

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

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



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN

**L'étude d'impact des produits de dragage du Port de  
Bejaia sur l'environnement « Arrière port »**

Présenté par :

- MAKHLOUFI Khadidja
- OUDAINIA Sarra

Soutenu le 23/09/2017 devant la commission de jury :

<b>M. HAMDI Boualem</b>	Professeur	ENSSMAL	<b>Président</b>
<b>Mme. CHERNAI Safia</b>	MCA	ENSSMAL	<b>Examinatrice</b>
<b>M. KADA Mohamed</b>	MAA	ENSSMAL	<b>Examineur</b>
<b>Mme. BACHARI-HOUMA</b>	Professeur	ENSSMAL	<b>Promotrice</b>
<b>Mme. HADJ ALI .N</b>	Directrice	Ministere/E	<b>CoPromotrice</b>

**Promotion 2017**

*« Les impacts  
environnementaux ne  
pouvant être évités, il est  
important d'évaluer et de  
comparer les avantages des  
opérations de dragage  
prévues, tels qu'ils sont  
perçus, aux conséquences  
prévisibles sur  
l'environnement »*

Actes du séminaire international sur les  
aspects environnementaux liés aux activités  
de dragage – Nantes 1989.

## Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions Madame **BACHARI HOUMA.F**, Professeur à ENSSMAL pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à Madame **HADJ ALI.N**, Directrice des études d'impact au Ministère de l'environnement pour avoir acceptée d'encadrer ce travail d'une part, et d'autre part pour sa disponibilité, sa grande amabilité et surtout pour ces aides précieuses en dépit de ses nombreuses occupations.

Nos chaleureux remerciements au Professeur **HAMDI** qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à pour ses aides et ses soutiens et pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nous tenons aussi exprimer nous reconnaissances à Monsieur, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de participer à ce jury.

Mes remerciements spéciaux s'adressent à Monsieur **SEFIAN.O** enseignant (ENSSMAL), pour toutes ses remarques précieuses .Il n'a jamais hésité de nous tendre la main de l'aide à chaque fois que on lui demande.

Un grand merci à l'équipe des ingénieurs du laboratoire de Sonatrach à Boumerdes (CRD) qui n'ont ménagé aucun effort pour nous assister et aider à effectuer les analyses dans les bonnes conditions.

Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, du service de la documentation du LEM ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueurs.

Finalement, merci à vous, lecteurs, pour l'intérêt que vous portez à ce manuscrit.

## Dédicaces

À ma Mère *Salîha*

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée »

À mon père *Mouhamed*

« L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie ».

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mon frère *Zakî* et mes sœurs *F. Zohra, Meriem, Aïcha* et son mari *Mohamed* et ma nièces *Yassmine*, Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leur conseil, aides, et encouragements.

À mon binôme *sarra* pour la sœur agréable qu'elle était et qu'elle restera pour moi et ma chère copine *Imen*.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études, mes aimables amis *Abdou, Imad, Mouhamed*, collègues d'étude.

À toute la famille

À tous mes chers enseignants qui ont enseigné moi.

*Khedidja*

### **Dédicaces**

*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous qui me sont chers,*

#### ***À mes chers parents : Sadjia & Nordine***

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

#### ***À mes très chers : Nouha, Mohamed Radjeb et Nada***

*Pour leurs soutiens infinis et leurs aides incessantes, à qui je souhaite un meilleur avenir.*

*À ma prunelle de mes yeux ; mon petit frère Waïl, la bougie de la maison.*

*À tous les membres de ma famille : tante, oncle, cousin maternelle et paternelle.*

*A tous mes amis de ma promotion.*

*Je termine avec la personne qui a partagé tous le travail, qui a supporté mon humeur au moment de stresser, mon binôme et ma meilleur amie Khadidja. .*

**Et** *à tous ceux que j'ai connus durant mon cycle d'étude.*

***Sarra***

## **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**: Elements 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.

## LISTES DES TABLEAUX

### Chapitre 1 : Dragage et réglementation

**Tableau I.1:** Origines du sédiment ..... 5

**Tableau I.2:** Effets du dragage de l'immersion des sédiments. .... 15

### Chapitre II : Description de la zone d'étude

**Tableau II.1:** Caractéristiques des bassins portuaires de Bejaia. .... 18

**Tableau II.2:** Localisation des points de rejets à l'intérieure des bassins portuaires de Bejaia. .... 22

**Tableau II.3:** Distributions de Température de l'Air Région de Bejaia (Oceanweather. ; 2003)..... 25

**Tableau II.4:** Distributions de Température de la Mer Région de Bejaia (Ocean weather ; 2003)..... 25

**Tableau II.5:** Fréquences mensuelles de la houle au large par direction. .... 26

**Tableau II.6:** statistiques de la houle au large..... 27

**Tableau II.7:** Fréquence annuelle de la houle au large selon les directions ..... 27

**Tableau II.8:** Caractéristiques de la houle à la côte. .... 28

**Tableau II.9:** Niveau d'eau le long de la côte algérienne ..... 29

### Chapitre III : Matériel et Méthodes

**Tableau III.1:** Les coordonnées des stations de prélèvement..... 33

**Tableau III.2:** Diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française. Source: AFNORJ99..... 36

**Tableau III.3:** Classification des grains de sable (**Folk et Ward, 1957**). .... 38

**Tableau III.4:** Références et mode d'utilisation des réactifs et solutions destinés aux analyses des métaux lourds ..... 40

**Tableau III.5:** concentration des solutions standards utilisées ..... 44

**Tableau III.6:** Concentrations normales des métaux lourds dans le sédiment selon les normes Algériennes, Françaises ( $\mu\text{g/g}$ ) (**Belkessa R., 2005**)..... 45

**Tableau III.7:** Valeurs de l'indice de contamination IC (**Alzieu C et al, 1999**). .... 46

**Tableau III.8:** Référence des solvants chimiques et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures. .... 46

**Tableau III.9:** Référence des produits chimiques solides et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures ..... 47

<b>Tableau III.10:</b> Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère .....	51
--	----

### **Chapitre 1V : Résultats et Discussions**

<b>Tableau IV.1:</b> Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau de la zone d'étude. ....	69
--	----

<b>Tableau IV.2:</b> Liste faunistique des espèces recensées dans l'arrière port de Bejaia .....	73
--	----

### **Chapitre V : L'impact du projet sur l'environnement**

<b>Tableau V.1:</b> les coordonnées géographiques des stations proposées .....	82
--	----

<b>Tableau V.2:</b> liste faunistique des espèces recensées dans la région de Bejaia dans les stations.....	84
---	----

## **LISTES DES FIGURES**

### **Chapitre 1 : Dragage et réglementation**

<b>Figure I.1:</b> Opération de dragage.....	7
<b>Figure I.2:</b> Les dragues mécaniques ( <b>supplément n° 28 du bulletin de L'AIPCN [100]</b> ). .....	8
<b>Figure I.3:</b> Les dragues hydrauliques ( <b>supplément n° 28 du bulletin de L'AIPCN [100]</b> ). .....	9

### **Chapitre II : Description de la zone d'étude**

<b>Figure II.1 :</b> La localisation du port de Bejaia (Google Earth 2017). ....	18
<b>Figure II.2:</b> Les ouvrages du port de Bejaia (Entreprise Portuaire de Bejaia, 2007). ....	19
<b>Figure II.3:</b> Population urbaine et rurale de la wilaya da Bejaia.....	20
<b>Figure II 4:</b> Localisation des affluents (oueds) dans la zone portuaire de Bejaia .....	21
<b>Figure II.5:</b> Localisation des points de rejets dans les bassins du port de Bejaia. ....	22
<b>Figure II.6:</b> Exposition du port aux différents secteurs de houle (Google Earth 2017). ....	28
<b>Figure II.7:</b> Les Courants généraux et circulation des eaux de surface dans le golf de Bejaia (Leclaire, 1972). ....	28
<b>Figure II.8:</b> Nature et répartition des sédiments dans le golf de bejaia (Leclaire, 1972)...	30
<b>Figure II.9:</b> Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie de Bejaia (Google Earth, 2017). ....	31

### **Chapitre III : Matériel et Méthodes**

<b>Figure III.1:</b> Localisation des stations de prélèvement au niveau du port de Bejaia ( <b>Google Earth, 2017</b> ). ....	33
<b>Figure III.2:</b> Spectrophotométrie d'absorption atomique . ....	42
<b>Figure III.3:</b> Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique. ....	43
<b>Figure III.4:</b> Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures. ....	48
<b>Figure III.5:</b> Droite d'étalonnage des standards en équivalent du chrysène.....	51

### **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

<b>Figure IV.1:</b> Variation du potentiel hydrogène (pH) au niveau du port de Bejaia.....	55
<b>Figure IV.2:</b> Carte de la répartition du potentiel hydrogène (pH) dans le port de Bejaia ..	55
<b>Figure IV.3 :</b> Variation de salinité au niveau du port de Bejaia.....	56

<b>Figure IV.4:</b> Carte de la répartition de la salinité (PSU) dans le port de Bejaia .....	56
<b>Figure IV.5:</b> Variation de la température au niveau du port de Bejaia. ....	57
<b>Figure IV.6:</b> Carte de la répartition de la température (°C) dans le port de Bejaia.....	57
<b>Figure IV.7:</b> Variation de l'oxygène au niveau du port de Bejaia. ....	58
<b>Figure IV.8:</b> Carte de la répartition de l'oxygène dissous (O <sub>2</sub> ) dans le port de Bejaia .....	58
<b>Figure IV.9:</b> Variation de la conductivité au niveau du port de Bejaia.....	59
<b>Figure IV.10:</b> Variation de la matière en suspension (MES) au niveau du port de Bejaia	59
<b>Figure IV.11:</b> Carte de la répartition de la matière en suspension (MES) dans le port de Bejaia .....	60
<b>Figure IV.12:</b> Variation de la matière organique au niveau du port de Bejaia .....	60
<b>Figure IV.13:</b> Variation des concentrations du plomb dans le sédiment du port de Bejaia. ....	62
<b>Figure IV.14:</b> Carte de la répartition de la concentration du plomb dans le port de Bejaia. ....	63
<b>Figure IV.15:</b> Variation des concentrations du cadmium dans le sédiment du port de Bejaia. ....	63
<b>Figure IV.16:</b> Carte de la répartition de la concentration du cadmium dans le port de Bejaia. ....	64
<b>Figure IV.17:</b> Variation des concentrations du mercure dans le sédiment du port de Bejaia. ....	64
<b>Figure IV.18:</b> Carte de la répartition de la concentration du mercure dans le port de Bejaia. ....	65
<b>Figure IV.19:</b> Variation des concentrations du chrome dans le sédiment du port de Bejaia. ....	66
<b>Figure IV.20:</b> Carte de la répartition de la concentration du chrome dans le port de Bejaia. ....	66
<b>Figure IV.21:</b> Variation des concentrations du zinc dans le sédiment du port de Bejaia...	67
<b>Figure IV.22:</b> Carte de la répartition de la concentration du zinc dans le port de Bejaia. .	68
<b>Figure IV.23:</b> Variation des concentrations des hydrocarbures dans le sédiment du port de Bejaia. ....	68
<b>Figure IV.24:</b> Carte de la répartition des hydrocarbures dans le sédiment du port de Bejaia. ....	69
<b>Figure IV.25:</b> valeurs des indices granulométriques (Q25, Q75) selon les stations .....	70
<b>Figure IV.26:</b> Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q25 .....	70

<b>Figure IV.27:</b> Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q50.....	70
<b>Figure IV.28:</b> Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q75.....	71
<b>Figure IV.29:</b> Richesse spécifique globale de la station St4 du l'arrière port de Bejaia....	72

## **Chapitre V : L'impact du projet sur l'environnement**

<b>Figure V.1:</b> Mode de transport des matériaux (chalands, pipelines).....	76
<b>Figure V.2:</b> Une barge à fond ouvrant.....	77
<b>Figure V.3:</b> Localisation des points d'immersion (Google Earth, 2017).....	82
<b>Figure V.4:</b> Teneurs en Matière.....	83
<b>Figure V.5:</b> Teneurs des métaux lourds dans le sédiment marin.....	83
<b>Figure V.6:</b> Teneurs en Hydrocarbures .....	84

## **Table de matière**

PAGE DE GARDE.....	i
Remerciements .....	ii
Dédicaces.....	iii
Dédicaces.....	iv
LISTE DES ACRONYMES.....	v
LISTES DES TABLEAUX.....	vii
LISTES DES FIGURES.....	ix
Introduction .....	2
I.1 Les sédiments de dragage.....	5
I.1.1 Définitions et origines.....	5
I.1.2 Caractéristiques d'un sédiment.....	5
a. Granulométrie des sédiments .....	5
b. Composition des sediments .....	6
1. La phase eau .....	6
2. La phase inorganique .....	6
3. Phase organique .....	6
c. Pollution et pouvoir accumulateur des sédiments marins .....	6
I.2 Dragage.....	6
I.2.1 Que signifie dragage ?.....	6
I.2.2 Techniques de dragage.....	7
a. Les dragues mécaniques .....	8
b. Les dragues hydrauliques .....	9
c. Les dragues pneumatiques .....	9
I.2.3 Types de dragages .....	10

a.	Dragages d'entretiens.....	10
b.	Dragages d'approfondissement .....	10
c.	Dragage lors de l'aménagement de nouvelles aires portuaires .....	10
I.2.4	Le risque représenté par les opérations de dragage.....	10
I.3	Réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage.....	11
I.3.1	Réglementations internationales relative à l'immersion des déchets .....	11
a.	La convention de Londres 1972.....	11
b.	Protocole de 1996 .....	11
a.	Convention de Barcelone .....	13
b.	Protocole de la convention de Barcelone .....	13
I.3.3	Réglementations nationales relative à l'immersion des déchets .....	14
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. ....	14
b.	Annexe du décret relatif à l'E.I.E: .....	14
I.4	Effets globaux du dragage.....	14
II.1	Historique du port de Bejaïa .....	17
II.2	Situation géographique du port de Bejaïa.....	17
II.3	Composition du port .....	18
II.3.1	Les Bassins du port .....	18
II.3.2	Les ouvrages de protection .....	18
II.4	Pollution dans le port du Bejaïa.....	19
II.4.1	La situation en amont de la zone portuaire .....	19
a.	Le réseau d'assainissement .....	19
b.	Les rejets domestiques .....	19
c.	Les rejets industriels .....	20
d.	Les eaux de ruissellement .....	20
e.	L'apport des oueds .....	21
f.	La station de traitement .....	21
II.4.2	Les sources directes de la pollution portuaire .....	22
II.5	Description du milieu récepteur.....	23
II.5.1	Milieux physiques et naturels .....	23
II.5.2	Données climatique .....	24
a.	La pluviométrie .....	24
b.	La température .....	25

c. Le vent .....	26
II.5.3 Données océanographiques .....	26
a. Les houles .....	26
1. Caractéristiques de la houle au large .....	26
2. Caractéristiques de la houle à la côte .....	28
b. Les courants .....	28
c. Les Marée et niveau d'eau .....	29
II.5.4 Données sédimentologiques et bathymétriques .....	29
III.1 Localisation et choix des stations.....	33
III.2 Préparation du matériel.....	34
III.3 Prélèvement et échantillonnage .....	34
III.3.1 Prélèvement d'eau de mer .....	34
III.3.2 Prélèvement du sédiment.....	34
III.3.3 Prélèvement du benthos .....	34
III.3.4 Conservation des échantillons .....	34
III.4 Analyse des paramètres.....	35
III.4.1 Mesure <i>in situ</i> .....	35
III.4.2 Analyse de l'eau de mer .....	35
a. La matière en suspension MES .....	35
1. Principe de la méthode .....	35
2. Matériel et appareils.....	35
3. Mode opératoire .....	35
4. Expression des résultats .....	36
III.4.3 Analyse de sédiments .....	36
a. La granulométrie .....	36
1. Principe de la méthode .....	36
2. Matériel et Appareils .....	37
3. Mode opératoire .....	37
4. Traitement des données .....	37
5. Les indices granulométriques .....	37
b. La Matière organique .....	38
1. Principe de la méthode .....	38
2. Matériel et appareils .....	38
3. Mode opératoire .....	38
4. Calcul et expression des résultats .....	39

c.	Analyse des métaux lourds .....	39
1.	Principe de la méthode .....	39
2.	Matériel et appareils .....	39
3.	Mode opératoire .....	40
d.	Les hydrocarbures .....	46
1.	Principe de la méthode .....	46
2.	Matériel et appareils .....	46
3.	Mode opératoire .....	47
4.	Analyse des HAP par spectrofluorimètre ultraviolet .....	50
5.	Expression des résultats .....	52
e.	Les peuplements benthiques .....	52
1.	Tamissage, tri et détermination .....	52
IV.1	Les paramètres physico-chimiques .....	55
IV.1.1	Le potentiel hydrogène (pH) .....	54
IV.1.2	La Salinité (PSU) .....	55
IV.1.3	La température (T°C) .....	56
IV.1.4	L'oxygène dissout (O <sub>2</sub> ) .....	57
IV.1.5	La Conductivité .....	58
IV.2	Les paramètres de pollution organique .....	58
IV.2.1	La matière en suspension (MES) .....	58
IV.2.2	Matières Organiques .....	60
IV.2.3	Résultats et interprétation de l'analyse des métaux lourds .....	60
a.	Plomb .....	61
b.	Cadmium .....	62
c.	Mercure .....	63
d.	Chrome .....	64
e.	Zinc .....	66
IV.2.4	Résultats et interprétation de l'analyse des Hydrocarbures .....	67
IV.2.5	Résultats et interprétation de l'analyse granulométrique .....	68
IV.3	Analyse de benthos.....	71
V.1	Les démarches nécessaires pour une opération de dragage.....	75
V.1.1	Préparation technique.....	74
V.1.2	Amenée des Matériaux et des Personnes .....	74
V.1.3	Préparation de la bathymétrie .....	74
V.1.4	Description des différentes phases du projet .....	74
a.	Reconnaissance .....	74

b.	Extraction du déblai .....	74
c.	Transport des matériaux .....	74
d.	Réutilisation ou placement .....	75
1.	Gestion des sédiments en milieu aquatique.....	75
2.	Gestion des sédiments en berge (dépôt côtier).....	76
3.	Gestion des sédiments en milieu terrestre .....	78
V.2.	Devenir des sédiments dans le cas du port de Bejaia .....	80
V.2.1.	Site éventuel d'immersion .....	80
V.2.2	Site éventuel de dépôt côtier .....	80
V.3.	L'étude de laboratoire des études maritime sur le site d'immersion .....	81
V.3.1	Les résultats des analyses effectués .....	82
a.	Analyses chimiques.....	82
b.	Analyse de benthos .....	83
V.4	Description et évaluation.....	85
V.4.1	Sources d'impacts .....	85
V.4.2	Description détaillée des impacts .....	84
V.5	Les impacts de dragage du port de Bejaia.....	85
V.5.1	Hydrodynamique.....	84
V.5.2	Le régime sédimentaire .....	85
V.5.3	Qualité des sédiments .....	85
V.5.4	Qualité de l'eau .....	85
V.6.	Mesures d'atténuation, surveillance et suivi environnemental.....	85
V.6.1	Mesures d'atténuation .....	85
a.	Mesures liés aux Activités de dragage, de transport et de dispersion des sédiments .....	85
b.	Surveillance environnementale .....	86
V.6.2	Suivi environnemental .....	87
Conclusion.....		90
Références bibliographiques.....		93



---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

### Introduction

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

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 en réduit considérablement les profondeurs, réduisant ainsi les capacités d'accueil. En effet, les différentes études en ont montré 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 métalliques dans les sédiments. (**Belkessa/CNEPRU, 2004 ; Belkessa/CNEPRU, 2007**).

Les infrastructures portuaires occupent, à cet effet 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**).

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 Rousse ., 1999**).

La problématique environnementale et les différents impacts potentiels des activités de dragage sont liés à l'excavation des sédiments, au transport de ces derniers ainsi qu'à leur dépôt. L'option retenue souvent aussi bien en Algérie qu'ailleurs dans le monde reste l'immersion. Les conséquences sur le milieu marin sont importantes (**Bachouche et al, 2009**).

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 Bejaia poursuit sa politique de modernisation de ses équipements.

Afin d'entretenir le port de Bejaia et maintenir et améliorer ces capacités d'accueil, des travaux de dragage sont nécessaires. Cette opération constitue une activité vitale pour l'exploitation du port et le bon fonctionnement et l'économie locale et nationale.

Le transfert et le devenir de ces matériaux de dragage sont 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. L'Algérie a ratifié toutes les conventions relatives à la protection de la mer notamment celle de Barcelone.

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**).

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

**(Song Y., 2016).**

L'impact des dragages et des immersions dans l'environnement marin est une préoccupation constante des autorités portuaires et des pouvoirs publics. Les campagnes d'évaluation, conduites régulièrement depuis 1986, montrent que l'immersion de certains produits de dragage pose un réel problème du fait de leur contamination significative par des métaux lourds et des polluants organiques, même si seul un nombre limité de sites est concerné. L'impossibilité de traiter ces sédiments contaminés à un coût supportable, conduit à privilégier des stratégies de prévention ; contrôle accru sur les zones de dépôts et leur environnement, conformément à la décision du comité interministériel de la Mer du 1er avril 1998, procédure d'évaluation des sources de contamination dans les zones portuaires et rédaction d'un cahier des charges applicable aux différents types de ports afin de réduire, voire de supprimer les apports de contaminants **(Pierre Rousse ., 1999).**

Ce document permet à travers les études sur les sédiments et sur les eaux de surface et situer les données environnementales du port de Bejaia en cas d'opération de dragage.

Le but initial de cette étude était d'évaluer la qualité des matériaux (granulométrie et concentration en polluants) à draguer en vue d'une immersion, ce travail s'oriente à présent uniquement vers l'aspect qualitatif du sédiment. Dans cet objectif nous allons procéder de la manière suivante :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur le dragage ainsi que les lois qui le régissent dans un premier temps.
- Présentation de la zone d'étude (Chapitre 2).
- Présentation des moyens matériels utilisés en mer et au laboratoire, et des méthodes appliquées pour les différentes analyses (Chapitre 3).
- Interprétation des différents résultats des études physico-chimique, granulométrique et de la pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Chapitre 4).
- Le cinquième chapitre est destiné à l'étude de l'opération de dragage et l'impact de ses produits sur l'environnement.

---

# DRAGAGE ET RÉGLEMENTATION

---

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

La zone côtière est le siège d'importantes activités économiques, à savoir la pêche, le transport maritime et autre celles-ci se manifestent au sein des infrastructures portuaires.

Les activités portuaires ne peuvent s'exercer que lorsque l'accès aux ports est garanti, mais la majorité de ceux-ci subissent un ensablement qui gêne leur bon fonctionnement et leur rentabilité (Anger, 2014), d'où la nécessité de recourir aux opérations de dragage afin de restaurer les tirants d'eau indispensables à la navigation ainsi qu'au bon fonctionnement du port, ces opérations sont également demandées lorsqu'il s'agit d'une évolution de la taille des navires ou un développement des nouvelles activités. Face à la quantité et la qualité des sédiments issus des opérations de dragage des ports la gestion de ces matériaux demeure un enjeu environnemental et économique important (Abriak *et al.*, 2003).

### I.1 Les sédiments de dragage

#### I.1.1 Définitions et origines

Le sédiment est un matériau issu de l'érosion, transporté et déposé par les cours d'eau, n'ayant pas encore subi de transformation diagenétique (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 I.1).

**Tableau I.1:** Origines du sédiment

<b>Origine endogène</b>	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.
<b>Origine exogène</b>	Il s'agit des particules qui sont issues du ruissellement des eaux ou transportées par le vent. Elles peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Elles proviennent en grande partie de l'érosion des sols, mais aussi de la décomposition de matières organiques, ou encore du transport de polluants dû à l'activité humaine.

#### I.1.2 Caractéristiques d'un sédiment

Le sédiment se caractérise essentiellement par :

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

##### a. Granulométrie des sédiments

La distribution granulométrique d'un sédiment et plus globalement, de n'importe quel matériau, constitue son empreinte physique. Elle caractérise en effet la taille des particules constituant la phase solide du matériau. D'autre part, la répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval.

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

---

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**).

### b. Composition des sédiments

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

#### 1. La phase eau

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

#### 2. La phase inorganique

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

#### 3. Phase organique

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

### c. Pollution et pouvoir accumulateur des sédiments marins

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

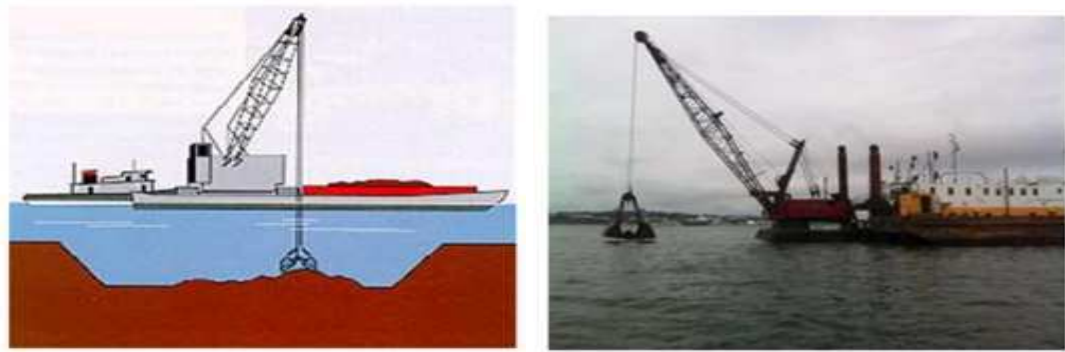
Aussi, on peut dire que les sédiments se comportent comme des fixateurs indicateurs de pollution. Ils constituent donc un biotope privilégié pour rechercher l'état de pollution d'un écosystème aquatique (**Mearns A.J et al.1986**).

## I.2 Dragage

### I.2.1 Que signifie dragage ?

Le dragage est une activité d'excavation et une opération habituellement effectuée sous l'eau, dans les mers peu profondes ou des zones d'eau douce (**voir figure I.1**).

Le dragage est utilisé comme un moyen de reconstituer le sable sur certaines plages publiques, là où celui-ci a été perdu sous l'effet de l'érosion côtière.



**Figure I.2:** Opération de dragage.

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

En Algérie, il n'existe pas de statistiques des quantités à excaver annuellement car les dragages ne suivent pas un planning établi. On peut seulement dire que près de 10 millions de m<sup>3</sup> de sédiment doivent être enlevés pour l'ensemble des ports et seront pour leur plupart immergés. (Belkessa R., 2005).

### I.2.2 Techniques de dragage

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

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

- l'épaisseur de la couche à excaver.
- l'éloignement du site de dépôt.
- la qualité tolérée de solides en suspension.
- la qualité des matériaux dragués.
- la hauteur d'eau dans les ports.
- 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 hydrodynamique (injection d'eau).

