

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



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

**Option : Ingénierie de l'environnement marin et côtier**

**Evaluation de la qualité des sédiments  
superficiels du port de Sidi Fredj en vue  
d'une opération de dragage**

Présenté par :

- **BOUYACOUB Nouh**
- **DJILALI Hadjer**

Soutenu le 06/11/2021 devant le jury composé de :

<b>Mr. HAMDLB</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>Mme BACHARLF</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promotrice</b>
<b>Mr. BOUGHERIRA.A</b>	<b>Maitre Assistants A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. KADA.M</b>	<b>Maitre Assistants A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>

## Dédicaces

Je dédie ce Modest travail À mes chers parents, qui m'ont soutenu et  
encouragé tout au long de ma vie.

À mes grands-parents et mes très chers frères.

Hadjer

Je dédie ce Modest travail À mes chers parents, qui m'ont soutenu et  
encouragé tout au long de ma vie

À mes grands-parents, mes très chers frères et Sœur et mes amis collègues  
pendant ces cinq dernières années.

Nouh

## Remerciement

Tout d'abord nous remercions ALLAH, le tout-puissant qui nous a offert la force et la patience pour accomplir ce travail, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés. Nous tenons à remercier notre promotrice Madame [HOUMA-BACHARI, F](#) Professeur a (ENSSMAL) qui a accepté de nous encadrer. Nous tenons à remercier d'une façon toute particulière Monsieur [HAMDI, B](#) Professeur à (ENSSMAL) d'avoir accepté de présider ce jury. Nos remerciements vont aussi à Mr [BOUGHERIRA, A](#) (Maitre Assistant A) et Mr [KADA, M](#) (Maitre Assistant A) a (ENSSMAL) d'être présents et pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Un grand merci à Monsieur [HAMDI, B](#) d'autre part pour sa disponibilité, sa grande amabilité et surtout pour ces aides précieux en dépit de ses nombreuses occupations, nos remerciements vont aussi à l'équipe des ingénieurs du laboratoire d'[USTHB](#) et laboratoire de l'[ENSSMAL](#) de Sidi Fredj, à Monsieur [BOUDJELLAL, Y.](#) et Madame [OUNADI, F.](#) et à monsieur [AROUA, M](#) qui nous ont apporté leurs précieuses et leurs conseils tout au long de notre travail.

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent nos sincères remerciements.

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre 1 : Généralité .....</b>	<b>4</b>
1. Le dragage des fonds portuaires .....	5
2. Caractérisation des matériaux de dragage .....	5
2.1. Caractérisation physique .....	5
2.2. Caractérisation chimique.....	6
3. Les sédiments marins .....	7
3.1. Définition .....	7
3.2. Origine des sédiments marins .....	7
3.3. Granulométrie .....	7
3.4. Composition des sédiments marins.....	8
4. Les paramètres indicateurs de pollution.....	8
4.1. Les matières en suspension (MES) .....	8
4.2. Matière organique particulaire (MOP).....	9
4.3. Matière organique dans les sédiments (MO) .....	9
5. Les métaux Lourds .....	9
5.1. Définition .....	9
5.2. Les métaux étudiés.....	11
5.3. Les Sources d'émission des métaux lourds .....	14
5.4. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique .....	16
5.5. Les Métaux lourds dans les sédiments.....	16
5.6. Normes et réglementations des métaux lourds .....	17
6. Cadre réglementaire de dragage .....	18
6.1. La Convention de Londres .....	19
6.2. La convention OSPAR.....	20
6.3. La convention d'Helsinki.....	21

