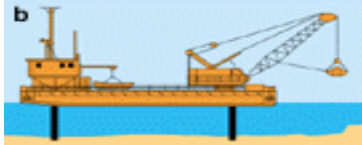
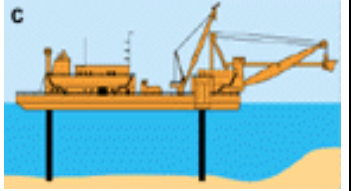
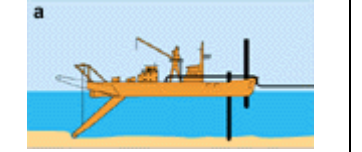
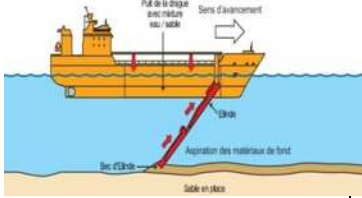
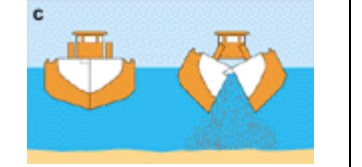
- L'épaisseur de la couche à excaver ;
- L'éloignement du site de dépôt ;
- La qualité tolérée de solides en suspension ;
- La qualité des matériaux dragués ;
- La hauteur d'eau dans les ports ;
- La capacité de l'installation de traitement.

Nous distinguons trois types de dragage qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travaux à réaliser :

- Dragues mécaniques ;
- Dragues hydrauliques ;

- Dragues pneumatique (injection d'eau).

Tableau I.3 : représente les techniques de dragage .

Mode de drague	Définition drague	Représentation schématique (affectée)
<p>1-Mécanique : Les modèles les plus communs sont : les dragues à benne preneuse, les dragues à pelle et les dragues à godets. Les sédiments dragués sont déposés dans le puits à déblais, dans un chaland ou à terre. Ces dragues sont utilisées dans des zones difficiles d'accès (bordures de quais, bassins étroits) et pouvant travailler jusqu'à des profondeurs de 25m (dragues à godets) et 30m pour les dragues à benne.</p>	<p>a) drague à godets</p>	
	<p>b) drague à benne plus utilisée, au bout d'un câble de levage de la grue est fixée une benne preneuse, formée de deux grappins à mâchoires, la benne prend le sédiment en s'enfonçant grâce à son poids et à l'action des mâchoires, puis verse le contenu de celle-ci dans des puits de déblais ou des chalands (Géode, 2014).</p>	
	<p>c) drague à pelle : La drague à pelle est une pelleteuse installée sur le ponton d'un chaland. Elle est utilisée pour les petits travaux. (Géode, 2014).</p>	
<p>2-Hydraulique : 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.</p>	<p>a) aspiratrice stationnaire avec conduite de refoulement</p>	
	<p>b) aspiratrice en marche</p>	
	<p>c) dragues fendables</p>	

3/pneumatique : dans le cas d'extraire des matériaux non cohérents et en circulation ainsi qu'au traitement des sédiments contaminés ; l'utilisation des pneumatiques semble convenable, car elle permet :

- Un refoulement continu des boues.
- Un contact réduit entre l'équipement et les sédiments contaminés.
- Une remise en suspension minimum des sédiments

1.2.4 La caractérisation d'un matériau de dragage

Pour la gestion des produits de dragage, qui peuvent être contaminés une méthode de caractérisation pour définir leurs nature elle est importante.

Il existe deux principaux types d'analyses permettant de caractériser la qualité d'un sédiment (Tableau 04).

Tableau I.4 : Synthèse des différents types d'analyse de caractérisation pour un sédiment de dragage (snouci,ouandenjli 2016).

Evaluation des caractéristiques environnemental	L'analyse biologique	Les bio-essais sont des tests d'écotoxicité de divers ordres permettant d'appréhender la toxicité du produit, l'effet sur la croissance d'organismes vivants, la bioaccumulation.
	L'analyse chimique	Il s'agit de déterminer la teneur en contaminants chimiques organiques et inorganiques, ce type d'analyse donne une indication au choix de la filière de destination de ces matériaux.
	L'analyse Environnementale	Ce type d'analyse se fait par le test de lixiviation qui permet d'établir le comportement et la capacité de rétention des polluants dans une matrice.
Evaluation des caractéristiques géotechniques	Analyse minéralogique	Elle permet d'avoir une bonne connaissance du matériau par la détection des différentes phases qui le constituent, elle est étudiée par : la diffraction au rayon X et la fluorescence X.
	Analyse physique	Elle englobe la détermination de la teneur en eau, taux de la matière organique, la granularité et l'argilosité, ces paramètres ont une grande influence sur le comportement mécanique du sédiment
	Analyse mécanique	Elle englobe les essais permettant d'évaluer la résistance et la capacité portante d'un sol.

1.2.5 Contamination chimique des sédiments

Les zones portuaires concentrent des produits plus ou moins contaminants provenant de trois sources principales :

1. les activités portuaires : peintures antisalissures, carburants, huiles, graisses, éléments métalliques des anodes sacrificielles, déchets organiques variés des occupants et des activités spécifiques des bateaux,
2. les rejets industriels, urbains et agricoles collectés par ruissellement et pouvant se jeter dans la zone portuaire,
3. les pollutions diverses venant dans la mer.

Ces différents polluants peu solubles dans l'eau se fixent sur les fractions argileuses des matières en suspension qui sédimentent. Les sédiments de dragage peuvent donc être contaminés par diverses substances (Préfecture du Morbihan *et al.*, 2010) :

- métaux lourds (Zinc, cuivre, cadmium, plomb...);
- hydrocarbures (hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP);
- composés organiques : tributylétain (TBT), polychlorobiphényles (PCB);
- contaminants bactériologiques (*Escherichia coli*...).

1.2.6 Impact de dragage sur l'environnement

D'après Clark (1977), le dragage est la menace la plus sérieuse pour l'écosystème littoral. L'impact des dragages et des immersions dans l'environnement marin est une préoccupation constante des autorités publiques portuaires et des pouvoirs publics.

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).

Tableau I.5 : les effets du dragage et de l'évacuation des produits dragués sur l'environnement.

Effets de nature physique	Effets de nature chimique	Effets de nature biologique
✓ Accroissement de la turbidité.	✓ Modification de la composition chimique de la	✓ Ensevelissement ou perturbation de la

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modification de la topographie du fond et de l'hydrodynamisme. ✓ Modification des caractéristiques mécaniques des sédiments. ✓ Modification des équilibres sédimentologies. 	<p>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> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Modification de la composition chimique des sédiments (par oxydation, ou transfert de polluants avec la colonne d'eau). 	<p>faune et de la flore benthique. Étouffement des œufs et des larves de poissons.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Modification des habitats aquatiques. Exposition des organismes à des substances toxiques.
---	--	---

Chapitre II :

Présentation de la

Zone d'étude

2 Chapitre II : Présentation des zones d'étude

2.1 Introduction

Ce chapitre porte sur le contexte général de nos zones d'études, à savoir le port de Béjaïa et celui d'Annaba. Il consiste en une reconnaissance générale, des sites et de leurs environnements.

2.2 Présentation des zones d'Etude

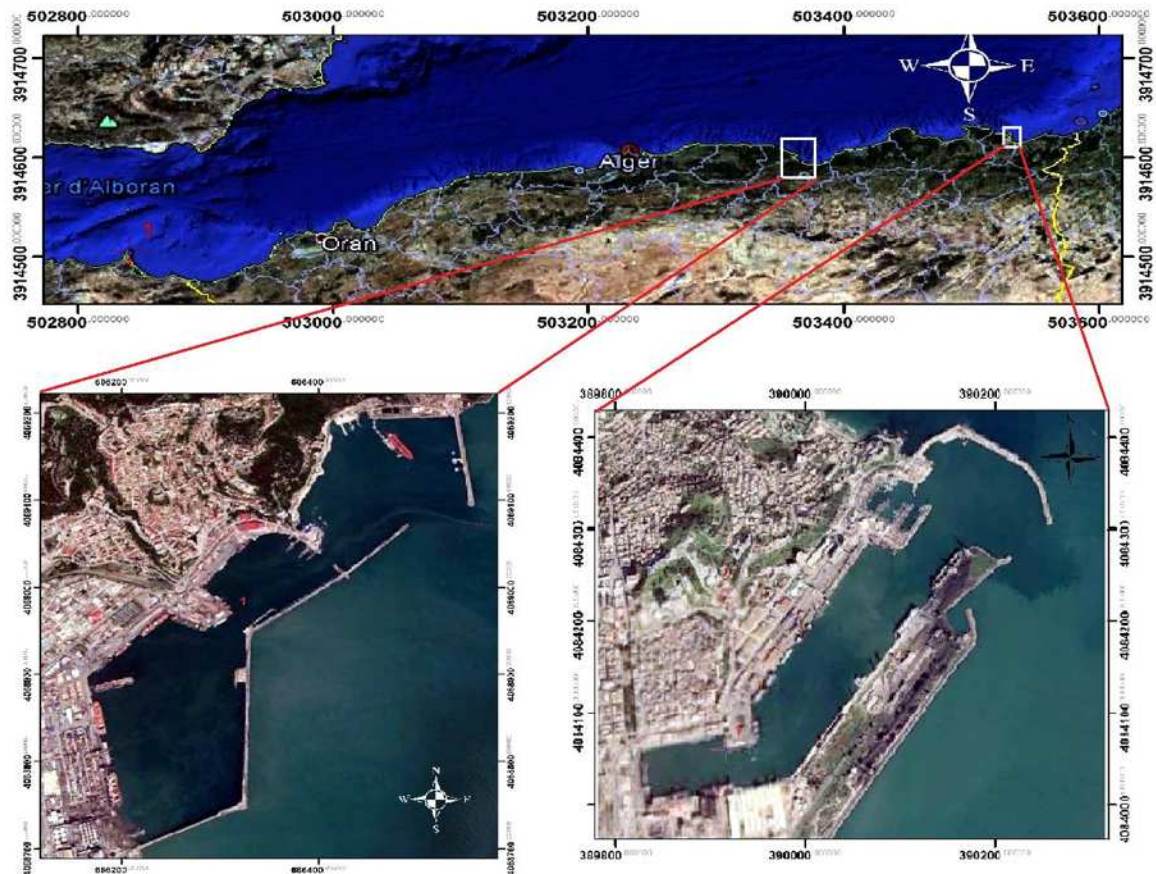


Figure II.5 : Situation géographique de port de Bejaia

Figure II.4 : Situation géographique de port d'ANNABA

2.2.1 Présentation du port de Bejaïa :

Le port Bejaia est situé à environ 1.5 km au sud du cap Carbon et du côté Ouest du Golfe de Bejaia. Il est réputé mixte : hydrocarbures et marchandises générales y sont traitées.

Le port de Bejaia est un port mixte composé de :

- Port pétrolier.
- Port commercial.

- Un quai pêcheur, présente 2.8 Km de port de Bejaia avec une capacité de production de 2.800 T/an en matière de pêche (LEM, 2004).

Ce port a été construit en deux étapes :

- Entre 1898 et 1922 pour le port commercial.
- Entre 1958 et 1960 pour le port pétrolier.

Il subit plusieurs opérations de dragage depuis plusieurs années :

- **1976** : Dragage d'entretien.
- **1979** : Dragage d'approfondissement.
- **1986** : Dragage d'arrière port (1 million m³).
- **2005** : Dragage du chenal d'accès au port commercial.

2.2.1.1 Composition du port

Le port est composé de trois bassins :

- Avant-port ;
- Vieux port ;
- Arrière-port.



Figure II.6 : les bassins de port de Bejaia (LEM 2014).

Les ouvrages protègent le port contre l'agitation du large et se composent comme suit :

- À l'Est une jetée de 650 mètres linéaire ;
- Au sud, la Jetée en chevrons est composée de trois éléments dont la longueur totale atteint 2.750 m ;
- Vers le large, la jetée s'étend sur 1600 mètres linéaires ;
- La digue de fermeture est d'environ 800ml.



Figure II.7 : Les ouvrages du port de Bejaia (Entreprise Portuaire de Bejaia, 2007).

2.2.1.2 Caractéristiques météorologiques et climatiques

2.2.1.2.1 La pluviométrie

Les données pluviométriques recueillies sur une durée de 18 ans (1969-1986) par la station de l'ONM de Bejaia nous fournissent les valeurs moyennes suivantes :

- Pluviométrie : 798 mm/an ;
- Evapotranspiration potentielle : 1154 mm/an ;
- Température 18.6° C (1969-1973).

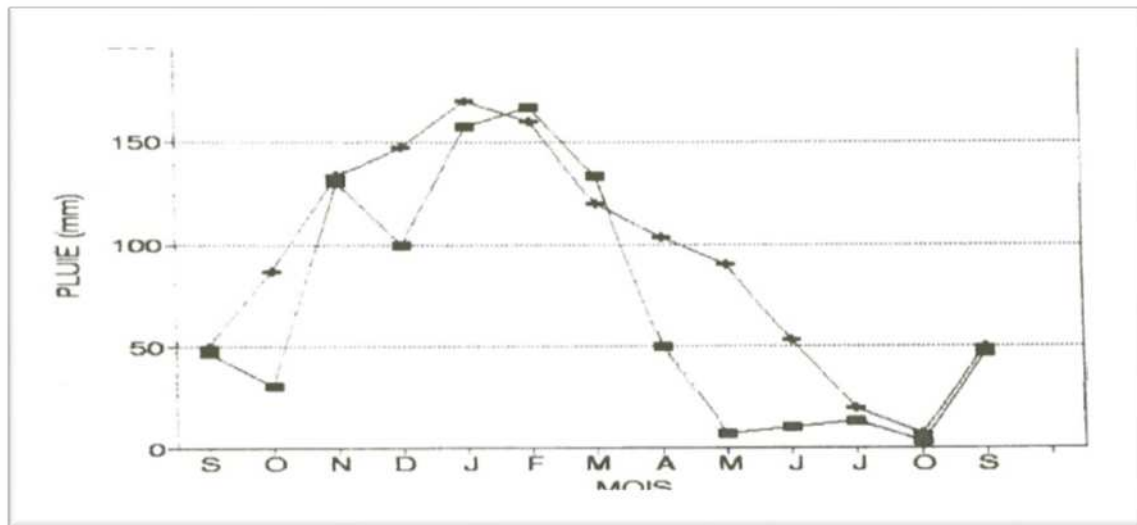


Figure II.8 : Répartition de la pluviométrie (1985-1986) (LEM).

2.2.1.2.2 Températures

Les températures de l'air et de la mer sont établies suivant les observations météorologiques des navires en transit au large de Bejaia ainsi que les données recueillies par les stations côtières.

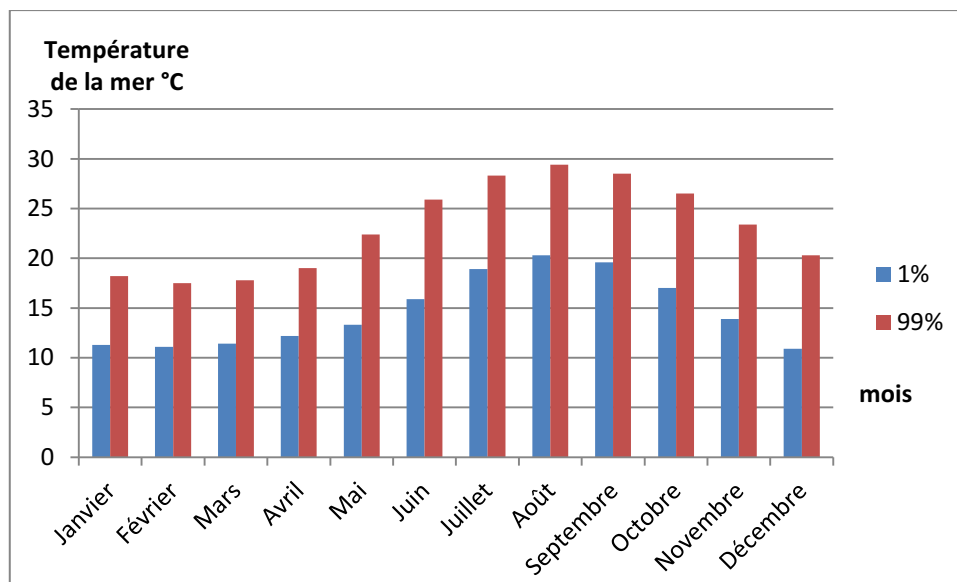


Figure II.9 : Distributions de dépassements de Température de la Mer Région de Bejaia (Oceanweather. ; 2003).

2.2.1.2.3 Les vents

Dans la région de Bejaia, les régimes de vent sont influencés par le relief de Djebel Gouraya et la vallée de la Soummam. En effet, les vents de secteur ouest sont canalisés à travers la vallée de Soummam qui leur donne son orientation Sud-Ouest-Nord Est.

Les données recueillies du S.S.M.O, pour la période 1963 et 1970, nous conduisent à déduire que durant le premier trimestre de l'année, les vents de l'ouest sont dominants et qu'une grande partie de l'Ouest sont dominants et qu'une grande partie de ces vents à une vitesse supérieure à 8 m/s. Durant le deuxième et le troisième trimestre, ce sont les vents du Nord-Est et Est qui prédominent.

2.2.1.2.4 Les houles

On constate que les houles dans la baie de Bejaia se caractérisent par deux directions privilégiées

- Ouest- Nord-Ouest (300°) ;
- Nord-Nord Est (20° - 40°).

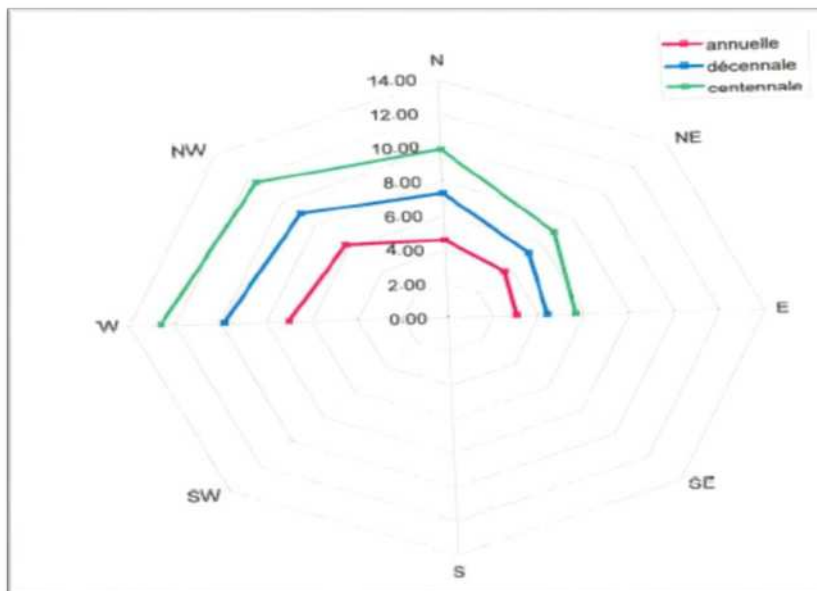


Figure II.10 : Rose des hauteurs de la houle pour $Tr=1, 10$ et 100 ans au large.

Hauteur des houles au large par direction. (LEM 2014).



Figure II.11 : Exposition du port de Bejaia aux différents secteurs de houle(LEM 2014).

2.2.1.2.5 Les courants

Le sens et l'intensité des courants côtiers sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments marins. D'autres types de courants sont observés tels que les courants de retour et les courants de dérive littorale.

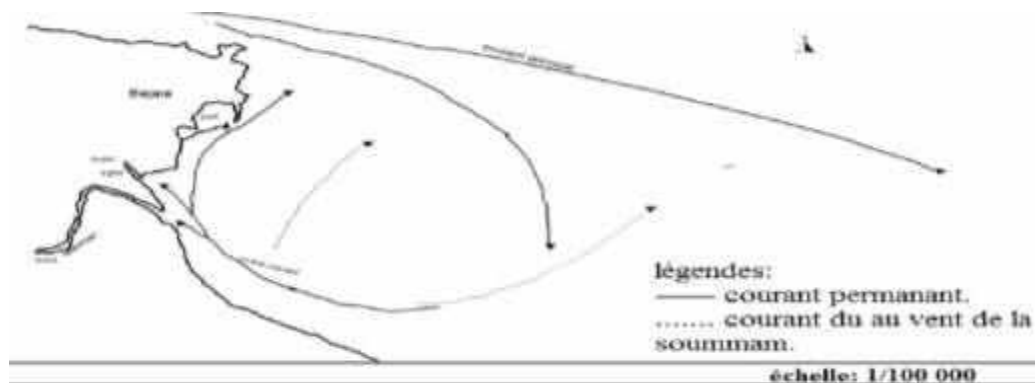


Figure II.12: Les Courants généraux et circulation des eaux de surface dans le golf de Bejaia (Leclaire, 1972).

Le sens et l'intensité des courants côtiers sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la

granulométrie des sédiments marins. D'autres types de courants sont observés tels que les courants de retour et les courants de dérive littorale.

Ces données correspondent bien aux renseignements obtenus par les pêcheurs lors de la visite, et peuvent donc être considérées suffisantes pour l'étude.