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

### a. Les dragues mécaniques

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

Il en existe plusieurs types comme indique la figure ci-dessous :

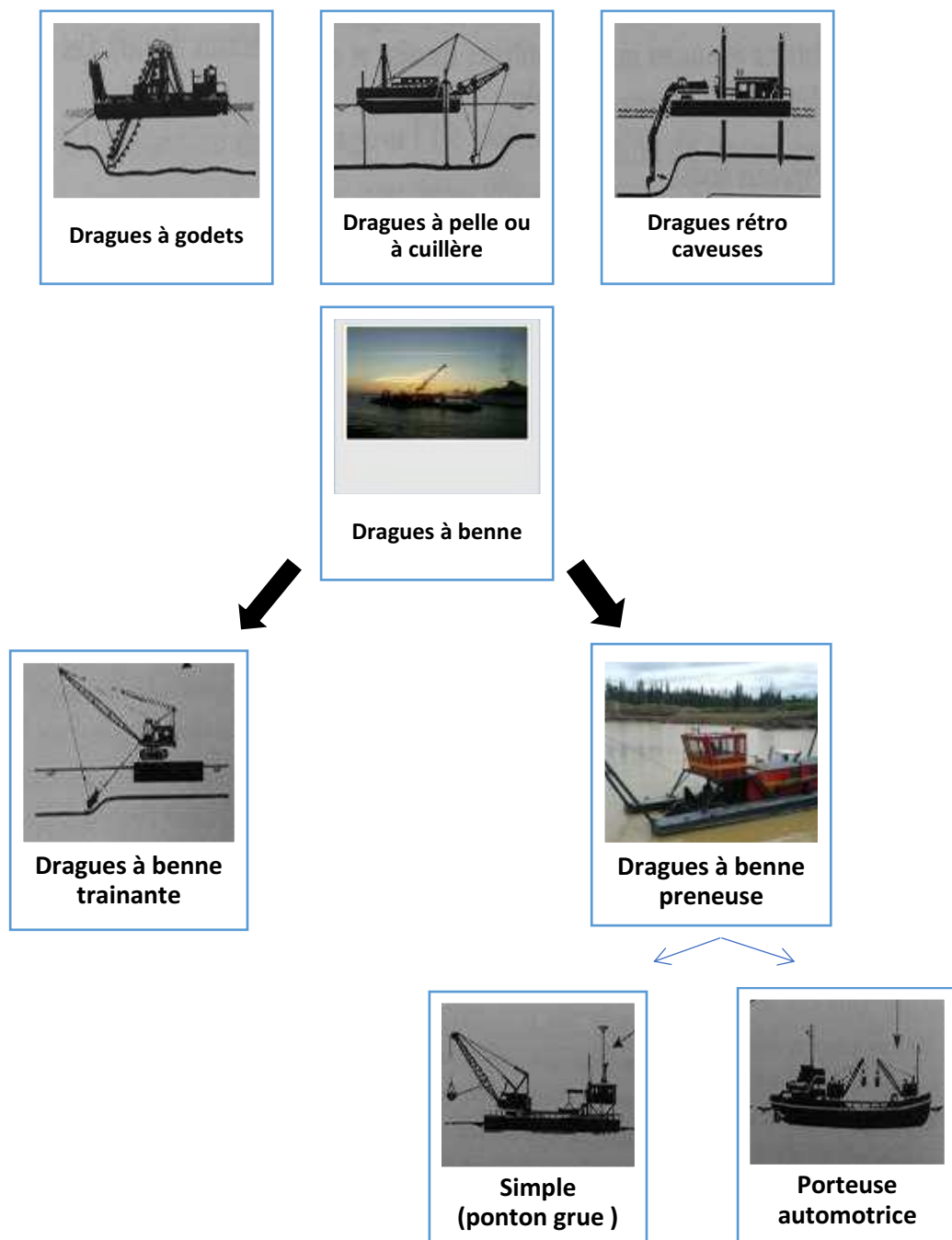


Figure I.3: Les dragues mécaniques (supplément n° 28 du bulletin de L'AIPCEN [100]).

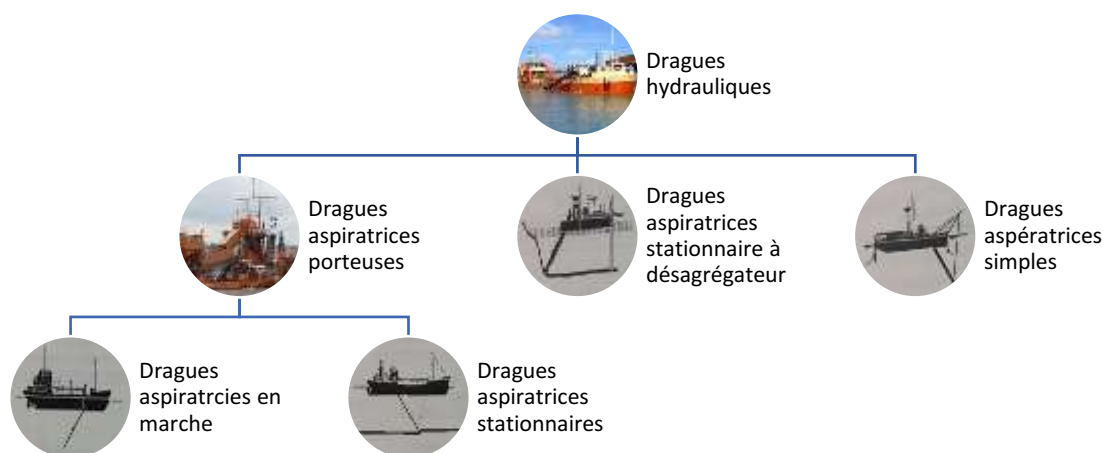
## Chapitre I : Dragage et Réglementation

Les dragues mécaniques opèrent par contact physique direct entre l'excavateur et les matériaux à draguer.

### b. Les dragues hydrauliques

Le fonctionnement de ce type de dragues est basé sur le principe de la pompe centrifuge à eau. Ce sont les dragues les plus fréquemment utilisées dans le dragage des ports. Les dragues hydrauliques présentent l'avantage de faible remise en suspension des sédiments et un rendement élevé par rapport aux autres dragues.

Nous distinguons trois familles de ce type de dragues comme indique la figure suivante:



**Figure I.3:** Les dragues hydrauliques (supplément n° 28 du bulletin de L'AIPCN [100]).

Ces dragues utilisent des pompes centrifuges hydrauliques pour fournir la force de dégagement et de levage et enlever les sols sous une forme mélangée à l'eau. Elles fonctionnent bien en général avec la vase « non consolidée » et molle, le sable, le gravier et l'argile douce. Avec des sols de plus grande cohésion, des dispositifs dentés ou des jets d'eau peuvent être utilisés pour désintégrer ces sols.

Les méthodes de transport associées aux dragues hydrauliques sont les pipelines et les transports à trémie. Dans certains cas, les dragues hydrauliques peuvent pomper les matières dans des barges pour être transportées.

Le dragage hydraulique et les méthodes de transport « mélangent les sédiments à l'eau », c'est-à-dire qu'ils ajoutent de grosses quantités d'eau lors du dragage et changent ainsi la structure d'origine des sédiments.

### c. Les dragues pneumatiques

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

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

---

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

### I.2.3 Types de dragages

Selon l'objectif désigné, nous distinguons trois types de dragage :

#### a. Dragages d'entretiens

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. Dragages d'approfondissement

Ce type de dragage est le plus souvent utilisé lorsqu'il s'agit d'adapter le seuil de navigation à la taille des navires. Généralement ces travaux nécessitent de déplacer des volumes importants de sédiments et demandent des moyens de dragage sophistiqués.

#### c. Dragage lors de l'aménagement de nouvelles aires portuaires

Ce type de dragage est principalement utilisé lors de la création des nouvelles aires portuaires, il a pour objet le déplacement des volumes importants de matériaux divers : roches, sables, terres, argiles, graviers ou vases.

Afin que ces travaux de dragage se déroulent conformément aux réglementations qui gèrent ce type d'activité, dans un cadre de respect de l'environnement et le développement durable, une circulaire conjointe du Ministère de l'Environnement et du Ministère de l'Équipement, fixe les conditions de prélèvement et d'analyse des déblais de dragage. Ces analyses permettent d'évaluer la qualité des matériaux afin d'en déterminer leur devenir : immersion, dépôt à terre ou traitement et valorisation.

### I.2.4 Le risque représenté par les opérations de dragage

En **1977**, **J. Clark** caractérisait le dragage comme la menace la plus sérieuse pour les écosystèmes littoraux. Les opérations de dragage posent un problème environnemental car elles favorisent la dispersion des contaminants et donc la bio accumulation.

En effet, la solution la plus communément employée pour se débarrasser des sédiments dragués était le relargage en mer (**Agostini F., 2006**).

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

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

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.

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

---

Dans certains cas, les sédiments sont si fortement pollués, qu'ils sont considérés comme des déchets dangereux et leur gestion doit être réglementée.

### I.3 Réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage

Le comportement des matériaux dans le temps, et notamment les phénomènes de transfert de polluants sont donc mal connus. Les notions de pollution dans l'eau et de toxicité de ses sédiments sont difficiles à définir. Cela explique grandement le quasi vide réglementaire, par exemple l'absence de normes de référence de pollution dans les sédiments à draguer. Lorsque on aborde le problème de la gestion des sédiments contaminés dragués, on se focalise 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.

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. On entend généralement par "immersion", le déversement délibéré dans la mer de substance ou matériaux, à partir de navires, aéronefs.

#### I.3.1 Réglementations internationales relative à l'immersion des déchets

##### a. 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, l'une des premières conventions internationales pour la protection du milieu marin contre les activités humaines, est entrée en vigueur le 30 août 1975. Elle est administrée par l'OMI depuis 1977.

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.

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.

##### b. Protocole de 1996

En 1996, les Parties ont adopté un Protocole à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets (connu sous le nom de **Protocole de Londres**), qui est entré en vigueur en 2006.

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

---

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 risquent de causer un préjudice et ce, même en l'absence de preuves concluantes de l'existence d'un lien causal entre les apports et leurs effets". Il dispose également que "le pollueur devrait, en principe, assumer le coût de la pollution" et il souligne que les Parties contractantes 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.

Les Parties contractantes à la Convention et au Protocole de Londres ont récemment pris des mesures pour atténuer les effets des concentrations croissantes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (et par conséquent dans le milieu marin) et pour veiller à ce que les nouvelles technologies visant à agir sur le climat, et risquent de nuire au milieu marin, soient contrôlées et réglementées efficacement. Il s'agit, à ce jour, 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.

Le Protocole de 1996 restreint toute immersion; seule est autorisée celle des déchets et matières. Énumérés sur une liste donnée (au titre de laquelle un permis d'immersion est néanmoins requis).

L'article 4 dispose 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 dont l'impact physique suscite des préoccupations, et seulement dans les cas où ces déchets sont produits en des lieux tels que des petites îles dont les communautés sont isolées et qui n'ont pas d'accès pratique à d'autres options d'élimination que l'immersion.
- Flux de CO<sub>2</sub> provenant des processus de captage du CO<sub>2</sub>.

### I.3.2 Réglementations régionale relative à l'immersion des déchets

Au plan régional l'Algérie qui 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. Cette convention est basée sur le protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée pour les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs.

#### a. Convention de Barcelone

La convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution a été adoptée à Barcelone le 16 février 1976 et modifiée le 10 juin 1995. Au fil du temps, son mandat s'est élargi pour inclure la planification et la gestion intégrée de la zone côtière.

Les principaux objectifs de la convention consistent à:

- Évaluer et maîtriser la pollution.
- Assurer la gestion durable des ressources naturelles marines et côtières.
- Intégrer l'environnement dans le développement économique et social.
- Protéger le milieu marin et les zones côtières par des actions visant à prévenir et à réduire la pollution et, dans la mesure du possible, l'éliminer, qu'elle soit due à des activités menées à terre ou en mer.
- Protéger le patrimoine naturel et culturel.
- Renforcer la solidarité parmi les pays riverains de la Méditerranée.
- Contribuer à l'amélioration de la qualité de vie.

#### b. Protocole de la convention de Barcelone

Protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs

Le protocole vise uniquement la pollution de la zone de la mer Méditerranée causée par les navires et les aéronefs.

L'immersion de certains types de déchets ou de certaines matières (composés organo-halogènes et organo-siliciés toxiques, mercure, cadmium, plastique, pétrole brut, etc.) est interdite.

L'immersion d'autres matières ou types de déchets (arsenic, plomb, cuivre, zinc, chrome, nickel, conteneurs, ferrailles, certains types de pesticides, etc.) est soumise à la délivrance préalable, par les autorités nationales compétentes, d'un permis.

Les permis ne seront délivrés qu'après un examen attentif d'un nombre de facteurs (caractéristiques et composition de la matière, caractéristiques du lieu d'immersion et de la méthode de dépôt, considérations et circonstances générales).

Les navires ou aéronefs utilisés à des fins gouvernementales et non commerciales sont exclus du champ d'application du protocole.

## Chapitre I : Dragage et Réglementation

---

Depuis 1995, un certain nombre d'amendements ont été ajoutés au protocole. Ces amendements portent, notamment, sur la précision de certains termes définis par le protocole, sur les déchets ou autres matières dont l'immersion est autorisée sous condition de délivrance d'un permis spécial, sur l'interdiction de l'incinération en mer, ainsi que sur la procédure à suivre en cas de situation critique ayant un caractère exceptionnel.

### I.3.3 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 et particulièrement, lorsque ces sédiments sont contaminés. Pour anticiper toute contamination due à ces sédiments, le législateur algérien a opté pour l'intervention en aval, c'est-à-dire, leur immersion.

En effet, dès 1988 l'Algérie, en s'inspirant du protocole de de la convention de Barcelone, a mis 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 de 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).**

### I.4 Effets globaux du dragage

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.1:** Effets du dragage de l'immersion des sédiments.

<b>Effets de nature physique</b>	<b>Effets de nature chimique</b>	<b>Effets de nature biologique</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Accroissement de la turbidité.</li><li>• Modification de la topographie du fond et de l'hydrodynamisme.</li><li>• Modification des caractéristiques mécaniques des sédiments.</li><li>• Modification des équilibres sédimentologies.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modification de la composition chimique de la colonne d'eau (hausse de la concentration de matières en suspension, dispersion de contaminants et d'éléments nutritifs, diminution de la teneur en oxygène dissous).</li><li>• Modification de la composition chimique des sédiments (par oxydation, ou transfert de polluants avec la colonne d'eau).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ensevelissement ou perturbation de la faune et de la flore benthique. Étouffement des œufs et des larves de poissons.</li><li>• Modification des habitats aquatiques. Exposition des organismes à des substances toxiques.</li></ul>

---

# DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

---

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

---

Ce chapitre est consacré à la description de la zone d'étude, il consiste en une reconnaissance du site et de son environnement.

Bejaïa joue un grand rôle dans la transmission du savoir dans le bassin méditerranéen. Grâce au dynamisme de son port, qui est consacré au commerce international et aux hydrocarbures. Il est classé deuxième port d'Algérie en termes d'activité commerciale.

L'opération de dragage au niveau du port de Bejaïa est justifiée, sachant qu'il fait partie du programme tracé par le gouvernement, dans le but de maintenir ce port dans les meilleures conditions et normes de qualité, lui permettant ainsi de garantir une économie stable, au niveau national et international.

### II.1 Historique du port de Bejaïa

Le port de Bejaïa jusqu'à l'arrivée des Français était un chenal fermé par la porte Sarrasine (encore fort conservée). Le site était constitué de l'avant-port actuel. Les Français s'installèrent en 1833. Ils réalisèrent les premiers ouvrages en 1834. Les ouvrages de protection furent commencés en 1870, en 1879 ceux d'accostage, le port marchand fut achevé en 1911. En 1922, on traça physiquement les configurations de l'avant-port et l'arrière-port. C'est en entre 1958 et 1960 que furent construites les installations nécessaires à la réception des pétroliers dans l'avant-port.

Les premiers travaux, 670 km de conduite de pétrole de Hassi Messaoud au port de Bejaïa ont été débutés en août 1958, cette conduite a été achevée le 25 août 1959, le premier décembre 1959 a été chargé le premier pétrolier vers la France.

Le port de Bejaïa a subi plusieurs opérations de dragage depuis plusieurs années :

**1976** : Dragage d'entretien.

**1979** : Dragage d'approfondissement.

**1986** : Dragage d'arrière port (1 million m<sup>3</sup>).

**2005** : Dragage du chenal d'accès au port commercial.

### II.2 Situation géographique du port de Bejaïa

Le port Bejaïa est situé à environ 1.5 km au sud du cap Carbon et côté Ouest du Golf de Bejaïa. Son positionnement au cœur de la méditerranée occidentale et au centre de la côte Algérienne présente une originalité économique et une place de choix sur les routes maritimes.

Le port de Bejaïa est un port mixte composé de :

- Port pétrolier.
- Port commercial.
- Un quai pêcheur, présente 2.8 Km de port de Bejaïa 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.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

### ➤ Position géographique

Le port Bejaia est situé à :

- Une latitude Nord  $36^{\circ}45'24''$ .
- Une longitude Est  $05^{\circ}05'50''$ .

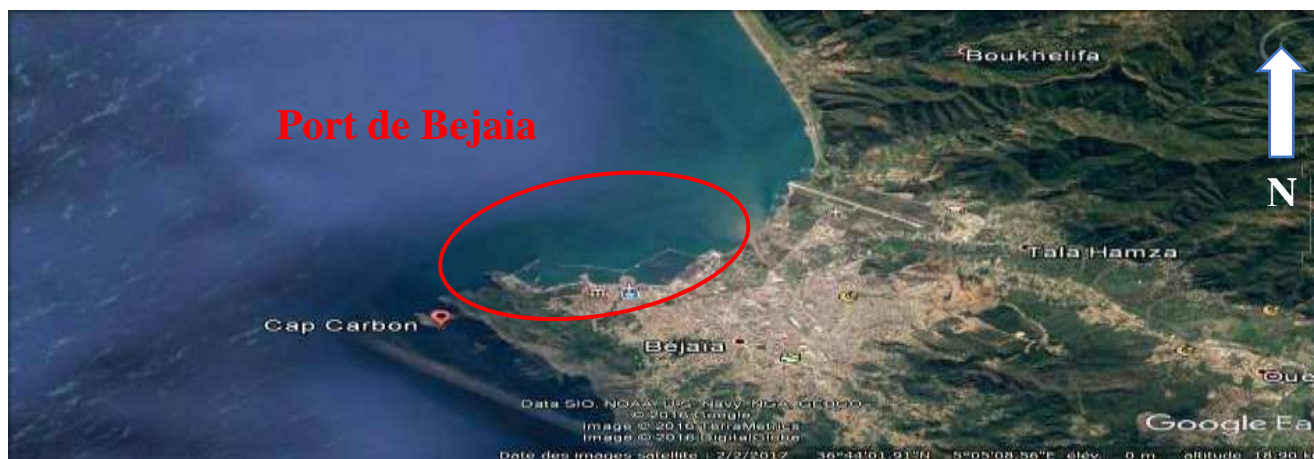


Figure II.1 : La localisation du port de Bejaia (Google Earth 2017).

### II.3 Composition du port

#### II.3.1 Les Bassins du port

Le port est composé de trois bassins :

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

Tableau II.1: Caractéristiques des bassins portuaires de Bejaia.

Bassins	Superficie (hectares)	Profondeur (m)	Activités
Avant-port	75	10.5 à 13.5	Pétrolière
Vieux port	75	6 à 8	Pêche et commerce
Arrière-port	55	10.5 à 12	Commerce

#### II.3.2 Les ouvrages de protection

Les ouvrages extérieurs protègent le port contre l'agitation du large et se composent comme suit (Voir figure II.2):

- 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.2: Les ouvrages du port de Bejaia (Entreprise Portuaire de Bejaia, 2007).

### II.4 Pollution dans le port du Bejaïa

Les bassins portuaires peuvent être soumis à des risques de pollution d'origines diverses, directement (rejets directs), ou indirectement par l'intermédiaire des réseaux d'assainissement ou des exutoires naturels (Oueds, fossés...) qui débouchent dans le port. La reconnaissance des sources de pollution, de sa transmission en mer et des implications sur la zone portuaire seront étudiés à deux niveaux différents.

#### II.4.1 La situation en amont de la zone portuaire

Les activités industrielles en plein essor, la croissance de la population de Bejaia ville et les insuffisances en matière de traitement des eaux usées urbaines et industrielles, sont autant de facteurs qui posent crucialement le problème de la pollution dans la région. Cette situation ne manque pas d'avoir des incidences sur la zone portuaire.

##### a. Le réseau d'assainissement

La ville de Bejaia est dotée de deux réseaux d'assainissements, l'un très ancien, vétuste, sous dimensionné, datant de la période coloniale, de type unitaire et débouchant dans le port. L'autre relativement récent, suit l'extension de la ville. Ce dernier réseau est doté de deux stations de relevage dont une seule est en fonctionnement.

##### b. Les rejets domestiques

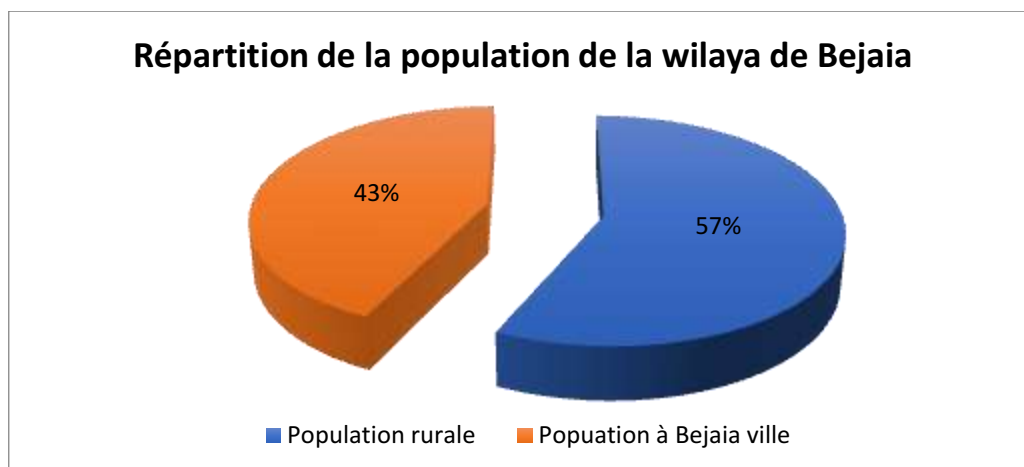
D'après la direction de la planification et de l'aménagement du territoire (DPAT-2007), la population de wilaya da Bejaia est estimée à la fin de l'année 2006 à 990 6951 habitants avec une densité de 307 habitant /km<sup>2</sup> et un taux d'accroissement de l'ordre de 1.23%.

L'essentiel de la population urbaine, est concentré dans les villes situées dans la vallée de la Soummam et son prolongement vers le nord, soit 42,6% à Bejaia ville avec 173 693 habitants, accuse une densité de 1445 habitant/km<sup>2</sup>.

Sur la base de ces données démographiques, en considérant la dotation journalière en eau potable pour la ville de Bejaia on peut estimer le volume quotidien d'eau usée d'origine

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

domestique à environ 120 litres/hab/j. Une proportion de ce volume aboutit vers la zone portuaire.



**Figure II.3:** Population urbaine et rurale de la wilaya da Bejaia

(Direction de Planification et de l'Aménagement du Territoire., 2007).

### c. Les rejets industriels

Bejaia dispose d'un tissu industriel significatif, ou presque toutes les branches sont présentes, avec une prédominance des activités manufacturières et de transformation qui comptent plus de 220 unités en activités.

Le tableau présenté (en annexe), indique les principales unités industrielles polluantes au niveau de la périphérie de la zone portuaire de Bejaia.

Il faut noter qu'au niveau du port, les principales branches industrielles qui s'y localisent sont l'agro-alimentaire, le textile et l'industrie chimique (Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire de Bejaïa, 2007).

### d. Les eaux de ruissellement

La pollution provoquée par les eaux de ruissellement urbaine a pour origine, d'une part le lessivage de l'atmosphère et d'autre part le lessivage et l'érosion des surfaces urbaines. Au niveau de la ville de Bejaia, les eaux pluviales sont collectées par des conduites sous dimensionnées d'une part et qui sont mal entretenues d'autre part.

Cette situation conduit à des débordements d'eaux lors des chutes de pluie. Les eaux pluviales qui parviennent en zone portuaire se déversent directement dans ses bassins. Sur la base des informations recueillies au niveau des services techniques de la wilaya il existe trois exutoires principaux (Direction de l'Hydraulique de Bejaia, 2006):

- l'exutoire fort Abdelkader qui draine toute la haute ville de Bejaia en partant de Sidi Touati et des oliviers vers l'aval.
- L'exutoire carrefour du port qui draine le bassin versant de la zone limitée par les bois sacrés en amont et l'avenue Mustapha Ben Boulaid en aval.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

- L'exutoire Bitouri (Oued Danous), les eaux pluviales de la plaine se déversent directement vers l'oued Danous et Salomon.

### e. L'apport des oueds

Les oueds constituent une source importante de pollution surtout pendant la saison hivernale. De ce fait, la zone de notre étude reçoit quotidiennement des rejets directs chargés en polluants divers véhiculés par l'oued Salomon qui débouche directement à l'intérieur du port (arrière port), ainsi que dans l'oued Soummam et l'oued Sghir à l'extérieure du port (**Voir Figure II.13**).



**Figure II.4:** Localisation des affluents (oueds) dans la zone portuaire de Bejaia

(Direction de l'Hydraulique de Bejaia, 2006).

### f. La station de traitement

En plus des insuffisances relevées au niveau du réseau d'assainissement, qui rendent problématique une bonne collecte des eaux usées, celles-ci sont évacuées vers le milieu récepteur quasiment sans qu'elles ne soient traitées. Beaucoup d'efforts restent encore à faire pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles.

La station d'épuration biologique de la ville de Bejaia est depuis longtemps à l'arrêt. La cause de son arrêt est attribuée, selon les responsables, aux flux importants de rejets chimiques industriels et aux eaux pluviales infiltrées au réseau d'assainissement, ce qui a rendu le traitement biologique inefficace.

De plus même si sa remise en état est effectuée, elle s'avère être de peu d'efficacité, du fait que c'est une station conçue pour une capacité de traitement de seulement 80 000 équivalents habitants. Elle demeure donc insuffisante si on tient compte de la croissance de la population urbaine et du développement récents des activités industrielles. Suite à cette situation et dans le but de protéger la région de l'arrière port contre les nuisances des eaux usées des actions immédiates sont envisagées :

- La direction hydraulique de Bejaia a proposé de projeter un collecteur dimensionné à partir du tunnel sidi Abdelkader jusqu'à la STEP. Ce collecteur aura comme tâche principale l'évacuation des eaux usées vers la station d'épuration existante, après sa remise en état de fonctionnement.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

- De même, l'Office National d'Assainissement (ONA) a lancé une offre internationale pour le diagnostic et la réhabilitation du réseau d'assainissement de la ville de Bejaia.

### II.4.2 Les sources directes de la pollution portuaire

En se basant sur la carte du réseau d'assainissement de la ville (GEOSYSTEM, 1998) et qui a été actualisée par des observations sur site, on relève neuf principaux points de rejets, localisables dans les trois bassins portuaires (Voir figure II.5).



**Figure II.5:** Localisation des points de rejets dans les bassins du port de Bejaia.

Les points de rejets dans la zone portuaire sont indiqués comme suit sur le tableau II.2 suivant :

**Tableau II.2:** Localisation des points de rejets à l'intérieur des bassins portuaires de Bejaia.

Points de rejet	Type de rejet	Rejet final
R1	Eaux usées domestiques et eaux Pluviales de l'ancienne ville	Bassin de l'avant-port
R2		
R3	Eaux usées domestiques venant Des habitations de l'ancienne ville.	Bassin du vieux port
R4		
R5	Eaux usées domestiques et eaux Usées industrielles de la zone pré-portuaire et les eaux pluviales	Bassin de l'arrière port
R6		
R7		
R8	Eaux usées domestiques et eaux Pluviales drainées par l'Oued Salomon.	
R9		

Aux rejets des eaux usées domestiques et industrielles provenant de la ville et de sa périphérie, il faudra ajouter les sources, de rejets, internes dans la zone portuaire qui peuvent être lié aux opérations de manipulation de la marchandise et cela est dû au fait :

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

---

- De l'importance du trafic de marchandises vrac tel que, les produits céréaliers dont les processus de chargement/déchargement peuvent générer des pertes considérables.
- Le trafic de marchandises conteneurisées est moins important que celui des produits vrac (voir chapitre 1- trafic de marchandises).
- Les rejets accidentels, lors des transbordements de marchandises, qui pourraient être à l'origine d'une quantité de produit à draguer.

### II.5 Description du milieu récepteur

#### II.5.1 Milieux physiques et naturels

D'un point de vue géologique (**Hammoudi, 2009**), la ville de Bejaia est construite sur des terrains appartenant principalement à deux systèmes de l'ère secondaire, qui sont successivement le jurassique et le crétacé.

La partie nord, de la région d'étude (djebel Gouraya et cap Carbon), est caractérisée essentiellement par des formations du jurassique (calcaires riche en fer), alors que la partie Sud (cap Bouak jusqu'à l'avant-port) est caractérisée essentiellement par des formations du crétacé (marneuses et conglomératiques, également riches en fer).

Le lessivage de ce type de sol, notamment lors des périodes de forte pluviométrie, peut entraîner des quantités non négligeables de fer qui ira en mer.