6.4.	La Convention de Barcelone.....	21
6.5.	Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000 .....	21
6.6.	Directive Cadre sur les Déchets 2008/98/CE du 19 novembre 2008.....	22
6.7.	Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin 2008/56/CE.....	22
7.	Sélection du site d'immersion .....	22
<b>Chapitre 2 : Zone d'étude.....</b>		<b>25</b>
1.	Situation géographique.....	26
2.	Aspect Géologique .....	26
3.	Les infrastructures du Port de Sidi Fredj.....	27
4.	La Bathymétrie des fonds.....	29
5.	La dérive littorale .....	29
6.	La couverture sédimentaire .....	30
7.	Réseau hydrographique .....	31
8.	Facteurs météorologiques.....	32
8.1.	Température et précipitation .....	32
8.2.	Les Vents .....	33
9.	Facteurs hydrodynamiques.....	33
9.1.	Les courants .....	33
9.2.	La houle .....	34
10.	Les Sources de pollution .....	34
<b>Chapitre 3 : Matériels et méthodes.....</b>		<b>35</b>
1.	Travaux effectués en mer et paramètres mesurés.....	36
1.1.	Choix et localisation des stations.....	36
1.2.	Prélèvement d'eau de mer.....	37
1.3.	Mesure des paramètres physico-chimiques : .....	37
1.4.	Prélèvement du sédiment .....	38
1.5.	Conservation des échantillons.....	38

2.	Travaux effectués au laboratoire .....	39
2.1.	Analyse de la matière en suspension (MES).....	39
2.2.	Détermination de la matière organique particulaire (MOP) .....	40
2.3.	Analyse de la matière organique dans le sédiment (MO) .....	41
2.4.	Analyse granulométrique .....	43
2.5.	La densité du sédiment.....	46
2.6.	Analyse des métaux lourds .....	47
2.7.	Evaluation de la contamination métallique du sédiment .....	52
<b>Chapitre 4 : Résultats et discussions .....</b>		<b>56</b>
1.	Résultats des paramètres physico-chimiques .....	57
1.1.	Température .....	57
1.2.	Oxygène dissous .....	57
1.3.	Potentiel d'hydrogène (pH).....	58
1.4.	Salinité .....	59
2.	Les paramètres indicateurs de pollution.....	59
2.1.	La matière en suspension (MES) .....	60
2.2.	La matière organique particulaire (MOP).....	61
2.3.	Matière Organique dans le sédiment (MO).....	62
3.	Analyse granulométrique .....	64
3.1.	Le taux des pélites.....	64
3.2.	Les quartiles .....	65
3.3.	Indices granulométriques .....	66
3.4.	La densité du sédiment.....	67
4.	Evaluation de la pollution par les ETM .....	68
4.1.	Les indices géochimiques .....	68
4.2.	Indice de risque écologique potentiel (IR).....	70

4.3. Comparaison des résultats des métaux avec les valeurs guidant des niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR .....	70
4.4. Comparaison des résultats des métaux avec d'autres régions de l'Algérie et du monde .....	73
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>76</b>
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>79</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>88</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>90</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Miquel, 2001).....	11
<b>Figure 2</b> : Image satellitaires du port de Sidi Fredj .....	26
<b>Figure 3</b> : l'échelle relative des temps géologiques.....	27
<b>Figure 4</b> : Carte des bassins du Port de Sidi Fredj .....	28
<b>Figure 5</b> : Carte bathymétrique de la Baie d'El Djemila côté Ouest.....	29
<b>Figure 6</b> : Dérive littorale dans la zone de Sidi Fredj. (De Giovanni, 1973) (Modifié).....	30
<b>Figure 7</b> : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2004).....	30
<b>Figure 8</b> : Image satellitaire des réseaux hydrographiques dans la baie de Staoueli .....	31
<b>Figure 9</b> : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la région de Sidi Fredj. (Belkessa et <i>al.</i> 2008). .....	34
<b>Figure 10</b> : Localisation des stations de prélèvements au niveau du port de Sidi Fredj .....	36
<b>Figure 11</b> : prélèvement de l'eau de mer.....	37
<b>Figure 12</b> : Mesure de l'oxygène dissous.....	37
<b>Figure 13</b> : pH-mètre de terrain de marque WTW pH 315i .....	37
<b>Figure 14</b> : conductimètre type (Cond197i, WTW) .....	38
<b>Figure 15</b> : Benne de VAN VEEN .....	38
<b>Figure 16</b> : Rampe de filtration de marque Millipore .....	40
<b>Figure 17</b> : Les étapes de la mesure de la MOP .....	41
<b>Figure 18</b> : Les étapes de la mesure de la matière organique dans le sédiment .....	42
<b>Figure 19</b> : Tamisage et peser des refus .....	44
<b>Figure 20</b> : Conditionnement du matériel de l'analyse des métaux lourds .....	47
<b>Figure 21</b> : Lyophilisation du sédiment .....	48
<b>Figure 22</b> : Le broyage du sédiment.....	48
<b>Figure 23</b> : Etape de la minéralisation des échantillons .....	50
<b>Figure 24</b> : Variation de la température en fonction des stations.....	57
<b>Figure 25</b> : Variation de l'oxygène dissous en fonction des stations .....	58
<b>Figure 26</b> : Variation du pH en fonction des stations.....	58
<b>Figure 27</b> : Variation de la salinité en fonction des stations .....	59
<b>Figure 28</b> : Variation de la matière en suspension (mg/l) en fonction des stations.....	60
<b>Figure 29</b> : Carte de répartition de la matière en suspension (mg/l) en fonction des stations. 60	
<b>Figure 30</b> : Carte de répartition de la matière organique particulaire (mg) en fonction des stations.....	61