Au niveau de la baie de Bejaia, les courants de l'atlantiques n'affectent pas la frange côtière. Seuls les courants locaux sont à prendre en compte dans l'hydrodynamisme côtier (LEM, 1996).

- Un courant de retour qui est induit par les houles d'incidences frontales (nord- est), il assure la dissémination, des sédiments, vers le large.

- Les résultats d'études universitaires décrivent un vent de la Soummam qui entraine les eaux superficielles vers le large depuis le débouché de l'oued Soummam. La combinaison de ces courants entre eux, entraînant les particules en suspension vers le large dans la direction Sud-ouest/Nord-est

2.2.1.2.6 Marée et niveau d'eau

L'amplitude des marées sur la côte algérienne est faible et est de l'ordre de 20 cm environ. L'exploitation de différentes sources par le LEM (1999) a permis d'établir le tableau N° 07 suivant, qui présente les différents niveaux d'eau enregistrés le long de la côte algérienne.

2.2.1.2.7 Le régime sédimentaire, transit littoral et érosion éventuelle :

La couverture sédimentaire est de puissance très variable, elle varie entre 5m à 15m avec un maximum de 17m. La répartition spatiale est comme suit :

- les zones côtières (de 0m à 7m de profondeur) : les épaisseurs sont faibles.
- au large : les épaisseurs sont les plus importantes

La lithologie de ces gisements est comme suit :

- un faciès lité en surface de puissance moyenne de 2 à 4m.
- un faciès transparent situé au-dessous du faciès lité, son épaisseur est variable mais plus importante que l'unité de surface.
- le faciès lité correspond à une sédimentation hétérogène de sables fins et de matériaux plus fins.
- le faciès transparent correspond à des sédiments homogènes et moins compacts.

Les conclusions des expertises sédimentologique réalisées dans le cadre du projet intitulé « **Carte sédimentaire du littoral algérien** » précisent que schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie de Bejaia est comme suit :

- La répartition des sédiments dans la baie de Bejaia est conditionnée par l'action des houles des secteurs Nord-Ouest, Nord – Est ainsi que par celle du secteur Nord.
- Les houles de l'Ouest dominantes en période hivernale, abordent la côte avec une incidence oblique, engendrant un courant de dérive littorale assurant le transit des sédiments dans la même direction.
- Les houles de l'Est dominantes en période estivale, abordent également la côte avec une incidence oblique engendrant un courant de dérive littorale assurant la dispersion des sédiments dans le même sens.
- Les houles du Nord par contre régulières sur toute l'année arrivent a la côte avec une incidence frontale, créant un courant de retour assurant la répartition des sédiments dans le profil. Ces houles sont à l' origine de l'érosion côtière.
- La distribution des sédiments est conforme au schéma classique de la distribution des sédiments en mer. Le relief sous-marin étant régulier sans aucun accident topographique majeur.

2.2.2 Présentation du port d'Annaba

Le port d'Annaba est situé dans la partie Ouest du golfe du même nom. Le port est extrêmement bien protégé par la chaîne de montagnes qui se prolongent jusqu'au cap de Garde, pointe Ouest extrême du golfe s'avancant dans la méditerranée. *Ses coordonnées sont : 36°54'11''N et 7°47'9''E.* Le port est orienté, dans son axe principal, Sud- Ouest-Nord-Est. La passe d'entrée s'ouvre sur l'Est.

2.2.2.1 Composition du port

Il est composé de :

- trois bassins appelés :
 - Avant-port : 45 ha,
 - Grande darse : 40 ha,
 - Petite darse : 9 ha,
- terre- pleins sur une superficie totale de 130 ha,
- 22 postes à quai totalisant 3 681ml avec des profondeurs d'eau de – 9 m à – 14 m,
- surfaces couvertes (hangars et aires de stockage) sur 24 750 m², à l'exclusion des bâtiments administratifs et bacs de stockage.



Figure II.9 : représente les composés de port.

2.2.2.2 Caractéristiques météorologiques et climatiques

2.2.2.2.1 Pluviométrie :

Les données pluviométriques de la station les salines à Annaba pour une période de 30 ans (1942-1971) montrent que les pluies sont importantes en automne et en hiver, elles s'échelonnent de Septembre à Mars avec trois maxima prononcés en Novembre, Décembre et Janvier. Les valeurs pluviométriques minimales sont enregistrées aux mois de Juin, Juillet et Août.



Figure 10: Histogramme des moyennes mensuelles de la pluviométrie (Station Annaba-les salines).

2.2.2.2.2 Température

L'analyse des données de températures des stations du cap de Garde et d'Annaba port pour une période de 25 ans (1913-1938) montre que l'année peut se diviser en 2 périodes :

- Une période froide de Novembre à Avril avec une température moyenne inférieure de 4.5°C à la moyenne annuelle.
- Une période chaude de Mai à Octobre avec une température moyenne supérieure de 4.6°C à la moyenne annuelle.

2.2.2.2.3 Vent

A partir des valeurs des fréquences annuelles de vent par direction, nous pouvons déduire la prédominance des vents du secteur Nord-Ouest. Le massif de l'Edough joue un rôle d'écran contre les vents de secteur Ouest et Nord-Ouest. Ces vents n'atteignent pas le port.

2.2.2.2.4 Houles

La zone d'étude est exposée aux houles de secteurs Est et Nord Est, mais elle est abritée des houles de secteurs ouest et Nord-Ouest par le cap Ras el Hamra (diffraction de la houle). Les houles de secteurs Nord pourraient atteindre le site, mais elles seraient atténuées par le cap Ras el Hamra.



Figure 11: exposition du port d'Annaba aux différents secteurs de la houle.

2.2.2.2.5 Courants

Les courants généraux sont connus comme étant des courants qui viennent par le Détroit de Gibraltar et se dirigent vers l'Est (0,5 à 1 m/s). Cependant, il existe un courant de 0.5 à 1.5 nœuds qui circulerait plus près de la côte entre le cap de Garde (Ras el hamra) et l'oued Mafragh.

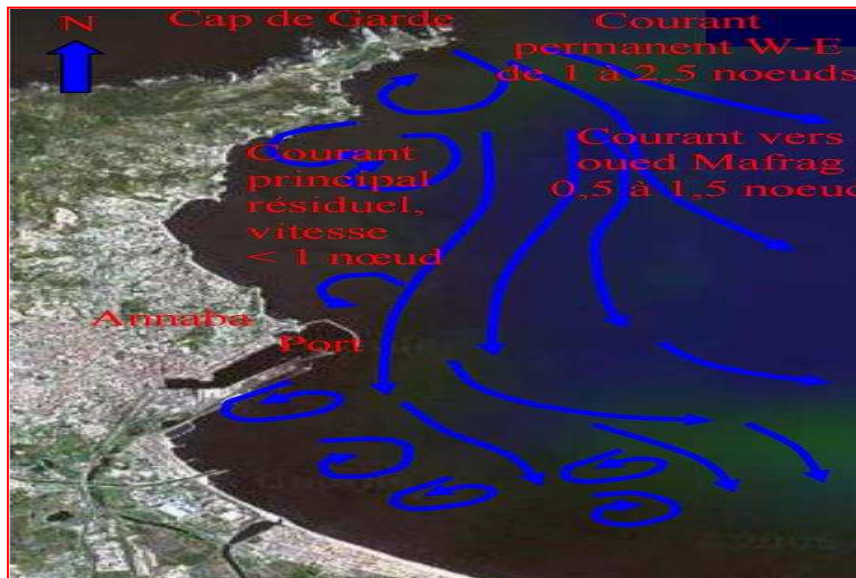


Figure II.12 : Courantologie dans la baie d'Annaba (LEM 2016).

Tableau 6: Taux de transport annuels moyens

Transport total Brut (m ³ /an)	Transport total vers l'Est (m ³ /an)	transport total vers l'Ouest (m ³ /an)	Transport total Net (m ³ /an)
8950	+1650	-7700	- 6450

2.2.2.2.6 Marée et niveaux d'eau

La marée sur la côte algérienne est très faible et dépasse rarement 20 cm. L'exploitation de différentes sources par le LEM (1999) a permis d'établir le tableau 19 suivant, qui présente les différents niveaux d'eau enregistrés le long de la côte algérienne.

2.2.2.2.7 Estimation du transit sédimentaire

Le calcul du transit sédimentaire donne une estimation théorique de la quantité des sédiments qui se déplacent parallèlement à la cote sous l'effet des houles et des courants.

Les ordres de grandeurs des sédiments mobilisés par les différents secteurs de houles retenus sont relativement faibles. Les résultats indiquent qu'au niveau du secteur de, le transit dirigé d'Est vers l'Ouest (négatif) est plus important que celui dirigé d'Ouest en Est (positif).

Cela engendre une capacité de transit net évaluée à environ 6 500 m³/an dans le sens Est vers l'Ouest.

Chapitre III :

Matériel et Méthodes

3 Matériel et Méthodes

Ce chapitre est réservé à une étude analytique de la qualité physicochimique des sédiments (La matière organique, Les hydrocarbures et les métaux lourds) et des eaux (PH, Température, Conductivité et salinité) au niveau de port de Bejaia et le port d’Annaba ; Dans le but de caractériser l’état de polluant des sédiments de dragage.

3.1 Choix et localisation des stations

Afin de pouvoir caractériser l’état physicochimique des sédiments de notre zone d’étude ; le prélèvement des 6 échantillons sont faite dans 6 stations au niveau de port de Bejaia comme suit :



FigureIII. 13 : Localisation des stations de prélèvements des sédiments au niveau du port de Bejaia.

Tableau 7 : les cordonnées des stations de prélèvements de port de Bejaia.

stations	Les Cordonnées	
S1	686137.77N	4068670.19 E
S2	687095.62N	4069872.75 E
S3	685885.50N	4068172.97 E
S4	687259.47N	4068984.73 E
S5	687436.07 N	4069395.32 E
S6	686662.94 N	4068693.33 E

Dans le cadre de l’étude d’extensions du port d’Annaba et afin de caractériser l’état physicochimique de ses sédiments cinq (5) échantillons ont été prélevés par le LEM (Laboratoire des études maritime) en 2016 (figure 17).

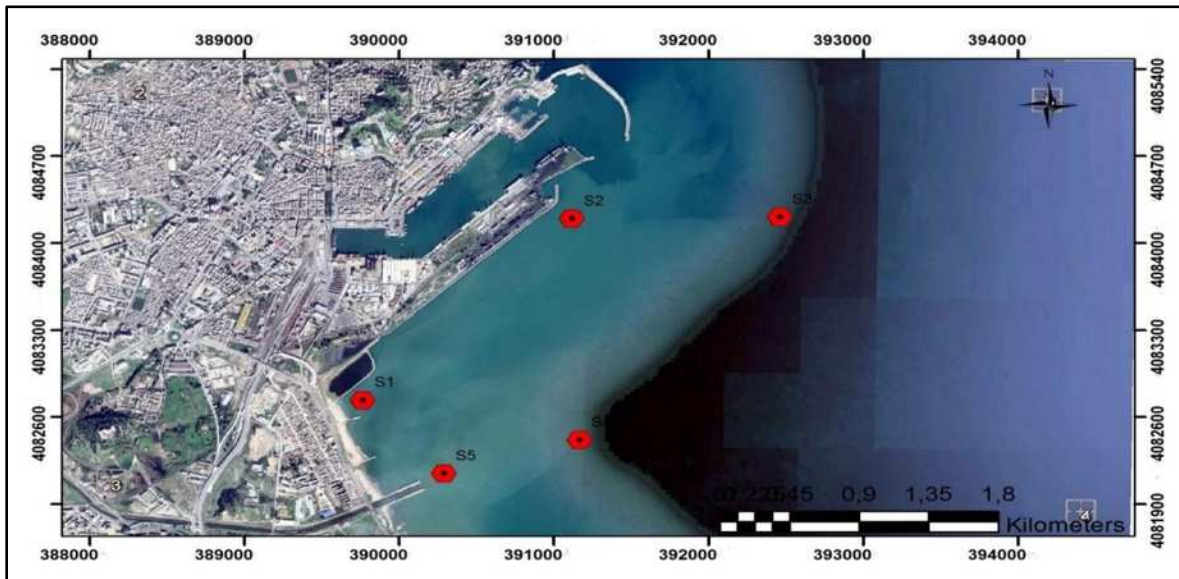


Figure III.14 : Localisation des stations de prélèvements des sédiments a côté de port d’Annaba.

Tableau 8 : les cordonnées des stations de prélèvements de port d’Annaba (LEM 2016).

stations	Les cordonnées	
S1	389766.2N	4082733.63 E
S2	391120.1N	4084194.41 E
S2	392468.1N	4084208.68 E
S4	391168.5N	4082412.02E
S5	390291.8N	4082143.52E

3.2 Prélèvement du sédiment

Une sortie en mer a été effectuée le 23 avril 2018 de 10h jusqu'à 13h par une embarcation menée d'un GPS et d'un échosondeur. Le ciel était dégagé et la mer très calme à l'intérieur des bassins du port.

Le prélèvement des sédiments a été effectuée à l'aide d'une benne preneuse de type « Van-Veen » (fig. 19) Attachée à un câble et envoyer dans l'eau jusqu'au contact avec le fond, Une fois remontée, les échantillons sont récupérés avec beaucoup de précautions pour éviter toute contamination et mis dans des sacs en plastique (méthylène) étiquetés puis dans des glacières pour de les transporter au laboratoire et les conserver dans un congélateur.(faut inséré une image de la benne).



Figure III.15 : Pilotine El Marsa BJ44 2018.



Figure III.16 : Echantillonnage des sédiments par la benne.

3.3 Mesures in situ

A l'aide d'une valise multi-paramètres on a mesuré les paramètres physicochimiques de l'eau (PH ; Température ; Salinité et conductivité).



Figure III.17 : Appareil multi paramètre (Sonde).

3.3.1 Mesure de la température

La mesure de la température est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et donc des courants ; de plus, elle permet l'étude du mélange des masses d'eau. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques qui ont des répercussions sur la pêche par exemple : reproduction, référendum thermique,... (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.3.2 Mesure du potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H⁺) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Dans l'eau de mer le pH résulte de la composition ionique de cette dernière, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de CO₂ entre l'eau et l'atmosphère, ainsi que la dissolution du calcaire. (Aminot et Kérouel, 2004).

3.3.3 Mesure de la salinité

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin, elle a été définie pour la première fois après mise au point d'une technique fournissant des résultats reproductibles (Sorensen, 1902) : La salinité est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer. C'est à la surface de l'eau que la salinité varie le plus (précipitation, évaporation).

A cette interphase, les variations sont nombreuses pouvant avoir des incidences sur quelques centimètres de profondeur. La conductivité mesure le taux de sels minéraux dissous dans l'eau. Elle augmente avec la température et la concentration en sel dissous.

3.3.4 Mesure de la conductivité

La conductivité mesurées in situ avec un conductimètre de terrain de la marque WTW (type Cond/ WTW, 197i) ; La conductivité de l'eau de mer est élevée en raison de la forte concentration en sels dissous.

3.4 Analyses des sédiments marins

3.4.1 Matière organique (MO)

Principe de la méthode

Le taux de matière organique dans le sédiment est déterminé par la méthode de « perte au feu » décrite par (Rodier, 1996). Cette méthode consiste à éliminer toute trace d'eau par conditionnement du sédiment puis à l'incinérer à très haute température afin de brûler la matière organique.

Matériels utilisés

- Balance Pioneer TM de précision 10-4g ;
- Creusets en porcelaine ;
- Four à moufle de marque Carbolite CWF 1200 ;
- Pinces.

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 °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).

Calcul et expression des résultats

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

$$\%Mo = \frac{((P_1 - P_0) - (P_2 - P_0)) * 100}{(P_1 - P_0)}$$

- %Mo : pourcentage de la matière organique(%).
- P_0 : poids de creuset à vide (g).
- P_1 : poids du creuset avec l'échantillon broyé (g).
- P_2 : poids du creuset contenant les cendres (g).

3.4.2 Analyse des métaux lourds

Les analyses des échantillons de sédiment ont été effectuée au niveau du laboratoire de département de géochimie minérale du centre de recherche et développement (CRD/SONATRACH), au niveau de la wilaya de Boumerdes.

A-Dosage des éléments traces métalliques :

Le dosage d'éléments traces métalliques dans le milieu marin nécessite un contrôle rigoureux et permanent des différentes étapes, car il existe des risques de contamination des échantillons du moment de prélèvement jusqu'à celui de l'analyse finale. Pour cela, un soin particulier a été apporté aux prélèvements, au traitement et aux méthodes de dosage des métaux.

Conditionnement du matériel utilisé

Afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisés, pendant toute les étapes du présent travail sont minutieusement nettoyés et conditionnés selon le protocole suivant :

- Laisser tremper le matériel toute une nuit dans une solution de savon dans un bac en plastique ;
- Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau bidistillée obtenue sur système Milli Q (Millipore) et ayant une résistivité de 18M ;
- Séchage à l'étuve à 70 °C pour le matériel en verre et à 40°C pour le matériel en polyéthylène (tels que les flacons et les sacs de conservations) ;
- Laisser tremper le matériel dans une solution d'acide nitrique 10% (v/v) préparée à partir d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 68% pour analyse ; pendant au moins un jour à température ambiante ;
- Rincer abondamment avec de l'eau bidistillée Milli-Q (au moins 4 fois) ;
- Mettre le matériel à sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- Stocker le matériel dans des sacs en polyéthylène fermés hermétiquement.

Cette opération doit être effectuée impérativement avant chaque utilisation du matériel

Le Traitement des échantillons Le traitement de l'échantillon s'effectue en quatre étapes :

B-Lyophilisation

C'est la déshydratation par sublimation des échantillons à - 40° C et sous vides (10 bars) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8) fig. 21.



Figure III.18 : Lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8).

C-Broyage et homogénéisation

Les sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine (fig. 22).



Figure III.19 : Mortier en porcelaine.

Extraction des métaux lourds

D'après Charlou et Joanny, 1983 Il existe plusieurs méthodes pour l'extraction des métaux lourds :

La méthode utilisée dans ce mémoire est la méthode d'extraction du métal total contenu dans l'échantillon.

D-Minéralisation des sous-échantillons

❖ Principe de la minéralisation

Les métaux lourds sont extraits des échantillons suite à une minéralisation qui consiste en une dégradation de la matière organique et à solubiliser les substances toxiques accumulées, en effet, les métaux organiquement liés sont transformés en ions métalliques libres par attaque acide . Les échantillons sont minéralisés dans des "bombes" en téflon fermées à l'aide de l'acide nitrique pour le matériel biologique et d'eau régale pour le sédiment.

❖ Matériel utilisés pour la minéralisation des échantillons

- Tubes coniques de 50 ml gradués en polypropylène avec bouchons (50 ml, Sarstedt);
- Bombes en Téflon avec bouchons (50 ml, Nalgène) ;
- Spatules en plastiques;
- Balance de précision (Sartorius, MC-210S)
- micropipette (Finnpipette) ;

➤ Plaque chauffante (Ceran 500, 22SR).

❖ Réactifs

- HNO₃ (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée (>18 MΩ cm, Millipore) ;
- HCl (25% pour analyses, Merck).

❖ Protocole expérimental de la minéralisation

Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) . Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

❖ Minéralisation à blanc

Pour le conditionnement des tubes conique et des spatules nous avons suivi les mêmes procédures cités précédemment en revanche pour les bombes en téflons nous avons procédé comme suit :

La première étape c'est de laisser tremper le matériel (bombes en Téflon, Savillex Corp) toute une nuit dans une solution de savon dans un bac en plastique, puis les rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet après avec de l'eau bidistillée Milli-Q.

La deuxième étape c'est la Minéralisation à blanc par le versement 7 ml du l'eau régale (HCl:HNO₃, 3:1 v/v) pour les bombes destinées à contenir des sédiments, on les ferme hermétiquement en utilisant une pince et on les place sur une plaque chauffante pendant 2h30 à 120°C pour le sédiment.

Après avoir laissé refroidir les bombes, nous les ouvrons doucement et nous les rinçons minutieusement avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois) et enfin nous mettons les bombes à sécher sous une hotte à flux laminaire. Une fois sèches, les bombes doivent être fermées et rangées dans des sacs en polyéthylène.

❖ Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse largement appliquée et bien adaptée. Cette méthode utilisée pour déterminer les niveaux de concentration en métaux lourds dans l'environnement.

Les éléments métalliques adsorbés sur les sédiments marins superficiels sont analysés par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, selon les protocoles expérimentaux décrits par (Charlou et Joanny, 1983). Le principe, la description de la technique d'analyse et les éléments constitutifs du spectrophotomètre utilisé Sont inspirés de (Pinta, 1971), et (Audigiè et Dupont, 1985) (Fig. 23).



Figure III.20 : SAA model Hitachi Z-5000.

❖ Principe de la Spectrométrie d'Absorption Atomique

Le principe de Boltzmann qui montre que le nombre N_1 d'atomes excités est relié à la température T et au nombre d'atomes N_0 à l'état fondamental par l'expression :

$$N_1 = N_0 \exp(-\Delta E / KT)$$

Où

- N_1 : La proportion d'atomes excités qui est en fonction de la température,
- N_0 : Représente la différence d'énergie entre deux étapes.
- T : Température (K).
- K : Constante de Boltzmann

Le passage de la forme ionique (métal en solution) à la forme atomique qui se produit par une source thermique (source d'atomisation). Les atomes ainsi formées passent d'un niveau énergétique fondamental (état initial) à un niveau plus élevé (état excité) sous l'effet d'un faisceau de lumière monochromatique (source de radiation), de longueur d'onde (λ) spécifique de l'élément à doser et d'intensité incidente I_0 .