Les apports solides ont sûrement un impact sur la zone portuaire et sont aussi conditionnés par les caractéristiques et les données hydrologiques. Des travaux antérieurs (**LEM, 1993**) fournissent des indications intéressantes sur l'hydrologie de la région, dans laquelle est insérée la zone portuaire de Bejaia, plusieurs cours d'eau drainent les bassins versants adjacents, et se déversent directement en mer, parmi lesquels l'oued Soummam, qui est le plus important de la région, avec un bassin versant de plus de 9125km<sup>2</sup> et une longueur de plus de 100 km.

Ce bassin versant, se caractérise par une forte discontinuité au point de vue écoulement et ruissèlement; ceci est dû essentiellement à trois facteurs :

- ❖ Irrégularité de la pluviométrie.
- ❖ Variation des perméabilités et des pentes.
- ❖ Diversification du couvert végétal.

L'impact de ces paramètres se fera sentir sur les débits liquides (Q l) et les apports solides(As). Les seules données disponibles datent de la période (1964-1974), enregistrées à la station de Sidi-Aich, (**LEM, 1993**) qui sont les suivantes :

- ❖ Débit liquide moyen : 26 m<sup>3</sup>/s.
- ❖ Minimum journalier (étiage) : 0,8 à 1 m<sup>3</sup>/s.
- ❖ Maximum journalier (hivernale) : 2200 m<sup>3</sup>/s.

Sur le plan hydrogéologique, les nappes d'eau les plus importantes se localisent dans les plaines côtières alluvionnaires de Bejaia. L'alimentation des nappes se fait par :

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

- ❖ Infiltration des eaux de précipitation sur la plaine.
- ❖ Infiltration de l'eau drainée par les bassins versants de la plaine au niveau des piémonts.
- ❖ Les apports des oueds traversant la plaine.

### ➤ Cadre hydrologique

Faisant partie d'une région côtière assez arrosée, la Wilaya de Bejaia est traversée par plusieurs fleuves drainant les eaux superficielles de ruissellement vers la mer, les fleuves les plus importants sont :

- L'Oued Soummam: 90km.
- L'Oued Agrioun: 46km.
- L'Oued Djemaa: 46km.
- L'Oued Dass: 30km.

### Autres sources

- 957 réservoirs avec une capacité de 171 015m<sup>3</sup>.
- 07 retenues collinaires en exploitation avec capacité de 0.34 Hm<sup>3</sup>/an.
- 09de retenues prévues en réhabilitation d'une capacité totale de 0.5 Hm<sup>3</sup>/an.
- Forages en exploitation d'un volume exploité : 151 700 m<sup>3</sup> /j (AEP +Irrigation).
- 16 200 puits avec un débit de 750 Litre L/s.
- Sources captées avec un débit de 880 L/s.

Les ressources hydriques prouvées s'élèvent à près de 426 Hm<sup>3</sup> (106 Hm<sup>3</sup> en eaux souterraines et 320 Hm<sup>3</sup> en eaux superficielles) dont près de 212 Hm<sup>3</sup> sont effectivement mobilisées et concernent surtout les eaux superficielles du barrage de Kherrata (109 Hm<sup>3</sup>).L'exploitation des documents réalisés suite à des études et travaux sur la région (**SSMO, 1963-1970 in LEM, 1993**) permettent de faire une présentation synthétique sur le climat.

### II.5.2 Données climatique

L'analyse est faite sur la base des mesures enregistrées au niveau de l'ONM de Bejaia (36°04'N-05°04'E) ainsi que les données recueillies du SSMO (Summary of Synoptic Meteorological Observations) pour la période allant de 1969 à 1970.

#### a. 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.
- Évapotranspiration potentielle: 1154 mm/an.
- Température 18.6<sup>0</sup>C (1969-1973) ,(source : **LEM, 1993**).

La région de Bejaia est caractérisée par des averses très importantes. Selon l'O.N.M elle est considérée « ....comme l'une des villes les plus pluvieuses du pays... ». Elle reçoit une moyenne de 800 à 1200 mm d'eau de pluie par an (**Direction de l'Hydraulique de Bejaia, 2006**).

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

La répartition des pluies dans le cycle annuel est très inégale, elle est fortement influencée par le facteur saisonnier. Le maximum de pluie est atteint entre Novembre et Mars, et culmine à plus de 160 mm (moyenne interannuelle) entre Janvier et Février.

Le minimum annuel est relevé entre Mai et Aout avec une hauteur de pluie inférieure à 6 mm en moyenne pour ces 4 mois, durant les années les plus sèches.

### b. La température

Les températures de l'aire 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. Elles se résument comme suit (**Voir Tabl II.3 et Tabl II. 4**):

**Tableau II.3:** Distributions de Température de l'Air Région de Bejaia (**Oceanweather ; 2003**).

Température de l'air °C							
<b>Janvier</b>	7,3	9,5	11,6	13,7	15,9	18	20,1
<b>Février</b>	6,4	8,8	11,2	13,7	16,1	18,5	21
<b>Mars</b>	8,1	10,3	12,4	14,5	16,6	18,7	20,9
<b>Avril</b>	9,4	11,5	13,7	15,8	18	20,2	22,3
<b>Mai</b>	11,7	14	16,2	18,4	20,6	22,9	25,1
<b>Juin</b>	15,1	17,3	19,5	21,7	23,9	26,1	28,3
<b>Juillet</b>	18,4	20,4	22,3	24,3	26,3	28,3	30,2
<b>Aout</b>	19,8	21,7	23,5	25,3	27,1	28,9	30,8
<b>Septembre</b>	17,8	19,8	21,9	24	26,1	28,1	30,2
<b>Octobre</b>	13,9	16,3	18,8	21,2	23,6	26,1	28,5
<b>Novembre</b>	10,4	12,8	15,2	17,7	20,1	22,5	25
<b>Décembre</b>	7,8	10,2	12,5	14,9	17,2	19,6	21,9

**Tableau II.4:** Distributions de Température de la Mer Région de Bejaia (**Ocean weather ; 2003**).

Température de la mer °C							
<b>Janvier</b>	11,3	12,4	13,6	14,7	15,9	17,1	18,2
<b>Février</b>	11,1	12,1	13,2	14,3	15,4	16,5	17,5
<b>Mars</b>	11,4	12,4	13,5	14,6	15,7	16,8	17,8
<b>Avril</b>	12,2	13,3	14,5	15,6	16,7	17,9	19
<b>Mai</b>	13,3	14,8	16,3	17,8	19,4	20,9	22,4
<b>Juin</b>	15,9	17,5	19,2	20,9	22,6	24,2	25,9
<b>Juillet</b>	18,9	20,5	22	23,6	25,2	26,7	28,3
<b>Aout</b>	20,3	21,8	23,4	24,9	26,4	27,9	29,4
<b>Septembre</b>	19,6	21,1	22,6	24,1	25,5	27	28,5
<b>Octobre</b>	17	18,5	20,1	21,7	23,3	24,9	26,5
<b>Novembre</b>	13,9	15,5	17	18,6	20,2	21,8	23,4
<b>Décembre</b>	10,9	12,4	14	15,6	17,1	18,7	20,3

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

### c. Le vent

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.

### II.5.3 Données océanographiques

#### a. Les houles

La base de données disponible, utilisée dans les études récentes le long de ce trait de côte est celle du S.S.M.O (**Summary of Synoptic meteorological Observation, USA**).

Une analyse statistique de ces données permet de définir les secteurs de la houle prédominants et leurs amplitudes respectives. (**Voir tableau II.5**).

**Tableau II.5:** Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (**LEM.,2014**).

Mois direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
<b>Janvier</b>	11,5	7,2	16,4	30,8	14
<b>Février</b>	8,4	6	12,4	39,6	14,5
<b>Mars</b>	8,5	5,5	12,9	35,5	20,4
<b>Avril</b>	6,4	8,8	15,2	39,4	18,6
<b>Mai</b>	8,6	15,9	17,3	31,7	13,1
<b>Juin</b>	10,1	15,3	19,5	30,1	14,6
<b>Juillet</b>	12,3	19,8	22,5	20,1	17,1
<b>Aout</b>	12,4	19,9	24,9	18,5	16,9
<b>Septembre</b>	12	14,2	29,2	17,7	15,8
<b>Octobre</b>	8,2	11	19	30,4	11,1
<b>Novembre</b>	4,2	3,6	7,9	40,1	19,6
<b>Décembre</b>	6,7	4,5	6	38,6	19,2
<b>Annuel %</b>	9,1	10,9	16,8	31,2	16,3

L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est, est la plus fréquente, néanmoins par fortes houles, le secteur Ouest prédomine. Les houles de tempête proviennent essentiellement du secteur Ouest. Pour les secteurs Nord et Nord-Est les fréquences d'application sont très faibles.

#### 1. Caractéristiques de la houle au large

Nous constatons que les houles dans la baie de Bejaia se caractérisent par deux directions privilégiées.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

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

En hiver les houles prédominantes sont de secteur Ouest Nord-Ouest (pour plus de 80%) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10s, pouvant atteindre 13 secondes, sont relevées lors des grandes tempêtes.

Les houles d'été de direction Nord-Nord Est se caractérisent par une amplitude de 0.5 m à 1.50m ; 50% de ces houles ont une période de 6 à 9s, et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitudes. L'amplitude moyenne est de 2 à 3 m et les amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. (Voir tableau II.6).(LEM.,1999).

**Tableau II.6:** statistiques de la houle au large.

Direction de houle	La hauteur (m)					
	Est	Nord-Est	Nord	Nord-Ouest	Ouest	Toutes directions
<b>Biennale</b>	3,51	4	5,46	7,03	7,92	8,41
<b>Quinquennale</b>	4,01	4,67	6,5	8,1	9,03	9,44
<b>Décennale</b>	4,38	5,16	7,27	8,9	9,86	10,21
<b>Vingtennale</b>	4,75	5,67	8,05	9,71	10,7	10,98
<b>Cinquantennale</b>	5,24	6,33	9,08	10,78	11,81	12,01
<b>Centennale</b>	5,61	6,83	9,85	11,58	12,64	12,78

Vu l'orientation de la côte Algérienne, les houles au large qui nous intéressent proviennent du secteur Ouest-Nord-Est.

Le tableau II.8, donne la distribution de la houle par direction. Les houles du secteur Ouest sont les plus fréquemment observées.

**Tableau II.7:** Fréquence annuelle de la houle au large selon les directions

Direction de provenance	Fréquence d'apparition
N	9,10%
NE	11%
E	17%
SE	–
S	–
SW	–
W	31%
NW	16,20%

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

### 2. Caractéristiques de la houle à la côte

Tableau II.8: Caractéristiques de la houle à la côte.

	Temps de retour Associés (ans)	360° Nord	045° Nord	330° Nord
Biennale	2	4,56	3,49	3,84
Quinquennale	5	5,43	4,09	4,41
Décennale	10	6,09	4,53	4,84
Vingtennale	20	6,75	4,98	5,27
Cinquantennale	50	7,63	4,57	5,84
Centennale	100	8,28	6,01	6,26

La figure ci-dessous montre l'exposition du port aux différents secteurs de houle.



Figure II.6: Exposition du port aux différents secteurs de houle (Google Earth 2017).

#### b. Les courants

Les courants généraux sont connus comme étant des courants qui viennent par le Déroit de Gibraltar et se dirigent vers l'Est (0.5 à 1 m/s). Ces courants forment dans la Baie, des contrecourants littoraux vers l'Ouest.

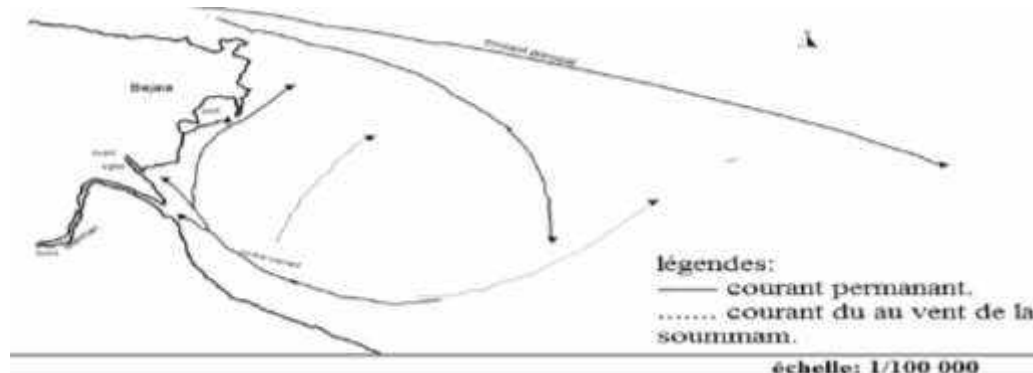


Figure II.7: Les Courants généraux et circulation des eaux de surface dans le golf de Béjaïa (Leclaire, 1972).

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

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 entraîne 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.

### c. Les Marée et niveau d'eau

L'amplitude des marées sur la côte algérienne est faible et est de l'ordre de 20cm environ.

L'exploitation de différentes sources par le LEM (1999) a permis d'établir le tableau II.10 suivant, qui présente les différents niveaux d'eau enregistrés le long de la cote algérienne.

**Tableau II.9:** Niveau d'eau le long de la côte algérienne

Références	Niveau
Niveau maximum	+50 cm NGA
Moyenne haute mer De vive-eau	+10 cm NGA
Moyenne basse mer	-10 cm NGA
Niveau minimum	-34 cm NGA

Ces niveaux sont donnés par rapport au zéro NGA (Nivellement Général de l'Algérie).

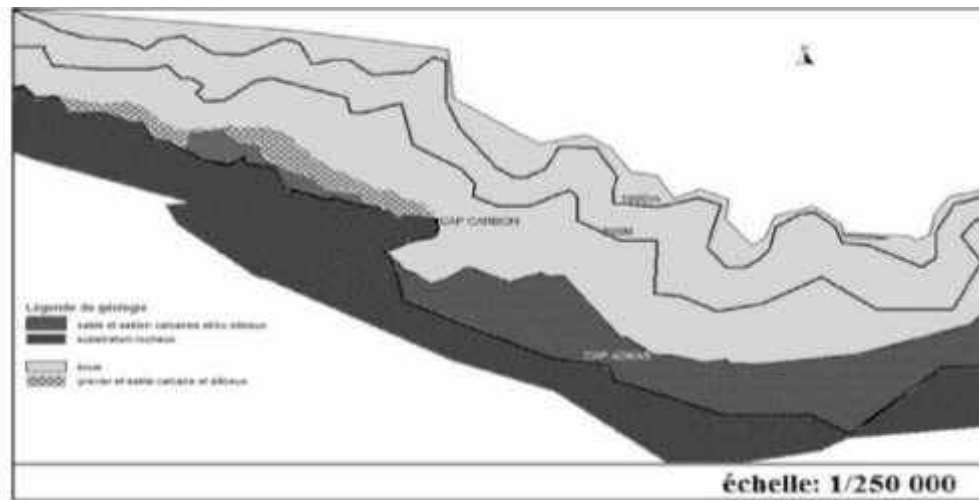
### II.8.4 Données sédimentologiques et bathymétriques

La distribution des sédiments du golfe de Bejaia est fonction de la bathymétrie. En outre, elle est caractérisée par trois principaux types de faciès (Leclaire, 1972).

- ❖ Sables et sablons siliceux rencontrés aux faibles profondeurs (0-20 m) et ce à partir de la ville de Bejaia jusqu'à la rive Est de l'oued agrtoun.de plus une extension vers le large (40 m) de ce faciès est observée particulièrement entre les embouchures des oueds Soummam et Djemââ.
- ❖ Le faciès à boues silico-argileuses est au niveau de tout le golfe dominant entre 40 et 80 m de profondeur.
- ❖ À partir de 100 m de profondeur et plus, les boues silico-argileuses et argilo-siliceuses est au niveau de tout le golfe dominant entre 40 et 80 m de profondeur.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

- ❖ À partir de 100 m de profondeur et plus, les boues silico-argileuses et argilo-siliceuses sont retrouvées.



**Figure II.8:** Nature et répartition des sédiments dans le golf de bougie (Leclaire, 1972).

### ➤ 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 7 m 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 4 m.
- 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 sable fins et de matériaux plus fins.
- Le faciès transparent correspond à des sédiments homogènes et moins compacts.

Les conclusions des expertises réalisées dans le cadre du projet intitulé « Carte sédimentaire du littoral algérien » précisent que le 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 périodes 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 cote avec une incidence oblique, engendrant un courant de dérive littorale assurant la dispersion des sédiments dans la même direction.

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

- Les houles du Nord par contre régulière sur toute l'année arrivent à 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.



**Figure II.9:** Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie de Bejaia (Google Earth, 2017).

---

# MATÉRIEL ET MÉTHODES

---

## Chapitre 3: matériel et méthodes

Dans cette partie on s'intéresse aux analyses des paramètres pour définir le degré de pollution dans le port de Bejaia qui sont :

- Les paramètres physico chimiques in situ :
  - pH.
  - Salinité.
  - Conductivité.
  - Température.
- Les paramètres indicateurs de pollution:
  - Oxygène dissous (in situ).
  - Matière en suspension.
  - Matière organique particulaire.
- La granulométrie par tamisage.
- Les contaminants chimiques organiques/inorganiques:
  - Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).
  - Les Métaux Lourds (Zn, Cr, Pb...).

### III.1 Localisation et choix des stations

Les prélèvements ont été effectués lors de la sortie qui s'est déroulée le (21 Mars 2017). Dix (10) stations de prélèvement ont été positionnées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) sur une carte géographique du port.



Figure III.1: Localisation des stations de prélèvement au niveau du port de Bejaia.

Tableau III.1: Les coordonnées des stations de prélèvement.

Stations	Cordonnée
Station 1	36°44'23,58°N, 5°5'5,45°E
Station 2	36°44'23,32°N, 5°4'54,15°E
Station 3	36°44'37,13°N, 5°4'52,43°E
Station 4	36°44'36,89°N, 5°5'0,97°E
Station 5	36°44'37,79°N, 5°5'9,78°E
Station 6	36°44'48,26°N, 5°5'0,84°E
Station 7	36°44'52,94°N, 5°5'15,40°E
Station 8	36°44'43,98°N, 5°5'24,82°E
Station 9	36°44'22,76°N, 5°5'18,66°E
Station10	36°44'11,32°N, 5°4'56,63°E

## Chapitre 3: matériel et méthodes

---

Le choix des stations a été décidé par rapport à certains critères. Ces derniers, nous ont permis de cibler nos stations de prélèvement d'une façon à couvrir l'arrière port qui est caractérisée par un trafic maritime intense et exposée directement aux rejets de nature et d'origine différente.

### III.2 Préparation du matériel

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

### III.3 Prélèvement et échantillonnage

Dans notre cas on a réalisé trois prélèvements.

#### III.3.1 Prélèvement d'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués l'aide d'une bouteille Niskin de 8 litres (bouteilles à clapets à large ouverture, en matière plastique inerte généralement en PVC), à une profondeur qui varie entre 2m à 7m sous la surface de l'eau de mer.

Alors que l'échantillonnage a été effectué dans des flacons en polyéthylène d'une contenance de 250 ml étiquetés, destinés aux analyses des paramètres physico-chimiques, les paramètres indicateurs de pollution (la matière en suspension et la matière organique particulaire, ....ect).

#### III.3.2 Prélèvement du sédiment

Il est réalisé à l'aide d'une benne inoxydable « Van veen ».

Les échantillons sont destinés à l'analyse granulométrique et des métaux lourds, sont récoltés par des spatules en plastique et mis dans des sachets en plastiques traités auparavant et étiquetés, contrairement à l'analyse des hydrocarbures qui sont récoltés par des spatules en métal Inoxydables et sont mis dans des boites de pétri en verre préalablement conditionnées et étiqueté.

#### III.3.3 Prélèvement du benthos

L'analyse des communautés benthiques est effectuée aussi bien au niveau du port pour la caractérisation des produits de dragage

Le sédiment prélevé au voisinage de fond de la station prospectée à l'aide d'une benne. Après le prélèvement, le sédiment destiné à l'étude macrobenthique est mis dans des bocaux puis fixé au formol. Chaque bocal porte une étiquette sur laquelle toutes les indications relatives au prélèvement sont soigneusement notées (numéro de la station, zone d'étude).

#### III.3.4 Conservation des échantillons

Pour avoir des résultats analytiques significatifs, il est très important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'analyse. Le moyen le plus courant de conservation des échantillons consiste à les garder dans une mallette isotherme de température comprise entre 0 et 4°C jusqu'à leur arrivée au laboratoire dans un temps ne dépassant pas les 24 heures.

### III.4 Analyse des paramètres

Les analyses doivent être faites le plus tôt possible après le prélèvement pour permettre d'avoir des résultats représentatifs et fiables. Elles regroupent la mesure de paramètres in situ ainsi que de paramètres au laboratoire.

#### III.4.1 Mesure *in situ*

Les paramètres physico-chimiques tel que : pH, Salinité, Température, Oxygène dissous, Conductivité, sont mesurés in situ à l'aide d'une valise multi paramètres.

#### ✓ Au niveau du laboratoire

Les paramètres mesurés au laboratoire nécessitent un matériel précis et personnel qualifiée afin d'éviter les marges d'erreur

Les travaux se sont déroulés au sein du laboratoire de Sonatrach à Boumerdes (CRD

#### III.4.2 Analyse de l'eau de mer

Au laboratoire, les échantillons sont soumis à une série d'analyses qui permettent d'apprécier la qualité de l'eau, de mesurer leur degré de pollution.

### a. La matière en suspension MES

#### 1. Principe de la méthode

La matière en suspension (MES) représente tous les résidus d'origine organique ou minérale liées à des activités industrielle mais englobe aussi le plancton et les particules sédimentaires (**Aminot et Chaussepied, 1993 ; Rodier *et al.*, 1996**).

#### 2. Matériel et appareils

- Un dispositif de filtration sous vide.
- Des membranes filtrantes ( $\varnothing = 0,45\mu\text{m}$ ).
- Pincettes en acier inoxydable.

#### 3. Mode opératoire

Un échantillon représentatif de (100 ml) est filtré à travers une membrane filtrante ayant une porosité de  $0,45\mu\text{m}$ , préalablement traitée et pesée à sec. Les matières retenues sur le filtre après filtration sont séchées à  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures puis pesées avec le filtre. Selon ces étapes :

- Rincer le filtre à l'eau distillée et le sécher à l'étuve à  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  environ 30 à 60 min.
- Laisser refroidir puis peser le filtre sec et noter son poids  $P_1$ .
- Homogénéiser l'échantillon à analyser de (100 ml).
- Filtrer sous vide un volume  $V$  de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée.
- Sécher, refroidir et peser une seconde fois le filtre. Son poids est noté  $P_2$ .

### 4. Expression des résultats

La masse de matières en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés ( $P_2$ ) et la masse initiale du filtre ( $P_1$ ), tout en tenant compte du volume filtré.

La concentration de la matière en suspension en mg/l dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (P_2 - P_1) / V \quad \text{.....( III.1)}$$

$P_1$  : Poids du filtre avant filtration de l'échantillon (mg).

$P_2$  : Poids du filtre sec après la filtration de l'échantillon (mg).

$V$  : Volume d'eau filtrée en litres (L).

### III.4.3 Analyse de sédiments

#### a. La granulométrie

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

Une fois les échantillons nécessaires un déroulement des travaux obtenus, ces derniers sont traités et classés au laboratoire, déposés dans des boîtes de pétries libellées, sur lesquelles, on utilisera pour chaque analyse la quantité de sédiment nécessaire.

#### 1. Principe de la méthode

Ce procédé consiste à passer l'échantillon par une série de tamis de mailles décroissantes et de récolter ensuite le poids partiel de chaque quantité dans le tamis. Cependant, il existe de très nombreuses normes de tamisage, dans lesquelles les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses dans l'échelle logarithmique, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphique.

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

Le tableau ci-dessous correspond aux diamètres des grains selon la norme française.

**Tableau III.2:** Diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française.

Source: AFNORJ99

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 $\mu\text{m}$
20 $\mu\text{m}$	Limons	2 $\mu\text{m}$
2 $\mu\text{m}$	Argiles	< 2 $\mu\text{m}$

### 2. Matériel et Appareils

- Série de Tamis série **AFNOR** (norme NF X 11-501 : dont les mailles sont respectivement (5000  $\mu\text{m}$ , 2500  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$ , 1600  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 800  $\mu\text{m}$ , 630 $\mu\text{m}$ , 500 $\mu\text{m}$ , 400 $\mu\text{m}$ , 315 $\mu\text{m}$ , 250 $\mu\text{m}$ , 200 $\mu\text{m}$ , 150 $\mu\text{m}$ , 125 $\mu\text{m}$ , 100 $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$ , 63 $\mu\text{m}$ , 50 $\mu\text{m}$ , 40 $\mu\text{m}$ .).
- Étuve.
- Balance de précision.
- Colonne vibrante.
- Grandes boîtes de pétries en verre.
- Pissette d'eau.

### 3. Mode opératoire

- Sécher les échantillons à 105 °C pendant 24 h dans des boîtes de pétries
- Peser 150g de chaque échantillon ( $P_1$ ).
- Laver l'échantillon sous le robinet à l'aide d'un tamis de 40  $\mu\text{m}$  et agiter manuellement (pour éliminer la fraction pélitique).
- Sécher à nouveau l'échantillon lavé, à 105 °C pendant 24 h.
- Repeser l'échantillon après séchage  $P_2$  (pour déterminer la quantité de fraction pélitique).
- Tamiser sur une colonne vibrante pendant 10 min.

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

$$P \% = ((P_2 - P_1) / P_1) \times 100 \quad \dots\dots\dots(III.2)$$

- $P_1$ : Poids initial de l'échantillon.
- $P_2$ : Poids sec de l'échantillon après rinçage.

### 4. Traitement des données

À partir des masses cumulées sont calculés les pourcentages cumulés puis pondérés. Des courbes cumulatives ont été établies propres à chaque station, sur du papier semi logarithmique,

- En abscisse logarithmique les diamètres des particules du sédiment.
- En ordonnée le pourcentage pondéral des refus cumulés inférieur à une taille donnée.

Cela nous permettrons de comparer les échantillons et de déterminer graphiquement les différents paramètres grâce auxquels nous calculerons les indices granulométriques.

### 5. Les indices granulométriques

- Les paramètres centraux
  - La médiane

## Chapitre 3: matériel et méthodes

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

Le grain moyen est l'expression de la force d'un courant (eau, vent), capable d'avoir mis en mouvement et essentiel d'un sédiment donné (**Chamley, 1987**). La médiane ne peut être utilisée avec des sédiments à distribution bimodale (**Folk et Ward, 1957**).

- Les quartiles

Le 1<sup>er</sup> quartile (Q25) : correspond au diamètre du grain représentant 25% en poids du sédiment. (Tableau)

Le 3<sup>ème</sup> quartile (Q75) : correspond au diamètre du grain représentant 75% en poids du sédiment.

Ces paramètres nous montrent la part des sédiments grossiers et des sédiments fins dans un échantillon (**Voir tableaux III.3**).

**Tableau III.3:** Classification des grains de sable (**Folk et Ward, 1957**).

Diamètre du grain	Classification
< 110 $\mu\text{m}$	Sable très fin
110-150 $\mu\text{m}$	Sable fin
150-250 $\mu\text{m}$	Sable moyen
250-500 $\mu\text{m}$	Sable grossier
>500 $\mu\text{m}$	Sable très grossier

### b. La Matière organique

#### 1. Principe de la méthode

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

#### 2. Matériel et appareils

- Creusets en porcelaine préalablement numérotés et nettoyés.
- Balance de précision.
- Four à moufle.
- Pinces.
- Spatules.

#### 3. Mode opératoire

- Lyophiliser les échantillons pour éliminer l'eau dans les sédiments.
- Peser les creusets à vide préalablement nettoyés et numérotés ( $P_0$ ).

## Chapitre 3: matériel et méthodes

- 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 ( $P_2$ ).

### 4. Calcul et expression des résultats

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

$$\%MO = \frac{((P_1 - P_0) - (P_2 - P_0)) \times 100}{(P_1 - P_0)} \dots\dots\dots(III.3)$$

**% MO** : pourcentage de la matière Organique (%).

$P_0$  : Poids du creuset vide (g).