<b>Figure 31</b> : Variation de la matière organique particulaire (mg) en fonction des stations.....	62
<b>Figure 32</b> : Variation de la matière organique (%) en fonction des stations.....	62
<b>Figure 33</b> : Carte de répartition de la matière organique (%) en fonction des stations.....	63
<b>Figure 34</b> : Carte de répartition de taux des pélites (%) en fonction des stations.....	64
<b>Figure 35</b> : Variation des pélites (%) en fonction des stations.....	64
<b>Figure 36</b> : Variation de la densité des sédiments superficiels dans le port de Sidi Fredj.....	67
<b>Figure 37</b> : Carte de répartition de la densité (g/cm <sup>3</sup> ) des sédiments superficiels dans le port de Sidi Fredj.....	68
<b>Figure 38</b> : Variation de concentration du Cr par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	70
<b>Figure 39</b> : Variation de concentration du Pb par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	71
<b>Figure 40</b> : Variation de concentration du As par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	71
<b>Figure 41</b> : Variation de concentration du Zn par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	72
<b>Figure 42</b> : Variation de concentration du Cd par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	72
<b>Figure 43</b> : Variation de concentration du Cu par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR.....	73

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Farid Atroune, 2012).....	15
<b>Tableau 2</b> : Normes des fonds géochimiques (Inal et al, 2018).....	18
<b>Tableau 3</b> : Valeurs guides des niveaux N1 et N2 ( $\mu\text{g/g}$ ) proposées pour les métaux lourds et les PCB pour la France convention d'OSPAR (Alzieu et al, 1999 ; CJB/EAM, 2007).....	20
<b>Tableau 4</b> : Superficie et profondeur des bassins du port (Amrani et Ferhat, 1994) .....	27
<b>Tableau 5</b> : Variation de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) région de Sidi Fredj (fr.climate-data.org) .....	32
<b>Tableau 6</b> : Variation de la pluviométrie (mm) région de Sidi Fredj (fr.climate-data.org) ....	33
<b>Tableau 7</b> : Tableau de Fréquence en pourcentage d'apparition de la houle dominante (LEM in Sadaoui et Chabi, 2011). .....	33
<b>Tableau 8</b> : Classification des grains de sables selon la norme française .....	44
<b>Tableau 9</b> : Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain (Folk et Ward, 1957).....	45
<b>Tableau 10</b> : Les valeurs adoptées pour le Sk représentant l'asymétrie du sédiment (Folk et Ward, 1957).....	46
<b>Tableau 11</b> : Les valeurs adoptées pour S0 représentant les types de classement (Folk et Ward, 1957).....	46
<b>Tableau 12</b> : Classification de Müller, 1979 .....	53
<b>Tableau 13</b> : Valeurs des fonds géochimiques (Taylor and McLennan, 1985-1995).....	53
<b>Tableau 14</b> : Les classes de facteur de contamination (FC) (Hakanson, 1980 ; Förstner et al. 1981 ; Carballeira et al. 1997).....	54
<b>Tableau 15</b> : Les 04 classes de qualité selon le degré de contamination (DC) (Hakanson, 1980).....	54
<b>Tableau 16</b> : Les 04 catégories de (IR) selon l'intensité du risque écologique (Hakanson, 1980).....	55
<b>Tableau 17</b> : Valeurs des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau du port de Sidi Fredj .....	65
<b>Tableau 18</b> : Calculs des indices granulométriques et interprétation des résultats.....	66
<b>Tableau 19</b> : valeurs du facteur de contamination (FC), indice de géoaccumulation (Igeo), indice de charge polluante (PLI) et degré de contamination (DC) dans le sédiment superficiels du port de Sidi Fredj.....	69
<b>Tableau 20</b> : Valeurs des indices de risque écologique potentiel (RI).....	70
<b>Tableau 21</b> : Concentrations en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le port de Sidi Fredj comparées à d'autres régions de l'Algérie et du monde .....	74