❖ La loi de Beer-Lambert

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 et Dupont, 1985).

$$I_1 = I_0 \exp(KLC)$$

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

$$A = DO = \log(I_0/I_1) = KLC$$

- **I₀** : Intensité de l'énergie lumineuse transmise.
- **I** : Intensité de l'énergie lumineuse émise.
- **K** : Coefficient d'extinction molaire (constante).
- **L** : Longueur du trajet optique.
- **C** : Concentration de l'élément absorbant.

❖ Etalonnage

L'étalonnage doit être réalisé très soigneusement, dans un domaine de concentration où la loi de Beer Lambert est respectée (Tableau II.1). 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 à partir de solution mère qui a une concentration connue en g/l de l'élément à doser. Les standards ne sont préparés qu'au moment de l'analyse.

❖ Calcul des concentrations des métaux lourds

Pour obtenir les concentrations des métaux lourds étudiés, nous avons établi l'équation de la droite d'étalonnage par régression linéaire. Cette équation a la forme suivante :

$$D.O = aC + b$$

Quand cette équation est définie valeur de

a : pente de la droite ;

b : ordonné à l'origine ;

Nous avons calculé la concentration des échantillons à partir de leur absorbance (D.O). Dans une seconde étape, nous avons calculé la concentration finale des échantillons selon la relation suivante :

$$[C]F = [c]ech - [c]blanc$$

- ✓ [C]_F : concentration finale du métal exprimée en (µg/g).
- ✓ [C]_{ech} : concentration de l'échantillon donnée par l'équation de la droite d'étalonnage exprimée en (µg/ml).
- ✓ [C]_{blanc} : concentration du blanc (µg /ml).
- ✓ V : Volume final de la solution d'échantillon (50 ml).
- ✓ P : Poids du sédiment minéralisé en (g).

L'étalonnage de l'appareillage est effectué à partir de solutions standard, préparées au moment de l'analyse pour chaque élément à partir d'une solution mère à 1g/l.

❖ Les indices de contamination

Les indices de contaminations (IC) sont calculés en fonction des différentes mesures pour cerner le devenir des produits de dragage (Tableau 11).

Tableau III.9 : Valeurs guides proposées pour les métaux lourds (µg/g) par différents pays signataires de la convention d'Oslo. (Alzieu et *al.*, 1999).

	Allemagne	Belgique	Espagne	France	Pays bas
Arsenic	30-150	36-100	80-200	25-50	24-29
Cadmium	2.5-12.5	3-7	1-5	0.2-2.4	0.8-4
Chrome	150-750	66-200	200-1000	90-180	100-120
Cuivre	40-200	65-91	100-400	26-36	36-60
Mercure	1-5	4-7	0.6-3	0.2-0.4	0.3-1.2
Plomb	100-500	400-600	120-600	20-40	85-110
Nickel	50-250	190-280	100-400	37-75	35-45
Zinc	350-1750	350-500	500-3000	140-200	140-365

Les valeurs guides des concentrations en métaux (Tableau 11) au niveau européen sont sensiblement homogènes, excepté les normes espagnoles pour quelques métaux.

Pour la présente étude, les analyses des métaux lourds ont porté sur la comparaison des concentrations par rapport aux normes algériennes, françaises et hollandaises (Tableau 12).

Concernant les normes algériennes, il s'agit en fait d'une synthèse élaborée par la DGE (Direction Générale de l'Environnement).

L'indice de contamination correspond au rapport de la concentration observée sur la concentration considérée comme normale.

Tableau 10 : Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC, 1984 et Alzieu *et al*, 1999).

Métaux	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Cr
Normes Algériennes	1.5	250	2	150	500	-	250
Françaises	0.2	22	0.6	26	80	400	-
Hollandaises	0.3	85	0.8	36	140	-	-

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

$$IC = \frac{\text{Concentration observée}}{\text{Concentration normale}}$$

3.4.3 Les hydrocarbures

Principe de la méthode

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

Matériel et appareils

- Lyophilisateur.
- Balance à précision.
- Sous-jet et générateur d'azote.

- Extracteur Soxhlet multi-post.
- Évaporateur rotatif.
- 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.

Solution et réactifs

Les solvants liquides : (Voir Annexe)

- Hexane (C_6H_{14});
- Dichlorométhane (C_12CH_2);
- Acétone (C_3H_6O)₂.

Les produits chimiques solides :(Voir Annexe)

- Alumine (Al_2O_3) ;
- Gel de silice (SiO_4) ;
- Laine de verre ;
- Sulfate de Sodium anhydre(Na_2SO_4) ;
- Mercure (Hg) ;
- Chrysene ($C_{18}H_{12}$)

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 24heures à 120 °C et désactivés lors de leur utilisation par addition de quelques gouttes d'eau distillée.

Mode opératoire

Conditionnement de matériel :

Le matériel utilisé doit être conditionné pour éviter tout risque de contamination.

D'après le protocole établi par (UNEP, CIO, 1995) le conditionnement des matériel 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.

Traitement des échantillons

Le traitement des sédiments effectuée selon les étapes résumé dans le schéma suivant :

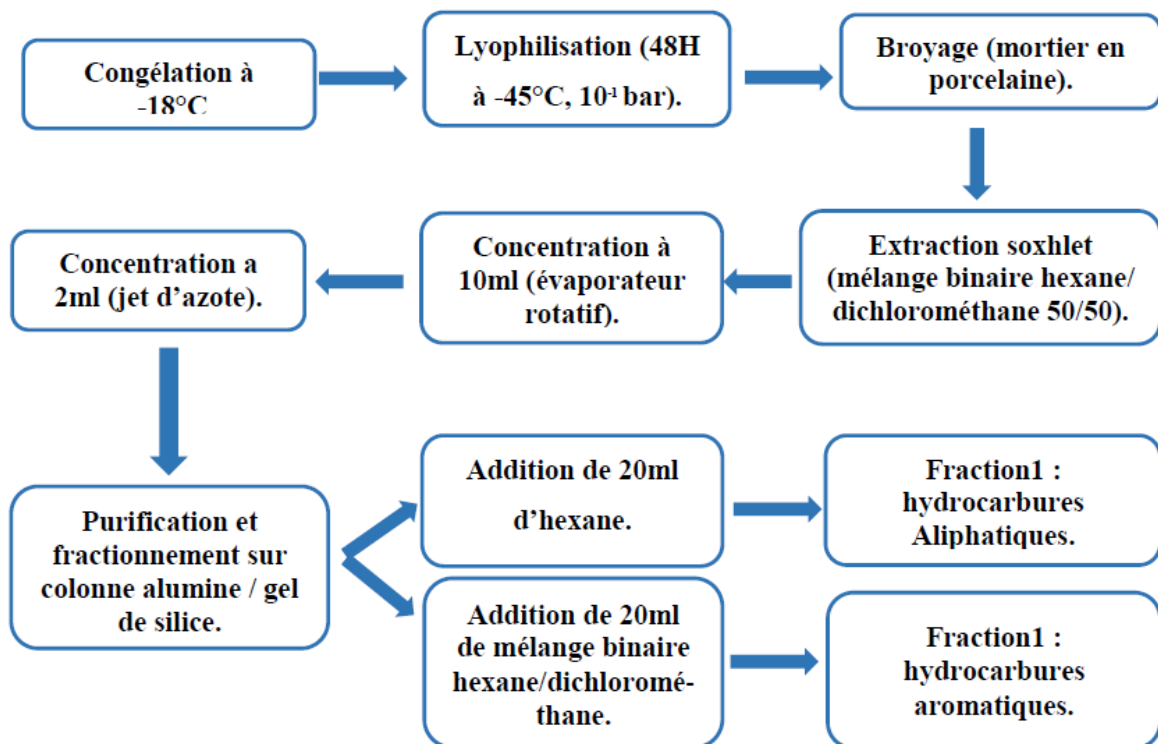


Figure III.21 : Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures.

❖ Lyophilisation

Cette étape consiste à la congélation des sédiments dans le lyophilisateur pendant 48 h à -50 °C et sous pression de 10^{-1} bar .

❖ 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 °C (24 h).
- Conditionnement avec l'acétone puis l'hexane.
- Deuxième séchage à l'étuve.

L'extraction Soxhlet

Il s'agit d'une extraction solide-liquide. Cette opération permet d'extraire par lessivage, tous les hydrocarbures contenus dans le sédiment avec un mélange de solvant à travers un dispositif appelé Soxhlet (Annexe III)

- L'extraction se fait par un extracteur soxhlet, à l'aide d'une cartouche préalablement conditionnée.
- 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.
- L'extraction dure 8 heures pour chaque série.

Concentration de l'extrait

L'extrait récupéré, environ 120 ml, est concentré à l'évaporateur rotatif jusqu'à un volume de 10 ml environ ($T^{\circ} 40C^{\circ}$; P 1,5 bars). Par la suite une deuxième concentration est entamée sous jet d'azote. Il est enfin récupéré dans un tube à essai conditionné.



FigureIII.25 : figure représente Evaporateur rotatif.

Cette concentration est considérée comme l'étape la plus délicate à cause du faible volume final réalisée. En effet, l'échantillon est évaporé à sec sous jet d'azote et repris jusqu'à un volume de 2ml.



FigureIII.26 : le sous jet d'azote

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 ;

- 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.

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.

Analyse des HAP par spectrofluorimètre ultraviolet



Figure III.27: Spectrophotomètre de Fluorescence HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe « Xénon ».

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.

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.

Mode opératoire pour la préparation des standards

- 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 (Voir Annexe)
- Mettre les fioles des solutions standards dans un bac à ultrason afin de dissoudre les chrysène dans l'hexane.

Les lectures sont faites à partir des conditions opératoires suivantes :

- La longueur d'onde de l'émission est 360 nm.
- La longueur d'onde de l'excitation est 310 nm.

Expression 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 :

$$\alpha = [C] / U.A$$

- α : Cotangente.
- $[C]$: Concentration du standard ($\mu\text{g/ml}$).
- $U.A$: Unité arbitraire de l'intensité de fluorescence du standard.

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

$$[C](\mu\text{g/g}) = [(C)_{\text{éch}} - (C)_{\text{blanc}}] * V_{\text{Purifié}} / P$$

- C : Concentration finale des HAP ($\mu\text{g/g}$) par rapport au poids sec de l'échantillon.
- $C_{\text{éch}}$: Concentration des HAP dans l'extrait purifié déjà calculée ($\mu\text{g/ml}$).
- $V_{\text{purifié}}$: Volume d'extrait purifié (ml).
- P : Le poids sec du sédiment lyophilisé extrait (g).

Chapitre IV :

Résultats et discussion

4 Résultats et discussion

Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuées sur les échantillons de sédiments du port de Bejaia et Annaba, dont le but est l'évaluation de leurs qualité chimique (pollution organique et inorganique) afin d'apprécier l'impact sur l'environnement.

❖ Mesures in situ :

Des valises multi-paramètres nous ont permis de mesurer les paramètres physicochimiques de l'eau in situ.

4.1.1 Mesure de la température

La mesure de la température est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et donc des courants ; de plus, elle permet l'étude du mélange des masses d'eau. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques qui ont des répercussions sur la pêche par exemple : reproduction, référendum thermique,... (Aminot et Chaussepied, 1983).

➤ Le port d'Annaba

Les eaux superficielles de ce milieu hors de l'enceinte portuaire présentent des caractéristiques physico-chimiques saisonnières pour une période printanière :

- Les températures de l'eau sont normales et saisonnières, dont les valeurs de la température sont comprises entre 17.50 et 20.9 °C soit une moyenne de 18.78 °C.
- Le pH indique des valeurs comprises entre 7.21 et 7.85 soit une moyenne de 7.45. Ces valeurs sont basses par rapport à la moyenne des pH en milieu marin qui est de 8.2. (Figure28)

➤ Le port Bejaia

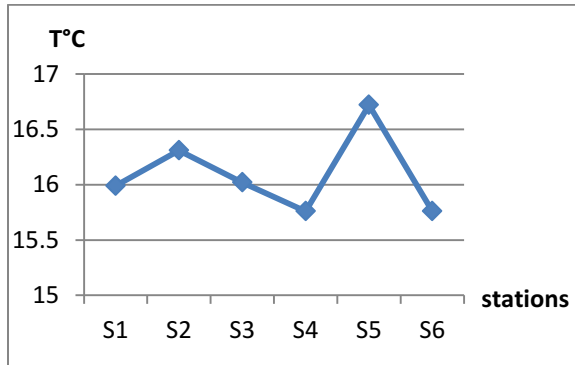
On a enregistré des températures de surface oscillants entre un maximum de 16.72 °C au niveau de la station 5 où se localise un rejet d'eaux usées et un minimum de 15.72°C au niveau des stations (4 ,6) qui peut être dû aux courants froids du large, avec une moyenne de 16,09°C et un écart-type de 0,36.(Figure 22)

Ces valeurs sont saisonnières et elles sont inférieures aux normes algériennes en vigueur (30°C) (JORA, 1993).

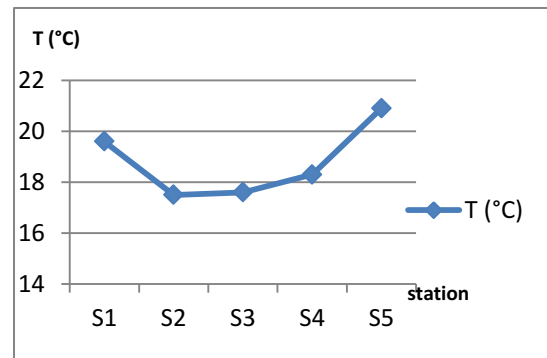
Nous remarquons que la température des eaux de la partie Ouest au niveau de la station 5

(à la sortie du port) est élevée par rapport aux autres stations.

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

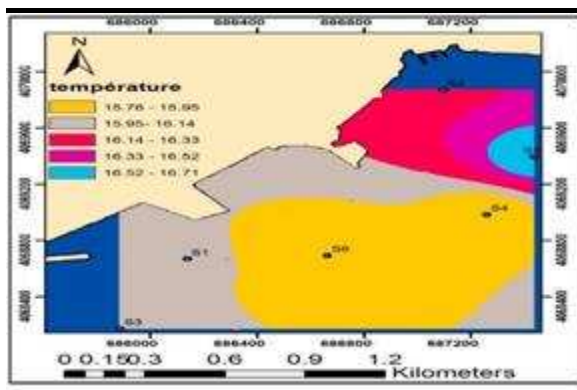


1-Port de Bejaia.

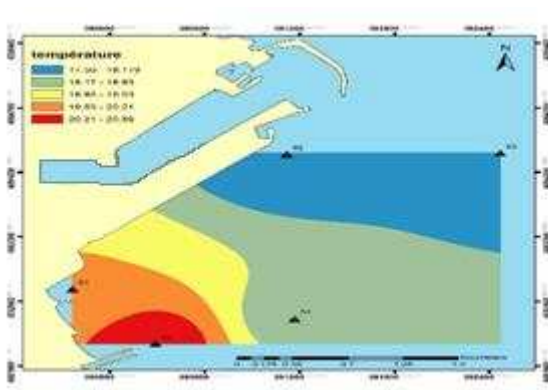


2-Port d'Annaba.

Figure IV.28 : Valeurs moyennes de la température en fonction des stations.



1-Port de Bejaia.



2-Port d'Annaba.

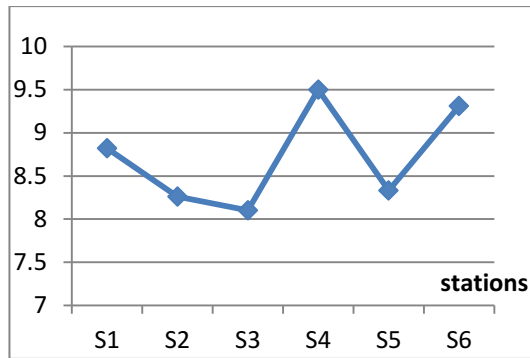
Figure VI. 29 : Carte de la répartition de la Température dans les ports de Bejaia et d'Annaba.

4.1.2 Mesure du potentiel d'Hydrogène (pH)

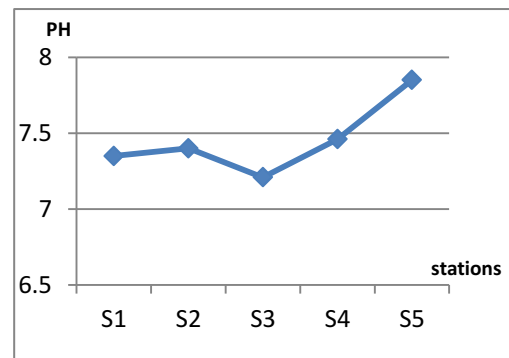
Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H+) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Dans l'eau de mer le pH résulte de la composition ionique de cette dernière, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de CO2 entre l'eau et l'atmosphère, ainsi que la dissolution du calcaire. (Aminot et Kérouel, 2004).

Le pH moyen mesuré à la surface de l'eau est de 8.72 avec en écart-type de 0.58, un minimum de 8.1 et un maximum de 9.33. (FigureVI.30)

La norme algérienne de la variation du pH étant comprise entre 6 et 8 (JORA, 1993)

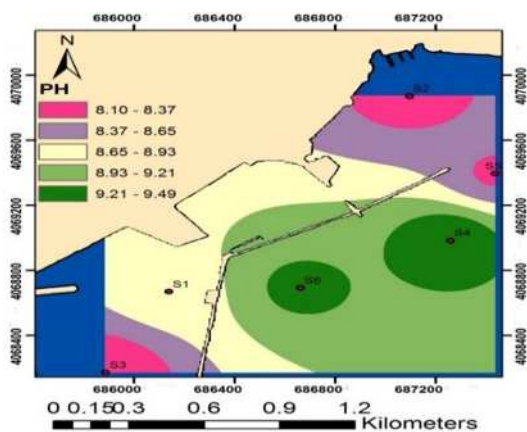


1-Port de Bejaia.

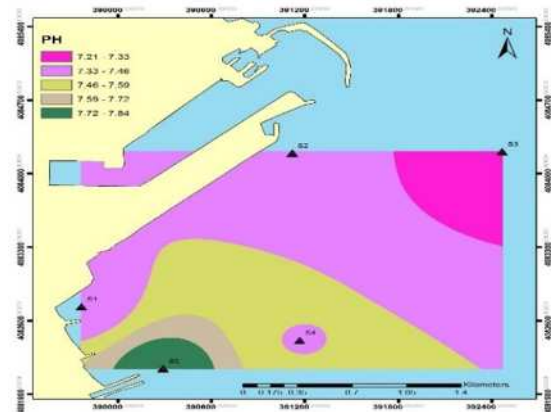


2-Port d'Annaba.

Figure IV.30 : Valeurs moyennes du pH en fonction des stations.



1-Port de Bejaia.



2-Port d'Annaba.

Figure VI.31 : Carte de la répartition du pH dans les ports de Bejaia et d'Annaba.

4.1.3 Mesure de la salinité

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin, elle a été définie pour la première fois après mise au point d'une technique fournissant des résultats reproductibles (Sorensen, 1902).

La salinité moyenne mesurée à la surface de l'eau est de 39.02 PSU avec un écart-type de 0.46. La valeur minimale de 38.84 PSU est clairement remarquée au niveau de la station 1. La valeur maximale de 39.72 PSU est enregistrée au niveau de la station 6. (Figure 32)

Les valeurs obtenues sont relativement moyenne, 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 (S1et2), résultante des rejets d'eaux des oueds (Oued Seghir et Oued Soummam) et les eaux de ruissèlement.

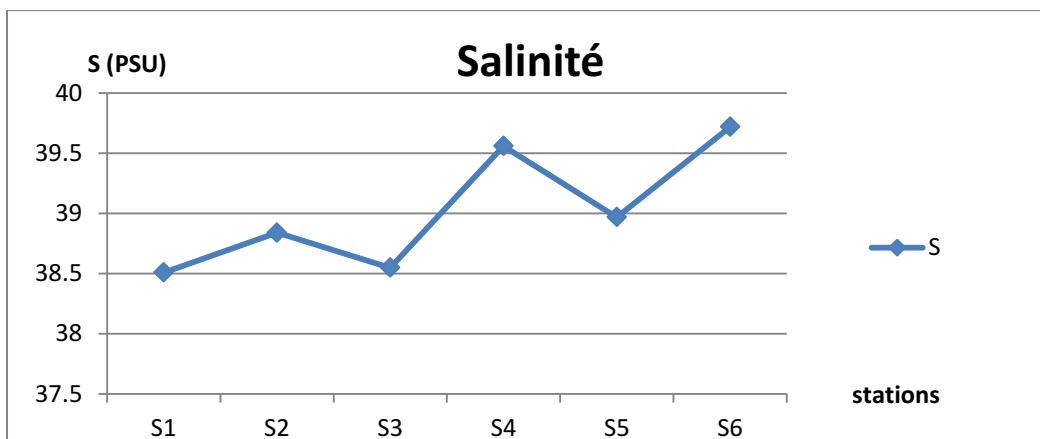


Figure IV.32 : Valeurs moyennes de la salinité en fonction des stations.