$P_1$  : Poids du creuset avec l'échantillon broyé (g).

$P_2$  : Poids du creuset contenant les cendres(g).

### c. Analyse des métaux lourds

#### 1. Principe de la méthode

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds est la méthode d'extraction du métal total adsorbé à la surface des grains par une digestion partielle qui s'effectue généralement avec des acides forts concentrés et des oxydants ( $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $HClO_4$ ,  $KMnO_4$ ) (Charlou et Joanny, 1983 ; PNUE /FAO/OMS, 1989). La spectrométrie d'adsorption atomique est la plus utilisée, elle permet de doser une soixantaine d'éléments atomiques à l'état de trace.

#### 2. Matériel et appareils

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

Les réactifs et solution utilisées dans analyses des métaux lourds sont représentées dans le tableau ci-dessous

## Chapitre 3: matériel et méthodes

**Tableau III.4:** Références et mode d'utilisation des réactifs et solutions destinés aux analyses des métaux lourds

<b>Solution</b>	<b>Mode d'utilisation</b>
<b>Acide nitrique HNO<sub>3</sub> (69 %)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minéralisation à blanc des godets.</li><li>▪ Minéralisation des échantillons pour l'analyse des métaux.</li></ul>
<b>Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (96 %)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minéralisation des échantillons pour l'analyse de mercure</li></ul>
<b>Eau régale</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minéralisation des échantillons</li></ul>
<b>Eau acidulée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Nettoyage des matériels</li></ul>

### 3. Mode opératoire

- Nettoyage du matériel utilisé pour la détermination des métaux traces

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

- Laisser tremper le matériel toute une nuit dans une solution de savon (Savon+ eau) dans un bac en plastique.
- Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet, puis avec l'eau bidistillée.
- Séchage à l'étuve à 70 °C pour le matériel et en verre en Téflon et à 40 °C pour le matériel en polyéthylène (tels que les flacons) et en matière plastique (tels que les sachets).
- Laisser tremper le matériel dans une solution d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) acidulé à 10 % pour analyse pendant au moins 6 jours à température ambiante.
- Rincer abondamment avec l'eau bidistillée.
- Séchage à l'étuve.

- Traitement des sédiments

Le prélèvement de l'échantillon de sédiment à bord doit s'effectuer en suivant des consignes très strictes pour éviter toute contamination d'échantillon, il est conservé à bord (précongélation) pour subir au laboratoire le traitement suivant ;

- Lyophilisation

C'est la déshydratation par sublimation des échantillons à - 40°C et suivant de (10<sup>-1</sup>bar) pendant 48 h par un lyophilisateur.

- Broyage et tamisage

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

- Homogénéisation

Pour avoir une meilleure répartition des éléments métalliques, les sédiments sont homogénéisés pendant 15 mn à l'aide d'un agitateur magnétique.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

---

### ➤ Extraction des métaux lourds

La digestion consiste à libérer les différents métaux adsorbés à la surface des particules sédimentaires et/ou piégés par la matière organique et les minéraux par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique.

Ce protocole décrit est celui adopté par **(Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P./I.A.E.A.(1985 a et b, 1986a et b, 1998,)**. Cependant, certaines étapes ont été modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

- ❖ **Minéralisation à blanc** Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet à téflon 4 ml d'acide nitrique 69 %. On ferme hermétiquement les godets. Puis on réchauffe sur une plaque chauffante à 120 °C pendant 2 h 30 min On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on rince à l'eau bidistillée et on sèche dans l'étuve.
- ❖ **Minéralisation des échantillons de sédiment** Selon le protocole décrit par **l'A.I.E.A. (1998)**, la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans des godets en téflon. On pèse environ 0.5 g de sédiment lyophilisé et l'introduire dans chaque godet. On y ajoute 6 ml d'eau régale (1 volume d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré à 69 % + 3 volumes d'acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %) puis on ferme hermétiquement les godets.
- ❖ **Laisser les échantillons à température ambiante toute une nuit (minéralisation à froid)** puis on les met le lendemain sur la plaque chauffante à 120 °C pendant 2 h 30 min En ce qui concerne les échantillons destinés à l'analyse du mercure, il faut peser le même poids de sédiment lyophilisé et ajouter 4 ml d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré à 69 % et 2 ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré à 96 %, puis fermer hermétiquement les godets.
- ❖ **Laisser les échantillons à température ambiante toute une nuit puis les mettre sur plaque chauffante à 90 °C pendant 2 h 30 min.**
- ❖ **Laisser refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis ouvrir les godets et transférer les minéralisâtes dans des tubes en polypropylène de 50 ml. il faut rincer bien les godets avec l'eau bidistillée au moins 3 fois en récupérant le maximum des rinçages dans les tubes en polypropylène. Et ajuster ensuite jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bidistillée.**
- ❖ **Ajouter dans les tubes destinés à l'analyse du mercure 1 ml de bichromate de potassium**
- ❖ **La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à + 4 °C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).**
- ❖ **Un godet pour témoin blanc a été inséré avec chaque série d'échantillons et subit le même traitement que ces derniers.**

### ➤ Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique

C'est la méthode d'analyse des éléments à l'état de traces la plus utilisée et précise dans ce domaine, c'est une technique fiable et relativement peu onéreuse pour l'analyse d'éléments en trace recommandée par **Pinta (1971), et Charlou et Joanny (1983)**.

L'analyse par SAA consiste en la détermination de la concentration d'une substance d'après l'absorption d'une radiation caractéristique de l'élément recherché.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

Nous avons utilisé pour nos analyses par un spectrophotomètre d'absorption atomique.



**Figure III.2:** Spectrophotométrie d'absorption atomique.

- Principe de la SAA

Le passage de la forme ionique (métal en solution) à la forme atomique se produit par une source thermique (source d'atomisation). Les atomes ainsi formés 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 ( $\lambda$ ) spécifique de l'élément à doser et d'intensité incidente  $I_0$ .

L'absorbance qui correspond à la différence entre l'intensité incidente et l'intensité transmise ( $I_0 - I$ ) est enregistrée par un dispositif photoélectrique de l'appareil utilisé. Cette absorbance est proportionnelle à la concentration de l'élément dosé et repose sur la loi de Beer-Lambert.

- Loi de Beer-Lambert

La loi de Beer-Lambert s'énonce comme suit : 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 de la solution (**Audigié et al, 1985a**), d'où l'équation :

$$I = I_0 e^{-KIC} \quad \dots\dots\dots(III.4)$$

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

$$A = DO = \text{Log } I_0 / I = KIC \quad \dots\dots\dots(III.5)$$

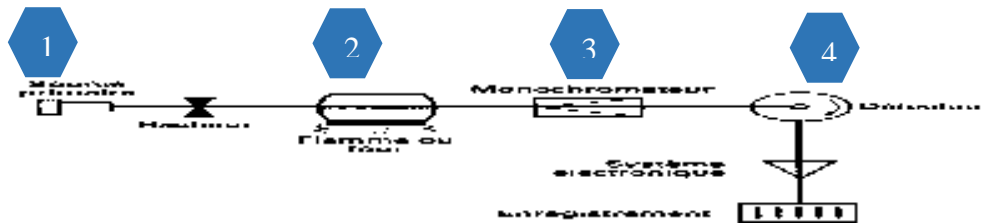
- A : Absorbance.
- Do : Densité optique.
- K : Constante coefficient d'extinction molaire.
- L : Longueur de source d'atomisation.
- C : Concentration du métal dosé.
- I : Intensité lumineuse transmise.
- Io : Intensité lumineuse émise (Incidente).

- Appareillage

## Chapitre 3: matériel et méthodes

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique component trois parties principales (Pradyt, 2004 ; Vandegans, 2013) : Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur-amplificateur (4).

La lecture est possible grâce à un ordinateur qui pilote l'ensemble des instruments (Voir figure III.3).



**Figure III.3:** Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique.

L'appareil employé pour le dosage des éléments métalliques est un spectrophotomètre, il est principalement constitué de ;

- Source de radiation.
  - Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres.
  - Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation
- Source de radiation

La lampe a cathode creuse est constitué d'une cathode composée de l'élément à analyser lui-même que l'on veut doser et qui fournit lors de son excitation électrique, un spectre d'émission spécifique de l'élément à doser.

- Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres

### ○ Système Flamme (Bruleur)

Les échantillons doivent être en solution. Il y a d'abord nébulisation (dispersion en un fin brouillard du liquide à analyser) à l'aide d'un nébuliseur pneumatique puis atomisation (dissociation en atomes du composé chimique introduit) à l'aide d'une flamme obtenue par combustion grâce aux combustibles soit l'Air -Acétylène ou le Protoxyde d'azote - Acétylène.

### ○ Système Électrothermique (Four graphite)

Un volume connu de la solution (quelques microlitres) à analyser est introduit via un capillaire dans un tube en graphite (Four) par injection automatique du robot et maintenu dans une atmosphère inerte. Le tube est porté ensuite à de très hautes températures (2000-2800°C), selon un programme de chauffage thermique comportant les étapes suivantes:

- Séchage.
- Minéralisation.
- Atomisation.
- Nettoyage.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

L'absorption atomique électrothermique est 100 à 1000 fois plus sensible que la flamme. Elle est utilisée notamment pour la détermination de concentration très faible (traces).

- Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation

o Monochromateur

Le monochromateur a un pouvoir de résolution important. Il sélectionne la rare la plus intense du spectre de l'élément à analyser.

o Détecteur

Le détecteur et le photomultiplicateur convertissent la lumière en signal électrique.

### \*Limites de la technique

Pour des raisons technologiques et non de principes, certains éléments, comme les gaz rares, les halogènes... ne peuvent être analysés par spectrométrie, leur énergie d'absorption n'étant pas comprise entre 180 et 1000 nm. Les concentrations doivent être à l'échelle de traces afin de rester dans le domaine de linéarité de la loi de Beer-Lambert, car sa dynamique est limitée.

### \*Interférence

L'analyse d'un composé peut être perturbée par deux types d'interférences :

- **Chimique** : C'est une des interférences les plus courantes, elle est due au fait que certains sels métalliques sont difficiles à atomiser, ou qu'ils forment des composés peu volatils qui sont également difficiles à atomiser. Ce qui aura pour effet de réduire la vitesse d'atomisation ainsi que l'intensité du signal.

Pour corriger ce problème il faudrait travailler à une température plus élevée ou ajouter un complexant à l'échantillon.

- **Spectrale**: Cette interférence est due à la présence de particules solides qui diffusent le rayonnement de la lumière incidente dans l'atomiseur mais également à cause de la présence de produits de combustion, dont les bandes d'absorption sont larges. Ce qui a pour effet de diminuer l'intensité du signal.

Pour corriger ce problème il faudrait changer la composition du comburant ou du combustible.

### \*Étalonnage

L'étalonnage doit être réalisé très soigneusement, dans un domaine de concentration où la loi de Beer Lambert est respectée (**Voir tableau III.5**).

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.

**Tableau III.5:** concentration des solutions standards utilisées

Métaux	Concentration en		
	µg/ml		
	S1	S2	S3
Hg	5	10	15
Zn	1000	2000	3000

## Chapitre 3: matériel et méthodes

### ❖ Calcul des concentrations des métaux lourds

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

$$\mathbf{D.O = aC + b} \quad \text{.....( III.6)}$$

Quand cette équation est définie (valeur de a (pente de la droite) et de 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 :

$$\mathbf{[C]_F = \frac{[C]_{\text{éch}} - [C]_{\text{blanc}}}{P} * V} \quad \text{.....( III.7)}$$

**[C]<sub>F</sub>** : Concentration finale du métal exprimée en (µg/g).

**[C]<sub>éch</sub>** : Concentration de l'échantillon donnée par l'équation de la droite d'étalonnage exprimée en (µg/ml).

**[C]<sub>blanc</sub>** : 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 solution standard, préparées au moment de l'analyse pour chaque élément à partir d'une solution mère à 1 g/l.

### ❖ Indice de contamination

L'indice de contamination (**IC**) est calculé en fonction des différentes mesures pour cerner le niveau de contamination du sédiment ainsi que le devenir des produits de dragage marin.

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

**Tableau III.6:** Concentrations normales des métaux lourds dans le sédiment selon les normes Algériennes, Françaises (µg/g) (**Belkessa R., 2005**).

Métaux \ Norme	Hg	Pb	Cd	Cr	Zn
Algérienne	<b>1,5</b>	<b>250</b>	<b>2</b>	<b>250</b>	<b>500</b>
Française	<b>0,2</b>	<b>22</b>	<b>0,6</b>	<b>/</b>	<b>80</b>

## Chapitre 3: matériel et méthodes

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

$$IC = \frac{\text{concentration observée}}{\text{concentration normale}} \dots\dots\dots(III.8)$$

**Tableau III.7:** Valeurs de l'indice de contamination IC (Alzieu C et al, 1999).

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

### d. Les hydrocarbures

#### 1. 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).

#### 2. 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

## Chapitre 3: matériel et méthodes

- Les solvants liquides

**Tableau III.8:** Référence des solvants chimiques et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures.

Produit chimique	Mode d'utilisation
Hexane ( $C_6H_{14}$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Conditionnement du matériel.</li><li>▪ Extraction des cartouches.</li><li>▪ Purification sur la colonne chromatographique.</li></ul>
Dichlorométhane ( $CH_2Cl_2$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Extraction des cartouches</li><li>▪ Purification sur la colonne chromatographique.</li></ul>
Acétone ( $C_3H_6O$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Conditionnement du matériel.</li></ul>

- Les produits chimiques solides

**Tableau III.9:** Référence des produits chimiques solides et leur mode d'utilisation pour les hydrocarbures

Produit chimique	Mode d'utilisation
Alumine ( $Al_2O_3$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Purification sur la colonne chromatographique.</li></ul>
Gel de silice ( $SiOH_4$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Purification sur la colonne chromatographique.</li></ul>
Laine de verre	<ul style="list-style-type: none"><li>• Purification sur la colonne chromatographique.</li></ul>
Sulfate de Sodium anhydre ( $Na_2SO_4$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Absorber les traces d'eau</li></ul>
Mercure (Hg)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Élimination des produits soufrés</li></ul>
Chrysene ( $C_{18}H_{12}$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Préparation des standards</li></ul>

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

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

### 3. Mode opératoire

#### ➤ Conditionnement des matériels

Tout matériel utilisé doit être conditionné avant son utilisation, afin d'éviter tout risque et source de contaminations, le protocole établi par (UNEP, CIO, IAEA, 1995) pour le conditionnement des matériels est comme suit :

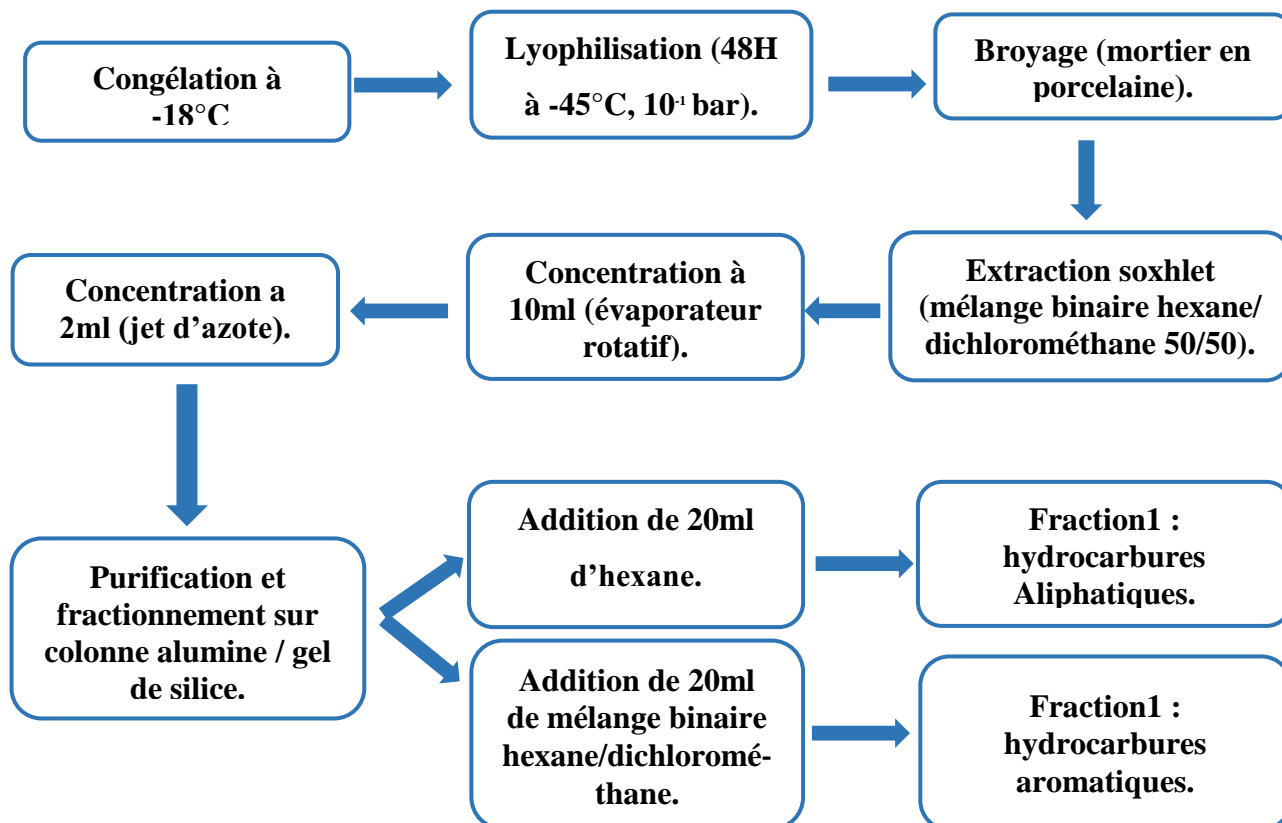
- Nettoyage au détergent.
- Rinçage à l'eau chaude.
- Rinçage à l'eau distillée.
- Séchage à l'étuve à 70 °C pendant 2 heures.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

- 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

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



**Figure III.4:** Schéma récapitulatif des étapes du traitement des sédiments pour les hydrocarbures.

### ➤ Lyophilisation

Cette étape se repose à mettre les échantillons congelés dans le lyophilisateur pendant 48 h à -50 °C et sous pression de 10<sup>-1</sup>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.
- Conditionnement avec l'acétone puis l'hexane.
- Deuxième séchage à l'étuve.

### ➤ L'extraction des hydrocarbures

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

## Chapitre 3: matériel et méthodes

---

- Peser 5g de sédiment lyophilisé et homogénéisé, et le mettre dans la cartouche en cellulose.
- Mettre 1 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 des extraits et traitement au mercure
  - À la fin de l'extraction, récupérer le volume extrait et le concentrer à l'évaporateur rotatif jusqu'à atteindre un volume de 10 ml. À 40 °C et 1,5 *bar* afin d'éliminer le maximum de solvants extrait de l'opération précédente.
  - Mettre le volume récupéré dans des tubes à essais.
  - Traiter l'échantillon par le mercure en ajoutant quelques gouttes de mercure sous hotte à flux laminaire, afin d'éliminer les éléments soufrés, car leurs présence interfère lors de l'analyse des hydrocarbures.
- Agiter après chaque addition du mercure à l'échantillon, et attendre quelques minutes pour que le mercure piège le soufre se décante. Récupérer le surnageant sans toucher le fond du tube à essai à l'aide d'une pipette munie d'une pro pipette.
- Répéter la manipulation jusqu'à ce que le trouble noir des éléments soufrés disparaisse et le mercure se remet à sa couleur d'origine.
- Concentrer le reste de l'échantillon sous jet d'azote, pour éliminer toute trace d'hexane
- jusqu'à atteindre un volume de 2 ml.
- Fractionnement et Purification
  - 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.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

---

- 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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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 aliphatique
  - Introduire l'échantillon dans la colonne après agitation.
  - Ajouter 20 ml d'hexane.
  - Récupérer la première phase qui est la fraction aliphatique dans des flacons en verre
  - conditionnés au préalable d'une contenance de 25 ml. Et les fermés avec un bouchon séparé par du papier aluminium et enroulé avec du téflon.
  - Conserver les flacons au frais.
  - 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.

### 4. Analyse des HAP par spectrofluorimètre ultraviolet

#### ➤ Principe de la SFUV

La SFUV mesure l'émission de la fluorescence des molécules soumises à un rayonnement d'excitation ultra-violet. Cette technique d'analyse nécessite des radiations électromagnétiques comprises entre 200 et 400 nm dont l'énergie est élevée.

Elle ne s'applique pas aux liaisons de covalence C-H (les hydrocarbures aliphatiques) mais elle s'applique aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées (Les hydrocarbures aromatiques/poly aromatiques).

La SFUV est une technique d'analyse appliquée et préconisée par le **C.O.I (1984)** pour la surveillance de la pollution des hydrocarbures en mer. La fluorescence représente un excellent indice de présence pollution pétrolière du fait des très faibles teneurs en hydrocarbures biogènes dans le milieu marin. (**Bodennec et al, 1983**).

La fluorescence est un phénomène qui se produit en deux phases :

- L'excitation

Dans cette phase la molécule passe de son état électronique fondamental vers un état excité. L'ensemble des transitions électroniques constitue le spectre d'excitation.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

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

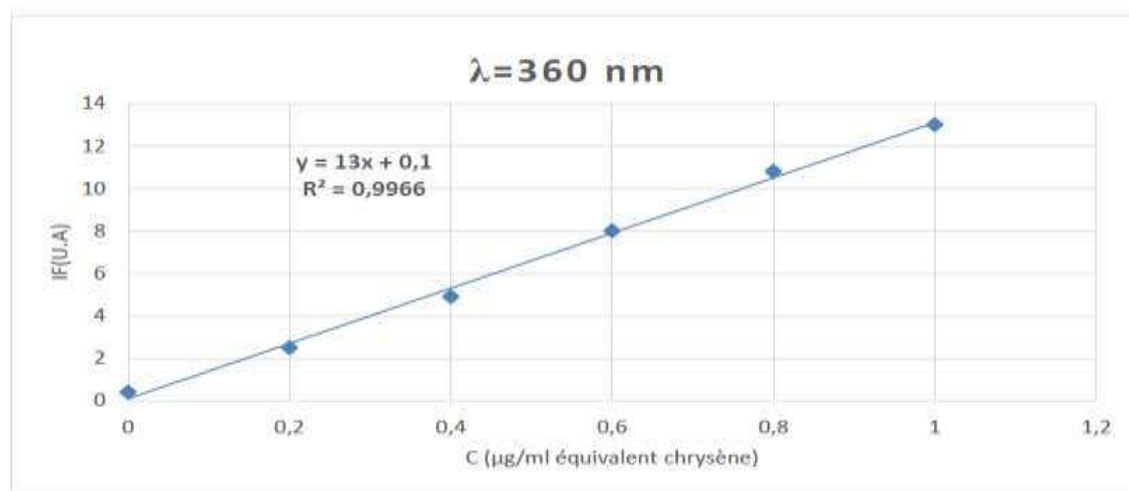
La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence, celui préconisé dans cette méthode est le chrysène.

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

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

**Tableau III.10:** 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 III.5:** Droite d'étalonnage des standards en équivalent du chrysène.

## Chapitre 3: matériel et méthodes

Les lectures sont faites à partir des conditions opératoires suivantes :

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

### 5. 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 :

$$\alpha = [C] / U.A \quad \dots\dots\dots(III.9)$$

$\alpha$  : 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:

$$[C](\mu\text{g/g}) = [(C)_{\text{éch}} - (C)_{\text{blanc}}] * V_{\text{Purifié}} / P \quad \dots\dots\dots(III.12)$$

$C$  : 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).

### e. Les peuplements benthiques

#### 1. Tamisage, tri et détermination

##### ➤ Le tamisage

Le contenu du bocal est versé sur un tamis d'un millimètre de diamètre puis le mis sous un jet d'eau pour éliminer le formol ainsi que le surplus de sédiment.

##### ➤ Le tri

Le refus du tamis est versé dans un bac à fond blanc avec une petite quantité d'eau. Le tri consiste à recueillir les différentes espèces macrobenthiques à l'aide d'une pince et de séparer selon leurs groupes zoologique.

##### ➤ La détermination

La détermination est effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire pour les grands individus et au microscope photonique pour les plus petits et pour certains détails.

---

# RÉSULTATS ET DISCUSSION

---

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

Après avoir expliqué en détail les différentes méthodes et procédés utilisés lors de cette étude, nous passons à l'expression des résultats obtenus des différentes analyses effectuées sur le sédiment superficiel du port de Bejaia. Pour la représentation des résultats nous avons élaboré des cartes à l'aide d'un outil du système d'information géographique Arcgis version 10.2.

### IV.1 Les paramètres physico-chimiques

#### IV.1.1 Le potentiel hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire in Aminot & Kérouel, 2004. En théorie, le pH est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion  $\text{H}^+$ , le pH dépend de la teneur en dioxyde de carbone ; c'est-à-dire une modification du pH.

En ce qui concerne les stations de notre zone d'étude, le pH est pratiquement constant sur l'ensemble de la zone.

À l'intérieur du port (arrière port) : la valeur moyenne du pH est de 7.9964

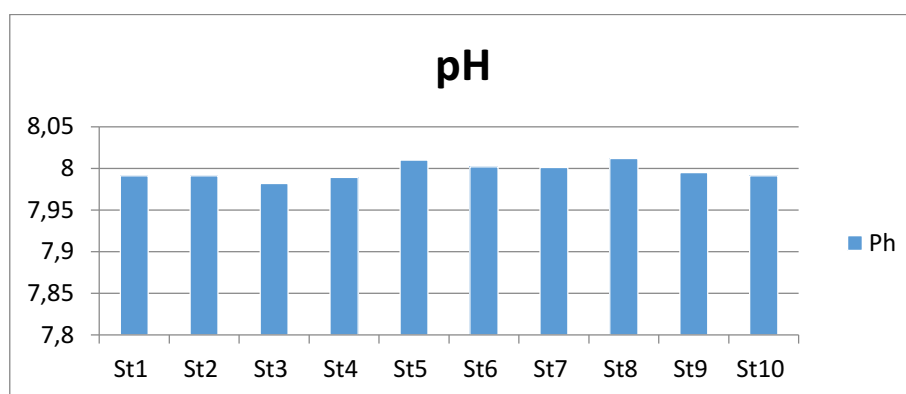


Figure IV.1: Variation du potentiel hydrogène (pH) au niveau du port de Bejaia.

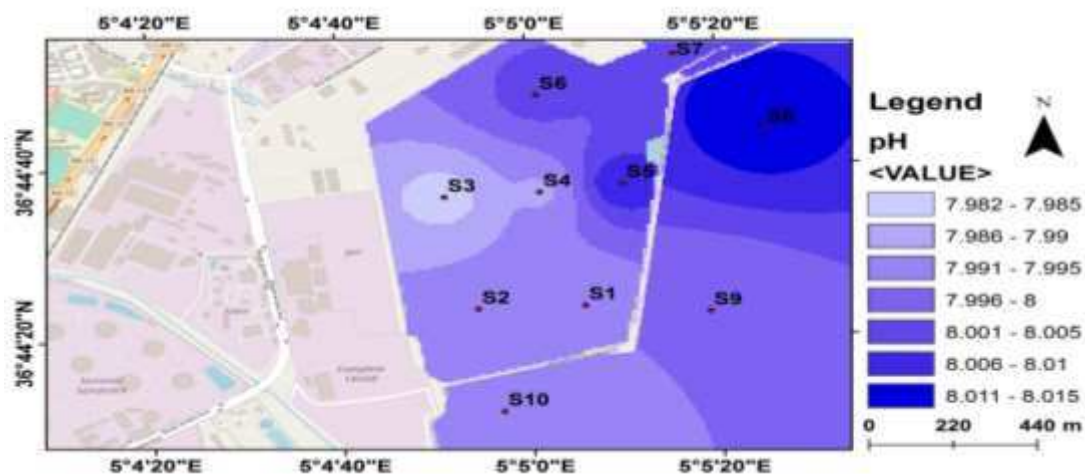
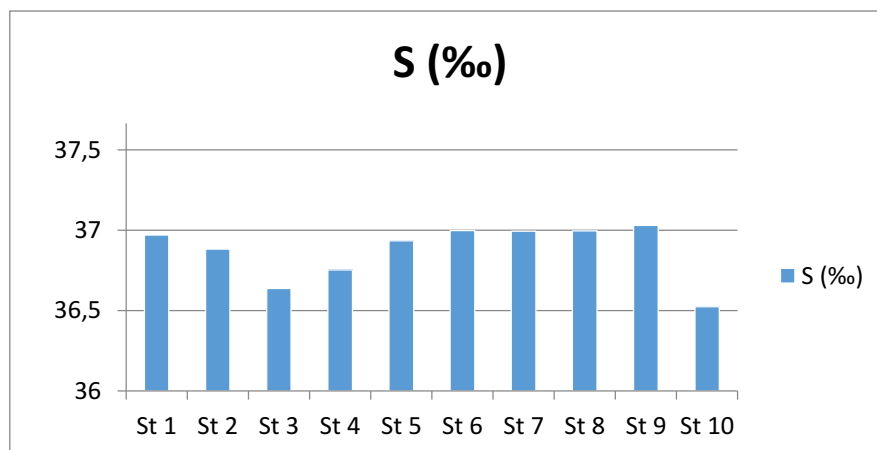


Figure IV.2: Carte de la répartition du potentiel hydrogène (pH) dans le port de Bejaia

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

### IV.1.2 La Salinité (PSU)

La salinité est importante dans le milieu marin, par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires. La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, **in Aminot & Kérouel, 2004**, elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eau (bon tracteur du mélange des eaux).