## Liste des abréviations

**°C** : Degré Celsius

**AIEA** : Agence  
Internationale de  
l'Energie Atomique

**Al** : L'aluminium

**As** : Arsenic

**Cd** : Cadmium

**CE** : European  
Commission

**Cm** : Centimètre

**Co** : Cobalt

**Cr** : Chrome

**Cu** : Cuivre

**DBO** : Demande  
biochimique en oxygène

**DCE** : La directive cadre  
sur l'eau

**DCO** : Demande  
chimique en oxygène

**EDTA** : Acide éthylène  
diamine tétra-acétique

**ETM** : Éléments Traces  
Métalliques

**F.G** : Fond géochimique

**g** : Gramme

**G.P.S** : Global  
Positioning System

**HAP** : Hydrocarbure  
Aromatique Polycyclique

**Hg** : Mercure

**Kg** : Kilogramme

**Km** : Kilomètre

**m** : Mètre

**m<sup>2</sup>** : Mètre au carré

**m<sup>3</sup>** : Mètre au cube

**Ma** : Millions d'années

**MES** : Matière en  
Suspension

**Mg** : Milligramme

**ml** : Millilitre

**Mn** : Manganèse

**MO** : Matière Organique

**Mo** : Molybdène

**MOP** : Matière  
Organique Particulaire

**MPE** : Meilleures  
Pratiques  
Environnemental

**mS** : Milli Siemens

**Nd** : Nœuds

**Ni** : Nickel

**NQE** : Normes de Qualité  
Environnemental

**OD** : L'oxygène Dissous

**P.S.U** : Practical Salinity  
Unit

**Pb** : Plomb

**Pb<sup>2+</sup>** : Cation du plomb

**pH** : Le potentiel  
d'hydrogène

**PVC** : Polychlorure de  
vinyle

**SAA** :  
Spectrophotométrie  
d'absorption atomique

**SDP** : Substance  
prioritaire dangereuse

**Se** : Sélénium

**Sn** : Étain

**SP** : Substance prioritaire

**ST** : Station

**TBT** : Les tributylétains

**Tl** : Thallium

**UE** : Union Européenne

**USTHB** : Université des  
Sciences et de la  
Technologie Houari  
Boumediene

**Zn** : Zinc

**µm** : Micromètre

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Le sédiment est un matériau issu du dépôt des matières en suspension dans l'eau dérivant, elle-même, de l'érosion des roches et des sols, de matières détritiques organiques et de la floculation d'éléments colloïdaux et n'ayant pas encore subi de transformation diagenétique (Guézennec, 1999 ; Ramade, 2001).

Les processus sédimentaires comprennent différentes étapes : l'altération, l'érosion, le transport, le dépôt et la diagénèse (Cojan et Renard, 2006). L'eau de mer est le principal agent de cette érosion, la nature et la quantité du sédiment sont contrôlées par la forme du bassin versant (l'activité anthropique, relief, la nature du sol...).

Les zones côtières sont le lieu d'activités multiples, parmi lesquelles la navigation tient une place importante.

L'accès aux structures portuaires est maintenu par des opérations de dragage pratiquées dans les chenaux et dans les bassins d'accostage. Donc le fonctionnement correct des ports est basé sur les opérations de dragage. Les ports sont sujets à des accumulations importantes de sédiments qui sont parfois des freins à la navigabilité (Achard R., 2013).