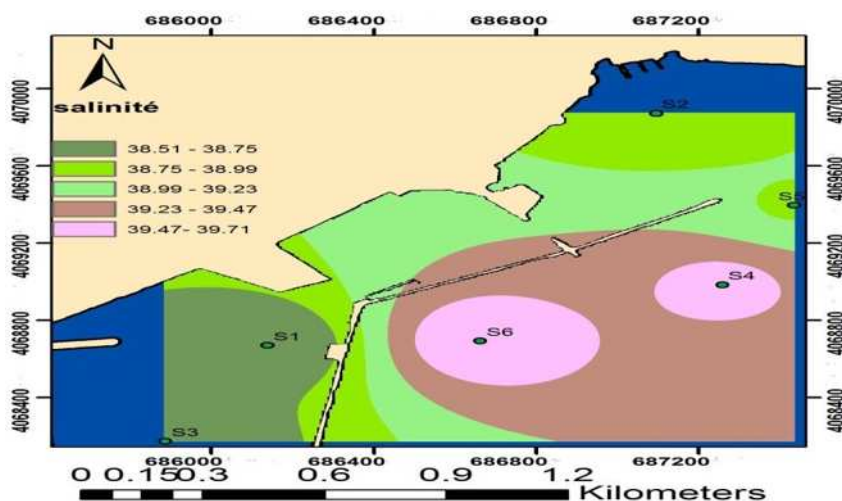


Figure IV.33 : Carte de la répartition de la salinité dans le port de Bejaia.

4.1.4 Mesure de la conductivité

La conductivité mesure le taux de sels minéraux dissous dans l'eau. Elle augmente avec la température et la concentration en sel dissous.

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

Un maximum de 59.16 ms/cm au niveau des stations (4,6) où se localise un rejet et un minimum de 57.7 mc/cm au niveau de la station 3 qui peut être dû aux courants froids du large, avec une moyenne de 58.33 ms/cm et un écart-type de 0.58 (Figure IV.34)

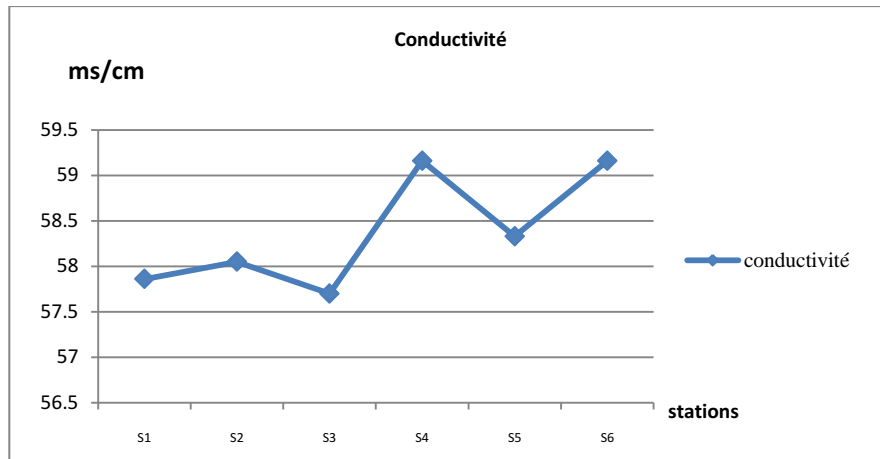


Figure IV.34 : Valeurs moyennes du pH en fonction des stations.

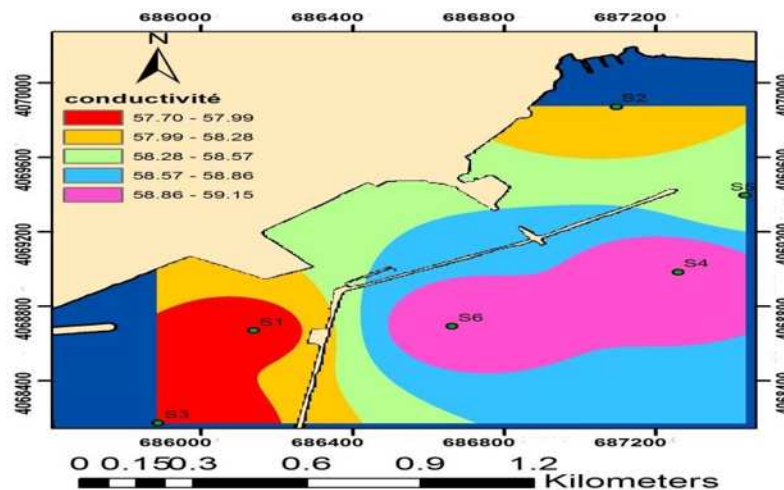


Figure IV.35 : Carte de la répartition de la conductivité dans le port de Bejaia.

4.2 Matière organique (MO) dans le sédiment

La variation des teneurs en matière organique au niveau du port de Bejaia est très forte entre les valeurs de 9.82 et 15.37 % (Figure), avec une moyenne de 12.57% et un écart type de 1.89. Au port d'Annaba, elles varient entre une valeur de 2.4% (station 1) et de 9.01% (station 3) avec une moyenne de 4.55% et un écart type 3.17 (Figure 36).

La grande majorité des eaux usées des industries portuaires sont rejetées directement dans l'arrière port, ces eaux usées sont hautement chargées en matières organiques ce qui explique les valeurs trouvées.

La stagnation des eaux des bassins protégées de la houle favorise le dépôt et la sédimentation de la matière organique.

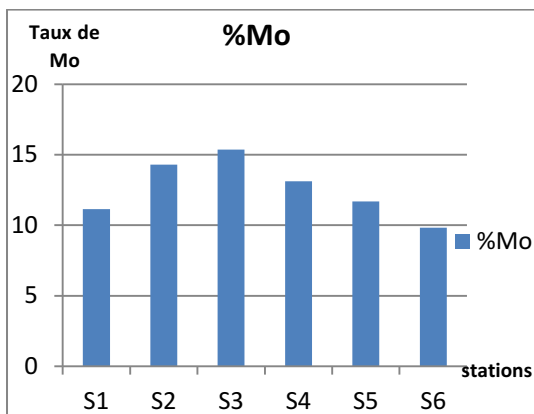
La station 03 présente la valeur maximale, ces taux élevés de matière organique retrouvés au niveau des sédiments avec les faibles valeurs d'oxygène dissous et de pH mesurés dans

les eaux de l'arrière port ; la matière organique proviendrait donc :

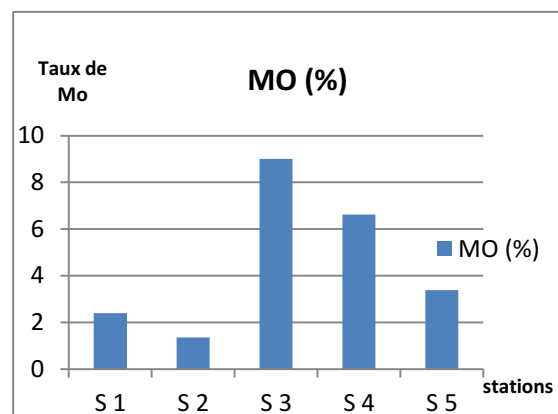
- Des rejets des bouches d'eaux usées domestiques et industriels.
- des apports de l'oued Seghir,
- des activités portuaires (transport, chargement, déchargement d'hydrocarbures, pêche et trafic maritime).

En outre, la nature des sédiments favorise la rétention de la matière organique. 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.

Ces matières contenues généralement dans les vases proviennent naturellement de la décomposition du phytoplancton et des algues mais aussi des rejets de bateaux séjournant dans le port. Ainsi en se décomposant cette matière consomme la totalité de l'oxygène présent dans le port.

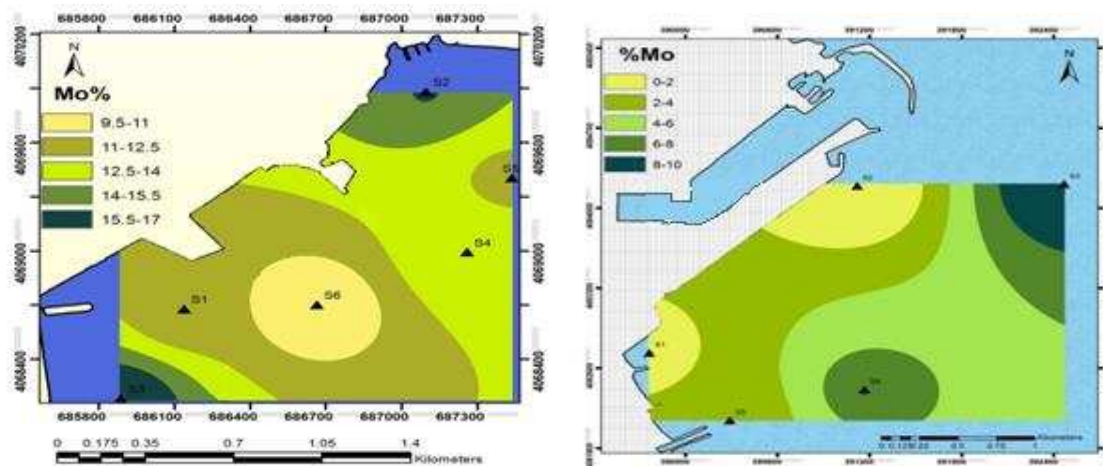


1-Port de Bejaia.



2-Port d'Annaba.

FigureIV.36: Variation des taux de la matière organique (MO) dans les sédiments au niveau des ports de Bejaia et Annaba.



1-Port de Bejaia.

2-Port d'Annaba.

Figure VI.37 : Carte de la répartition de la Matière Organique dans les ports de Bejaia et Annaba

D'après Chamley (1987), les teneurs dépassant 1% sont considérées pour la mer Méditerranée comme très élevées.

➤ Pour le Port d'Annaba

Les teneurs en matière organique dans les sédiments sont faibles. Elle varie entre 1.36 et 9.10% en moyenne est de 2.57 %. Ceci est dû essentiellement à l'exposition de ce site à la houle et aux courants côtiers dont l'action la plus importante est le remaniement des sédiments et par suite une bonne oxygénation du milieu.

4.3 Résultats et interprétation de l'analyse des métaux lourds

Les métaux lourds, tels que définis par Nieboer et Richardson, (1980), sont parmi les constituants normaux de l'environnement marin.

Les métaux se trouve habituellement à de faibles concentrations encore sont capables d'exercer de considérables effets biologiques, même à de tels niveaux (Rainbow, 1992).

Tous les métaux sont toxiques au-dessus d'un certain seuil biodisponible. Ag, Hg, Cu, Cd, Pb et sont particulièrement toxiques (Bryan, 1979).

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le niveau des concentrations de métaux dans les sédiments superficiels du port d'Annaba et de Bejaia, examinant la concentration et la répartition des métaux et pour discuter des facteurs d'enrichissement des métaux (processus naturels ou de l'activité anthropique).

4.3.1 Les métaux traces dans les sédiments superficiels de port de Bejaia et d'Annaba

4.3.1.1 Cuivre

➤ Port d'Annaba :

Les concentrations en cuivre sont enregistrées entre 2.39 et 7.57 $\mu\text{g/g}$. La moyenne de cette distribution est de 5.43 $\mu\text{g/g}$ avec un écart type de 1.97.

La plus faible teneur s'observe à la station 2, et la teneur la plus élevée à la station 1.

Il n'existe aucune valeur qui dépasse les normes algériennes. (FigureIV.38)

➤ Le Port de Bejaia :

Les teneurs en cuivre sont comprises entre un minimum de 67.9 $\mu\text{g/g}$ (station 6) et un maximum de 240.68 $\mu\text{g/g}$ (station 2) avec une moyenne de 153.08 $\mu\text{g/g}$ avec un écart type de 64.36 (Figure 38).

Les concentrations maximales sont observées dans le port de Bejaia au niveau des stations (2 et 3), c'est dû probablement aux activités portuaire

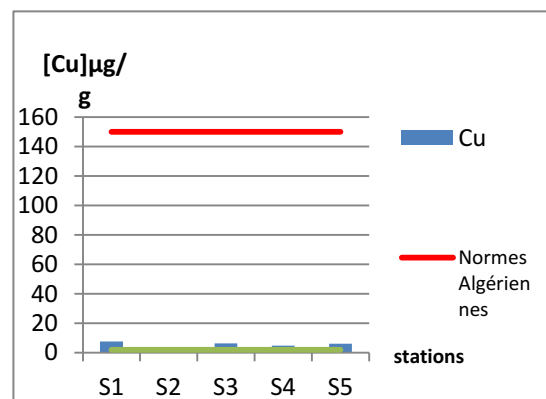
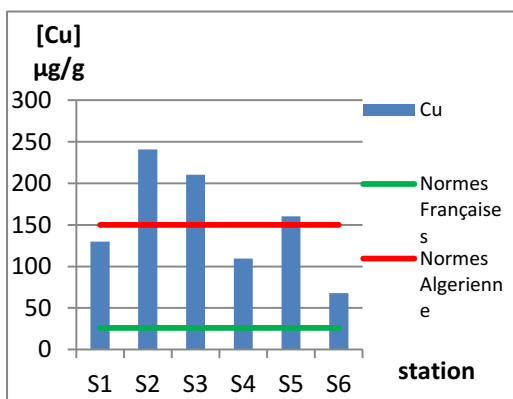
Le cuivre présente des valeurs supérieures aux normes algériennes (150 $\mu\text{g/g}$), au niveau des stations (St 2, 3et 5).

Selon les normes françaises (26 $\mu\text{g/g}$), dans les deux ports les valeurs sont supérieures.

(Figure IV.39)

Les indices de contamination

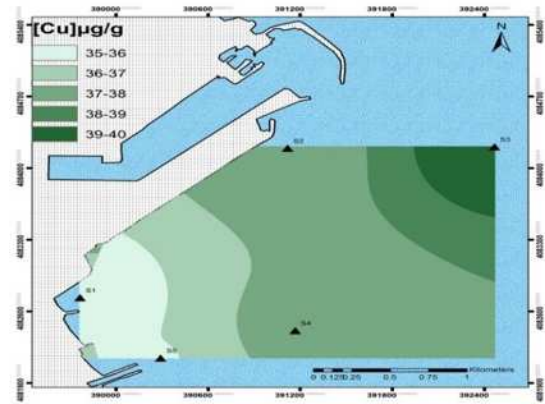
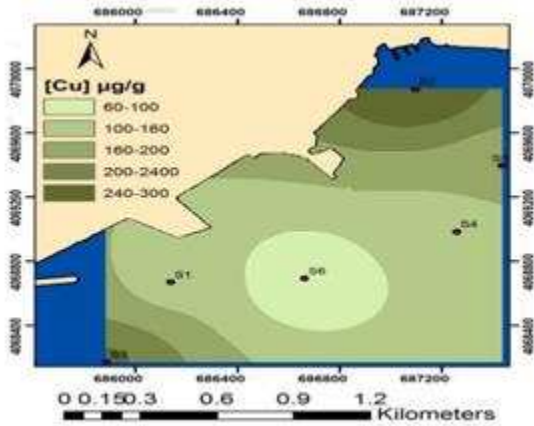
Selon les normes algériennes et les normes françaises au niveau de port d'Annaba, les indices de contamination sont inférieurs à 1. Et dans port de Bejaia, sont inférieur à 3 selon, le dragage et la mise en dépôt peuvent s'effectuer normalement. Par contre pour les normes algériennes françaises, les stations (7, 8 et 9) ont un $\text{IC} < 3$ le reste du port a un $\text{IC} > 3$. (Figure38)



1-Port Bejaia

2-Port d'Annaba

Figure VI.38: Variation des concentrations de Cuivre (Cu) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.



1- Port Bejaia

2-Port d'Annaba

Figure VI.39 : Carte de la répartition du Cuivre dans les ports de Bejaia et Annaba.

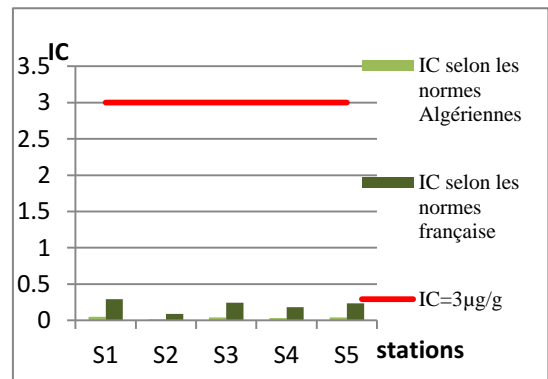
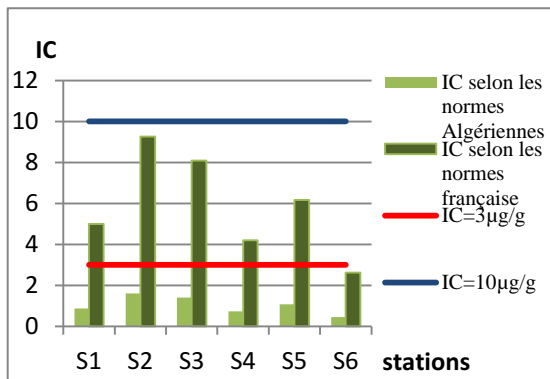


Figure VI.40: IC par le cuivre dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et Françaises.

4.3.1.2 Zinc

À forte concentration, le Zinc peut provoquer de sérieux problèmes toxicologiques il est introduit dans les zones portuaires à partir de la dissolution des masses de Zinc pour fixées sur les parties immergées des bateaux.

➤ Port d'Annaba

Les concentrations de zinc comprises entre 10.89 et 80.85 µg/g de poids sec avec une moyenne de 47.28 µg/g avec un écart type de 25.99.

La plus faible teneur observée est celle de la station2 et la plus forte est celle de la station

5.

Selon les normes algériennes et françaises, Les concentrations de zinc dans le port sont très faibles ne dépassent pas ni la norme algérienne ni française sauf la station 4 qui dépasse la norme française.

Selon la norme algérienne et la norme française les IC dans le port d'Annaba sont largement inférieures à 3 et tendent vers 1.

(Figure IV.41)

➤ **Port de Bejaia**

Les teneurs en zinc sont comprises entre 170.33 $\mu\text{g/g}$ (station 6) et 610.89 $\mu\text{g/g}$ (station 3) avec une moyenne de 399.295 $\mu\text{g/g}$ avec un écart type de 196.89.

Les concentrations à l'extérieur des deux ports resteront faibles.

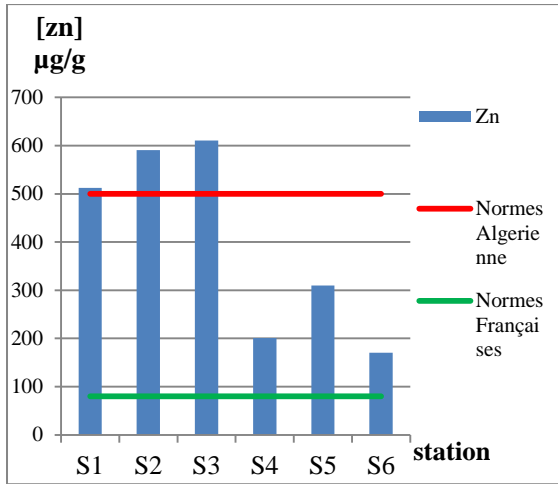
Selon la norme algérienne et la norme française les concentrations en zinc les stations sont inférieures à ces normes.

Les apports en zinc dans l'environnement est lie à :

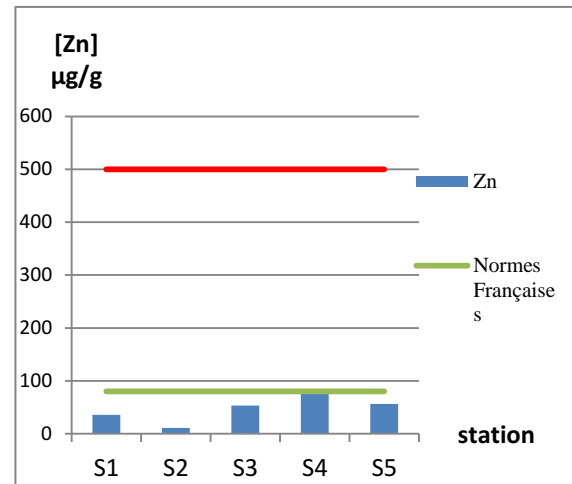
- Rejets des eaux résiduaires domestiques.
- Eaux pluviales de la zone portuaire.
- Précipitations atmosphériques.
- La circulation maritime.

Ceci traduit une très faible contamination par le zinc. Pour la norme française, dans la station 9, on trouve un indice supérieur à 10, cette partie peut se présenté comme zone à risque.