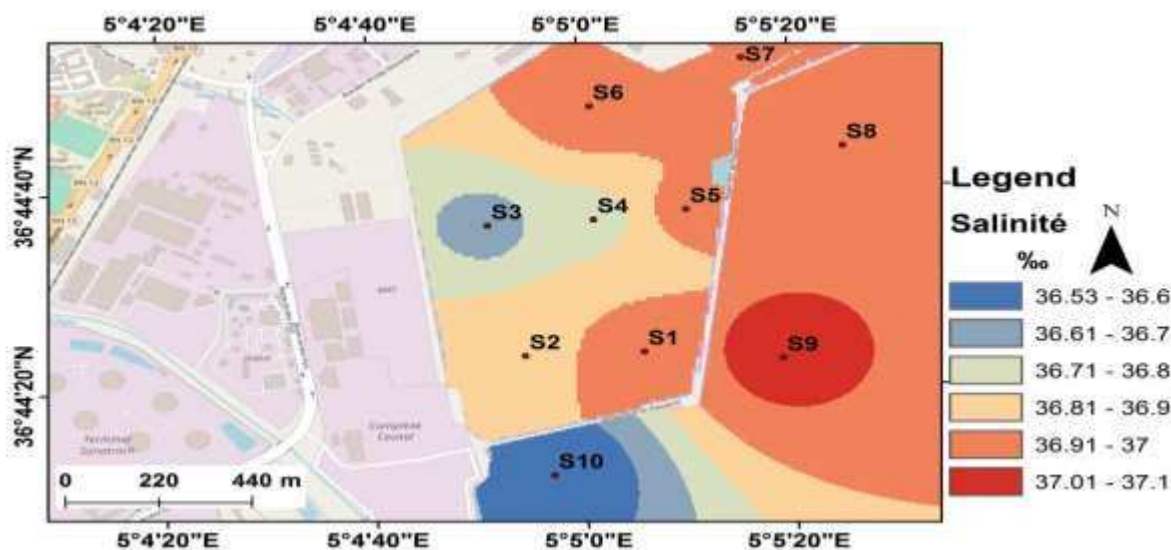
**Figure IV.3 :** Variation de salinité au niveau du port de Bejaia.

Les valeurs de la salinité des eaux de surface du port de Bejaia se situent entre 36.525 PSU (Station 10) et 37.031 PSU (Station 9) avec une moyenne de 36.8725 PSU (**Voir figure IV.3**).

Selon **Taleb (1970)**, la salinité des eaux de l'océan atlantique est comprise entre 36 et 36.9 PSU, et en méditerranée, elle est comprise entre 37.8 et 39.39 PSU.

Les valeurs obtenues sont relativement faibles, ceci ne peut être que l'empreinte des eaux douces provenant des rejets de différentes sources qui déversent dans le port.

La valeur la plus faible s'observe au niveau de la station (St10), résultante des rejets d'eaux des oueds (Oued Seghir et Oued Soummam) et les eaux de ruissèlement.



**Figure IV.4:** Carte de la répartition de la salinité (PSU) dans le port de Bejaia

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

### IV.1.3 La température (T°C)

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud G., 1968).

Elle correspond à un élément fondamental en océanographie. Ce facteur conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers. Sa variation dépend de la température atmosphérique et du mélange des masses d'eau.

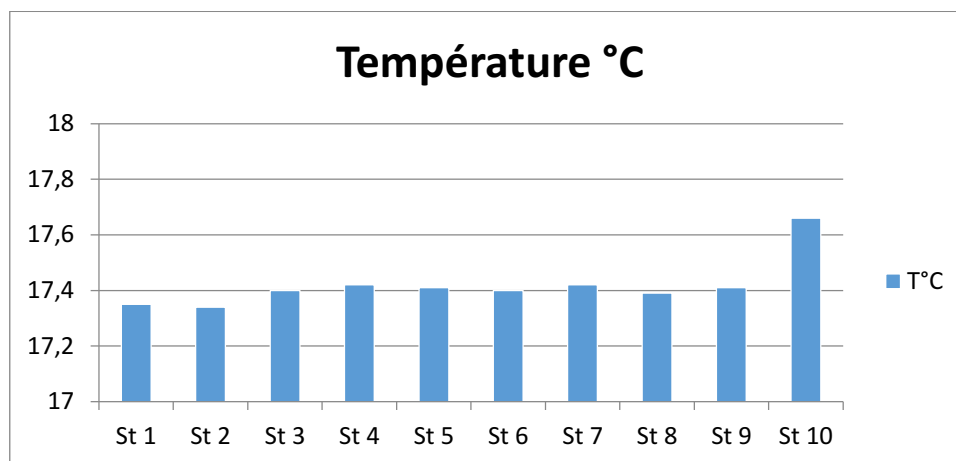


Figure IV.5: Variation de la température au niveau du port de Bejaia.

Au niveau du port de Bejaia (Voir figure IV.5), les valeurs de la température varient de 17.34 °C (station 02) à 17.66°C au niveau de la (station 10) avec une moyenne de 17.42 °C.

Nous remarquons que la température des eaux de la partie Ouest au niveau de la station 10 (Près du port et en face d'Oued de Soummam) 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 (Rouibah M et al, 2005).

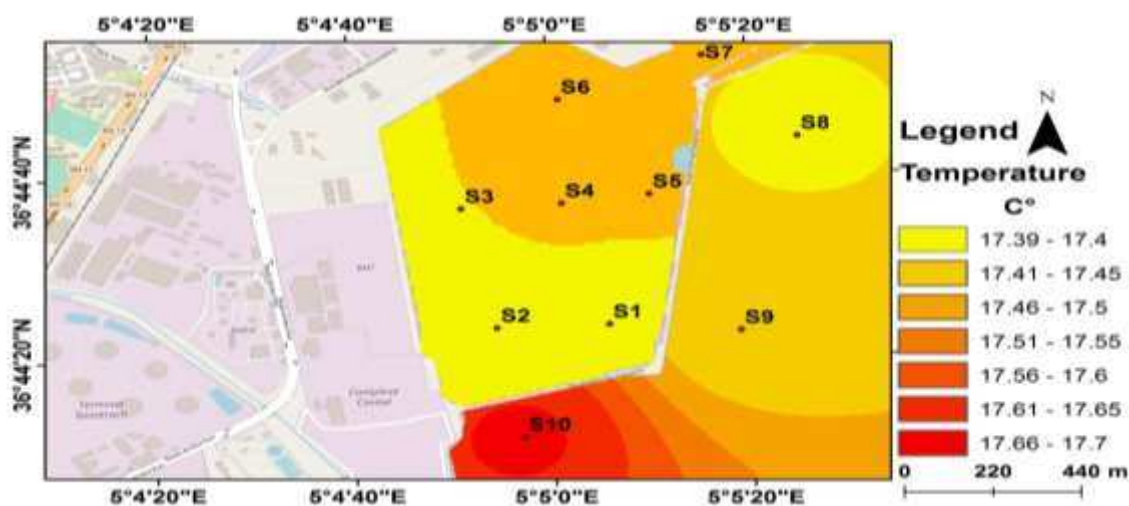


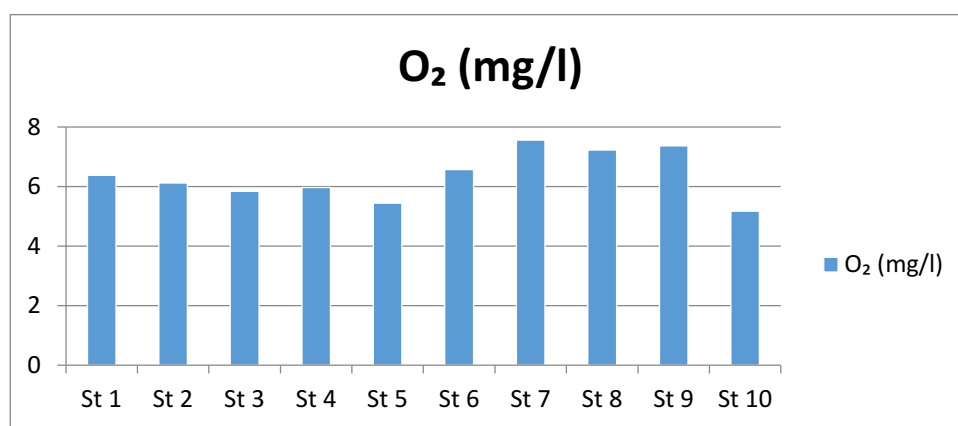
Figure IV.6: Carte de la répartition de la température (°C) dans le port de Bejaia.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

### IV.1.4 L'oxygène dissout (O<sub>2</sub>)

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

La variation de l'oxygène dissout le long de la colonne d'eau côtière n'est pas similaire à celle d'une colonne d'eau au large. Car, en effet, en plus de l'échange air-mer et de la photosynthèse, la variation de l'oxygène dissout dépend aussi de son utilisation pour l'oxydation de la matière organique à partir d'une certaine profondeur le long de la colonne d'eau de mer.

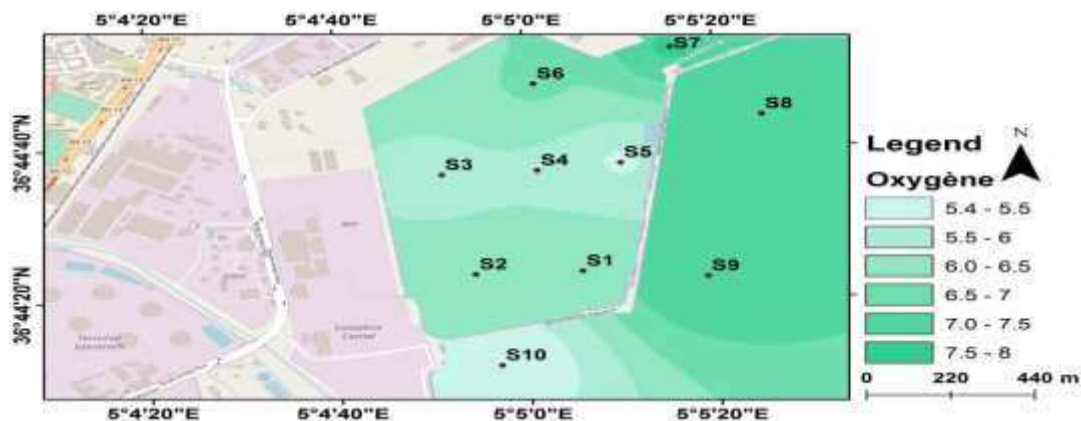


**Figure IV.7:** Variation de l'oxygène au niveau du port de Bejaia.

Les concentrations de l'oxygène dissout varient entre 5,167 mg/l et 7,553 mg/g avec une moyenne de 6,357.

Une eau très aérée et pauvre en matière organique, est généralement sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée (Boudraa W., 2014).

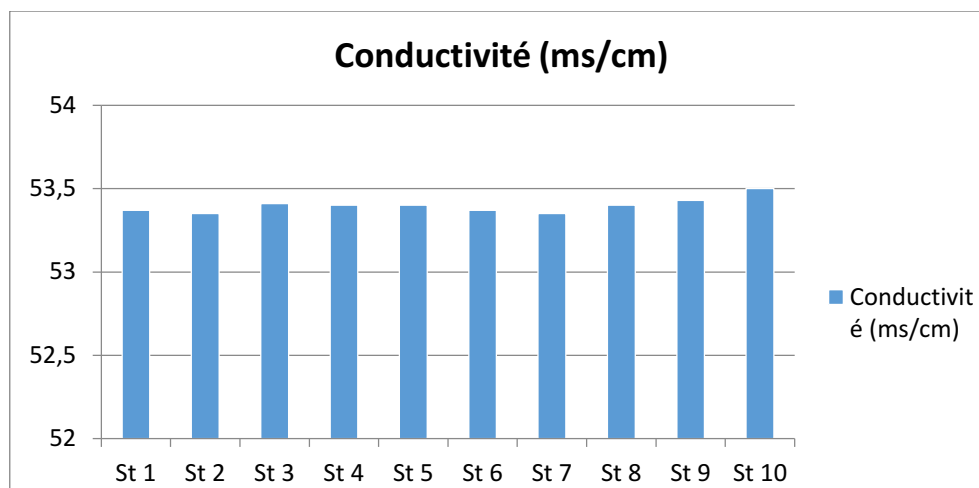
C'est le cas des teneurs faibles enregistrées au niveau des stations (St3, St4 et St5) du bassin arrière port qui indiquent une intense consommation d'oxygène par le processus de dégradation de la matière organique issue des rejets des eaux usées.



**Figure IV.8:** Carte de la répartition de l'oxygène dissout (O<sub>2</sub>) dans le port de Bejaia

### VI.1.5 La Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Rodier, 2005). La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous (In Aminot & Kérouvel, 2004), du fait qu'elle permet d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau.



**Figure IV.9:** Variation de la conductivité au niveau du port de Bejaia

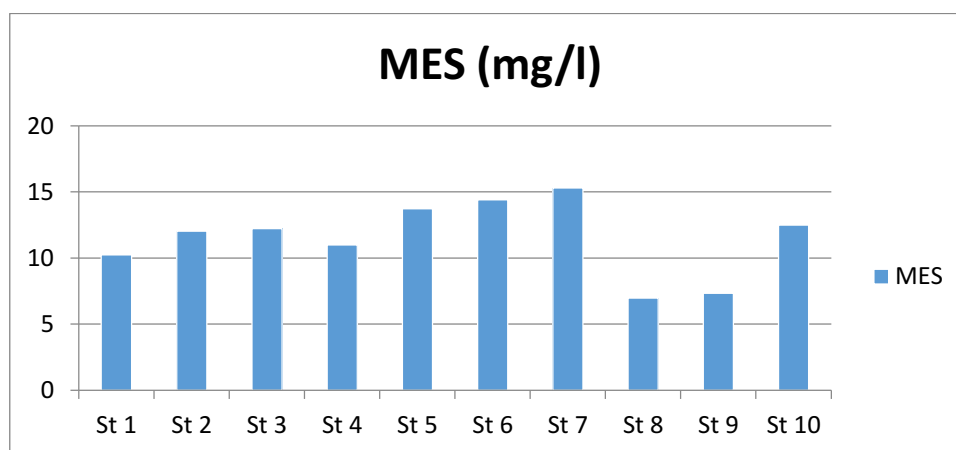
Les valeurs moyennes de la conductivité à l'intérieur du port (arrière port) sont 53.398ms/cm.

Nous remarquons que les valeurs de la conductivité sont pratiquement constantes dans l'ensemble de la zone d'étude.

## IV.2 Les paramètres de pollution organique

### IV.2.1 La matière en suspension (MES)

Les teneurs en matière en suspension déterminées dans les eaux intermédiaires du port de Bejaia sont comprises entre 6.98 mg/l et 15.3 mg/l. La moyenne est de 11.517 mg/l.



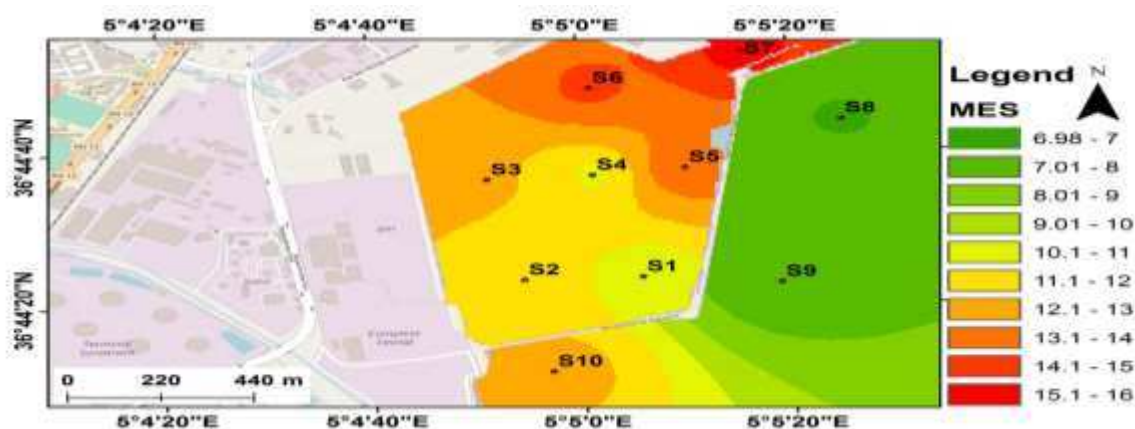
**Figure IV.10:** Variation de la matière en suspension (MES) au niveau du port de Bejaia.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

La valeur la plus faible se retrouve aux stations St08 et St09. À ce niveau, le brassage des eaux du large par les courants, la direction des vents et le trafic maritime intense aurait permis une meilleure dispersion du matériel particulaire en suspension.

Par contre, les valeurs les plus élevées sont présentes à l'intérieur du bassin. Plus précisément au niveau des stations St 02, St 03, St 05, St 06, St 07). Ces valeurs très élevées par rapport à celles des autres stations résulteraient d'un apport d'une quantité importante de matière en suspension, d'autre part les pluies de cette saison auraient entraîné de considérables:

- Apports terrigènes de l'oued Seghir. Ces apports auraient accentué l'envasement observé au débouché de l'oued Seghir dans le bassin arrière port. Selon **Caulet (1972)**, les apports terrigènes déversés par les oueds algériens sont généralement très fins et argileux.
- Rejets d'eaux usées domestiques usées.

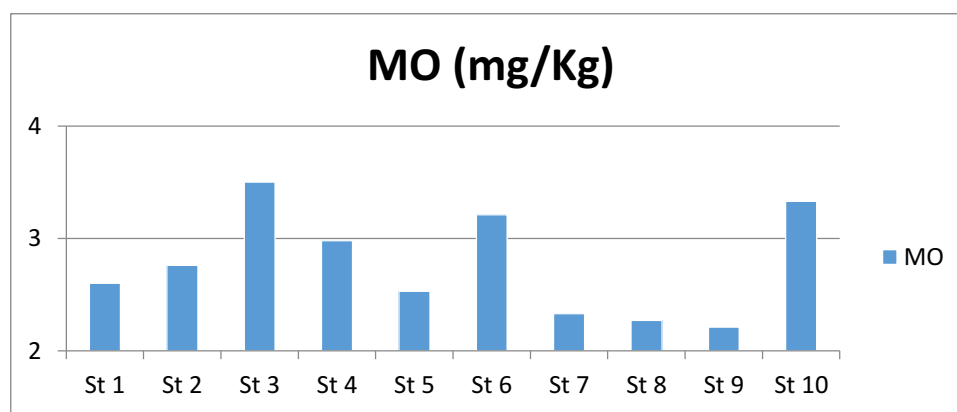


**Figure IV.11:** Carte de la répartition de la matière en suspension (MES) dans le port de Bejaia.

Ce paramètre intervient dans plusieurs processus, dont le transfert par décantation des métaux lourds et des hydrocarbures de la colonne d'eau vers le sédiment.

- ❖ Matières organiques.
- ❖ Les métaux lourds (Cr, Zn, Pb, Cd, Hg).
- ❖ Hydrocarbures totaux.

### IV.2.2 Matières Organiques



**Figure IV.12:** Variation de la matière organique au niveau du port de Bejaia

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

---

Dans le port les teneurs en matières organique varient entre 2.33 (Station 09) et 3.5 mg/Kg (Station 03) avec une moyenne 2.793. Ces teneurs restent faibles par rapport aux valeurs recommandées. Les taux de matière organique obtenus sont élevés, d'après **Chamley (1987)**, les teneurs dépassant 1 % sont considérées pour la mer Méditerranée comme très élevées.

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.

### IV.2.3 Résultats et interprétation de l'analyse des métaux lourds

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

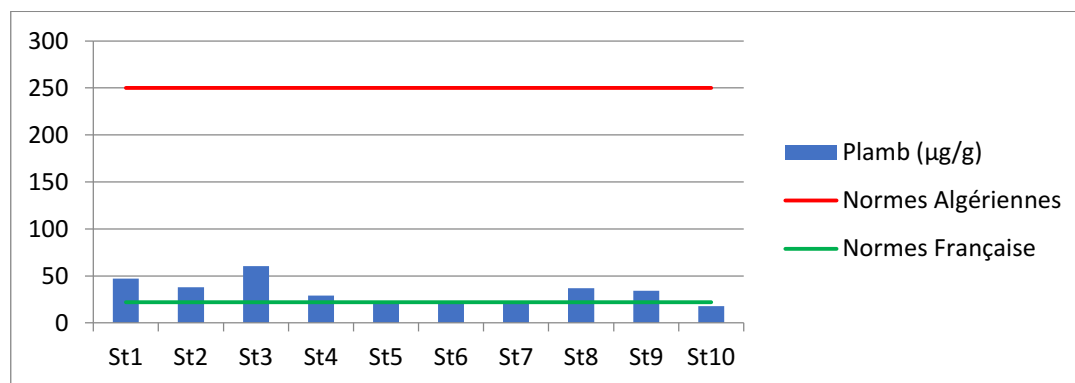
Les teneurs observées, de tous les éléments chimiques, sont inférieures aux valeurs seuils établies pour le niveau 1 (N1) du classement établi par le Groupe d'Étude et d'observation sur les Dragages et l'Environnement (GEODE) ; le niveau 1 correspond à des produits sans dangerosité, pouvant être éliminés en mer, sans étude complémentaire (jugés neutre ou négligeables). Le niveau 2 est susceptible d'interdiction, en particulier si elle ne constitue pas la solution la plus dommageable pour l'environnement marin par rapport à des solutions in situ ou terrestre.

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en métaux lourds sont en deçà des recommandations Algériennes au niveau du port.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

### a. Plomb

Le plomb est rarement disponible à l'état natif ; le plomb est présent dans de nombreux minerais, notamment la galène (PbS). Utilisé pour la fabrication d'accumulateurs et jusqu'à à quelques années comme antidétonant dans les carburants, il arrive majoritairement en milieu marin par les apports atmosphériques. Le plomb peut provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.



**Figure IV.13:** Variation des concentrations du plomb dans le sédiment du port de Bejaia.

Au niveau du port les teneurs sont comprises entre 17.99 et 60.44. µg/g avec une concentration moyenne 32.943 µg/g.

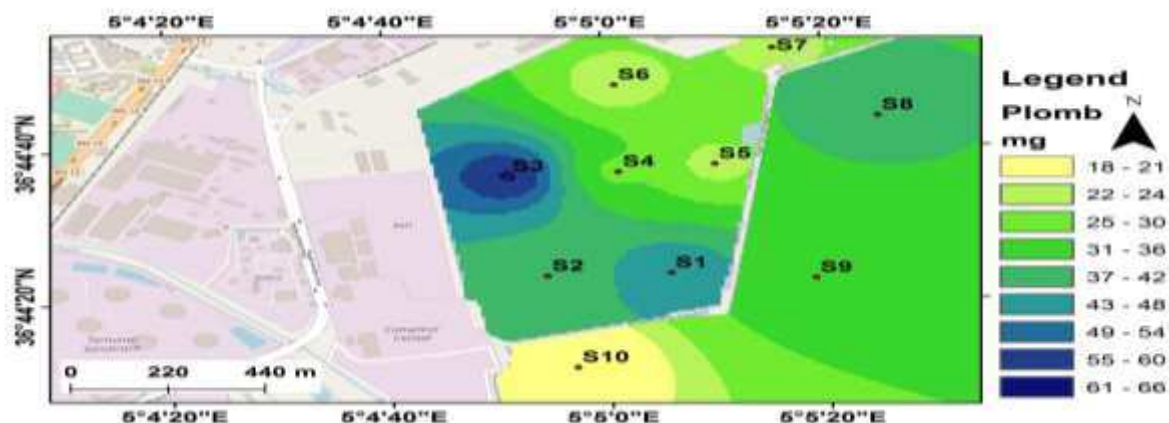
Les valeurs les plus élevées s'observent au niveau de la station (St 03) et la station (St 01), cela due aux rejets exploités par l'ERENAV qui dispose d'un ensemble d'ateliers de réparation naval au niveau du dock flottant, ainsi la détérioration de la peinture à base de plomb recouvrant les surfaces 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.

Ce métal présente des teneurs inférieures aux normes algériennes (250 µg/g PS), tandis que pour les normes françaises (22 µg/g PS), les teneurs sont largement supérieures.

#### • Indice de contamination

Selon les normes algériennes (250µg/g) les teneurs en Plomb au niveau des stations couvrant la zone de dragage (arrière port) présentent des valeurs inférieures par rapport au seuil recommandé ; pour les indices de contamination nous remarquons que ils sont tous largement inférieures à 3 Au regard de l'ensemble des résultats, il s'avère que les sédiments ne sont pas contaminés.

Selon les normes françaises (22µg/g) au niveau de l'arrière port les teneurs en plomb dans les stations (St 01, St 02, St 03, St 04, St 08, St 09) dépassent le seuil recommandé, pour les indices de contamination nous remarquons qu'ils sont inférieurs à 3.

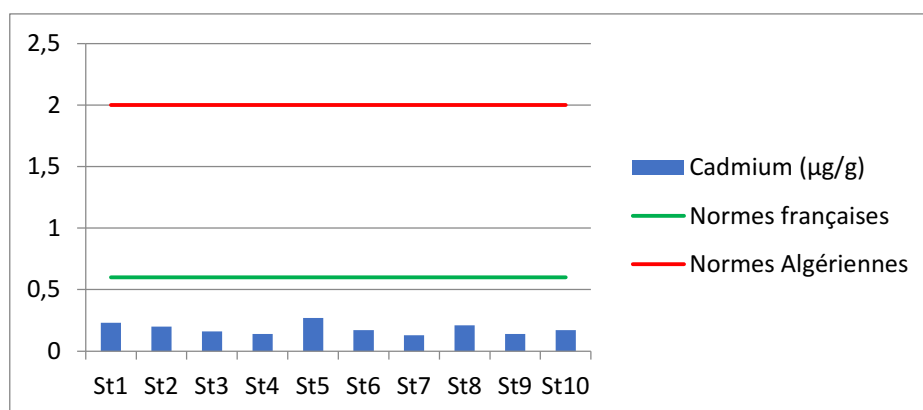


**Figure IV.14:** Carte de la répartition de la concentration du plomb dans le port de Bejaia.

### b. 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, en émaillerie 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 cadmium provoque en milieu marin des effets sur le développement larvaire de certains organismes notamment les crustacés.



**Figure IV.15:** Variation des concentrations du cadmium dans le sédiment du port de Bejaia.

Les valeurs de cadmium sont comprises entre un minimum de 0.13 µg/g et un maximum de 0.27 µg/g et avec une moyenne de 0.182 µg/g.