Afin de développer et de maintenir les activités de navigation et l'accessibilité des infrastructures portuaires, des campagnes de dragages doivent être régulièrement réalisées pour garantir les meilleures conditions d'accès au port (El Fadili et Marion 2015).

En absence de toute source anthropique, les divers types de roches ou sols constituant l'écorce terrestre renferment une certaine concentration en métaux lourds appelée teneur naturelle. Cette dernière varie avec le type de roche et la localisation géographique (Van DeVen, 1977).

Les sédiments des fonds géochimiques sont cependant reconnus comme capables de piéger des teneurs importantes en contaminants.

Etant le port est un milieu semi fermé, les eaux portuaires sont donc favorables à une sédimentation importante, rendant les sédiments fortement pollués (Koroghli A., 2010).

Les sédiments d'un cours d'eau sont supposés pollués par un métal lorsque la concentration de celui-ci est supérieure à la concentration naturelle. On peut donc dire que l'interprétation des résultats de l'analyse des métaux lourds dans les sédiments est tributaire d'une connaissance correcte des teneurs naturelles (Van DeVen, 1977).

## Introduction générale

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). La détermination des métaux lourds dans les sédiments constitue un instrument d'observation, permettant l'évaluation du degré de pollution du milieu aquatique étudié (Chapman *et al.* 1987).

Les métaux dans les sédiments marins peuvent être transportés par plusieurs cheminements jusqu'à l'homme (exemple : par voie alimentaire). Les matériaux de dragage risquent de contenir des niveaux très élevés de métaux lourds, et la part qui en est déversée à terre peut accroître, de façon significative la teneur de ces métaux dans le sol et partant faire en sorte qu'ils pénètrent dans la chaîne alimentaire (Van de ven, 1977).

Lorsque les concentrations en métaux lourds contenus dans les sédiments marins sont trop élevées leur immersion est interdite.

Les bassins portuaires sont souvent utilisés comme milieu de déversement et de rejets des produits dérivés du carénage des bateaux. Une grande part des rejets s'effectue directement dans le port sans traitement au préalable (Houma et Belkessa, 2005), c'est le cas de port de Sidi Fredj. Il faudrait rajouter à ces deux causes, l'inexistence d'une programmation de dragage d'entretien pour le port. Les quantités de sédiments accumulées sur une longue période de temps et chargées de polluants posent un problème quant à leur devenir (Belkessa, 2007).

C'est pour cette raison principal que de nombreuses études se sont intéressées à la contamination des sédiments portuaires.

Le port de plaisance de Sidi Fredj est une zone littorale sensible très fréquenté le long de l'année. Les principales sources de pollution dans ce port sont d'origine des activités anthropiques (activité de carénage et diversement des substances volatiles en plus des eaux usées domestiques provenant des habitants de cette zone.

Dans ce fait, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité des sédiments portuaires de Sidi Fredj pour avoir une vision sur les sites d'immersion possibles pour les sédiments de dragage. Dans le but d'atteindre Cet objectif, notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

## Introduction générale

Chapitre 1 : est une synthèse bibliographique portée sur les connaissances actuelles sur les sédiments marins, les métaux lourds, les paramètres indicateurs de pollution, le dragage portuaire, et leurs méthodes d'immersion par rapport aux normes mondiaux.

Chapitre 2 : Ce chapitre est consacré pour la description du port de Sidi Fredj.

Chapitre 3 : le matériel utilisé en mer et au laboratoire, et les méthodes appliquées pour les différentes analyses sont traités dans ce chapitre.

Chapitre 4 : le quatrième chapitre est une présentation des résultats obtenues des différentes analyses effectuées et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale de cette étude avec des perspectives qui peuvent combler ce mémoire.

# **Chapitre 1 : Généralité**

## 1. Le dragage des fonds portuaires

Le dragage est une technique qui consiste à enlever les boues 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).