L'IC dans le port de Bejaia est inférieur à 3, 1. Par contre pour les normes françaises, sauf les stations (4,6) ont $IC < 3$, la station (1, 2, 3,5) a $IC > 3$. (Figure 42)

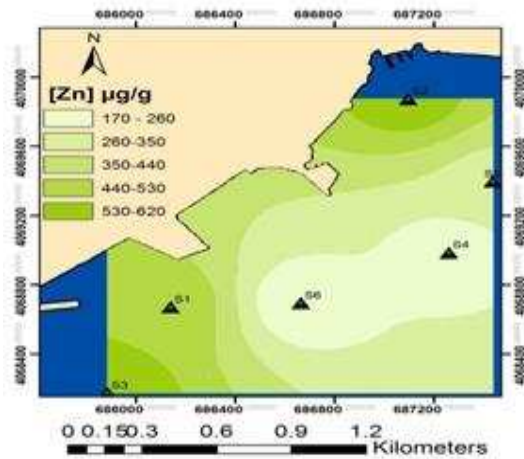


1-Port Bejaia

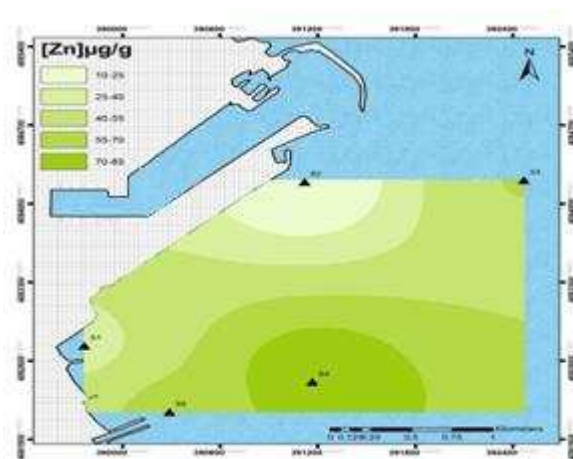


2-Port d'Annaba

Figure40: Variation des concentrations de zinc (Zn) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.

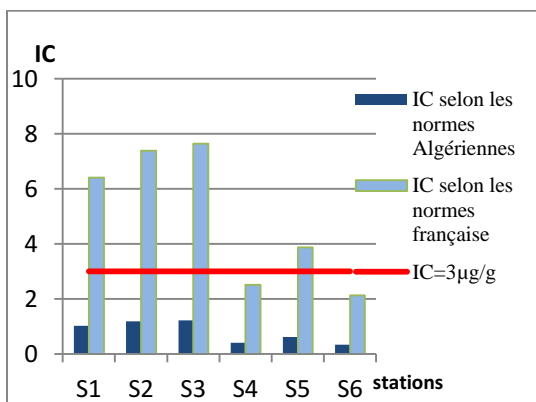


1-Port Bejaia

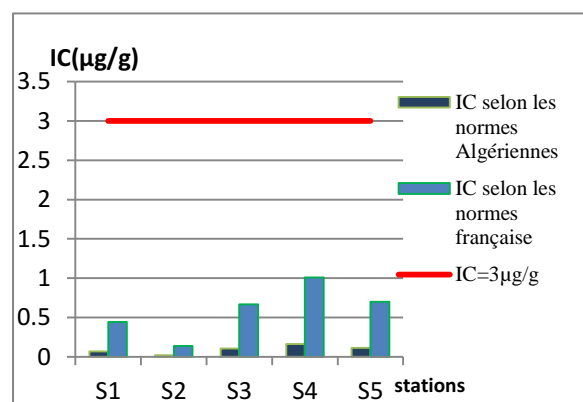


2-Port d'Annaba

Figure IV.41: Carte de la répartition du Zinc dans les ports de Bejaia et Annaba.



1-Port Bejaia



2-Port d'Annaba

Figure IV.42 : IC par le Zinc dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et Françaises.

4.3.1.3 Chrome

Le chrome est présent dans la nature en petite quantité mais il est très utilisé dans les industries métallurgiques pour la fabrication d'alliages ferreux et non ferreux, la concentration en chrome varie selon la nature des formations géologiques.

➤ Port Annaba

Les valeurs en chrome sont comprises entre un minimum de $0.5\mu\text{g/g}$. (Station 2) et un maximum de $5.01\mu\text{g/g}$ (Station 04) avec une moyenne de $3.28\mu\text{g/g}$ et écart-type 1.7

(Figure IV.43)

➤ Port Bejaia

Les valeurs en chrome sont comprises entre un minimum de $91.29\mu\text{g/g}$. (Station 5) et un maximum de $160.31\mu\text{g/g}$ (Station 2) avec une moyenne $118.37\mu\text{g/g}$ et écart-type 28.52

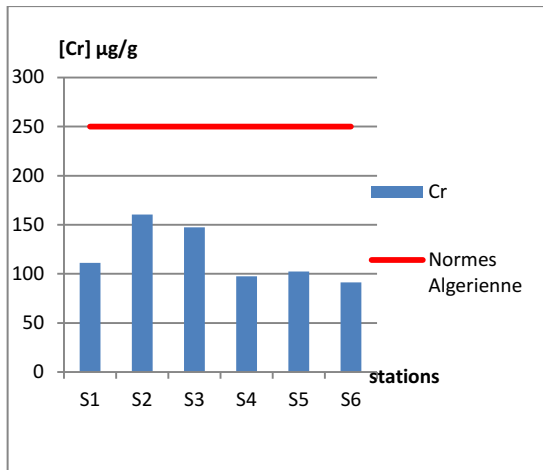
Les concentrations en Chrome déterminées dans ce bassin présentent des teneurs plus au moins élevées, cela est due à

- La présence d'une épave de bateau située à l'entrée de ce bassin.
- La circulation des bateaux, usures des peintures.
- Aux rejets d'eaux usées domestiques.
- Aux apports terrigènes et les effluents industriels déversés par l'oued Seghir.

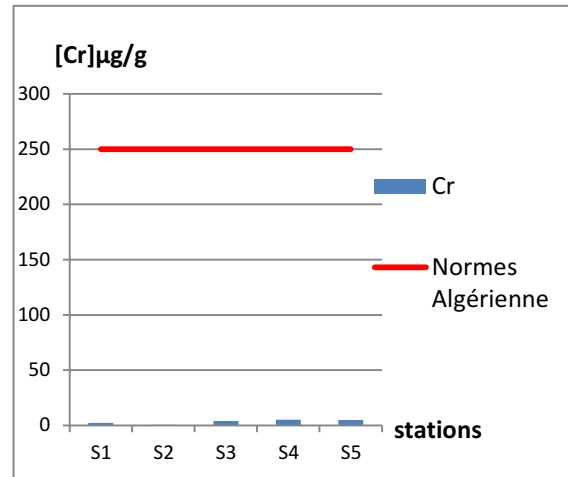
Selon les normes Algériennes ($250\mu\text{g/g}$) et Les concentrations de Chrom dans les deux ports présentent des valeurs faibles ne dépassent pas les seuils.

(Figure IV.43)

Les IC dans le port d'Annaba et Bejaia, selon la norme Algérienne sont largement inférieures à la valeur 3 et tendent vers 1. Ceci traduit une très faible contamination par le Chrome. (Figure IV.44)

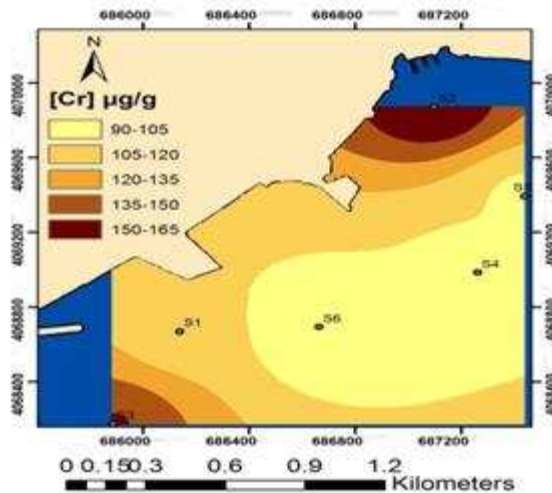


1-Port Bejaia

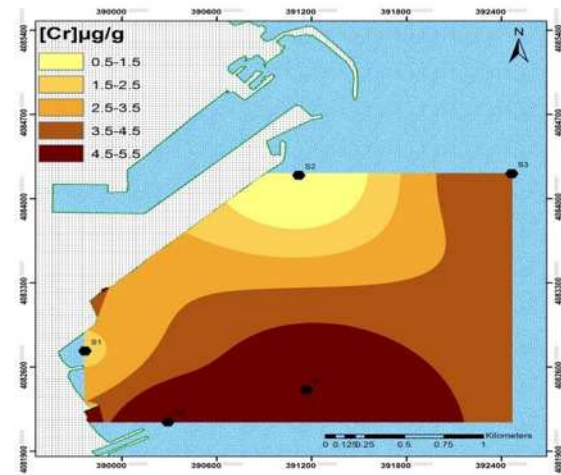


2-Port d'Annaba

Figure IV.43: Variation des concentrations de Chrome (Cr) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.

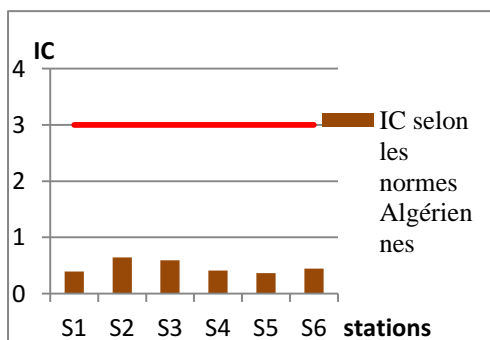


1-Port Bejaia

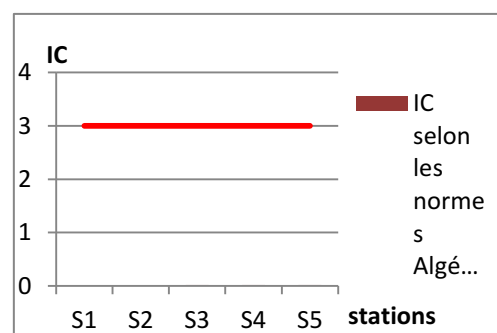


2-Port d'Annaba

Figure IV.44 : Carte de la répartition de le Chromes dans les ports de Bejaia et Annaba.



1-Port Bejaia



2-Port d'Annaba

Figure IV.45 : IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes.

4.3.1.4 Plomb

Le plomb est rarement disponible à l'état natif ; le plomb est présent dans de nombreux minerais, notamment la galène (PbS).

➤ Le port d'Annaba

Les valeurs en Plomb comprises entre un minimum de $0.39\mu\text{g/g}$. (Station4) et un maximum de $1.12\mu\text{g/g}$ (Station 04) avec une moyenne de $0.80\mu\text{g/g}$ et écart-type 0.42.

Ces valeurs sont inférieure aux normes Algériennes ($250\mu\text{g/g}$) et les normes françaises ($22\mu\text{g/g}$).

Les indices de contamination selon les normes algériennes sont inférieurs à 3, y compris les bassins qui sont supposés être pollués. (Figure IV.46)

➤ Le port de Bejaia

Les valeurs en Plomb dans ce port sont comprises entre $123.88\mu\text{g/g}$. (Station 6) et $410.22\mu\text{g/g}$ (Station 2) avec une moyenne $221.19\mu\text{g/g}$ et écart-type 105.75.

Le chrome présente des valeurs inférieure aux normes Algériennes ($250\mu\text{g/g}$) et les normes françaises ($22\mu\text{g/g}$).

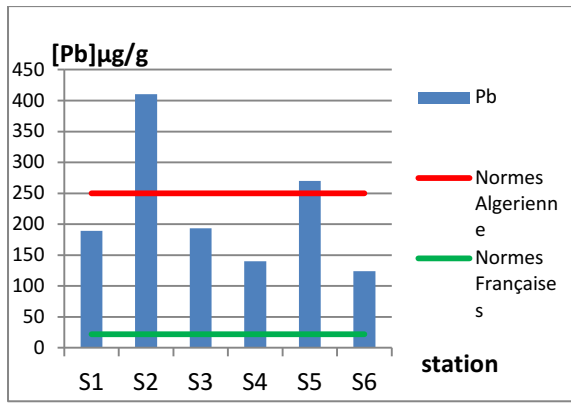
Les valeurs les plus élevées s'observent au niveau de la station (St 02) et la station (St 05), cela due aux rejets exploités par l'ERENAV qui dispose d'un ensemble d'ateliers de réparation naval au niveau du dock flottant, ainsi la détérioration de la peinture à base de plomb recouvrant les surfaces des coques des embarcations constitue également une source de pollution par le plomb. Ce qui explique la forte concentration en plomb dans l'arrière port.

Les deux stations (2,5) dépassent les normes algériennes.

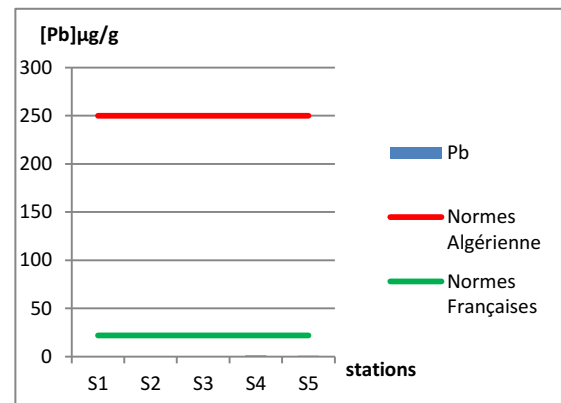
Selon les normes françaises, dans tout le port les valeurs sont supérieures.

(Figure IV.46)

L'Indice de contamination selon les normes algériennes est inférieur à 3, le dragage et la mise en dépôt peuvent s'effectuer normalement. Par contre selon les normes françaises, $IC > 10$ au niveau de station(2,5) qui $IC > 10$ et dans tout le reste du port $3 < IC < 10$. (Figure47)

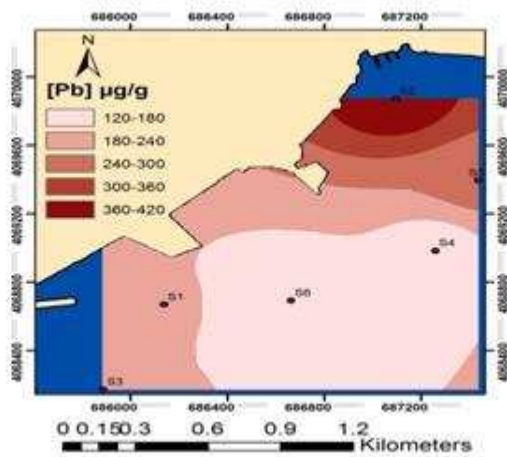


1-Port Bejaia

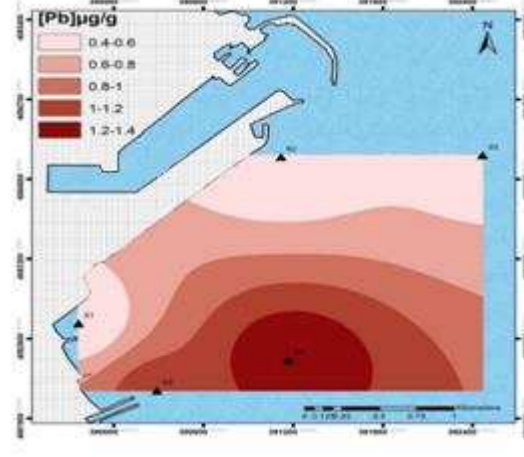


2-Port d'Annaba

Figure VI.46 : Variation des concentrations de Plomb (Pb) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.

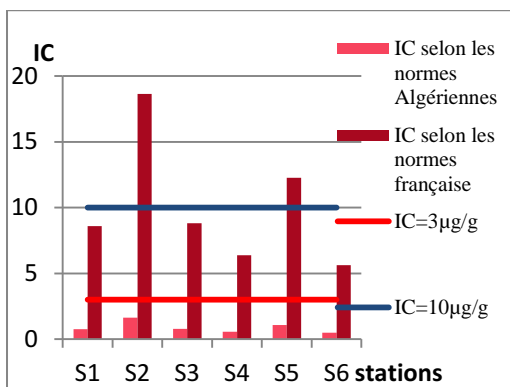


1-Port Bejaia

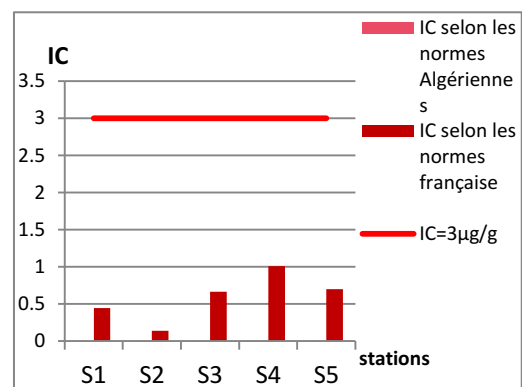


2-Port d'Annaba

Figure VI.47 : Carte de la répartition du Plomb dans les ports de Bejaia et Annaba



1-Port Bejaia



2-Port d'Annaba

Figure IV.48 : IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et françaises.

4.3.1.5 Manganèse

Il existe deux types d'apports du manganèse : l'apport indirect, inclus les rejets urbains, industriels, les engrais et les eaux usées et l'apport direct d'origine atmosphérique ou relevant du transport maritime (Peres et *al.*,1976 ; Khan et *al.*,2003).

➤ Le port de Bejaia

Le sédiment superficiel présente des concentrations en manganèse qui varient entre un minimum de 85,08 µg/g (station 4) et un maximum de 270.64 µg/g (station 3) avec une moyenne de 202.32 µg/g et un écart type de 64.45. (Figure 49).

Selon la norme française (400 µg/g) les valeurs de Manganèse au niveau des stations vde port sont faibles. Ces valeurs semblent être indépendantes de la granulométrie par rapport à la norme française, les sédiments de dragage ne présentent pas de danger et se traduit par une faible contamination par le manganèse. (Figure 50)

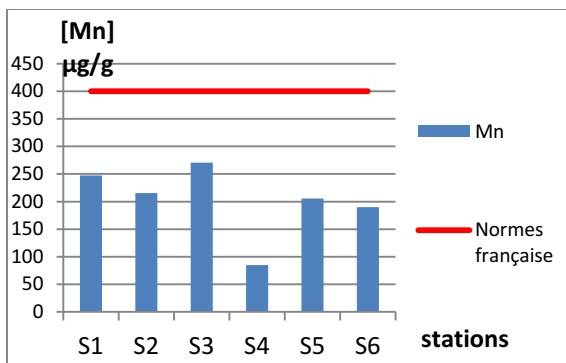


Figure IV.49 : Variation des concentrations de manganèse dans le sédiment superficiel du port de Bejaia.

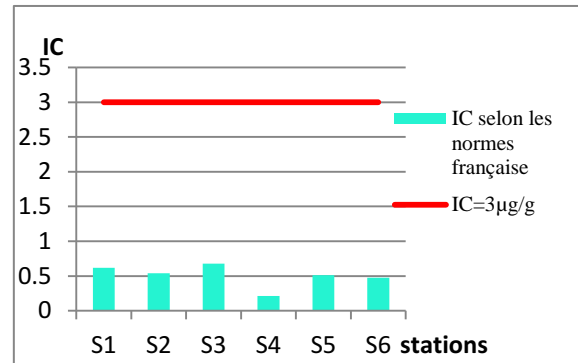


Figure IV.50: IC par le manganèse dans le sédiment dans le sédiment superficiel du port d'Bejaia.

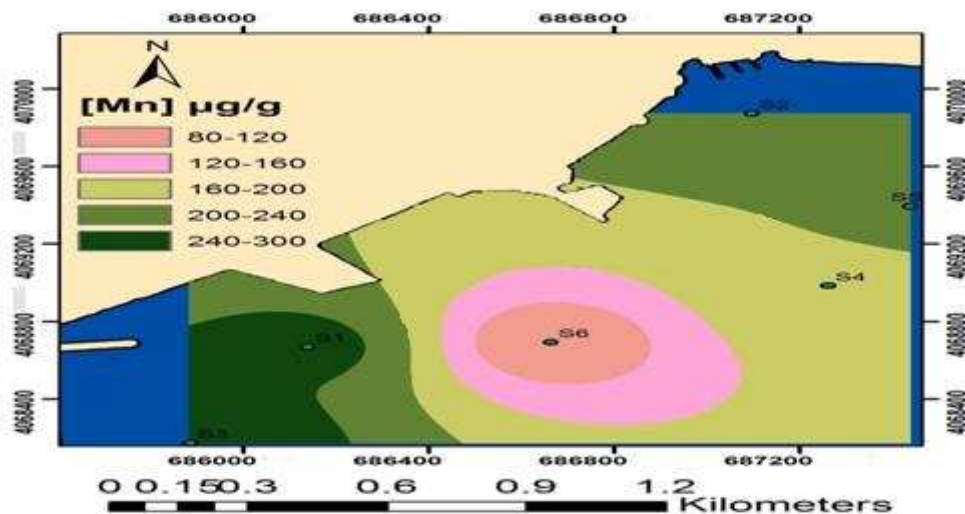


Figure IV.51 : Carte de la répartition de la concentration du manganèse dans le port de Bejaia.

4.3.1.6 Cadmium

Le Cadmium n'existe pas à l'état natif. Il est principalement utilisé pour la fabrication de batteries et le traitement de surfaces des aciers. Il est aussi utilisé en peinture, en caoutchoutière, et pour la fabrication d'antiseptique. Sa présence en milieu marin est due à un rejet direct des eaux contaminées de la zone industrielle.