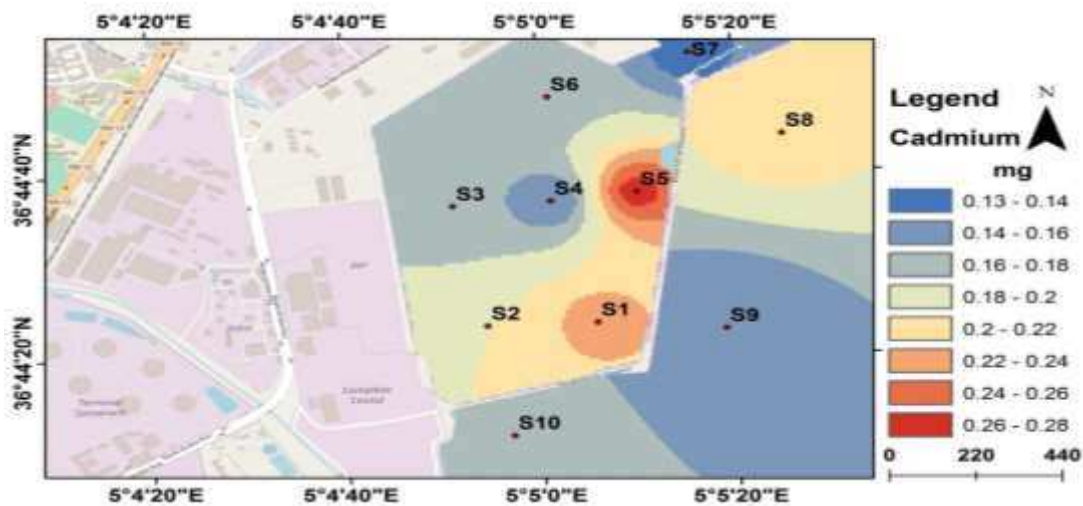
D'une manière générale, toutes les stations reflètent des concentrations assez faibles du cadmium qui ne dépassent pas les normes algériennes (2 µg/g PS) ainsi que les normes françaises (0,6 µg/g PS).

- **Indice de contamination**

Selon les normes françaises (0,6µg/g) dans le site de dragage les teneurs en cadmium ne dépassent pas le seuil recommandé, pour les indices de contamination ils sont inférieures à 3.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

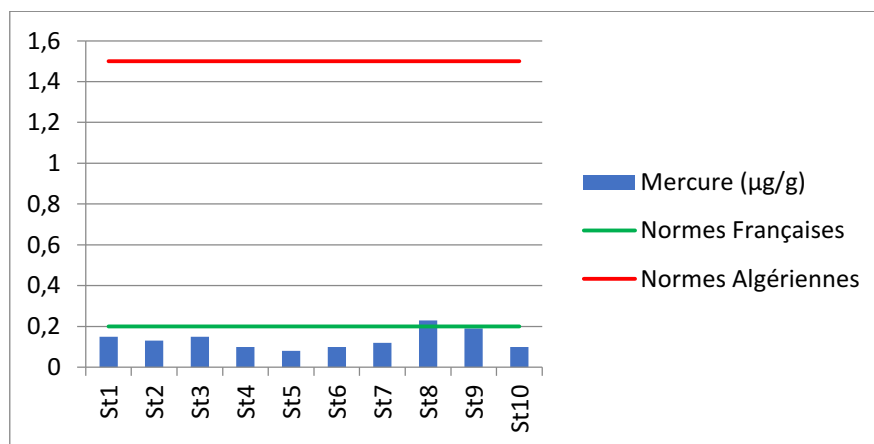
Selon les normes algériennes ( $2\mu\text{g/g}$ ) les teneurs en cadmium dans arrière port présentent des valeurs inférieures par rapport au seuil recommandé ; pour les indices de contamination nous remarquons qu'ils sont tous largement inférieures à 3 Au regard de l'ensemble des résultats, il s'avère que les sédiments ne sont pas contaminés.



**Figure IV.16:** Carte de la répartition de la concentration du cadmium dans le port de Bejaia.

### c. Mercure

Les composés du mercure connaissent de nombreux sources tels que : industrie chimique, agriculture, traitement du bois, explosif d'amorçage, piles ou batteries, plastic et caoutchoucs. Le mercure est le plus toxique des métaux traces plus particulièrement ses formes organiques. La croissance du plancton et des larves de bivalves est retardée à de très faibles concentrations.



**Figure IV.17:** Variation des concentrations du mercure dans le sédiment du port de Bejaia.

Les valeurs en mercure sont comprises entre un minimum de  $0,08\mu\text{g/g}$ . (Station 05) et un maximum de  $0,23\mu\text{g/g}$  (Station 08) avec une moyenne de  $0,135\mu\text{g/g}$ .

La concentration maximale est constatée au niveau de la station 08.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

En outre, l'usure et la dissolution des peintures marines des bateaux (Antisalissures) qui sont à base de mercure contribueraient à l'enrichissement de cette station en ce métal. Par ailleurs, des apports par voie atmosphérique de rejets de la zone industrielle ne sont pas à exclure.

Pour les stations localisées à l'intérieur du port commercial (bassin arrière-port), la concentration obtenue résulterait :

- Des travaux de l'Entreprise Nationale de Réparations Navales (ERENAV) située au niveau de ce bassin ainsi que les rejets en provenance du nouveau quai de ce même bassin.
- Des rejets d'eaux usées domestiques.
- La navigation.

### • Indice de contamination

Les teneurs en mercure qui sont faibles ne dépassent pas le seuil recommandé par les normes algériennes ( $1,5\mu\text{g/g}$ ), selon les normes françaises seule la teneur de mercure dans la station 1 dépasse légèrement le seuil recommandé ( $0,2\mu\text{g/g}$ ) alors que pour les autres stations les concentrations sont inférieures au seuil.

Pour les indices de contamination, selon les normes algériennes et françaises ils sont inférieurs à 3.

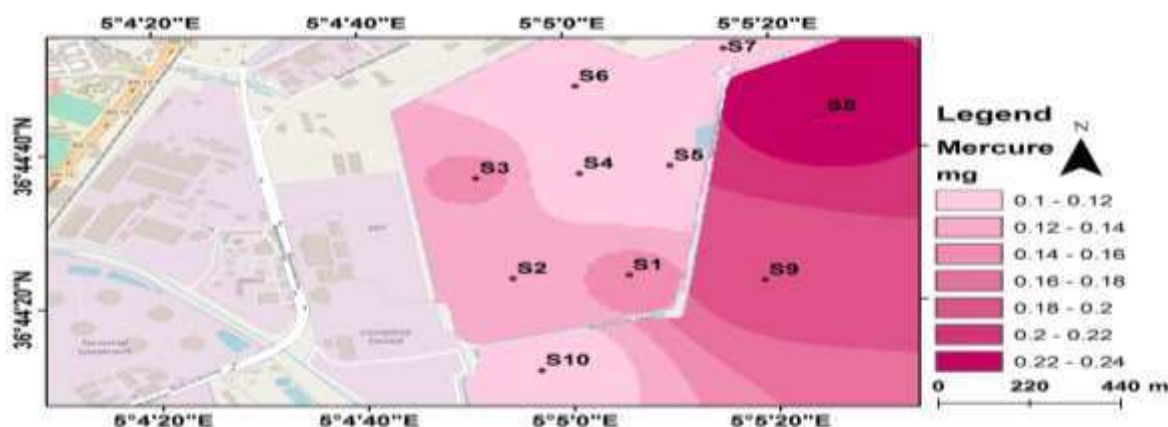
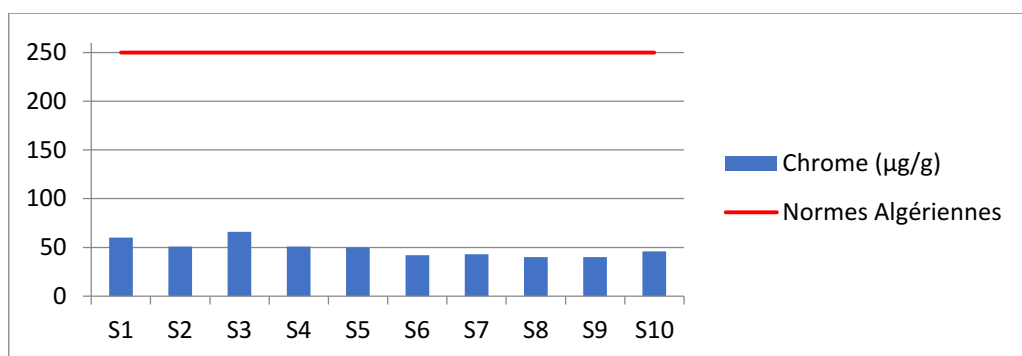


Figure IV.18: Carte de la répartition de la concentration du mercure dans le port de Bejaia.

### d. 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.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion



**Figure IV.19:** Variation des concentrations du chrome dans le sédiment du port de Bejaia.

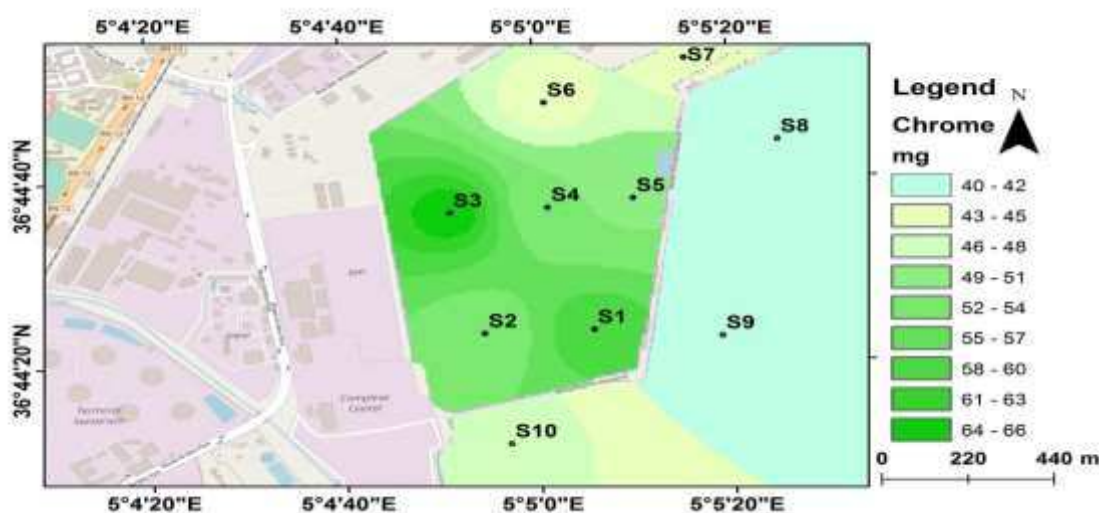
Les valeurs en chrome sont comprises entre un minimum de 40 µg/g. (Station 9) et un maximum de 66 µg/g (Station St 03) avec une moyenne de 48.91 µg/g. Les concentrations en Chrome déterminées dans ce bassin présentent des teneurs plus au moins élevées, cela est due à :

- Le chantier naval (ERENAV) (corrosion métallique, dissolution de peintures).
- 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.

### • Indice de contamination

Selon les normes algériennes (250 µg/g) les teneurs en chrome dans le site de dragage ne dépassent pas la norme recommandée,

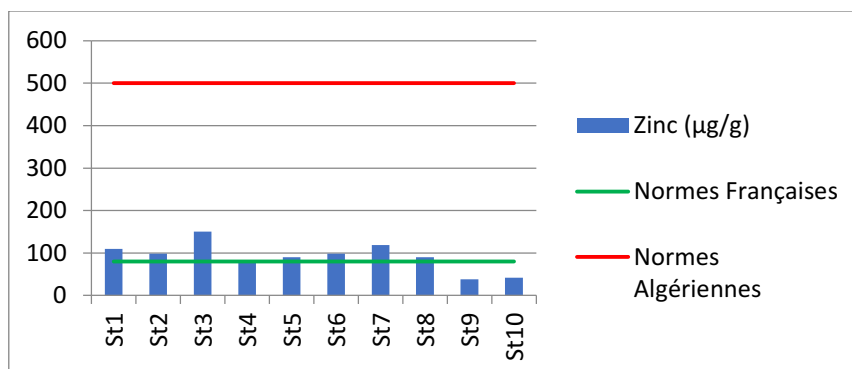
Pour les indices de contamination selon les normes algériennes ils sont inférieurs à 3 et donc les concentrations sont considérées normales.



**Figure IV.20:** Carte de la répartition de la concentration du chrome dans le port de Bejaia.

### e. 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, pour en assurer leur protection contre la corrosion. Au niveau du port les teneurs sont comprises entre 38 et 150  $\mu\text{g/g}$ .



**Figure IV.21:** Variation des concentrations du zinc dans le sédiment du port de Bejaia.

Les teneurs en zinc sont comprises entre un minimum de 38  $\mu\text{g/g}$  (stations St 09) et un maximum de 150  $\mu\text{g/g}$  (station St 03) avec une moyenne de 91.4  $\mu\text{g/g}$ .

Une grande partie des apports en zinc dans l'environnement est imputable à la métallurgie, la valeur extrême du zinc trouvée au niveau de la station (St 03) peut s'expliquer alors par la proximité de celle-ci aux :

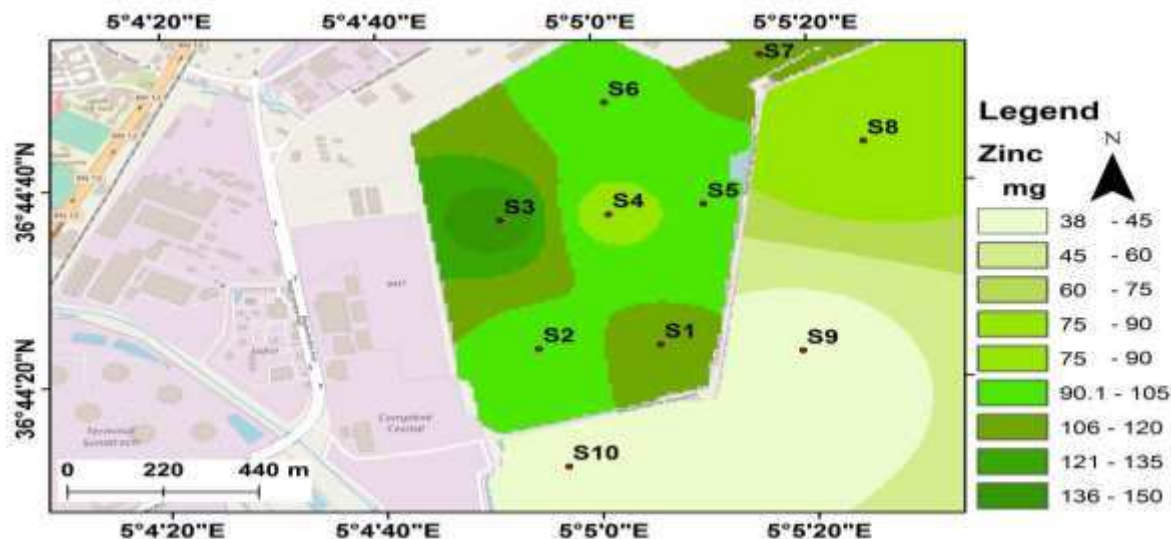
- Rejets des eaux résiduaires domestiques. Elles contiendraient du zinc issu du lessivage de peintures et de l'usure gouttières (Pihan *et al.*, 1987).
- Eaux pluviales de la zone portuaire.
- Précipitations atmosphériques (incinération de déchets de la zone industrielle et ménagers).
- La circulation maritime (dissolution des peintures marines).

La faible teneur retrouvée aux stations St 09 et St 10 correspondrait à une dilution. Ce processus résulterait du mélange des eaux du port probablement chargées en zinc avec celles du golfe moins chargées.

#### • Indice de contamination

Selon les normes françaises (80 $\mu\text{g/g}$ ) au niveau de l'arrière port les teneurs en Zinc dans les stations (St 01, St 02, St 03, St 05, St 06, St 07, St 08) sont supérieures au seuil recommandé, pour les indices de contamination elles sont inférieures à 3.

Selon les normes algériennes (500 $\mu\text{g/g}$ ) les teneurs en Zinc au niveau des stations de la zone de dragage présentent des valeurs inférieures par rapport au seuil recommandé ; pour les indices de contamination nous remarquons qu'elles sont tous largement inférieures à 3. Au regard de l'ensemble des résultats, il s'avère que les sédiments ne sont pas contaminés.



**Figure IV.22:** Carte de la répartition de la concentration du zinc dans le port de Bejaia.

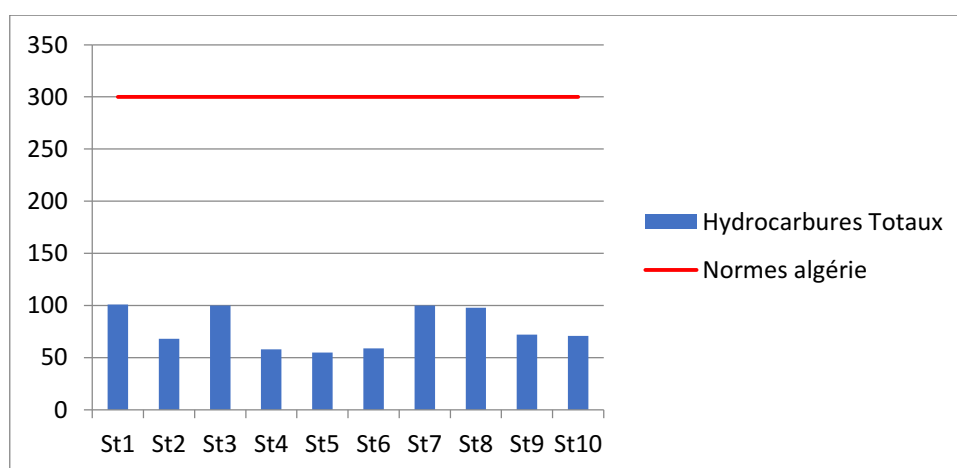
Les indices de contaminations par les métaux lourds (Cr, Zn, Pb, Cd, Hg) selon les normes Algériennes ne dépassent pas 3, donc notre zone d'études présente des concentrations normales.

### IV.2.4 Résultats et interprétation de l'analyse des Hydrocarbures

Parmi les hydrocarbures susceptibles d'être accumulé par les organismes, ce sont essentiellement les hydrocarbures aromatiques et leurs métabolites qui sont la cause principale des effets toxiques sur les espèces marines et les écosystèmes.

L'analyse de sédiments de l'arrière port de Bejaia par la méthode SFUV nous informe sur la concentration des hydrocarbures aromatiques.

Dix stations on fait l'objet de cette analyse, comme indique l'histogramme suivant :

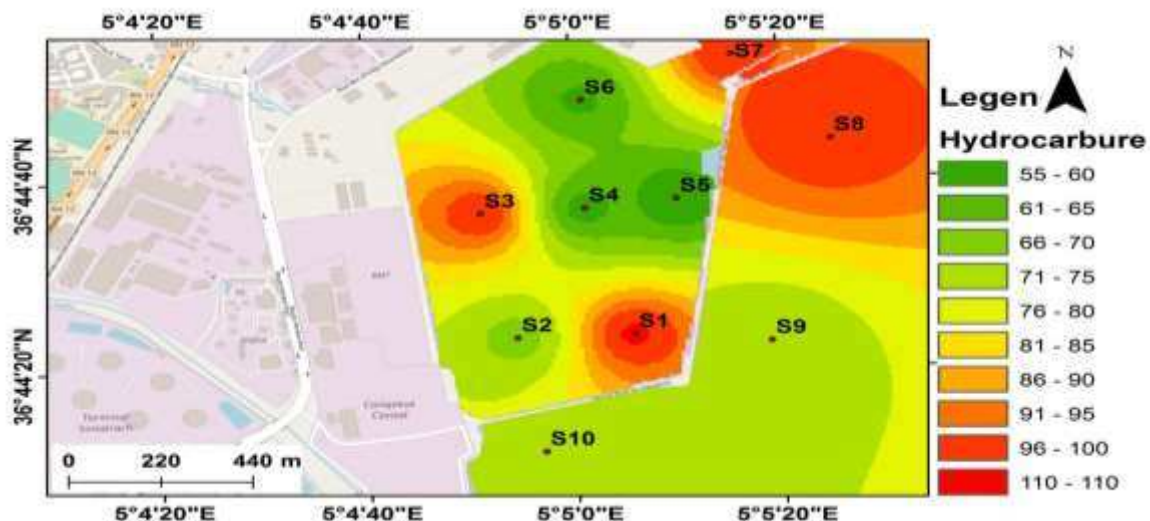


**Figure IV.23:** Variation des concentrations des hydrocarbures dans le sédiment du port de Bejaia.

Les concentrations en hydrocarbure obtenues sont presque identiques à l'intérieur du bassin ces concentrations provient probablement :

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

- Des rejets d'eaux usées.
- Du confinement du port.
- Du trafic portuaire.
- Du sédiment fin adsorbant au maximum les hydrocarbures.



**Figure IV.24:** Carte de la répartition des hydrocarbures dans le sédiment du port de Bejaia.

### IV.2.5 Résultats et interprétation de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans 10 stations au niveau de notre zone d'étude sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.1:** Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau de la zone d'étude.

Stations	Q 25 ( $\mu\text{m}$ )	Q 50 ( $\mu\text{m}$ )	Q 75 ( $\mu\text{m}$ )
S 1	62	90	152
S 2	64	100	180
S 3	66	121	201
S 4	65	120	215
S 5	62	99	179
S 6	60	90	170
S 7	61	93	151
S 8	75	135	275
S 9	60	90	140
S 10	60	92	150

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

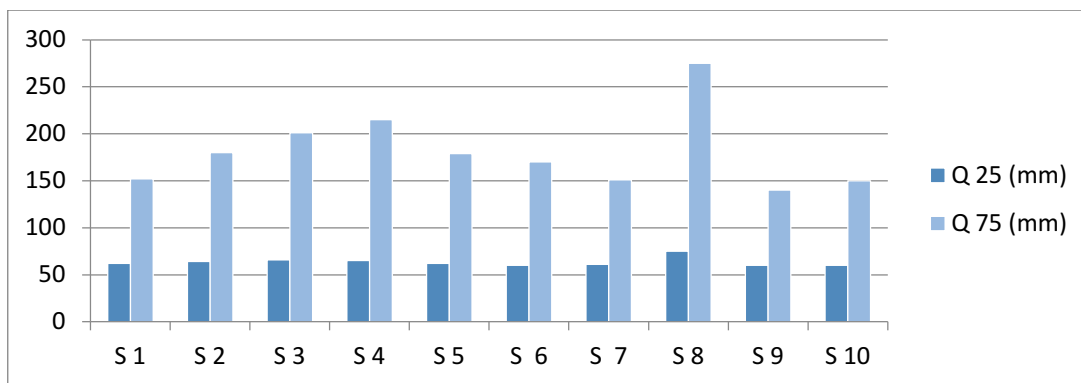


Figure IV.25: valeurs des indices granulométriques (Q25, Q75) selon les stations.

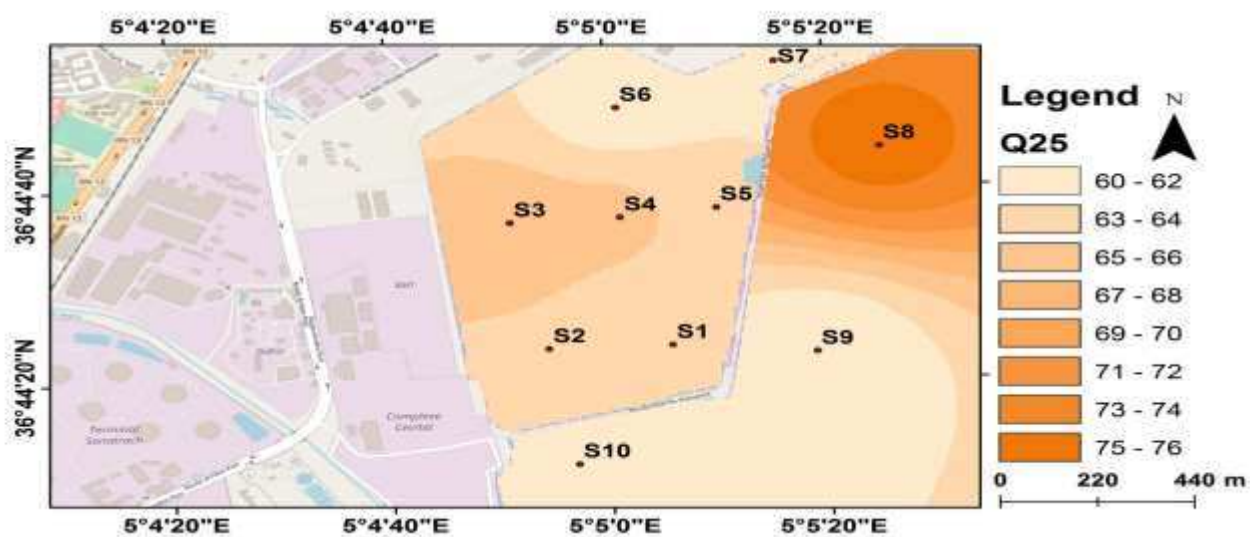


Figure IV.26: Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q25.

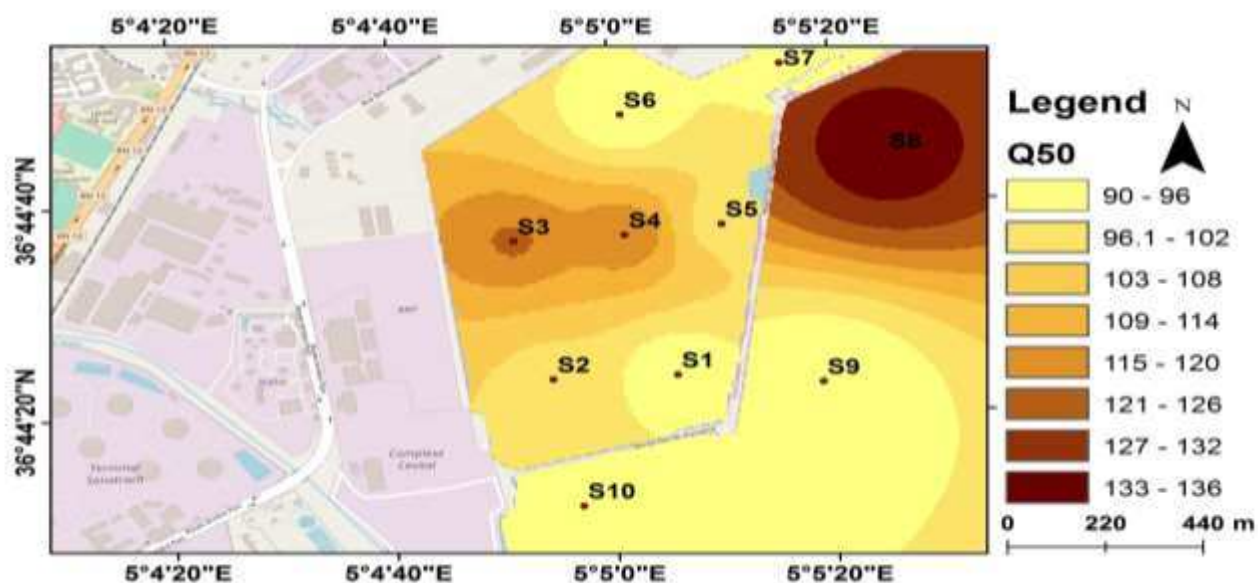
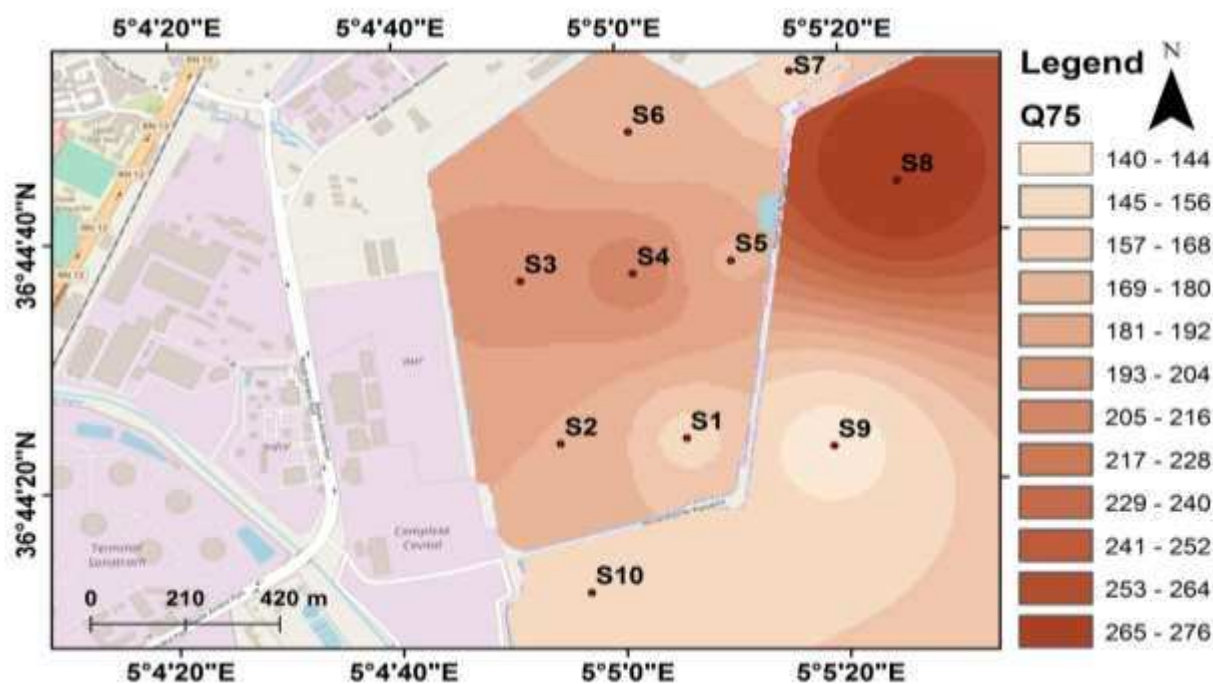


Figure IV.27: Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q50.