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

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

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

## 2. Caractérisation des matériaux de dragage

### 2.1. Caractérisation physique

Les renseignements suivants doivent être obtenus pour tous les matériaux de dragage destinés à l'immersion en mer :

- Quantité de matériaux (tonnage brut à l'état humide).
- Méthode de dragage (dragage mécanique, hydraulique ou pneumatique, le taux prévu - ou réel - de remplissage du site d'immersion, et application des MPE).
- Évaluation préliminaire et grossière des caractéristiques des sédiments :
  - *Roche*. En général, les roches draguées ne sont pas contaminées.
  - *Gravier et sable*. En général, le matériel granulaire n'est pas contaminé
  - *Argile consolidée*. En général, l'argile consolidée n'est pas contaminée.
  - *Limon/Argile molle*. En général, le limon/argile molle est contaminé
  - *Mélange (roche/sable/limon/argile molle)*. En général, le mélange est contaminé

Les matériaux de dragage peuvent être exemptés de caractérisation chimique et biologique, s'ils répondent à l'un des critères énumérés ci-dessous :

## Chapitre 1 : Généralités

- Ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts.
- Ils sont composés presque exclusivement de sable, gravier ou roche.
- Ils conviennent aux utilisations bénéfiques et sont surtout composés de sable, de gravier ou de coquillages.

Paramètres	Indiquant
Granulométrie (par laser ou tamis) Pourcentage de solides (matière sèche)	Cohérence, Vitesse de sédimentation/potentiel de re-suspension, potentiel d'accumulation des contaminants
Densité/gravité spécifique	Consolidation du matériel déposé, Volume in situ
Matière organique (sous forme de carbone organique total)	Potentiel d'accumulation de substances organiques associées

Les analyses physiques sont importantes car elles permettent de savoir comment les sédiments peuvent se comporter pendant les opérations de dragage et d'élimination, ainsi que si des analyses chimiques et/ou biologiques s'imposeront ultérieurement. Il est vivement recommandé de déterminer les éléments suivants :

Lorsqu'il est envisagé de recycler le matériel de dragage, il est en général aussi nécessaire de connaître les propriétés techniques du matériel : Sa perméabilité, ses caractéristiques de sédimentation, sa plasticité et sa minéralogie.

### **2.2. Caractérisation chimique**

À titre préliminaire une caractérisation chimique sera nécessaire afin d'estimer les charges brutes de contaminants, surtout dans le cas de nouvelles opérations de dragage. Le but des analyses est de savoir si l'immersion en mer de matériaux de dragage contenant des contaminants est susceptible d'avoir des effets indésirables, en particulier des effets toxiques, chroniques ou aigus, sur les organismes marins ou sur la santé de l'homme, du fait ou non de leur bioaccumulation dans les organismes marins et spécialement dans les espèces comestibles.

Les éléments d'une caractérisation chimique supplémentaire des matériaux de dragage sont les suivants :

- Analyses minéralogiques.
- Analyses chimiques.
- Granulo-chimie.
- Répartition des polluants.
- Distribution granulométrique.
- Principales caractéristiques géochimiques du sédiment, y compris conditions d'oxydoréduction.
- Voies par lesquelles les contaminants pourraient logiquement avoir pénétré dans les sédiments.

### **3. Les sédiments marins**

#### **3.1. Définition**

Le sédiment est défini comme un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport (Foucault *et al.* 1980). Les sédiments sont constitués de toutes les particules détritiques, inorganiques ou organiques qui finissent par se déposer au fond d'un plan d'eau. Les sédiments sont donc généralement une matrice de matériaux et peuvent être relativement hétérogènes en termes de caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (Power *et al.* 1992). Il joue un rôle important dans le devenir des polluants dans l'eau qu'ils peuvent fixer ou adsorber puis transporter et déposer dans un autre milieu (Marchand *et al.* 2006).

#### **3.2. Origine des sédiments marins**

Les sédiments sont dits d'origine autochtone quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates, évaporites) et organique (organismes planctoniques morts) et d'origine allochtone quand ils sont issus de l'érosion hydrique du bassin versant et des rives en plus les apports dus à l'érosion éolienne (Ramade, 1998).

#### **3.3. Granulométrie**

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses et la définition des fréquences statistiques des différentes tailles de grains dans l'ensemble étudié (Fernand Verger, 2021).