➤ Le port d'Annaba

Les valeurs en chrome sont comprises entre $0.055\mu\text{g/g}$. (Station1) et $0.62\mu\text{g/g}$ (Station 05) avec une moyenne de $0.23\mu\text{g/g}$ et écart-type 0.21.

Selon les normes algériennes et françaises les indices de contamination dans ce port sont inférieurs à 3. (Figure IV.52)

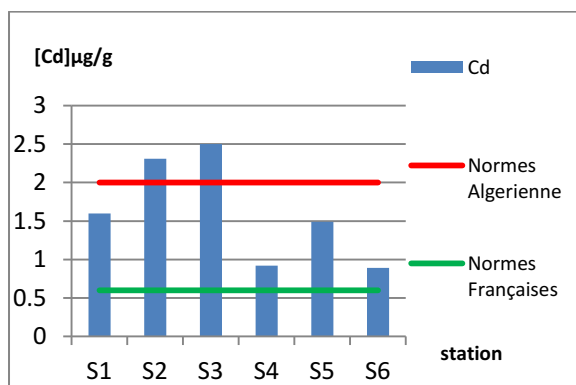
➤ Le port de Bejaia

Les valeurs en chrome sont comprises entre $0.89\mu\text{g/g}$. (Station 6) de $2.5\mu\text{g/g}$ (Station3) avec une moyenne $1.61\mu\text{g/g}$ et écart-type 0.67.

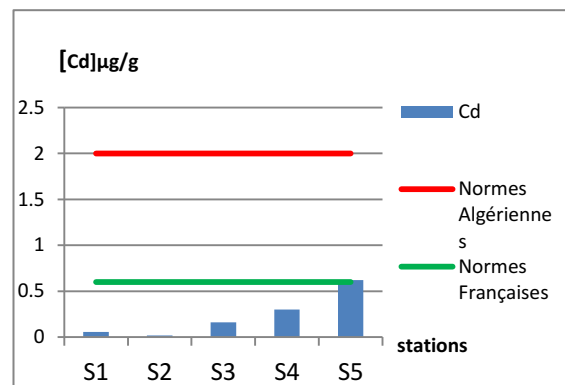
Les deux stations (2 et 3) dépassent les normes algériennes. Ainsi que les normes françaises, dans tout le port les valeurs sont supérieures.

Le Cadmium présente des valeurs inférieures aux normes Algériennes ($2\mu\text{g/g}$) et les normes françaises ($0.6\mu\text{g/g}$). (Figure IV. 52)

L'IC est inférieur à 3 selon les normes algériennes. Par contre selon les normes françaises, le IC dans les stations(2,3) est $3 < IC < 10$ (une zone polluée à suivre en cas d'opération de dragage) pour tout le reste du port on a $IC < 3$. (Figure IV.54)

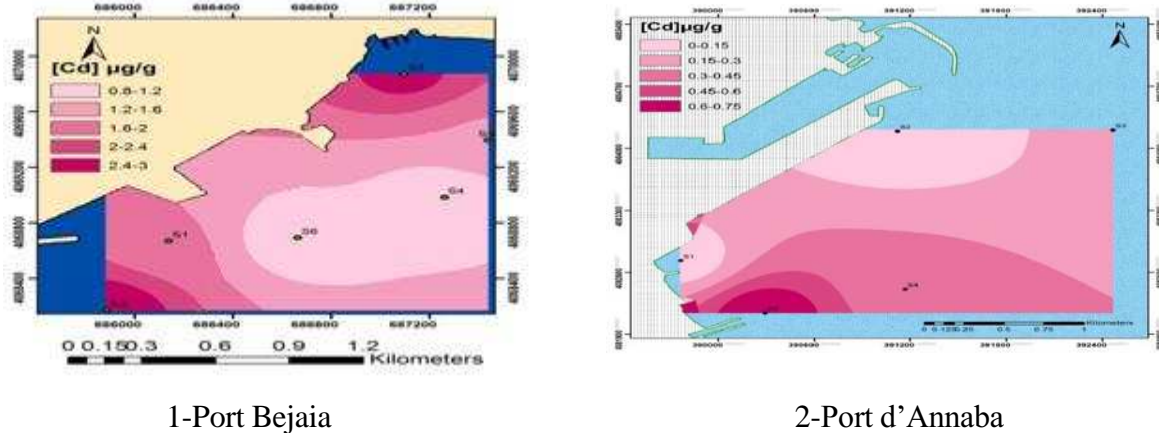


1-Port Bejaia



2-Port d'Annaba

Figure IV.52 : Variation des concentrations de Cadmium (Cd) dans les sédiments au niveau du port de Bejaia et Annaba.



FigureIV.53 : Carte de la répartition des concentrations en Cadmium dans les deux ports de Bejaia et Annaba

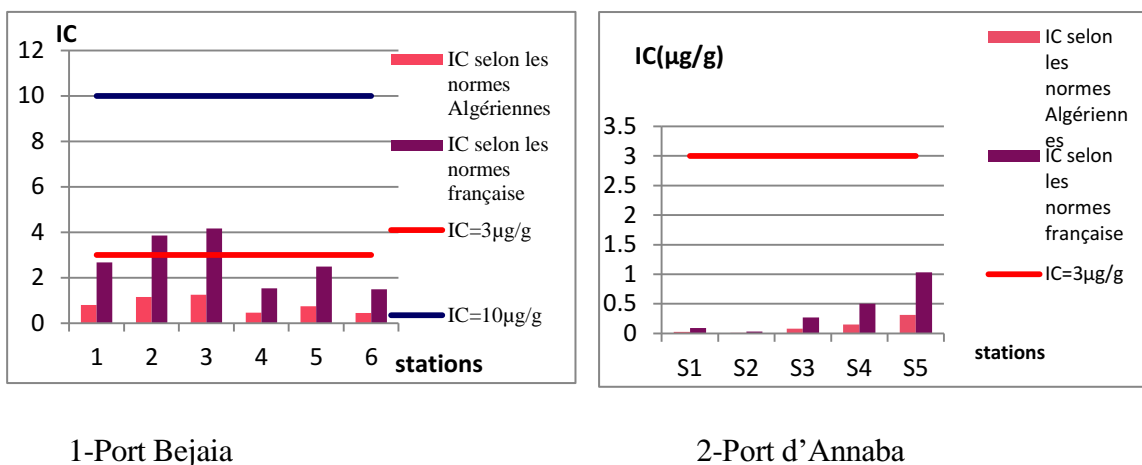


Figure IV.54: IC par le Chrome dans le sédiment superficiel des ports de Bejaia et Annaba selon les normes Algériennes et françaises.

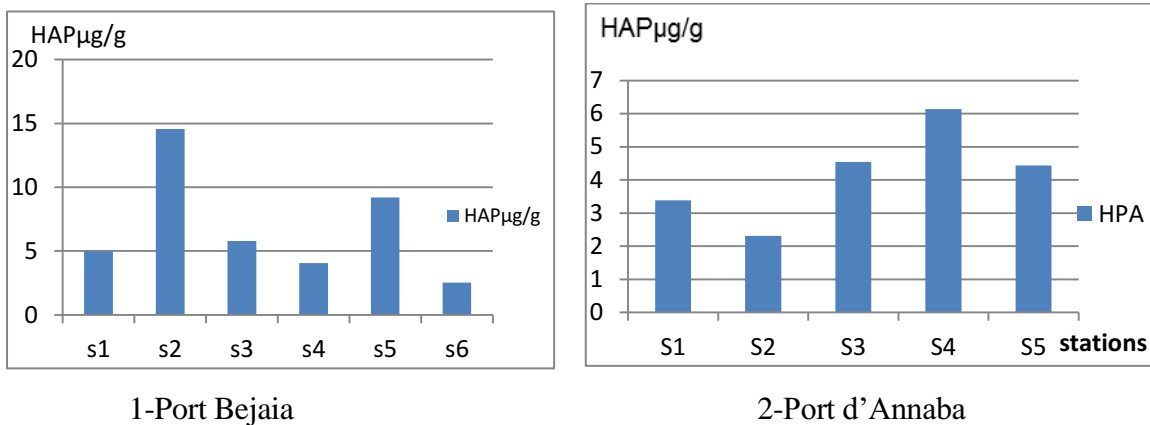
4.4 Teneurs en Hydrocarbures

Les activités industrielles ont des effets néfastes sur l'environnement, comme les rejets des déchets dangereux dans les cours des eaux qui finissent toujours dans la mer donc des risques sur l'écosystème. Il Ya aussi les activités pétrolières qui peuvent nuance la mer et ça à cause de la croissance et le développement des opérations du transport de pétrole á travers les mers.

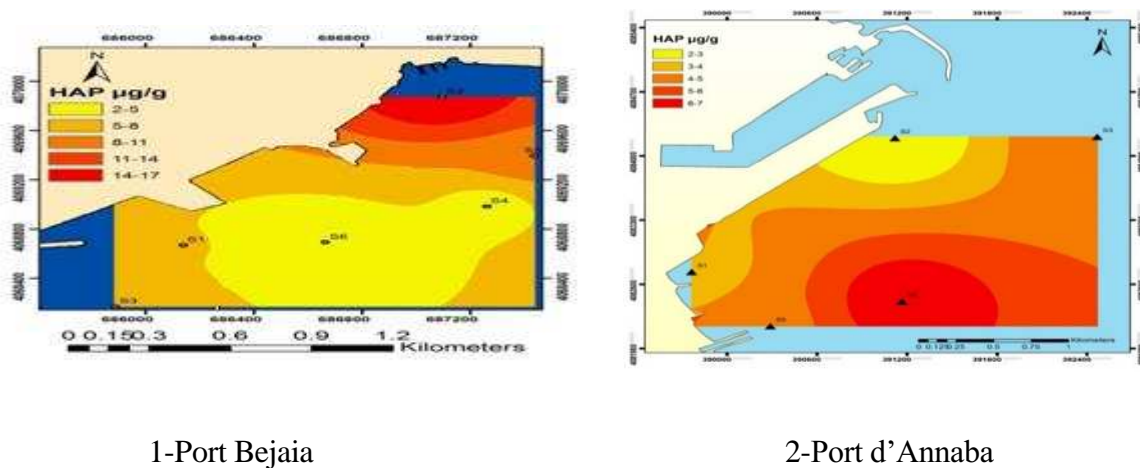
Les concentrations des hydrocarbures dans les sédiments :

- Le port d'Annaba est entre 6.14 µg/g et 2.31 µg/g avec un moyenne 4.16 µg/g
- Le port de Béjaia est entre 14.56 µg/g et 2.52 µg/g avec un moyenne 6.84 µg/g

(FigureIV.55)



FigureIV.55 : Variation des concentrations des hydrocarbures aromatique dans les sédiments au niveau des deux port de Bejaia et Annaba.



FigureIV.56 : Carte de la répartition de l'hydrocarbure aromatique dans les ports de Bejaia et Annaba.

On conclure :

- Les résultats concernât le taux de la matière organique dans le port de Bejaia. montrent une augmentation de taux de la matière organique. Et ça peuvent être expliqué par les prélèvements effectués au niveau de port pétrolier et le port de pêche et par les rejets des bateaux. Par contre au niveau de port d'Annaba le taux de la matière organique est faible car l'étude est concernât l'arrière port.
- Les concentrations des métaux lourds en Cu, Zn, Pb, Cd, Cr et Mn pourraient être attribuées aux apports des eaux usées et des déchets rejetés.

- Le port d'Annaba selon les résultats obtenus par le LEM référencie aux normes il ne présente pas une pollution et ça car les stations sont situées à l'extérieur de port loin des rejets des bateaux .
- Les résultats obtenus pour le port de Bejaia montrent une forte pollution par les métaux lourds d'après les référencie aux normes algériennes et françaises car les stations sont effectuées à l'intérieur de port.
- Les résultats obtenus pour le port de Bejaia montrent une forte pollution par les hydrocarbures aromatiques dans les stations de prélèvement prêt des zones de rejets pétroliers. (Plus on s'éloigne de ses zones, plus les concentrations d'hydrocarbures aromatiques ne diminuent).
- L'analyse chimique des sédiments de la zone d'extension du futur port d'Annaba montre que les résultats obtenus sont au-deçà des recommandations Algériennes.
- Les teneurs en hydrocarbure aromatique sont très faibles .Ils sont largement en deçà des valeurs recommandées par la direction de l'environnement (300).

4.5 Etude comparative

4.5.1 Comparaison des paramètres physico-chimiques avec des études antérieures

Les moyennes des paramètres physicochimiques mesurées au niveau du port de Bejaia en 2018 comparent avec une étude faite avec LEM en 2014.

Tableau IV.13 : Comparaison des paramètres physicochimiques des eaux du port de Bejaia avec des études antérieures

	T (°C)	PH	conductivité	Salinité (PSU)
Bejaia en 2014 (LEM)	22.53	8.17	52.4	36.53
Bejaia en 2018 (notre étude)	16.09	8.72	58.37	39

D'après ce tableau (Tableau 13) on remarque : Une grande variation des températures moyennes, mais ne dépasse pas les normes algériennes et européennes (<30 C).

Les résultats montre une forte salinité et une forte conductivité et ça peuvent être probablement dus à la forte évaporation puisque la zone d'étude est semi fermé on peut la considère comme la lagune il Ya pas des échanges avec les eaux extérieurs et à cause d'absences des rejets de ruissèlement et aussi aux apports tellurique car la période de

prélèvement des eaux caractérise par une forte précipitation ainsi que l'absence des algues qui peuvent tolère ces variations. Cette augmentation peut provoquer une pollution bactérienne. La moyenne de pH peu varie.

4.5.2 Comparaison les meneaux lourds, les hydrocarbures et le taux de matière organique

Les résultats (Tableau 11) montrent une augmentation des concentrations des métaux lourds (Cd, Pb, Zn et Cr) ainsi que une augmentation de taux de la matière organique. Cette augmentation due à la présence de port pétrolier et le port de pêche tel que les rejets des bateaux puisque le port de Bejaia est un grand port caractérise par un grand nombre des bateaux.

Tableau IV.14 : Tableau présent des mesures de métaux lourds et de taux de matière organique effectuée dans notre étude en 2018 et des autres mesures qui sont faites par LEM en 2014.

	[Cd] µg/g	[Pb] µg/g	[Zn] µg/g	[Cr] µg/g	Mo %
Port de Bejaia en 2014 (LEM)	0.18	33.92	93.47	50.28	2.53
Port de Bejaia en 2018	1.61	221.19	399.295	118.37	12.57

Chapitre V :

**Réglementation relative à la
gestion des sédiments de dragage**

5 Réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage

Les notions de pollution dans l'eau et de toxicité des sédiments sont difficiles à définir. Le comportement des matériaux dans le temps, et notamment les phénomènes de transfert des polluants sont mal connus. Cela explique grandement le quasi vide réglementaire, à citer : l'absence de normes de référence de pollution dans les sédiments à draguer.

Lorsqu'on aborde le problème de la gestion des sédiments contaminés dragués, on a tendance à se focaliser sur le choix de la façon et du lieu de leur dépôt ou de leur immersion (Kribi, 2005; Marot, 1998). C'est ainsi que la communauté internationale a opté plutôt pour réglementer le dépôt ou l'immersion des sédiments contaminés, en adoptant, dès, 1972, une convention internationale; suivie peu après par un ensemble de conventions régionales et de lois nationales.

L'Algérie a adhéré à une réglementation internationale dans laquelle les opérations relatives au dragage des sédiments et à leur immersion ou dépôt à terre sont régies, en adoptant un décret soumettant l'immersion des déchets dangereux et/ou toxiques à des autorisations délivrées par le ministre de l'environnement.

5.1 Réglementations internationales relative à l'immersion des déchets

5.1.1 La convention de Londres 1972

La Conférence intergouvernementale sur la Convention relative à l'immersion de déchets en mer, qui s'est réunie à Londres en novembre 1972 sur l'invitation du Royaume-Uni, a adopté cet instrument, connu sous le nom de « Convention de Londres ». La Convention de Londres contribue au contrôle et à la prévention de la pollution des mers à l'échelle internationale, en interdisant l'immersion de certaines matières dangereuses.

De plus, l'immersion d'un certain nombre d'autres matières énumérées est subordonnée à la délivrance préalable d'un permis spécifique tandis que l'immersion de tous autres déchets est subordonnée à la délivrance préalable d'un permis général, elle est entrée en vigueur le 30 août 1975. Elle est administrée par l'OMI depuis 1977.

Des amendements adoptés en 1993 (entrés en vigueur en 1994) interdisaient l'immersion en mer de déchets faiblement radioactifs. De plus, ils prévoyaient l'élimination progressive de l'immersion de déchets industriels avant le 31 décembre 1995 et l'interdiction d'incinérer en mer des déchets industriels.

5.1.2 Protocole de 1996 (Protocole de Londres)

C'est un protocole adopté à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets en 1996, ce protocole en vigueur en 2006.

Le Protocole est destiné à remplacer la Convention de 1972. Il représente un changement majeur dans la manière de procéder pour réglementer l'utilisation de la mer aux fins de dépôt des déchets. Au lieu de préciser les matières qui ne peuvent pas être immergées, il interdit l'immersion de tous les déchets, à l'exception de ceux dont l'immersion est autorisée et qui figurent sur la "contre-liste", dans une annexe du Protocole.

Le Protocole de Londres souligne " l'approche de précaution", qui exige de "prendre les mesures préventives appropriées lorsqu'il y a des raisons de penser que des déchets ou autres matières introduits dans le milieu marin pose des risques.

Les parties contractantes à la Convention et au Protocole de Londres devraient s'assurer que le Protocole n'a pas simplement pour résultat de déplacer la pollution d'un secteur de l'environnement à un autre. Elles ont récemment pris des mesures pour atténuer les effets des concentrations croissantes de CO₂ dans l'atmosphère ,contribuent aussi à régler et à contrôler le climat .

Il s'agit, des instruments réglementaires internationaux les plus avancés pour le captage et la séquestration du carbone dans les formations géologiques du sous-sol marin et la géo-ingénierie marine comme la fertilisation des océans.

L'article 4 annonce que les Parties contractantes interdisent l'immersion de tous déchets ou autres matières à l'exception de ceux qui sont énumérés à l'Annexe I.

Les matières autorisées sont les suivantes:

- Déblais de dragage.
- Boues d'épuration.
- Déchets de poisson ou matières résultant d'opérations de traitement industriel du poisson.
- Navires et plates-formes ou autres ouvrages artificiels en mer.
- Matières géologiques inertes, inorganiques.
- Matières organiques d'origine naturelle.

- Objets volumineux constitués principalement de fer, d'acier, de béton et de matériaux également non nuisibles au Flux de CO₂ provenant des processus de captage du CO₂.

5.2 Réglementations régionale relative à l'immersion des déchets :

L'Algérie a adhéré le 17 janvier 1981 à la convention de Barcelone du 16 février 1976 adoptée à Barcelone et entrée en vigueur le 12 février 1978.

5.2.1 Convention de Barcelone

La convention de Barcelone est basée sur le protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs et a été adoptée à Barcelone le 16 février 1976 et modifiée le 10 juin 1995.

Cette convention élargie pour inclure la planification et la gestion intégrée de la zone côtière. Elle a pour objectifs principales :

- Evaluation de la pollution.
- Assurance d'une gestion durable des ressources naturelles marines et côtières et l'intégration de l'environnement dans le développement économique et social.
- Protection de milieu marin et les zones côtières par des actions prenant en considération la réduction la pollution.
- La solidarité entre les pays de la Méditerranée.
- L'amélioration de la qualité de vie.

5.2.2 Protocole de la convention de Barcelone

Le protocole consiste à la protection contre la pollution de la zone de la mer Méditerranée causée par les navires et les aéronefs. Les navires ou aéronefs utilisés à des fins gouvernementales et non commerciales sont exclus du champ d'application du protocole.

L'immersion de certains types de déchets (composés organo- halogènes et organo-siliciés toxiques, mercure, cadmium, plastique, pétrole brut, etc.) est interdite. Et l'immersion d'autres types de déchets (arsenic, plomb, cuivre, zinc, chrome, nickel, conteneurs, ferrailles, certains types de pesticides, etc.) est soumise à la délivrance préalable d'un permis, par les autorités nationales compétentes.

La délivrance des permis ce fait après une étude sur les facteurs suivants :

- Caractéristiques et composition de la matière,
- Caractéristiques du lieu d'immersion et de la méthode de dépôt,
- Considérations et circonstances générales.

Depuis 1995, un certain nombre d'amendements a été ajouté au protocole. Ces amendements portent, notamment, sur l'autorisation et l'interdiction de l'immersion de certains déchets ou autres matières.

➤ **La convention d'OSPAR 1992**

Est une convention de coopération internationale dédiée à « la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord – Est », Elle est née de la fusion entre la Convention d'Oslo et celle de Paris, pour l'application de cette convention, les parties contractantes peuvent définir des niveaux de références (seuils de contamination), citant l'exemple de la France :

Tableau V.12 : Synthèse des conditions d'utilisation des seuils N1 et N2 définies par la Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000.