**Figure IV.28:** Carte de la répartition des valeurs de l'indice granulométrique Q75.

### Quartile Q25

les valeurs de Q25 varient entre 60  $\mu\text{m}$  (Station 06) et 75  $\mu\text{m}$  (Station 08), d'après la classification de Folk et Ward (1957), on trouve du sable fin, moyen, grossier et très grossier et la moyenne de Q25 est de 64  $\mu\text{m}$ , donc il ya prédominance du sable très fin.

### Quartile Q50

D'une façon générale, les sédiments sont relativement homogènes et la médiane varie entre 90  $\mu\text{m}$  (Station 01, 06, 09) et 135  $\mu\text{m}$  (Station 08), d'après la classification de Folk et Ward (1957), on trouve du sable moyen, du sable fin et très fin et la moyenne du Q50 est de 103  $\mu\text{m}$

### Quartile Q75

les valeurs de Q75 varient entre 140  $\mu\text{m}$  (Station 09) et 275  $\mu\text{m}$  (station 08), d'après la classification de Folk (1956), on trouve du sable fin, moyen, grossier, et du sable très grossier. La moyenne de Q75 est de 181  $\mu\text{m}$ , il ya donc prédominance du sable moyen.

### ➤ Aspect général des courbes granulométriques

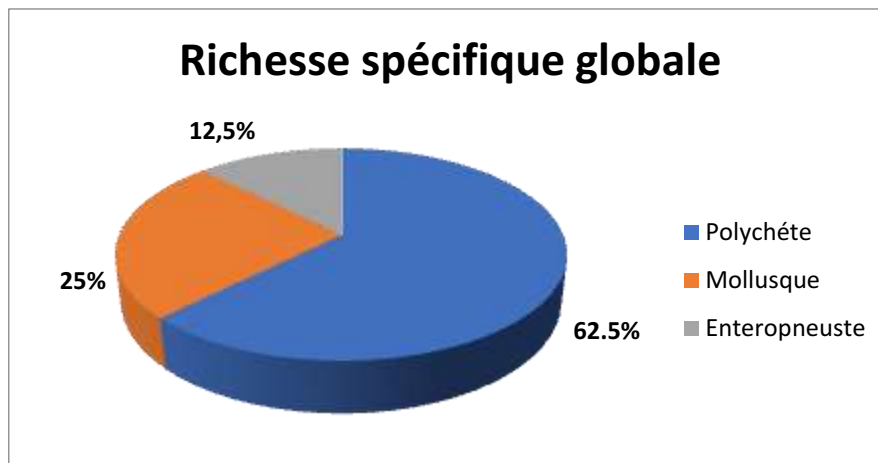
Nous décrirons les traits essentiels des courbes granulométriques cumulatives des échantillons analysés.

Les courbes sont généralement redressées ce qui traduit qu'il y a des sédiments homogènes. Dans l'ensemble, les courbes sont relativement en pente, ce qui souligne le bon classement des sédiments (voir annexe).

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

Notons que la majorité des sédiments sont mélangés à des débris de coquilles avec des quantités différentes d'une station à l'autre.

### IV .3 Analyse de benthos



**Figure IV.29:** Richesse spécifique globale de la station St4 du l'arrière port de Bejaia.

#### Interprétation

Au total, 08 espèces macrozoobenthiques sont récoltées sur le fond du port du Bejaia. Cette richesse totale est inégalement répartie entre les différents groupes systématiques identifiés. Seuls les Polychètes et les Mollusques structurent les peuplements des fonds du l'arrière port (**Voir tableau N° 02**).

En effet, les Polychètes fournissent 5 espèces soit 62.5% de la richesse totale Les Mollusques Bivalves se classent en seconde position avec 2 espèces soit 25% de la diversité totale. Il est important de signaler que le groupe des Crustacés est inexistant dans la station choisie. Cette faible richesse se reflète ainsi le caractère perturbé de ce site.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

**Tableau IV.2:** Liste faunistique des espèces recensées dans l'arrière port de Bejaia

Liste Faunistique	Port de Bejaia /Station 4
<b>Mollusques</b>	
<b>Bivalves</b>	
<i>Abra alba</i>	*
<i>Corbula gibba</i>	*
<i>Venus casina</i>	
<i>Parvicardium exiguum</i>	
<b>Gastéropodes</b>	
<i>Dentalium dentalis</i>	
<i>Dentalium rebescens</i>	
<i>Nassa mitabilis</i>	
<i>Ringicula conformis</i>	
<b>Polychètes</b>	
<i>Ampharete grubei</i>	
<i>Amphicteis gunneri</i>	
<i>Capitella capitata</i>	*
<i>Cirrifomia tentaculata</i>	*
<i>Glycera convoluta</i>	*
<i>Heteromastus filiformis</i>	*
<i>Lumbrineris latereilli</i>	
<i>Nephtys caeca</i>	
<i>Nephtys hombergii</i>	
<i>Notomastus lineatus</i>	
<i>Owenia fusiformis</i>	*
<i>Paronis paucibranchiata</i>	
<i>Scolelepis fuliginosa</i>	
<i>Spio filicornis</i>	
<i>Sternapsis scutata</i>	
<b>Sipunculidiens</b>	
<i>Sipunculus nudus</i>	
<b>Enteropneuste</b>	
<i>Enteropneuste indéterminé</i>	*

---

# LES IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

---

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

Dans ce chapitre nous allons décrire les différentes phases du projet ainsi que le devenir des matériaux issus de l'opération de dragage dans le cas du port de Bejaia et leur impact sur l'environnement.

Le dragage se fait à l'aide de différentes dragues selon ;

- Le lieu à draguer.
- Les conditions météorologiques (et notamment la houle qui influe beaucoup sur l'efficacité et la vitesse d'une opération de dragage).
- La nature de matériaux à draguer.

Ces opérations répétitives visent à extraire les sédiments qui se sont déposés et qui gênent la navigation (C.Alzieu, 1999).

Avant le démarrage des travaux du dragage une série d'opérations préliminaires sera réalisée:

### V.1 Les démarches nécessaires pour une opération de dragage

#### V.1.1 Préparation technique

Il faut achever le plan revérifié du levé bathymétrique avant le dragage du bassin, avoir une parfaite connaissance des côtes et des limites indiquées sur le dessin, maîtriser la méthode d'exécution, le contrôle et la vérification.

#### V.1.2 Amenée des Matériaux et des Personnes

Amenée des matériels suffisants et les assurer en bon état, amenée des ouvriers qualifiés selon les instructions.

#### V.1.3 Préparation de la bathymétrie

Détermination des limites du dragage et des côtes conformément au dessin.

#### V.1.4 Description des différentes phases du projet

Tout projet de dragage consiste généralement en quatre étapes :

##### **a. Reconnaissance**

C'est l'étape principale de chaque opération que ce soit maritime ou terrestre, la reconnaissance consiste à recueillir les données sur le milieu (bathymétrie, géomorphologie, sédimentologie) (Benzada et Dali, 1995) ainsi que le matériel adapté pour la réalisation de l'opération, elle comporte aussi l'étude d'impact de l'opération de dragage sur le milieu aquatique, voire le devenir du matériau excavé.

##### **b. Extraction du déblai**

Cette opération s'effectue souvent sous l'eau, elle consiste à enlever les matériaux du fond du port au moyen des engins appelés les dragues (IADC, AIHP, 2010).

##### **c. Transport des matériaux**

Le mode de transport des matériaux dragués est étroitement lié à la technique de dragage adoptée, plusieurs facteurs interviennent dans son choix :

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

- La situation de chantier.
- Les caractéristiques des matériaux (contamination).
- Le devenir de ces matériaux (Nguyen, 2008).

Parmi les modes de transport on cite :

- Les chalands (barges de transports).
- Les pipelines.

Parfois ces techniques sont accompagnées à un transport routier.



**Figure V.1:** Mode de transport des matériaux (chalands, pipelines).

### d. Réutilisation ou placement

Ces matériaux pourraient être rejetés dans un milieu aquatique, stockés par terre, utilisés en agriculture...etc., l'utilisation de ces matériaux dépend essentiellement de leurs degrés de contamination (Foucher, 2005).

#### 1. Gestion des sédiments en milieu aquatique

La gestion des sédiments en milieu aquatique consiste à transférer du milieu de dragage à un site de rejet ou de confinement aussi localisé en milieu aquatique (LEM, 2014). On peut subdiviser ce type de gestion des sédiments en trois catégories;

- Le rejet en eau libre.
- La valorisation.
- Le confinement directement en milieu aquatique.

##### ➤ Rejet en eau libre

Le rejet en eau libre est le mode de gestion des sédiments le plus répandu en Algérie. Du point de vue opérationnel, le dépôt en eau libre consiste tout simplement en un largage des sédiments directement sur un site de rejet en eau libre prédéfini.

Cette opération peut être réalisée à partir d'une barge à fond ouvrant, par conduite ou à l'aide d'une drague autoporteuse, selon la technologie utilisée par le projet de dragage. Ce mode de gestion présente l'avantage d'être adapté pour des matériaux de tous types de granulométrie à la condition des teneurs en contamination recevables, et dans la mesure où leur rejet ne contribue pas à dégrader la qualité des matériaux en place ou à détériorer des habitats aquatiques. Cette solution est sans doute la moins coûteuse.



**Figure V.2:** Une barge à fond ouvrant.

### ➤ Valorisation en milieu aquatique

Les sédiments de dragage, à la condition que leur qualité respecte la réglementation en vigueur pour le rejet en eau libre, peuvent potentiellement être utilisés dans le cadre de projet de valorisation.

Les principaux types de valorisation pour les sédiments de dragage sont :

- La création de cordons pré-littoraux ou littoraux.
- Le remplissage des dépressions causées par l'érosion à proximité d'infrastructures comme des brise-lames.
- La création d'habitats faunique.

### ➤ Confinement en milieu aquatique ou « Capping »

Le confinement en milieu aquatique est souvent utilisé pour la gestion des sédiments contaminés qui ont un potentiel de toxicité. Le confinement en milieu aquatique vise à limiter les échanges directs entre les sédiments et le milieu.

Les objectifs principaux de ce mode de gestion sont d'empêcher la contamination de la faune et de la flore benthique au niveau du site et de restreindre autant que possible la migration des contaminants vers des zones non contaminées.

Les sédiments contaminés peuvent donc être déposés dans une dépression naturelle ou artificielle ou encore mis en place dans un secteur peu dispersif avant d'être recouverts d'une couche de matériaux propres.

## 2. Gestion des sédiments en berge (dépôt côtier)

La gestion des sédiments en berge (dépôt côtier) consiste à déposer les déblais de dragage à proximité de la côte ou le long du littoral. Dans la zone affectée par des variations du niveau de l'eau comme les marées.

Les différentes options possibles pour la gestion des sédiments en berge sont la valorisation et le confinement.

### ➤ Valorisation en berge

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

Le dépôt de sédiments en berge ou en milieu riverain constitue une option qui pourrait être utilisée dans un but de valorisation de sédiments de dragage, à la condition que ceux-ci soient exempts de contamination puisqu'aucune enceinte de protection n'est utilisée. Les objectifs visés par cette valorisation sont, soit contrer l'érosion des berges, soit créer ou restaurer un milieu faunique.

Le dépôt en berge des sédiments est principalement retenu pour réutiliser les sédiments dragués comme matériau de remblai pour permettre la mise en place de nouvelles infrastructures au site d'un port (**Braun, 2006**). Hormis l'utilisation comme matériaux de remblai, quatre principaux types de valorisation en berge des sédiments ont été identifiés :

- ❖ La recharge de plage, dont le but est d'abord d'augmenter la surface de la plage et de ralentir ou remédier à l'érosion.
- ❖ Le reprofilage d'estrans vaseux. Pour les secteurs en érosion, il est possible d'intervenir avec des sédiments de dragage. Cette technique peut s'avérer longue à mettre en œuvre (nécessité des aménagements de soutien lorsque les matériaux sont vaseux), longue pour obtenir des résultats et exigeante en termes de mesures d'atténuation en raison de la remise en suspension de sédiments fins.
- ❖ La création et restauration d'habitats riverains, qui est une des options les plus pratiquées, notamment aux États-Unis. Le dépôt de sédiment permet de créer des sites de grande productivité biologique, tel que des marais, des marécages, des habitats aquatiques pour les poissons et la faune benthique.
- ❖ L'aquaculture, qui utilise les sédiments comme substrat pour le développement de divers organismes aquatiques.
  - **Confinement en berge**

Le confinement en berge consiste, à l'aide de structures appropriées, à recouvrir les sédiments et à stabiliser le dépôt de façon à les protéger contre les conditions hydrodynamique du milieu (fluctuation de marées et du niveau de l'eau). Le confinement en berge peut être une solution intéressante pour la mise en dépôt des matériaux dont la qualité varie de bonne à modérée.

Ces installations se composent habituellement de parois et d'un plancher semi-perméable et d'un recouvrement imperméable. Toutefois, ces installations combinées sont généralement classées comme des installations d'atténuations.

### Les avantages du confinement en berge

- La surveillance est simple, et les endroits à surveiller sont identifiables et d'accès facile.
- Si les sites demeurent saturés et en condition anoxique, les métaux lourds restent immobiles.
- L'excavation exigée est moins importante que pour les sites de confinement aquatique.
- Ces sites sont très visibles, rendant une perturbation accidentelle du site peu probable.
- Il n'y a pas ou peu de déplacement à effectuer en milieu terrestre.

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

- Le potentiel de dispersion est lié à l'effluent pendant le remplissage.

### Les désavantages des installations de confinement des berges sont

Ces sites sont construits en eaux libres et peuvent causer une obstruction à la navigation.

### **3. Gestion des sédiments en milieu terrestre**

La gestion des sédiments en milieu terrestre consiste à ramener sur la terre ferme les déblais de dragage avant de les gérer de manière appropriée. Selon les caractéristiques physicochimiques des sédiments. Il est important de préciser que lorsque des sédiments de dragage sont gérés en milieu terrestre ceux-ci doivent être considérés comme des sols et leur gestion doit être conforme à la politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés ou au règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.

#### ➤ **Valorisation en milieu terrestre**

Des sédiments ayant été décontaminés par un traitement approprié peuvent également être valorisés en milieu terrestre. Les sédiments voués à une gestion en milieu terrestre doivent généralement subir des traitements afin de les assécher, d'être peu salins et avoir les caractéristiques physiques appropriées pour le type d'aménagement recherché.

### Les principaux types de valorisation en milieu terrestre

- ❖ L'utilisation comme matériaux de recouvrement dans les lieux d'enfouissement de matières résiduelles selon le Règlement sur L'incinération et L'enfouissement des matières résiduelles ou les sites pour dépôts de matériaux secs pour recouvrir des déchets ou encore dans les sites d'usage industriel.
- ❖ L'utilisation comme matériaux de remplacement pour les sites nécessitant le remplacement de sols par un autre ayant des propriétés géotechniques plus appropriées.
- ❖ L'utilisation comme matériaux de construction pour des routes ou autres aménagements.
- ❖ L'utilisation à des fins agricoles (amendement de sol, compostage,...etc.).

Ce type de traitement n'est pas pratiqué en Algérie pour les sédiments de dragage.

#### ➤ **Confinement en milieu terrestre**

Le confinement en milieu terrestre consiste à déposer des sédiments de dragage contaminés dans un lieu terrestre approprié de manière sécuritaire et définitive. De façon générale, le confinement sécuritaire en milieu terrestre de matériaux de dragage devrait être retenu uniquement dans le cas de matériaux fortement contaminés. Cette méthode constituer généralement une mesure qui assure une protection appropriée de l'environnement pour ce type de matériel. Le principal objectif d'un dépôt sécuritaire en milieu terrestre est de fournir des conditions qui minimalisent non seulement les pertes de matériaux, mais également la migration dans l'environnement des polluants contenus dans ces matériaux. L'aménagement des sites de dépôt doit donc comprendre l'utilisation de membranes ou de

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

matériaux de construction imperméables, ainsi que la collecte et le traitement des eaux de drainage et de lixiviation.

Comme dans le cas de la mise en dépôt en milieu terrestre, le confinement en milieu terrestre requiert plusieurs manipulations pour accomplir le séchage et le transport des sédiments. De plus, il nécessite un site de confinement autorisé, tel que mentionné dans le Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.

Il est à noter que de manière générale les sédiments de dragage doivent subir des traitements pour réduire leur teneur en eau une réduction du taux de salinité s'ajoute à ces traitements.

Les sédiments marins devront subir des lessivages ou d'autres procédés impliquant des agents liés ou des technologies thermochimiques.

### V.2. Devenir des sédiments dans le cas du port de Bejaia

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 site potentiels pour le mode de gestion de sédiments de dragage (LEM, 2014).

#### V.2.1. Site éventuel d'immersion

##### Le rejet en mer (Immersion)

Généralement on entend par immersion, le déversement délibéré dans la mer de substances ou de matériaux à partir (ou un moyen) de navires, aéronefs, engins flottants, plate-forme fixé au flottants ou autre ouvrage placer en mer (Alzieu et al., 1999).

C'est l'opération la plus retenue partout dans le monde par les gestionnaires des opérations de dragage.

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

L'immersion n'est liée à aucune période précise. La seule restriction qui est portée sur l'étude d'impact sur l'environnement est liée au risque de dispersions importantes des matériaux dragués. L'opération d'immersion devra donc être réalisée avec un état de mer calme. Ce qui correspond à une amplitude de la houle significative  $H_s \leq 1.5m$ . Ceci devra s'effectuer dans des conditions hydrodynamiques réduites dans le but de minimiser la remise en suspension des produits dragués, et prévoir la mise en place d'une couche de sédiments propres au-dessus afin de réduire les risques sur les écosystèmes environnants. Les impacts les plus significatifs seront observables à court et à moyen terme, lors de l'opération de dragage.

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

Le choix du site d'immersion en mer doit répondre à des critères physiques de sélection tels que :

- L'éloignement des côtes, plus 5000 m.
- Le point d'immersion doit être situé dans des fonds suffisamment importants pour ne pas être repris par les courants.

Le choix final de la zone d'immersion est donc une étape importante du dragage. Ce choix découlera de la connaissance physique, chimique et biologique tant du fond marin que de la colonne d'eau, ainsi que de la connaissance des usages des zones concernées.

La description de l'état initial dans l'étude d'impact propre aux zones d'immersion devra, par exemple, recenser (**Bachouche S., 2010**);

- Les zones d'importance halieutique.
- Les zones d'intérêt environnemental.
- Les sites de cultures marines proches.
- Les zones de baignade.
- Les zones de prise d'eau, ainsi que d'une façon générale les zones économiques et de loisirs.

### V.2.2 Site éventuel de dépôt côtier

Si le degré de pollution des sédiments est important par rapport aux recommandations on envisage cette solution par le dépôt sera matérialisé par une digue d'enclôture cabale d'éviter la contamination de l'environnement immédiat. Le dépôt côtier se trouve à l'extérieur du port, côté Est, le long de la partie comprise entre la digue de fermeture et la berge gauche de l'oued El Soummam, à environ 2,7 Km du port.

Les résultats des analyses chimiques ont montré que les sédiments qui seront dragués au niveau du Port de Bejaia sont tous au deçà des normes Algériennes recommandées par la direction de l'environnement. Les métaux lourds présentent des teneurs faibles alors que les hydrocarbures sont existants au niveau des stations mais avec des concentrations au deçà des recommandations. Et donc les produits dragués de l'arrière port de Bejaia seront rejetés en mer au niveau du site d'immersion. C'est la solution la plus adéquate et la plus économique.

Dans notre étude on propose un site d'immersion, lors d'élaboration d'une étude d'impact sur l'environnement pour le dragage du port de Bejaia en **1993 par le LEM** et l'étude de détail du **plan directeur de Bejaia en 2014** a opté pour ce site, qui correspond à une fosse d'une profondeur comprise entre 60 et 86 mètres.

La surface de cette dernière qui se trouve à plus de 5.5 Km au large est de l'ordre de 16Ha avec une dénivelée moyenne de 25 mètres.

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

### ➤ Avantages et inconvénients de l'immersion en mer (dans la fosse)

#### Avantages:

- Incidences environnementales modérées.
- Faibles incidences permanentes : rehaussement du fond sur quelques km<sup>2</sup> (au niveau de la zone d'immersion), mais vu la profondeur de la fosse (environ 86 m) l'incidence sera faible à inexistante.
- C'est la solution la plus économique.

#### Inconvénients:

- Impact temporaire sur le site de dépôt assez fort.
- Contraintes d'usage : pêche professionnelle au chalut de fond et perturbation de la ressource.

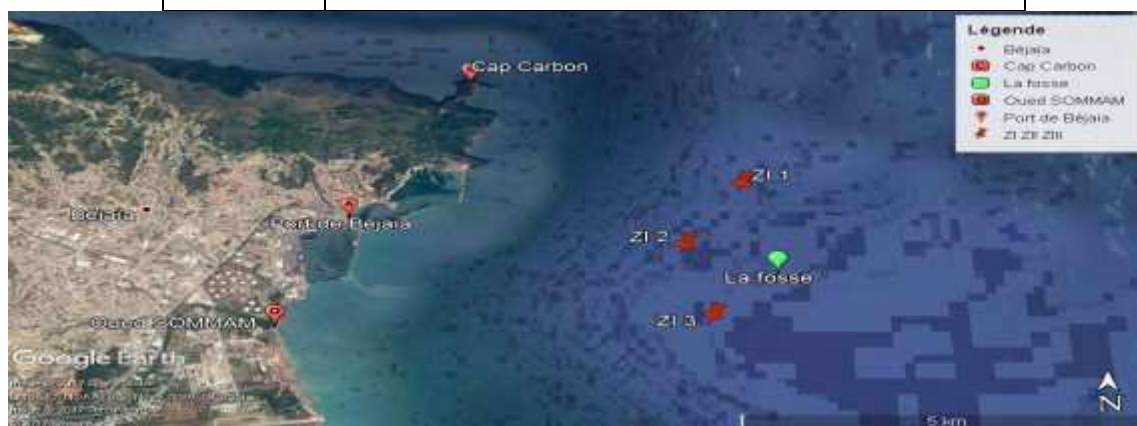
### V.3. L'étude de laboratoire des études maritime sur le site d'immersion

Le laboratoire des études maritime a effectué 03 prélèvements des échantillons, ces derniers ont été localisés en 03 stations Z1, Z2, Z3 dans une zone proche de la fosse de Bejaia à environ 50 m de mètres de profondeur car les profondeurs sont trop importantes. Pour vérifier la qualité chimique et biologique du milieu récepteur.

Les coordonnées des 03 stations Z1, Z2, Z3 sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau V.1:** les coordonnées géographiques des stations proposées

Stations	Cordonnée géographique
<b>Z1</b>	36°45' 15.40" N
	5° 8' 29.47 "E
<b>Z2</b>	36°44 33.75" N
	5° 7'5'8.82 " E
<b>Z3</b>	36°43' 47.78"N
	5°8' 11.85" E

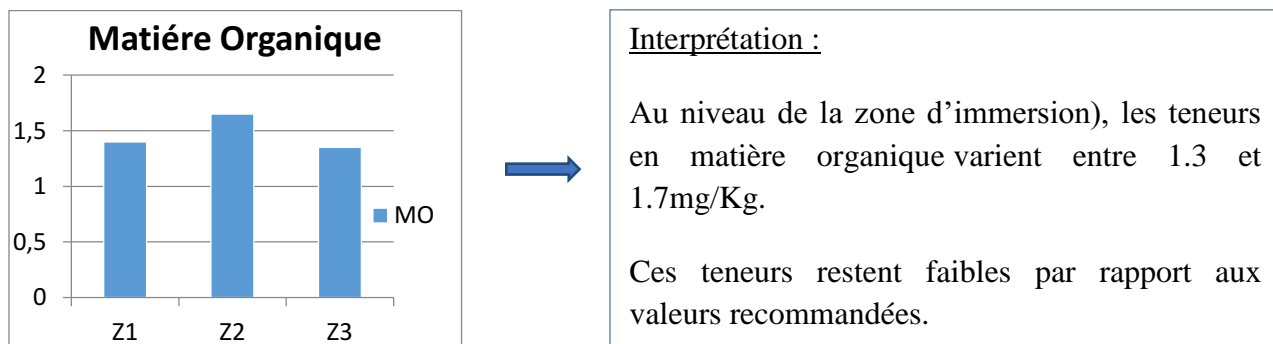


**Figure V.3:** Localisation des points d'immersion (Google Earth, 2017).

### V.3.1 Les résultats des analyses effectués

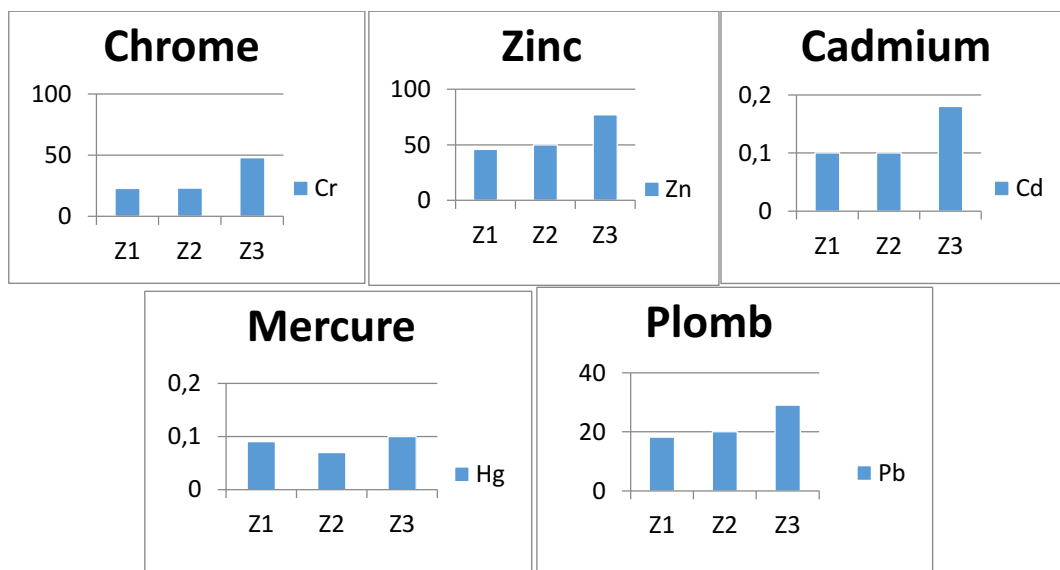
#### a. Analyses chimiques

- Les paramètres de pollution organique
  - Matières organique



**Figure V.4:** Teneurs en Matière Organique dans les sédiments des 03 stations

- Les métaux lourds (Cr, Zn, Pb, Cd, Hg)

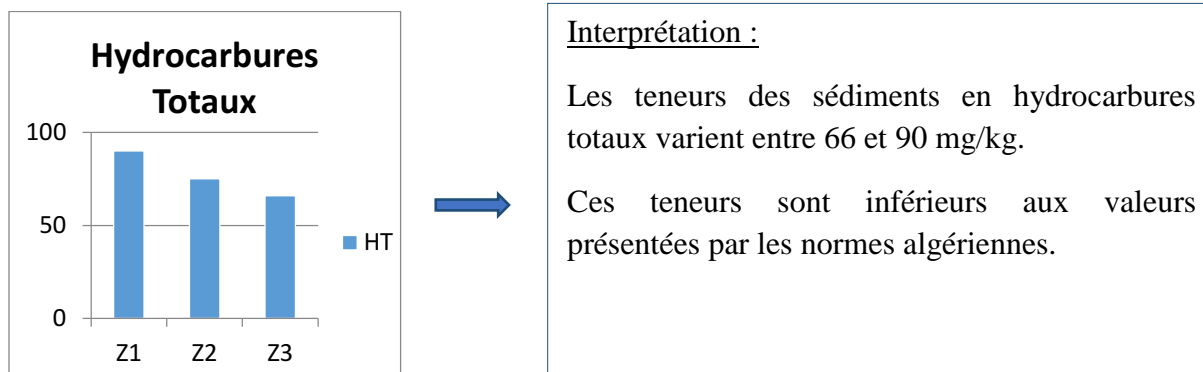


**Figure V.5:** Teneurs des métaux lourds dans le sédiment marin.

#### Interprétation :

Les teneurs observées, de tous les éléments chimiques sont inférieures aux valeurs seuils des normes algériennes cela est due à l'absence des rejets industriels.