La connaissance de la granulométrie est donc particulièrement importante car les ETM se trouvent préférentiellement adsorbés sur les fractions fines. Celles-ci présentent de très grandes surfaces spécifiques comportant de nombreux sites d'adsorption constitués de composés actifs pour les ETM tels que les hydroxydes ou les matières organiques (Carpentier *et al.* 2002).

### **3.4. Composition des sédiments marins**

Eau interstitielle : elle correspond à l'eau qui remplit les espaces entre les particules de sédiments et qui représente généralement plus de 50 %, en volume, des sédiments de surface (Power *et al.* 1992).

Phase inorganique : Formée des minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Cette phase comprend donc principalement les argiles, les carbonates et les silicates. Elles sont généralement enrobées d'hydroxyde de fer et de manganèse et de substances organiques qui leur confèrent une grande capacité d'adsorption vis à vis des contaminants (Geffard, 2001).

Phase organique : La matière organique (protéines, lipides, sucres, acides humiques et fulviques) occupe un faible volume, mais constitue un composant important des sédiments car elle peut réguler la sorption et la biodisponibilité de nombreux contaminants (Power *et al.* 1992).

## **4. Les paramètres indicateurs de pollution**

### **4.1. Les matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse (De Villers *et al.* 2005). Les matières en suspension présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques chimique ou biologiques avec l'eau de mer (Aminot et Chaussepied, 1983). Ces particules peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (De Villers *et al.* 2005). Dans les océans, la concentration en matières en suspension est faible : elle diminue de la surface

jusqu'au fond. Par contre, les plus importantes teneurs en matières en suspension sont aux niveaux des milieux côtiers et estuariens (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

### 4.2. Matière organique particulaire (MOP)

Il s'agit d'un ensemble de composés organiques dont la taille est supérieure au seuil de coupure standard de 0,45 µm. La MOP comprend des organismes vivants (phytoplanctons et bactéries), des animaux (zooplancton et zoo-benthos), des débris d'algues, d'invertébrés aquatiques, des complexes organométalliques, des complexes minéral-matière organique, ainsi qu'une fraction de la matière organique colloïdale (Hope et al. 1994 ; Madigou, 2005).

### 4.3. Matière organique dans les sédiments (MO)

Dans un écosystème, le terme « matière organique » désigne l'ensemble des composés hydrocarbonés d'origine naturelle, autres que les organismes vivants, et les composés anthropiques (Pernet-Coudrier, 2008). La MO est une composante ubiquiste car elle est présente dans tous les réservoirs terrestres (milieu atmosphérique, terrestre et aquatique) ainsi que dans les milieux anthropiques (décharge, station d'épuration) (Labanowski, 2004). Elle est constituée d'un grand nombre d'espèces chimiques qui peuvent être de tailles, de compositions chimiques, et de formes physiques complexes et variées (Filella, 2009). Ces différents paramètres dépendront avant tout de l'origine mais également de l'environnement dans lequel se trouvera la MO (Labanowski, 2004 ; Gharbi, 2008).

## 5. Les métaux Lourds

Parmi les éléments chimiques du tableau périodique, les métaux représentent le groupe le plus important. Leurs origines peuvent être naturelles (érosion géologique), industrielles, domestiques et urbaines (eaux usées, boues de station d'épuration), agricoles ou bien atmosphériques.