< N1	Impact potentiel jugé neutre ou négligeable, Valeurs mesurées comparables aux bruits de fond environnementaux.
N1 < _ < N2	Investigations complémentaires nécessaires en fonction du degré de dépassement du niveau N1 et des risques encourus pour le projet. Investigations devant être proportionnelles à l'importance de l'opération envisagée.
> N2	Impact potentiel négatif, Etude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec au moins un test d'écotoxicité globale du sédiment et une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu+, Si nécessaire, affiner le maillage des prélèvements sur la zone concernée, Filière immersion susceptible d'être interdite, auquel cas => Gestion à terre des sédiments.

Tableau V.13 : Niveaux relatifs aux éléments traces, en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm.

ÉLÉMENTS TRACES	NIVEAU N1	NIVEAU N2
Arsenic	2	50
Cadmium	1	2,4
Chrome	9	180
Cuivre	4	90
Mercure	0	0,8
Nickel	3	74
Plomb	1	200
Zinc	2	552

5.3 Réglementations nationales relative à l'immersion des déchets

L'Algérie n'a pas adopté de dispositif législatif ni réglementaire pour la gestion des sédiments de dragage. Le législateur Algérien a opté pour l'immersion afin d'anticiper toute contamination dûe à ces sédiments.

En 1988 l'Algérie, s'inspire du protocole de de la convention de Barcelone, pour la mise en place des mesures réglementant l'immersion des déchets.

Ces mesures sont explicitées dans le décret suivant :

- a. Décret n° 88-228 du 5 novembre 1988 définissant les conditions, procédures et modalités d'immersion de déchets susceptibles de polluer la mer, effectuées par les navires ou aéronefs.**

Ce décret définit les conditions, les procédures et les modalités d'immersion de déchets susceptibles de polluer la mer, effectués par des navires ou aéronefs.

Toute opération de ce type, doit se faire dans le cadre du protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée fait à Barcelone le 16 février 1976 et ratifié par le décret n° 81-02 du 17 janvier 1981. Le décret indique les cas où l'immersion des déchets est interdite, ceux où elle est subordonnée à une autorisation ou encore à un permis, spécifique ou général, et porte les dispositions relatives à la demande et au régime de ces permis.

- b. Annexe du décret relatif à l'E.I.E:**

Dès 2007, le législateur Algérien a adopté un texte réglementaire portant étude et notice d'impact permettant d'évaluer les effets directs et/ou indirects d'un projet d'aménagement sur l'environnement. Parmi les projets d'aménagement soumis obligatoirement à une Étude

d'Impact sur l'Environnement (EIE), le dragage des bassins portuaires et évacuation des boues de dragage en mer, prévu par le point 18 de l'annexe I du Décret Exécutif n° 07-145 du 19 Mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement.(J.O.R.A.D.P n° 24 du 22 Mai 2007. P.105).

Chapitre VI :

**Les impacts des sédiments de dragage sur
l'environnement et les solutions proposées**

6 Les impacts des sédiments de dragage sur l'environnement et les solutions proposées

Les travaux de dragage, de transport et de dépôt des sédiments peuvent provoqués des impacts sur l'environnement. Alors ces opérations sont à effectuer dans un cadre environnementale suivant une approche législative et réglementaire.

6.1 Impact des produits de dragage sur l'environnement

Dans la plupart du temps, les sédiments issus des opérations de dragage des ports sont contaminés à cause des rejets portuaires et de la pollution au niveau des ports générée par les bateaux.

Le degré de perturbation est un paramètre qui intègre l'intensité de l'impact, l'étendue de et sa durée et représente une évaluation globale de l'impact. :

- **Intensité de l'impact**

L'intensité traduit l'ampleur de la perturbation de l'élément du milieu.

- **Étendue de l'impact**

L'importance de l'impact tient compte des conséquences spatiales d'une modification de la ressource dans le milieu concerné.

- **Durée de l'impact**

La durée représente une évaluation approximative du temps que l'impact.

Dans la contamination des sédiments, on distingue deux principaux types de polluants associés aux sédiments :

- Les éléments métalliques ;
- Les composés organiques.

La contamination des sédiments liés à l'augmentation des concentrations de certains métaux, l'élévation des doses de ces métaux peuvent devenir toxique.

La contamination peut provoquer des effets négatifs sur les organismes aquatiques qui sont en étroit contact avec les fonds.

6.1.1 Impacts d'immersion sur l'environnement

A. Effets physiques

- Augmentation de la turbidité ;
- Modification de la topographie du fond et de l'hydrodynamisme;

- Modification des caractéristiques mécaniques des sédiments.

B. Effets chimiques

- Modification de la composition chimique de la colonne d'eau;
- Modification de la composition chimique des sédiments.

C. Effets biologiques

- Ensevelissement ou perturbation de la faune et de la flore benthique;
- Modification des habitats aquatiques.

6.2 Règlementation de gestion des sédiments de dragage

Le devenir de produits de dragage et leur dépôt posent un grand problème pour l'environnement lorsque les sédiments sont contaminés ; Pour cela, après chaque opération ou projet de dragage faudrait une prise des solutions pour le devenir de ces sédiments.

La circulaire du 4 juillet 2008 présente deux modes de gestion des sédiments dragués :

- l'immersion ou la remise en suspension dans un site choisi.
- la gestion à terre des sédiments lorsque l'immersion ou la remise en suspension des sédiments n'est pas possible ou souhaitable.

On peut ajouter aussi un autre mode qui est la commercialisation.

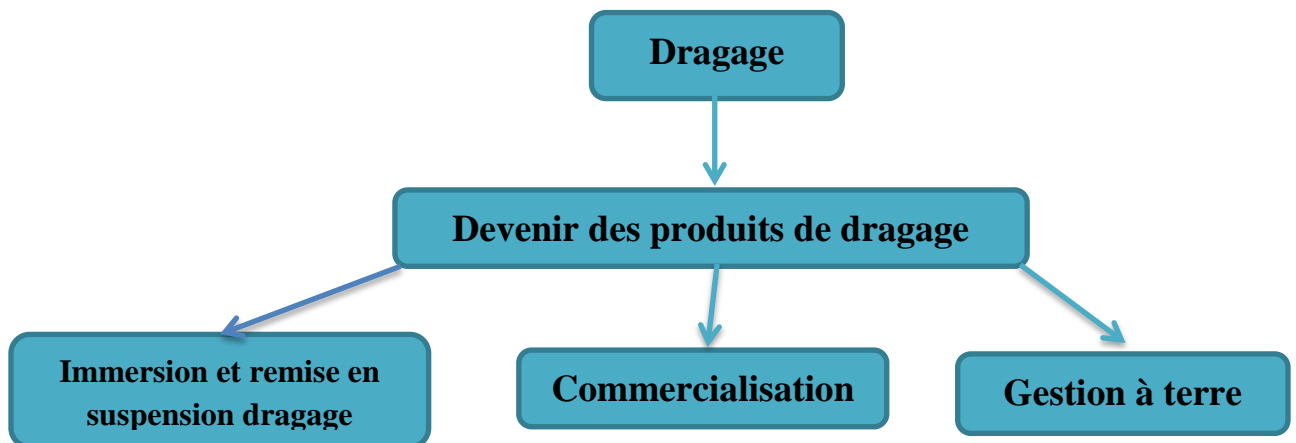


Figure VI.57 : Les modes de gestion des sédiments dragués.

6.2.1 Les filières de gestion des matériaux de dragage

Le choix de la filière de gestion des matériaux doit satisfaire les conditions suivantes :

La conformité réglementaire.

- **La protection de l'environnement** : la solution retenue devant d'être la moins pénalisante pour l'environnement et la santé humaine ;
- **Économique** : Le choix d'une meilleure technique avec un coût acceptable.
- **Sociologique** : la compréhension et l'acceptation par le public de la solution retenue est de plus en plus nécessaire dans le contexte actuel de sensibilisation aux questions touchant à la protection de l'environnement (Agostini, 2006).

On distingue différentes filières de gestion des sédiments portuaires :

➤ **L'immersion en mer**

L'immersion en mer constitue le mode d'évacuation le plus utilisé en Algérie (Belkessa, 2005), elle n'est appliquée que sur un matériau peu ou pas pollué.

➤ **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 (Azrarak et Beggar, 2013).

6.2.2 Les types des sédiments-déchets

Il existe trois types de sédiments-déchets : le sédiment inerte, le sédiment non inerte et non dangereux et le sédiment non inerte et dangereux.

➤ **Sédiments dangereux ou non dangereux**

Selon l'article R. 541-8 du code de l'Environnement, « sont considérés comme dangereux les déchets qui présentent une ou plusieurs des propriétés énumérées à l'annexe I au présent article. Ils sont signalés par un astérisque dans la liste des déchets de l'annexe II (nomenclature déchets) ». L'annexe I de ce même article spécifie qu'un déchet est dangereux s'il possède au moins une des 15 propriétés de danger (HP 1 à HP 15).

➤ **Sédiment inerte ou non inerte**

Selon l'article R. 541-8 du Code de l'Environnement, « est considéré comme inerte tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est

pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».

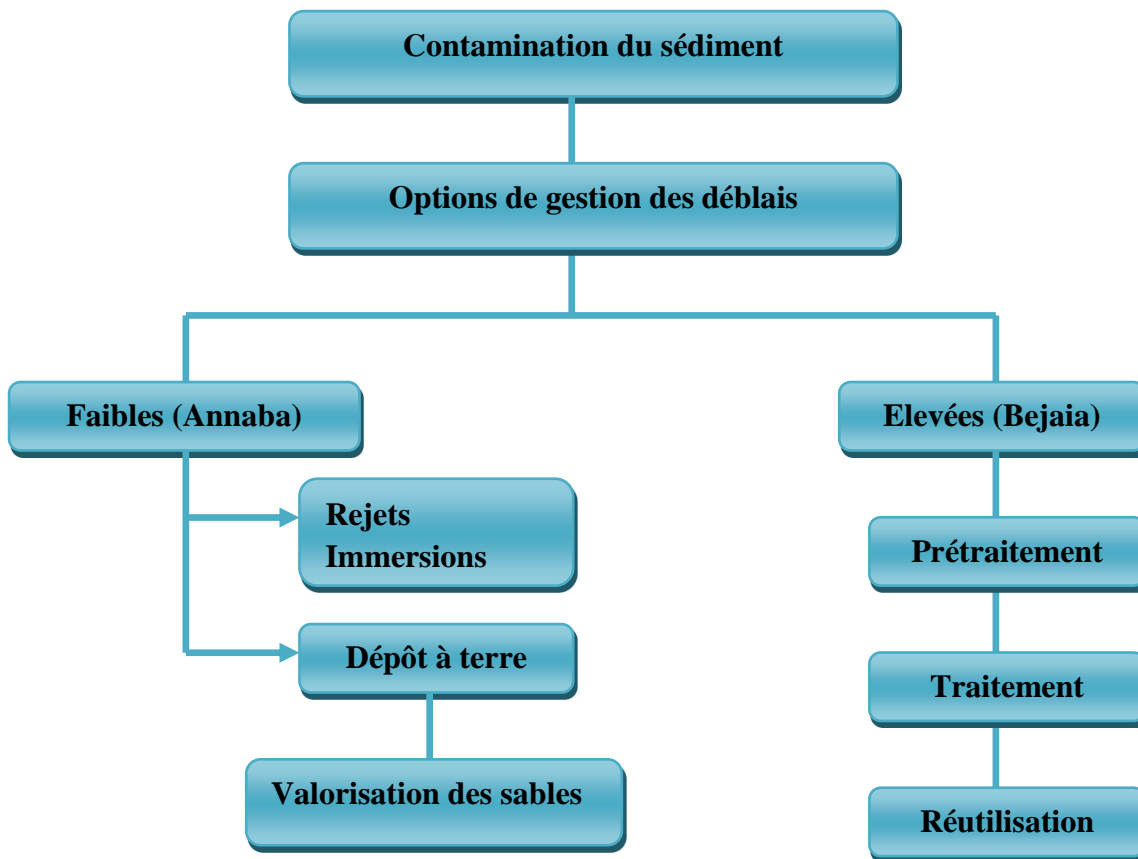


Figure VI.58 : Schéma des opérations de gestion des produits dragués.

6.2.3 Devenir des sédiments de dragage

6.2.3.1 Dans le cas des sédiments non contaminé

➤ Rechargement artificiel

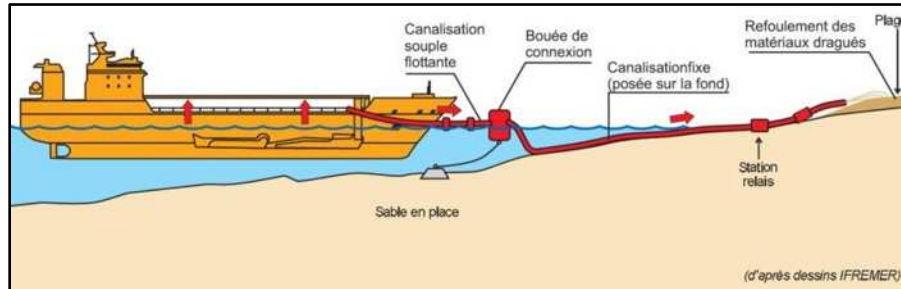


Figure VI.59 : schéma explicatif de rechargement artificiel par les produits de dragage (<http://photostp.free.fr/>).

➤ Dépôt côtier



Figure VI.60, : photo représente un dépôt côtier (<https://lareleveetla peste.fr>).

6.2.3.2 Dans le cas des sédiments pollués

D'après notre étude effectuée dans le port de Bejaia, les sédiments dragués sont pollués, le dépôt et le devenir de ces sédiments il faut être selon des normes environnementales pour cela dans ce chapitre on va proposer des solutions et des recommandations pour minimiser et éviter la pollution.

Suite à un travail bibliographique et des investigations sur le terrain, le laboratoire des études maritime à proposer dans le cas du dragage du port de Bejaia deux sites potentiels pour le mode de gestion de sédiments de dragage (LEM, 2014).

➤ **Prétraitement et traitement des matériaux**

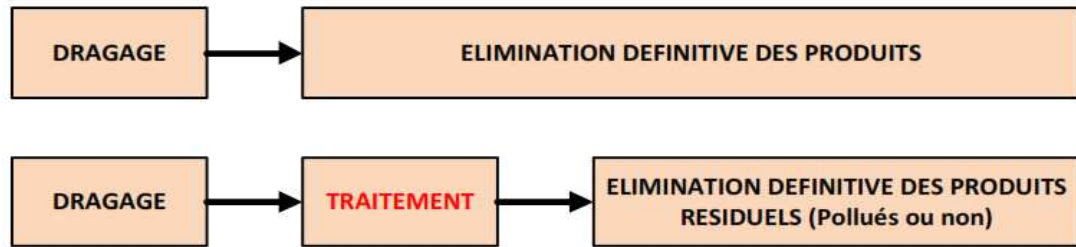


Figure IV.61 : Disposition du traitement dans la chaîne du dragage.

➤ **Les digues à talus**

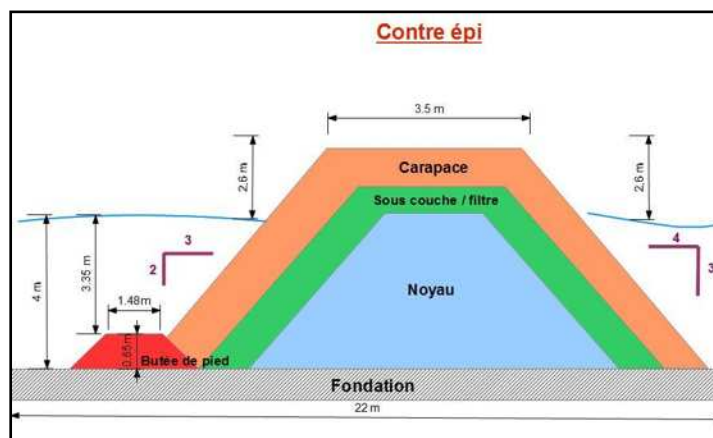


Figure VI.62 : Photo d'une digue à talus (<http://hmf.enseeiht.fr>).

➤ **Confinement dans les géotubes**



Figure VI.63: Photo d'un géotubes (<http://coastalnewstoday.com/>).

➤ **Les techniques routières**



Figure VI.64 : Photo représente une technique routière. (<http://groupechevalinfos.blogspot.com>)

➤ **Réemploi en génie civil ou remise en état de sites**



Figure VI.65 : Photo représente une technique de réemploi en génie civil (<https://www.lemoniteur.fr>).

➤ **Épandage et rehausse de sols**

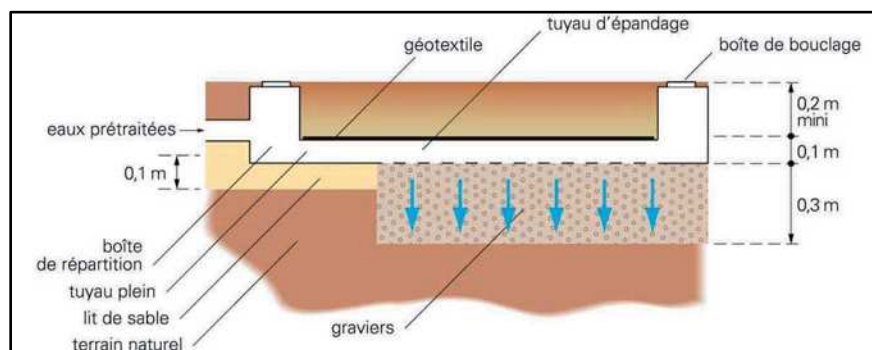


Figure VI.66 : Schéma représentatif d'épandage des sols (<https://www.verleo.re>).

➤ Clapage

Le Clapage des produits de dragage doit s'effectuer de préférence au-delà de 30m de profondeur, c'est à partir de cette profondeur que débute le domaine des vases. (Leclerc ; 1972).

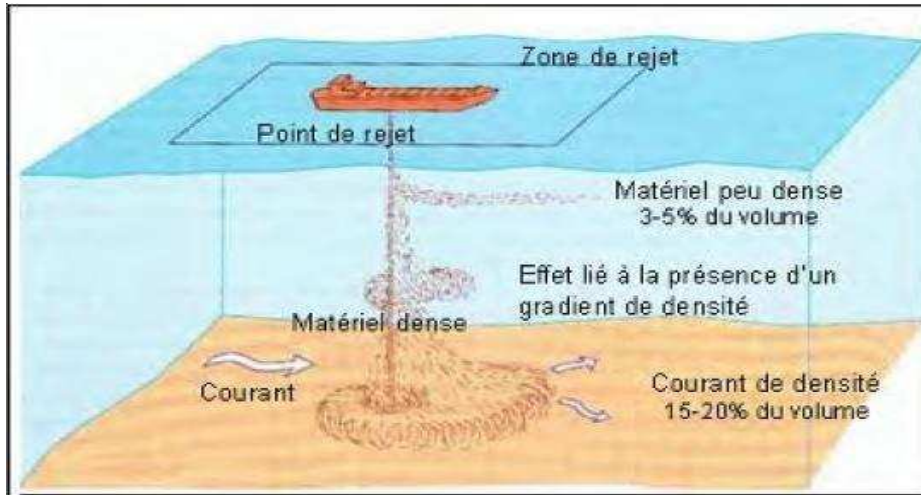


Figure VI.67 : Comportement d'un rejet en eau libre avec impact au fond. (Alzieu ; 1999).

Tableau VI.18 : Comparaison des variantes proposées :

Les solutions proposées	Avantages	Inconvénients
Alimentation artificiel des plages	<p>Conservation du paysage naturel et des usages.</p> <p>Lutter contre l'érosion.</p> <p>Meilleure efficacité avec des épis</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût élevé.
Dépôt côtier	<p>Minimiser les coûts de transport.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter la pente dans les zones côtière (plages) qui déséquilibre la réfraction des houles.
Prétraitement et traitement des matériaux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La possibilité de réutiliser les sédiments et les commercialiser (l'agriculture, construction routières ...) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût élevé.
Confinement dans les géotubes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protéger la côte ; ▪ Réduction importante des coûts de construction. ▪ Utilisation possible des matériaux du site. ▪ Respecte l'environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risque de déstabiliser par des fortes houles. ▪ Risque important de déchirement de l'enveloppe.
Réemploi en génie civil ou remise en état de sites	<ul style="list-style-type: none"> ▪ la bonne qualité du sable marin pour les matériaux constructions. ▪ Utilisation comme supplément dans le macadam des routes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La nécessité de traiter les sédiments avant les utiliser ▪ Cout élevé.
Épandage et rehausse de sols	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminer les produits de dragage contaminate ▪ Respecter l'environnement ; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cout élevé.

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire portant sur la caractérisation environnementale et réglementation des sédiments de dragage dans le port de Béjaia et Annaba. Avait pour principal objectif d'apporter un aide à la prise de décision concernant le devenir des sédiments du deux port.

Cette étude est mise en œuvre par une méthodologie analytique en laboratoire pour les sédiments de dragage de porte de Béjaia qui sont prélevé durant les sorties en mer ; pour le port de Annaba on a prend l'étude effectue par LEM. Basant sur l'analyse dès paramètres : (La matière organique (MO) ; Les hydrocarbures ; les métaux lourds (Zn, Pb, Cd, Cu, Mn, Cr) dans les produits de dragage ainsi que les paramètres in situ.