- **Hydrocarbures totaux**



**Figure V.6:** Teneurs en Hydrocarbures

Totaux dans les sédiments des 03 stations

**a. Analyse de benthos**

L'analyse du Benthos a montré que le site d'immersion possède une faune benthique réduite, cela implique que les travaux de dragage n'auront pas d'effets néfastes sur la vie animale sous-marine au niveau du site d'immersion.

**Tableau V.2:** liste faunistique des espèces recensées dans la région de Bejaia dans les 02 stations.

Liste Faunistique	Station 1 (Z1)	Station 3 (Z2)
<b>Mollusques</b>		
<b>Bivalves</b>		
<i>Abra alba</i>		
<i>Corbula gibba</i>	*	*
<i>Venus casina</i>	*	*
<i>Parvicardium exiguum</i>	*	
<b>Gastéropodes</b>		
<i>Dentalium dentalis</i>	*	
<i>Dentalium rebescens</i>		*
<i>Nassa mitabilis</i>	*	*
<i>Ringicula conformis</i>	*	*
<b>Polychètes</b>		
<i>Ampharete grubei</i>	*	
<i>Amphicteis gunneri</i>	*	*
<i>Capitella capitata</i>		
<i>Cirrifomia tentaculata</i>		
<i>Glycera convoluta</i>		
<i>Heteromastus filiformis</i>	*	
<i>Lumbrineris latereilli</i>	*	*
<i>Nephtys caeca</i>		*

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

<i>Nephtys hombergii</i>		*
<i>Notomastus lineatus</i>		*
<i>Owenia fusiformis</i>	*	*
<i>Paronis paucibranchiata</i>	*	
<i>Scolelepis fuliginosa</i>	*	
<i>Spio filicornis</i>		*
<i>Sternopsis scutata</i>	*	
<b>Sipunculidiens</b>		
<i>Sipunculus nudus</i>		*
<b>Enteropneuste</b>		
<i>Enteropneuste indéterminé</i>		

Qu'il s'agisse d'un dragage et/ou d'une immersion, toute opération interagit inévitablement avec son environnement et peut modifier certains paramètres environnementaux plus ou moins temporairement, sur une emprise géographique variable.

### V.4 Description et évaluation

#### V.4.1 Sources d'impacts

Le projet comporte trois composantes principales susceptibles de générer des impacts sur l'environnement soit, le dragage, le transport des déblais et le rejet en mer des sédiments. Aux fins de l'analyse des impacts, la composante « Dragage » inclut toutes les activités reliées à l'excavation des sédiments, à leur déversement dans les chalands. La composante « Transport » porte sur les activités de transport des déblais jusqu'au site du dépôt des sédiments.

La composante « dépôt » couvre les activités de rejet des sédiments de dragage dans un site bien spécifié.

#### V.4.2 Description détaillée des impacts

Les impacts probables du projet, auxquels on peut raisonnablement s'attendre sur la base des informations existantes, sont décrits et évalués en détail ci-après séparément pour chacune des trois composantes principales du projet (dragage, transport, dépôt de sédiments).

Les impacts potentiels de contamination du milieu, par exemple ceux reliés à un déversement accidentel de produits pétroliers au site des travaux, peuvent survenir à pratiquement toutes les étapes du projet et sont difficilement quantifiables puisqu'ils sont de nature hypothétique.

Afin de réduire ces risques au minimum et à en minimiser les effets négatifs, une série de mesures d'atténuation sont prévues au cours des travaux.

### V.5. Les impacts du dragage du port de Bejaia

#### V.5.1 Hydrodynamique

Pour l'arrière port de Bejaia, les activités de dragage envisagées visent à maintenir les profondeurs existantes et, en conséquence, elles n'impliquent pas de modification de la bathymétrie ni de l'hydrodynamique actuelle. L'impact sur l'hydrodynamique est donc jugé négligeable.

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

### V.5.2 Le régime sédimentaire

Puisqu'on ne prévoit aucun impact significatif sur l'hydrodynamique du port, L'accumulation des sédiments dans l'enceinte de ce port suite aux travaux de dragage ne sera pas modifiée. Par ailleurs contenu de sa faible intensité, de sa courte durée et de son étendue ponctuelle, l'impact sur le régime sédimentologie est jugé faible.

### V.5.3 Qualité des sédiments

Les sédiments qui s'accumuleront dans l'enceinte du port au cours des années à venir seront de même provenance que ceux qui se déposeront ailleurs à l'extérieur du port. Les analyses effectuées sur les sédiments du port ont montrés des teneurs ne dépassant pas les recommandations Algériennes exigées par la direction de l'environnement à moins qu'un incident tel un déversement accidentel ne survienne entre temps au port de Béjaia. Sur la base de l'état actuel présent dans l'enceinte du port de Bejaia. Aucun impact sur la qualité des sédiments n'est appréhendé.

### V.5.4 Qualité de l'eau

La principale répercussion du dragage sur la qualité de l'eau est liée à la dispersion, hors du site des travaux de matières en suspension. Cet impact est jugé de faible importance, pour les mêmes raisons que celles évoquées ci-dessus concernant l'impact sur le régime sédimentologie.

## V.6. Mesures d'atténuation, surveillance et suivi environnemental

### V.6.1 Mesures d'atténuation

Les travaux de dragage, de transport et de dépôt des sédiments seront réalisés selon des méthodes et un calendrier annuel qui permettent déjà d'éviter ou de minimiser les effets du projet sur le milieu, notamment en ce qui concerne la remise en suspension des sédiments. Des mesures d'atténuation sont également proposées afin de minimiser les impacts négatifs appréhendés au cours des opérations de dragage.

#### **a. Mesures liés aux Activités de dragage, de transport et de dispersion des sédiments**

L'application des mesures d'atténuation suivantes permettra de minimiser les effets négatifs lors des travaux de dragage du port de Bejaia (l'arrière port).

- Mettre en place un plan de communication couvrant les aspects d'information des utilisateurs des installations portuaires (nature des travaux, méthodes de travail, zone à draguer, calendrier de dragage des travaux) et les aspects d'avis envers les autorités compétentes :
  - ❖ Aviser la garde côtière du déroulement des activités de dragage (calendrier, zone à draguer, bathymétries, zone de navigation aux installations portuaires) pour l'émission d'un avis à la navigation relativement applicable de la loi sur la protection des eaux navigables.
  - ❖ Aviser les entreprises qui utilisent les installations portuaires.
- Il est conseillé afin d'éviter une dispersion importante des matériaux dragués, que les opérations de dragage se fassent avec un état de la mer calme. En cas de constatation d'une agitation de la mer il est conseillé de temporiser le rejet.

## **Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement**

---

- Informer l'entreprise des normes et règles à respecter relatifs à la protection de l'environnement, à la santé et à la sécurité.
- Informer l'entreprise des mesures à appliquer (arrêt des travaux) en cas d'alerte liée à un danger quelconque (explosion ou autre ...).
- Maintenir la machinerie (drague, grues. . .) utilisée pour les travaux en bon état en tout temps et exempte de fuite d'huile ou d'essence ; les équipements devront posséder un certificat d'inspection mécanique récent avant de pouvoir entreprendre les travaux.
- Contrôler la vitesse de remontée du godet afin de limiter la quantité de sédiments perdus au site de dragage, si le dragage est fait avec une drague à godet ouvert.
- Prévoir au début des opérations de transbordement l'installation d'une plaque d'acier au fond des chalands afin d'éviter que les clapets ne s'ouvrent accidentellement.
  - Limiter le chargement des déblais dans les chalands de manière à éviter qu'ils ne débordent et entraînent une surverse d'eaux chargées de sédiments.
  - Mettre en place des balises (bouées maritimes) et une signalisation adéquate au site de dépôt des sédiments (zone d'immersion).
  - Interdiction de la pêche aux abords du port. ,
  - Interdiction du Chalutage sur le site d'immersion en raison de gêne occasionné par les mouvements de l'engin de dragage. En effet une modification des zones de fréquentation du poisson peut être observée en raison de la perturbation générée par les travaux d'immersion.
  - Pour éviter une utilisation excessive du lit de la mer, le nombre de zones d'immersion doit être limité dans la mesure du possible.
  - Il faut attirer l'attention de l'équipage qu'il est important que l'immersion se fasse à l'emplacement voulu (respecter les points de rejets) ;
  - En cas de déversement accidentel de contaminants, prendre les moyens nécessaires pour arrêter et confiner rapidement le produit, et aviser les autorités tel que prescrit par les lois en vigueur. La récupération du produit, son élimination de même que la restauration des lieux seront effectués en conformité avec les lois et règlements en vigueur.

### **b. Surveillance environnementale**

L'opération de dragage du port de Bejaia fera l'objet d'une surveillance afin de s'assurer du respect des modalités du décret ministériel, du certificat d'autorisation et du permis d'immersion délivré par les autorités de la Wilaya de Bejaia, de même que l'application des mesures d'atténuations proposées. Un responsable environnemental (RE) doit être désigné par la direction de l'environnement, il travaillera en collaboration avec l'entreprise chargée des travaux.

La surveillance portera sur les éléments suivants :

- ❖ Délimiter précisément la zone de dragage par un levé bathymétrique préalable afin d'éviter le sur-dragage.
- ❖ Maintien par l'entrepreneur d'un registre détaillé des activités de dragage, afin de documenter les superficies et les volumes des sédiments dragués.
- ❖ Vérifier que les coordonnées de la zone d'immersion ont bien été respectées.

## Chapitre 5 : Impact du projet sur l'environnement

---

- ❖ Effectuer un levé bathymétrique après l'opération de dragage pour vérifier l'efficacité du dragage et les profondeurs atteintes, et aviser les autorités responsables des nouvelles conditions de navigation qui caractérisent les installations du port.

### V.6.2 Suivi environnemental

Le respect par l'entreprise de ses obligations environnementales fera l'objet d'un suivi spécifique, coordonné par le responsable environnemental (RE) et le maître de l'ouvrage.

En coordination avec le maître de l'ouvrage en charge de la supervision du chantier, une procédure d'inspection journalière durant toute la période des travaux, pourra être organisée et faire objet d'un PV spécifique ;

- ❖ Des fiches de contrôle pourront être établies, reprenant point par point les spécifications environnementales de l'entrepreneur, permettant de balayer au cours de chaque inspection l'ensemble des impacts potentiels sur l'environnement.
- ❖ Le RE participera aux réunions de chantier. En cas de non-conformité avec les spécifications environnementales, il doit signaler immédiatement au maître de l'ouvrage pour prendre les dispositions nécessaires et s'il le faut pénaliser l'entreprise.
  - **Le suivi écologique**

Le suivi écologique doit être effectué par les services de l'environnement, de protection du littoral, en collaboration étroite avec les services portuaires. Il est conseillé aussi de faire participer les usagers du port.

#### • Site de dragage

En raison de la pauvre qualité biologique du fond du site de dragage (port de Bejaia), il n'est pas nécessaire de mettre en place une surveillance des peuplements de fond. Par contre un contrôle des matières en suspension dans l'eau, en sortie, devra être effectué. Afin de préciser l'impact hydraulique du dragage, il est conseillé d'installer un piézomètre de contrôle de niveau et de la salinité, au niveau des différentes darses du port.

#### • Site d'immersion

Il s'agit du suivi biologique et physico-chimique chimique au niveau de la zone d'immersion, les suivis qui devront être mis en place sur et à proximité des points d'immersion par les services de l'environnement et le maître de l'ouvrage concernent :

- ❖ La détermination des caractéristiques physiques/chimiques des sédiments meubles associés à la caractérisation de la macrofaune vivant sur le fond.
- ❖ Le dosage de contaminants dans la chair de poissons vivant dans la zone d'immersion.

---

# CONCLUSION ET RECOMMANDATION

---

## Conclusion et Recommandation

---

### Conclusion

Les données recueillies ont montré l'importance stratégique du port de Bejaia (arrière port) dans l'économie régionale et nationale, ce dernier connaît un accroissement continu des activités portuaires, qui a généré des impératifs en termes de travaux d'amélioration des conditions de stockage, d'amarrage, d'abri et de navigation, les travaux d'extensions des ouvrages de protection, ont pour but d'améliorer les conditions d'accès, répondant aux enjeux majeurs qui contribueront à la dynamisation de toute la région de Bejaia

Cette étude d'impact sur l'environnement pour le projet de dragage a permis de constater que le site des travaux ne constitue pas un milieu particulièrement sensible aux plans physiques, biologiques et humains. Il est cependant important que les mesures d'atténuation proposées soient appliquées afin de contenir la mise en suspension de sédiments et de maintenir la qualité de l'eau à un niveau acceptable.

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

Dans notre étude les résultats des analyses des métaux lourds et des hydrocarbures dans les sédiments de l'arrière port, ne présentent pas un degré de toxicité élevée et sont tous en deçà de recommandation du Ministère de l'Environnement.

Les produits dragués seront immergés dans un site d'immersion (une fosse) déjà proposé par le (LEM, 2014).

Dans l'ensemble, le projet entraînera des impacts négatifs mineurs ou négligeables sur la qualité de l'eau; l'équilibre sédimentaire au site de dépôt, la faune benthique, la faune ichtyologique et leurs habitats, et sur le milieu humain en général si les mesures d'atténuation proposées sont appliquées.

Le projet entraînera un impact positif majeur au niveau de la sécurité de navigation dans le port de Bejaia. L'analyse des impacts des interventions envisagées démontre que ces travaux peuvent se réaliser sans porter atteinte de façon importante à l'environnement biophysique et humain. Le programme de dragage proposé pour le port de Bejaia, apparaît donc acceptable sur le plan environnemental.

Les données bibliographiques portant sur l'aspect chimique des sédiments ainsi que les analyses que nous avons effectuées confirment le non contamination des sédiments en métaux lourds pour la quasi-totalité des éléments, de même la caractérisation biologique indique des milieux salubres.

L'immersion de ces sédiments en mer ne présente pas de dangerosité pour l'environnement marin

### Recommandations

La solution d'immersion en mer des produits de dragage étant proposée depuis l'étude d'impact sur l'environnement de 1993, il y a tout de même lieu, en vue de la réduction et/ou de la compensation des impacts négatifs sur l'environnement, de veiller à la prise en considération des recommandations ci-après.

## Conclusion et Recommandation

---

- ❖ Une stratégie d'échantillonnage au niveau du site de dragage (nombre et densité de stations, fréquence des prélèvements, durée du suivi, le volume à draguer) est nécessaire avant d'entamer une opération de dragage.
- ❖ Il est indispensable d'agir en amont pour éviter les flux polluants à la source en appliquant le principe « pollueur-payeur » sur l'ensemble des activités contribuant à la pollution des sédiments, et d'inciter aux bonnes pratiques en matière de dragage et d'immersion.
- ❖ Il faut que la réglementation algérienne actuelle soit plus rigoureuse et permet déprendre en compte la protection de l'environnement et la santé humaine, en évitant l'immersion des sédiments pollués dont la teneur en certaines substances présenterait un risque de contamination des milieux marins tel est le cas pour le port de Bejaia.
- ❖ Encourager le développement de filières de valorisation des sédiments dans un concept de développement durable afin de créer un meilleur équilibre entre les dimensions économique, sociale et environnementale.
- ❖ Interdiction de la pratique de la pêche aux abords du port.
- ❖ Un suivi rigoureux des facteurs physico-chimiques et bactériologiques dans la zone englobant le port et les plages avoisinantes après les travaux de dragage et ce pour élaborer une information continue à l'adresse des différents utilisateurs de cette zone et particulièrement les pêcheurs.
- ❖ Interdiction du chalutage sur le site d'immersion en raison de gêne occasionné par les mouvements de l'engin de dragage.
- ❖ La zone d'immersion devra être contenue dans un cercle de 250 m de rayon afin d'éviter une dispersion importante du matériau dragué.
- ❖ Les opérations d'immersion doivent être réalisées avec un état de mer calme. On recommande que les travaux d'immersion soient arrêtés dès que l'amplitude de la houle significative  $H_s \geq 1,5$  m.
- ❖ Afin d'éviter la dispersion des matériaux dragués, la drague utilisée pour le rejet des produits de dragage au niveau du site d'immersion devra soit être équipée d'un flexible suffisamment long (devant atteindre au moins la profondeur de -20m) ou procéder de manière lente et contrôlée lors de l'ouverture des clapets de la drague.
- ❖ La drague devra être équipée d'un matériel de navigation adéquat dans le cas où la zone d'immersion : est pas balisée pour faire en sorte que l'immersion se fasse à l'emplacement.
- ❖ Le contrôle continu constitue l'un des aspects essentiels du travail de gestion de l'impact physique des immersions des matériaux.
- ❖ Évitez de réaliser les travaux à l'intérieur des périodes d'activités liées à la reproduction et à l'alevinage de la faune ichthyenne, soit en janvier et en février d'avril à juillet inclusivement et ainsi au niveau des zones de pêche.
  
- ❖ Il est important de compléter cette étude avec d'autres stations et analyses telles que (l'analyse bactériologique ...ect.) pour que la présente étude soit effective, afin de mieux gérer l'opération de dragage et prévoir son impact.

---

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

---

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- ACHARD, R. (2013).** Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage : rôle spécifique de la matière organique naturelle. Thèse de doctorat. Chimie de l'environnement. Toulon : université du Sud Toulon Var, 183 p.
- A.F.N.O.R., (1994).** Qualité des sols. Recueil des normes françaises. AFNOR. 1994. 250 p.
- AGOSTINI, F. (2006).** Inertage et valorisation des sédiments de dragages marins. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : Université des Sciences et Techniques, 207 p.
- AIEA, (2001).** The performance study for MED POL determination of trace elements and methyl mercury in estuarine sediment sample: Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: MED POL.
- Aloui. S., 2008.** Évaluation du degré de pollution organique des trois bassins du port de Bejaia, Mémoire magistère Environnement. Bejaia : université de Béjaia.72 p.
- ALZIEU, C. (1999).** Dragage et environnement marin : États des connaissances. Plouzané : Ifremer. 223 p.
- Alzieu. C & al.,( 1999).** Dragage et environnement.Plouzané : Ifremer, 170 p.
- Aminot. A., Chaussepied.M., (1983).** Manul des analyses chimique en milieu marin Centre national pour l'exploitation des océans, Brest :Cnexo 395 p.
- Aminot.A., kérouel R., (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France. : Ifremer, 336 p.
- AUDIGIE C.,DUPONT G.,& ZONSZAIN F.,1985 a** – Principes des méthodes d'analyse biochimique. *Ed.DOIN,tome 1,2<sup>ème</sup> édition,190 p.*
- BACHOUCHE, S. (2010).**Les ports d'Alger et de Bouharoun : Étude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse de Magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 105-106 p.
- BELKESSA, R. (2005).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Constantine : Université Mentouri, 412 p.
- BELKESSA, R. (2007).** Le port de Ténès : qualité et quantité des sédiments à draguer et sites de dépôt, congrès international en Sciences de Mer, El Djedida, : VIIème Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer 04/07. Novembre 2007 El Djedida. Maroc 2007.

## Références bibliographiques

---

**BENZADA, K., DALI, K (1995).** Ensablement et dragage du port de Béni-Saf : conséquence et site de dépôt .Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 88 p.

**BHOSALE U & SAHU K.C., (1990)-** Heavy metal pollution around the island city of bombay, India.Part II : Distribution of heavy metals between water, suspended particles and sediments in a polluted aquatic regime. Chmical Geology.N90(1991) ,pp.285-305.

**BOUDRAA, W. (2015).** Qualité bactériologique et physicochimique de l'eau des plages d'Annaba.1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Écosystèmes Aquatiques : Rapport d'activité. Document non publié. Algérie : Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk ahras.

**Caulet.J., (1972).**Les sédiments organogènes du précontient algérien.*Mèm. Mus. Hist. Nat., Nlle série*, 25,289 p.

**Chamely. H., (1987).** La sédimentologie. Paris : Dunod, 175 p.

**CHAPON, J. (1975).** Travaux maritimes : les ouvrages intérieurs des ports maritimes, Dégagement des accès et des plans d'eau des ports, tome 02. 03 éd. Paris : Eyrolles.215 p.

**CHARLOU, J. (1983).** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in : Aminot, A., et Chaussepied, M. (Ed) : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest : Cnexo, p. 285-295.

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

**C.O.I, (1984).**Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Procédures applicables à la composante pétroliers du système de surveillance de la pollution marin de la C.O.I. (MRRRPOLMON-P).Manuels et guides, 13, Commision océanographique intergouvernementale de l'Unesco, 35 p.

**COLIN, C. (2003).** Valorisation des sédiments fins de dragage en technique routière. Thèse de Doctorat. Génie civil. Caen : Université de Caen, 180 p.

**COULON, F. (2014).** Contribution à l'étude des sédiments marins lors d'opérations de dragage portuaire : re-sédimentation et mobilisation de la pollution organique. Thèse de doctorat. Chimie et physicochimie des matériaux. Montpellier : Université de Montpellier, 231 p.

**EPA (1992),** (U.S. Environmental Protection Agency). Evaluating Environmental effects of dredged material management alternatives - A technical framework. EPA842-B-92-008,Novembre 1992.

## Références bibliographiques

---

**LEM (2006).** Étude d'impact sur l'environnement du dragage du port de Mers El Kebir. : Rapport d'activité. Document non publié. Alger : LEM.

**Folk. R.L., Ward. W. C., (1957).** Barazos river bar: study of significance of grain size parameters. J. Sédiment. Petrol. N 27:3-26 p.

**FOUCHER, J. (2005).** Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France : Rapport d'activité. Document publié. France : ENTPE.

**IFREMER (Jean- Louis Mauvais) (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.

**Laboratoire d'Études Maritimes, (1996) ;** Étude d'impact sur l'environnement des produits de dragage du port de Bejaia, étude du site d'immersion, direction des travaux publique de la wilaya de Bejaia : Rapport d'activité. Document publié. Alger : LEM.

**Laboratoire d'Études Maritimes, (2004),** rapport de synthèse : calculs de cubature et caractérisation chimique des sédiments du port de Bejaia, direction des travaux publique de la wilaya de Béjaia : Rapport d'activité. Document publié. Alger : LEM.

**Leclaire., (1972).** Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré continent algérien). Paris : Mémoire du muséum National d'Histoire Naturelle, Nouvelle série C, sciences de la terre. Tome XXIV, fascicule Unique, 64-149 p.

**LEYNAUD, G. (1968).** Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. Rapport d'activité. Document non publié. Algérie : Ministère de l'agriculture.

**MAC, F. (2004).** Méthodologie de gestion des matériaux de dragage maritime, application au port de Dunkerque. Thèse de doctorat. Génie civil. France : École des Mines de Douai, 298 p.

**MAROT, F. (1998).** Caractérisation et traitement de sédiments de dragage contenant des polluants métalliques. Paris : BRGM, 330 p.

**NGYEN, T.B. (2008).** Valorisation des sédiments de dragage traités par le procédé NOVOSOL dans des matériaux d'assises de chaussée – Comportement mécanique et environnemental [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie civil. Toulouse : Université de Toulouse. [Consulté le 21/05/2017]. Disponible sur le web : <http://thesesups.upstlse.fr/704/Nguyen - Thanh-Binh.pdf> .

**Pinta, M., (1971).** Spectrophotométrie d'absorption atomique, problèmes généraux : application à l'analyse chimique. Paris : Masson, 508 p.

**PNUE/FAO/OMS, (1989).** Évaluation de l'état de la pollution de la mer méditerranée par le Cadmium et les composés de Cadmium : Rapport d'activité. Document non publié. France : UNEP Projet minier Arnaud-Étude d'impact sur l'environnement N/ Réf.59858-Mars 2012

## Références bibliographiques

---

**RINGOT J.L.,(1982)**-Etude de la répartition et de l'origine de la contamination des sédiments de la baie de Cannes-la Napoule par les métaux lourds.VI<sup>ème</sup> journées Etud.Pollutions,Cannes,C.I.E.S.M., pp.283-292.

**Rivière. A., (1977).** Méthode granulométrique, technique et interprétation. Techniques et méthodes de sédimentologie. Paris : Masson, 170 p.

**Rodier J., (1996)** -l'analyse de l'eau [8<sup>ème</sup> édition] eau naturelle, eau résiduelle, eau de mer. Paris : Dunot. 385-401 p.

**RODIER, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Paris : Dunod, 1384 p.

**ROUBAH, M. (2005).** Étude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia: Rapport d'activité. Document non publié. Alger : ISMAL.

**SCHNEIDER, G. (2001).** Le curage des sédiments des cours d'eau [En ligne]. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA. Consulté le [15/07/2015]. Disponible sur : <http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm> .

**SCORDIA, J.Y. (2008).** Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : L'école centrale de Lille, 189 p.

**SONG, Y. (2016).** Traitement électrocinétique des sédiments de dragage et valorisation par solidification/stabilisation. Thèse de doctorat. Génie civil. Normandie : Normandie université, 164 p.

**Taleb R., (1970).**Facteur de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Pour l'obtention du doctorat de troisième cycle, océanographie biologique. Alger :USTHB, 194 p.

**UNEP/IAEA, (1985).** Determination of total chromium in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies: Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: UNEP.

**UNEP/IAEA, (1986).** Determination of total zinc in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. Reference methods for marine pollution studies: Rapport d'activité. Document non publié. Monaco: UNEP.

---

# RÉSUMÉ

---

# 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. Les résultats indiquent que ces sédiments sont faiblement contaminés dont les concentrations ne dépassent pas les normes définies. 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 Bejaia, sédiments superficiel, pollution.

## Abstract

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. The results indicate that these sediments are weakly contaminated with concentrations not exceeding defined standards. 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 Bejaia, surficial sediments, pollution.

## الملخص

التجريف هو نشاط ضروري لضمان أفضل الظروف للسفن للوصول إلى الميناء. ويمكن أن تؤثر كميات كبيرة من الرواسب المجرفة تأثيرا سلبيا على البيئة المائية. بسبب نشاط الميناء الصناعي والإطلاقات من مصادر مختلفة. يمكن تحديد الملوثات العضوية وغير العضوية في المصفوفات الرسوبية. في هذه الدراسة، تم دراسة العديد من عوامل التلوث من أجل تقييم درجة تلوث الرواسب السطحية في ميناء بجاية. وتشير النتائج إلى أن هذه الرواسب ملوثة بتركيزات لا تتجاوز المعايير المحددة. ولذلك فمن الضروري مراعاة نوعية هذه الرواسب لأخذ القرار في حالة التجريف.

**الكلمات الدالة:** التجريف، تلوث الرواسب ميناء بجاية،