Dans notre étude les résultats des analyses des métaux lourds et des hydrocarbures dans les sédiments montre en globe pour le port de Béjaia les teneurs en métaux lourds (Zn, Pb, Cd, Cu, Mn, Cr) sont forte dépasse les normes Algérien et Français pour certaine station qui donne un risque de contamination qui sont des stations qui on peuvent les considère comme des zone à risque ; Par contre dans le port de Béjaia en général les teneurs en métaux lourds sont faibles ne dépasse ni les normes Algérien ni la norme Français et ça indique que les sédiments de dragage ne présentent pas de danger.

Pour les hydrocarbures aromatiques sont présente au niveau de port de Béjaia par des teneurs forts par rapport au port de Annaba et ça cause que dans le port de Béjaia il y au port pétrolière dans le port de Annaba les prélèvements effectue à l'extérieur de port.

Dans un contexte de protection de l'environnement, les opérations de dragage et la gestion des sédiments dragués devraient être soumises à des réglementations plus strictes.

Les opérations relatives au dragage des sédiments et à leur immersion ou dépôt à terre sont régies par une réglementation internationale à laquelle l'Algérie a adhéré, en adoptant un décret soumettant l'immersion des déchets dangereux et/ou toxiques à des autorisations délivrées par le ministre de l'environnement.

Le devenir des produits de dragage. Les conditions de dépôt sont régies par des lois (nationales et ou internationales) qui déterminent des seuils de contamination. Ces derniers nous orientent sur le choix du site de dépôt.

Par rapport à les résultats obtenus dans ce projet Si nous tenons compte des normes françaises, une grande part des sédiments des ports algériens dont les teneurs en polluants persistants, sont élevées, en particulier notre cas d'étude le port de Béjaia ou on ne peut pas appliquer l'immersion. Il faudrait alors s'orienter vers d'autres solutions dans un cadre

Conclusion générale

environnementale. Il s'agit de l'utilisation de grandes poches de géotextiles dans lesquelles on introduit les sédiments pollués pour les déposer sur le littoral comme moyen palliatif à l'érosion marine puisque côte de Bejaia est en érosion, elle est caractérisé par une forte dégradation.

Si on se réfère aux normes algériennes assez élevées et qui ne tiennent pas compte des effets directs sur l'environnement marin, la répercussion dans le cas d'une immersion est dangereuse.

Par contre le port d'Annaba en référencé aux normes françaises et aux normes algériennes, on peut faire l'immersion ainsi que certaine autre solution concernât le devenir de ces sédiments non pollué comme l'alimentation des plages, la construction routière et les travaux de génie civil.

La pollution marine, est un problème majeur (pollution par les métaux lourds et la pollution par les hydrocarbures). Ceci est certes important mais ne peut être suffisant, un suivi dans le temps est recommandé.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- 1) **A.B.R.M.C. (1984)**. La pollution de la Saône : état de dégradation, influence des principaux apports, définition des priorités d'action. Rapport non publié .Lyon.

- 2) **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, p183.

- 3) **A.F.N.O.R., 1994**. Qualité des sols. Recueil des normes françaises. Document non publié AFNOR. p250.

- 4) **ALZIEU, C., et al. (2003)**. Bio évaluation de la qualité Environnemental des sédiments portuaires et des zones d'immersion. Plouzané : Ifremer. p.223.

- 5) **ALZIEU et al., (1999)**. Dragage et environnement marin : Etats des connaissances. Plouzané : Ifremer, p. 12 – 96.

- 6) **AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M. (1983)**. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre national pour l'exploitation des océans, Brest, p. 395.

- 7) **AMINOT, A., KEROUEL R. (2004)**. Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France : Ifremer, p.336.

- 8) **AMINOT, A., GUILLARD J-F. (1997)**. La baie de Seine : hydrologie, nutriments et chlorophylle. France: Ifremer, p. 148.

- 9) **ANGER, BAPTISTE ., (2014)**.Caractérisation de sédiments fins de retenues hydro électriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière [enligne]. France : Université de Caen Basse-Normandie. [Consulté le 22 /03/2018].Disponible sur le web:
<http://chercheurs.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseAnger.pdf>
>.

- 10) **AOUDJ C., BOUAZIZ T. (2014)**.Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Bejaïa. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, p. 150.

Bibliographie

- 11) **AUDIGIEB, C., et al. (1985).** Principe des méthodes d'analyse biochimique. Tome 1, 2^{ème}, p. 190.
- 12) **BACHOUCHE S., (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage .Thèse de Magister. Pollution marine et écotoxicologie Alger : ENSSMAL, 105-106 p.
- 13) **BEKARI, M., et al. (2010).** Outils d'aménagement des ports: gestion globale des sédiments marins: Dragage des ports. Document non publié. France: Ecole des mines de Douai.
- 14) **BELKESSA, R., et al. (2004).** Effect of new coastal structure on the silting-up of sidi fredj port and problem posed by the quality, quantity and dumping of the dredged materiel. MWWD 2003- 3rd international conference on marine waste water disposal and marine Environment .IEMES 2004-1st International Exhibition on materials Equipment and Services. Catania (1) Sep .27-oct.,
- 15) **BELKESSA, R., (2005).** Ensablement de sports algériens, pollution par les métaux lourds et sites de dépôts des sédiments. Thèse de doctorat .Aménagement du littoral. Constantine: Université de Mentouri, p 412.
- 16) **BELKAESSA, R., HOUMA, F. (2009)** . pour une gestion intégré du littoral de la côte de Bejaïa : impact de l'exploitation des sédiments fluviatiles. Atelier International sur « la Gestion intégré de la zone côtière » Izmir Turquie.
- 17) **BOUTIN R., (2000).** Dragage et rejets en mer: produits de type vase Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. p. 307.
- 18) **BOULVAIN F., (2012).**Une introduction aux processus sédimentaires[en ligne]. Belgique : Presses de l'école nationale des Pont set Chaussées.[Consulté le 18/02/2016]. Disponible sur le web : <
<http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>,>.

Bibliographie

- 19) **BOUST D, J. M ., Latouche, C. (1981)**. Méthodologies d'interprétation de teneurs totales en métaux traces contenues dans les sédiments estuariens et littoraux. Bull. Ins.Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, N°30, p. 71-86.
- 20) **BOUTOUIL, M., (1998)** .Traitement des vases de dragage par solidification/stabilisation à base de ciment et additifs. Thèse de doctorat, Université du Havre, p .276.
- 21) **CHARLOU .J.L, JOANNY M., (1983)**. Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin. Document non publié. Paris : Centre National pour l'Exploitation des Océans.
- 22) **C.O.I, (1984)**. Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Document non publié Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco, p. 35.
- 23) **CARPENTIER, S. (2002)**. Bilans et impacts de la mise en dépôt de sédiments Techniques de l'Environnement [en ligne]. France : Université Paris XII Val de Marne. [Consulte le 09/03/2018] .Disponible sur le web:<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00861382/document>>
- 24) **DIA, Moussa (2013)**. Traitement et Valorisation de Sédiments de Dragage Phosphatés en Technique Routière [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie Civil et Environnemental France : Université de d'Artois et des Mines de Douai .Disponible sur le web :< www.theses.fr/2013ARTO0206.pdf >.
- 25) **DAMIDOT, D., et al. (2006)**. Guide technique régional relatif à la méthodologie de gestion des sédiments de dragage portuaire: Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP .Document publié .France : Université des mines de Douai.
- 26) **FOUCHER, J., (2005)**. Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France. Document publié. France: ENTPE.
- 27) **FORSTNER, U., SALOMONS W., 1980**. Utilisation de quelques éléments métalliques.

Bibliographie

- 28) **GOUCEM T., REBHI M., (2011)** Port de Sidi Fredj: Quantités de sédiments à draguer. Mémoire d'ingénieur .Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral Alger : ENSSMAL, p. 50.
- 29) **GOUTIERE. (1987) .,** Nouvel appareil de cisaillement circulaire pour les argiles très peu denses in-situ. Thèse de doctorat, France : Ecole Centrale de Paris, p. 287.
- 30) **G. SCHNEIDER.** Boues de curage des cours d'eau. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA, p.43-147.
- 31) **IFREMER., (1991).** Les Ports de plaisance - Impacts sur le Littoral- ERPM (AVRIL 1998) : Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de Défense du Littoral contre l'Action de la mer. Paris : Ifremer.
- 32) **L'YAVANC, J., et al, (1999).** Les dragages sur le littoral français : Dragage et environnement marin: Etat des connaissances. Editions Ifremer, p. 223.
- 33) **MAC FARLAN., (2004).** Méthodologie de gestion des matériaux de dragage maritime-application au port de Dunkerque .Thèse de doctorat, université d'Atrois – Ecole des mines de Douai.
- 34) **MAE ., (2007).** L'eau et l'environnement aquatique Chapitre 10 [Enligne] Disponible sur le web : <<http://environnement.wallonie.be>>.
- 35) **MIRAOUI, M ., (2010).**Prétraitement et traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation en génie civil [enligne] Thèse de doctorat Génie civil France: Université de mines de Douai. Disponible sur le web :
- 36) <<https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/abf20fdf-f4e4-433e-88b8-b5b050c8e307>>.
- 37) **NIEBOER, E., RICHARDSON, D. H. S. (1980).** The replacement of the non-descript term heavy metals_ by a biologically and chemically significant classification of metal ions Environmental Pollution, B, p.13–26.
- 38) **PINTA, M ., (1971).** Spectrophotométrie d'absorption atomique, problèmes généraux : application à l'analyse chimique. Ed Masson (Paris) : p .508.

Bibliographie

- 39) **RODIER J., (1996)** - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. 8^{ème} édition . Paris : DUNOT. p 385- 401.
- 40) **SCHNEIDER G ., (2001).**Boues de curage des cours d'eau. [en ligne] France : Institut National RA. [consulte le 22/04/2018] .Disponible sur le web : <<http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm#1A>>.
- 41) **SEGUI P., (2011).**Elaboration de liants hydrauliques routiers à base de pouzzolane naturelle ou de cendre volante de papeterie [enligne]. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université de Toulouse III. Disponible sur le web :<<http://thesesups.ups-tlse.fr/1390/1/2011TOU30154.pdf>>
- 42) **SNOUCL.R. OUANDJELELI .N (2016).** Etude du comportement physique et mécanique des sédiments de dragage pour leur valorisation en techniques routières« Cas du port de Sidi Fredj .Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p.110.
- 43) **TRAN NGOC, THANH., (2009).** Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière. [en ligne] .Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université d'Artois .Disponible sur le web:<<http://cdoc.ensm-douai.fr/theses/TRAN%20NGOC%20THANH.pdf>>.
- 44) **U.N.E.P. /I.C.O. /I.A.E.A. (1995)** - Reagent and laboratory-ware clean-up procedures for low-level contaminants monitoring. Reference methods for marine pollution, n°65.Document non publié.
- 45) **VIDALIE. (1977).** Relation entre propriétés physico-chimiques et les caractéristiques mécaniques des sols compressibles. Rapport de recherche LCPC, n°65,1977. Document non publié.
- 46) **WANG, DONGXING (2011).**Solidification et valorisation de sédiments de port de Dunkerqueen travaux routiers [enligne] .Thèse de doctorat .Géniecivi l.France :Université des mines de Douai .Disponible sur le web: <<http://www.cfmr-roches.org/sites/default/files/jngg/JNGG%202010%20pp%20345-352%20Wang.pdf>>

Bibliographie

- 47) **YUCESOY , F., ERGIN ,M., (1992).** Heavy metal geochemistry of surface sediments from the southern Black Sea shelf and upper slope. *Chemical Geology*, p. 99– 287.

Annexes

Annexe I :

Tableau1: Précipitations mensuelles moyennes enregistrées à la station Annaba- les Salines
(1942 - 1971)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Pluviométrie (mm)	35	72	89	102	103	79	54	45	32	14	3	10	638

Tableau 2: Fetch maximum d'Annaba

Direction	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE
Fetch (Km)	450	760	740	220	650	700
Limites	Iles Majorques		Côtes de France		Sardaigne	Italie

Tableau 3: Caractéristique des houles au large (m) d'Annaba

	Est	Nord- Est	Nord	Nord - Ouest	Ouest	Toutes Directions
Biennale	3.95	4	5.46	6.11	7.58	9.21
Quinquennale	4.5	4.67	6.5	6.87	8.63	10.3
Décennale	4.95	5.16	7.27	7.44	9.43	11.10
Vingtennale	5.4	5.67	8.05	8.02	10.22	11.93
Cinquantennale	5.95	6.35	9.06	8.77	11.28	13.01
Centennale	6.4	6.83	9.65	9.34	12.07	13.82

Tableau 4: Distributions de dépassements de Température de l'Air et de la Mer Région de Bejaia

(Oceanweather. ;2003)

	Température de l'air °C						
	1%	10%	33%	50%	67%	90%	99%
Janvier	7.3	9.5	11.6	13.7	15.9	18.0	20.1
Février	6.4	8.8	11.2	13.7	16.1	18.5	21.0

Mars	8.1	10.3	12.4	14.5	16.6	18.7	20.9
Avril	9.4	11.5	13.7	15.8	18.0	20.2	22.3
Mai	11.7	14.0	16.2	18.4	20.6	22.9	25.1
Juin	15.1	17.3	19.5	21.7	23.9	26.1	28.3
Juillet	18.4	20.4	22.3	24.3	26.3	28.3	30.2
Août	19.8	21.7	23.5	25.3	27.1	28.9	30.8
Septembre	17.8	19.8	21.9	24.0	26.1	28.1	30.2
Octobre	13.9	16.3	18.8	21.2	23.6	26.1	28.5
Novembre	10.4	12.8	15.2	17.7	20.1	22.5	25.0
Décembre	7.8	10.2	12.5	14.9	17.2	19.6	21.9

	Température de la mer °C						
	1%	10%	33%	50%	67%	90%	99%
Janvier	11.3	12.4	13.6	14.7	15.9	17.1	18.2
Février	11.1	12.1	13.2	14.3	15.4	16.5	17.5
Mars	11.4	12.4	13.5	14.6	15.7	16.8	17.8
Avril	12.2	13.3	14.5	15.6	16.7	17.9	19.0
Mai	13.3	14.8	16.3	17.8	19.4	20.9	22.4
Juin	15.9	17.5	19.2	20.9	22.6	24.2	25.9
Juillet	18.9	20.5	22.0	23.6	25.2	26.7	28.3
Août	20.3	21.8	23.4	24.9	26.4	27.9	29.4
Septembre	19.6	21.1	22.6	24.1	25.5	27.0	28.5
Octobre	17.0	18.5	20.1	21.7	23.3	24.9	26.5
Novembre	13.9	15.5	17.0	18.6	20.2	21.8	23.4
Décembre	10.9	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.3

Annexe II :

Pour les hydrocarbures

Tableau5 : Référence des solvants chimiques et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures.

Produit chimique	Mode d'utilisation
Hexane (C₆H₁₄)	Conditionnement du matériel. Extraction des cartouches. Purification sur la colonne chromatographique.
Dichlorométhane (CH₂Cl₂)	Extraction des cartouches Purification sur la colonne chromatographique.
Acétone (C₃H₆O)	Conditionnement du matériel.

Tableau 14 : Référence des produits chimiques solides et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures

Produit chimique	Mode d'utilisation
Alumine (AL ₂ S ₃)	Purification sur la colonne
Gel de silice (SiOH ₂)	Purification sur la colonne chromatographique.
Laine de verre	Purification sur la colonne chromatographique.
Sulfate de Sodium anhydre(Na ₂ H ₄)	Absorber les traces d'eau
Mercure (Hg)	Élimination des produits soufrés
Chrysene (C ₂ H ₈)	Préparation des standards

Tableau 6 : Concentrations des standards préparés à partir de la solution mère.

Standard	[C]µg/ml
S1	0.2
S2	0.4
S3	0.6
S4	0.8
S5	1

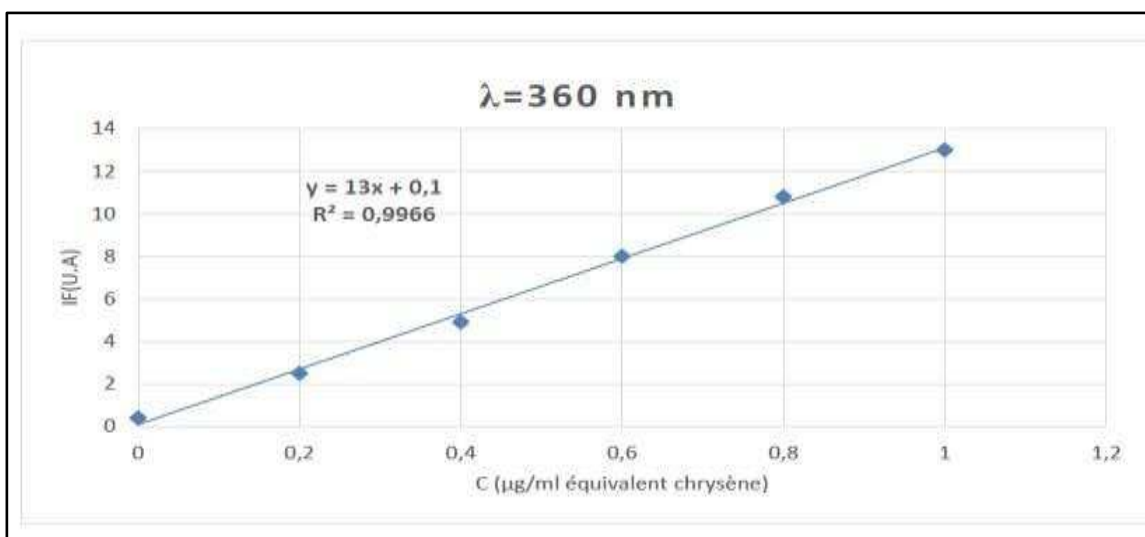


Figure 1 : Droite d'étalonnage des standards en équivalent du chrysène.

Métaux lourds :

Tableau 7 : Concentration des solutions standards utilisées (ug/ml).

Métaux	Concentration en $\mu\text{g/ml}$		
	S1	S2	S3
Hg	5	10	15
Zn	1000	2000	3000
Cu	500	1000	1500
Mn	500	1000	1500

Annexe III :

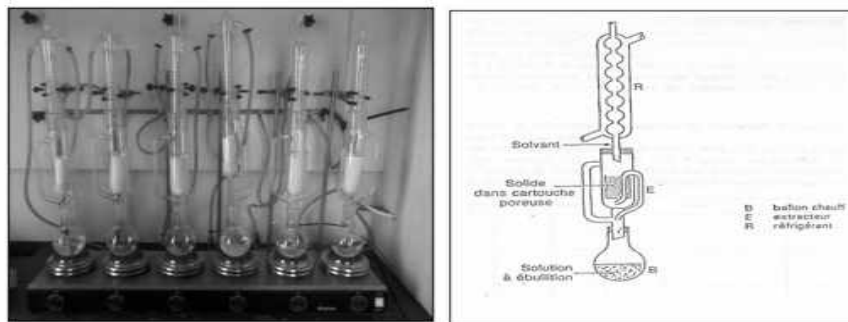


Figure 2: Extraction de Soxhlet



Figure 3: Manipulation pour l'extraction de Soxhlet

L'étude d'impact des produits de dragage du port de Bejaia (l'arrière port) sur l'environnement

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 et inorganiques 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 de l'arrière port de Bejaia et Annaba. Les résultats indiquent que ces sédiments sont faiblement contaminés dont les concentrations ne dépassent pas les normes définies pour Annaba mais le contraire pour Bejaia. Il est donc nécessaire de prendre en compte la qualité de ces sédiments dans les processus décisionnels au cas où un dragage aura lieu

Mots clés : Dragage, port de Annaba et Bejaia, sédiments superficiel,

pollution.

Abstrt

Dredging is a necessary activity to ensure the best conditions for vessels to access the port. Large amounts of dredged sediment can adversely affect the aquatic environment. Due to port industrial activity and releases from different sources; organic and inorganic contaminants can be identified in sedimentary matrices. In the present study, several pollution parameters were studied in order to assess the degree of contamination of the superficial sediments of the Bejaia and Annaba . The results indicate that these sediments are weakly contaminated with concentrations not exceeding defined standards to Annaba and contrary for Bejaia . It is therefore necessary to take into account the quality of these sediments in the decision-making processes in case of dredging

Keys words: Dredging, port of Annaba and Bejaia, surficial sediments, pollution.

الملخص

التجريف هو نشاط ضروري لضمان أفضل الظروف للسفن للوصول الى الميناء. بسبب نشاط الميناء الصناعي والاطلاقات من مصادر مختلفة يمكن تحديث المخلفات العضوية والغير عضوية في الرسوبيات ومنه في هذه الدراسة. لقد تم دراسة مختلف العوامل المتسببة في التلوث من اجل تقييم درجة التلوث في ميناء كل من بجاية وعنابة ومن خلال هذه الدراسة تشير النتائج الى اختلاف نسبة التلوث في المينائين ولذلك من الضروري الاخذ بعين الاعتبار نوعية هذه الرواسب ومقارنتها بالمعايير المحددة لإمكانية تحديد التجريف

الكلمات الدالة: التجريف, الرواسب السطحية في كل من ميناء بجاية وعنابة, التلوث