### 5.1. Définition

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

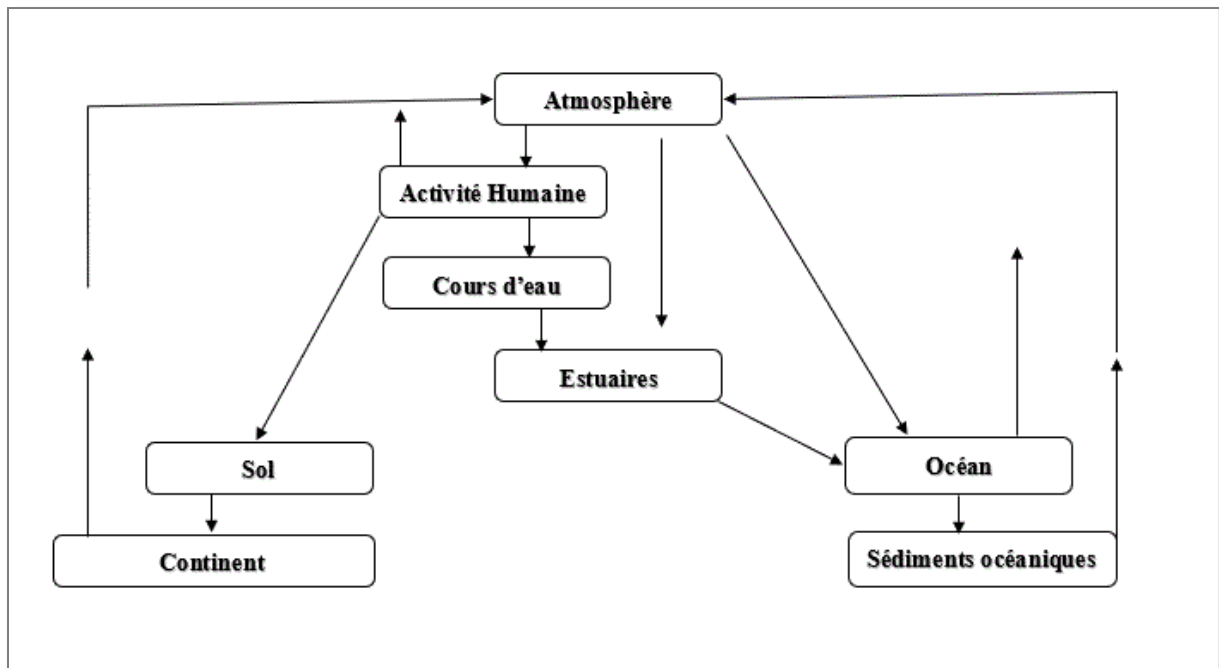
- Tout métal ayant une densité supérieure à 5.
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z=11).

- Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques encore. Dans les *sciences environnementales*, les métaux lourds associés aux notions de *Pollution* et de *toxicité* sont généralement : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn. Enfin, dans l'industrie en général, tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et /ou pour l'homme. A chaque fois que la problématique des métaux lourds remonte en surface, la difficulté que les chercheurs trouvent c'est que ces éléments se trouvent dans l'environnement quotidien sous des formes chimiques très diverses.

En effet, à côté des formes minérales les plus simples par exemple le  $Pb^{2+}$ , les Métaux lourds peuvent exister aussi sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le Plomb tétra-éthyl des essences) mais aussi sous forme de complexe (exemple le salicylate de plomb) ou encore sous forme de chélate (exemple : complexe de Plomb EDTA). Toutes ces formes, même si elles sont présentes en quantité minime, et quelles que soient les transformations qu'elles subissent lors de leur cheminement dans l'environnement, doivent être prises en compte lorsque l'on étudie les métaux lourds et ceci confère à ce sujet toute sa complexité. L'étude de toutes ces formes de métaux lourds constitue une discipline à part entière, connue actuellement sous le terme d'étude de la « spéciation des métaux lourds ».

Les métaux considérés dans cette étude ont des effets très différents sur le milieu vivant. Quelques-uns sont nécessaires pour les organismes. Ils sont dits « essentiels », bien qu'à des fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes. Parmi ces éléments qui sont essentiels (micronutriments), et dont l'absence entrave le fonctionnement ou empêche le développement d'un organisme, se trouve Fe, Mn, Zn et Cu pour les plantes et les animaux. Par ailleurs, Co, Cr et Se sont essentiels seulement pour les animaux, alors que Mo est un micronutriment pour les végétaux. Ces éléments constituent des enzymes et protéines qui sont très importantes dans les processus métaboliques des organismes ([Alloway et Ayres, 1997](#)).



**Figure 1 :** Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Miquel, 2001)

## 5.2. Les métaux étudiés

### 5.2.1. Les Métaux Lourds essentiels

Considérés comme indispensables pour les organismes vivants mais à quantité très faible inférieure à 1 ppm, se trouvent associés à des protéines. Exemples des métaux lourds essentiels :

- Arsenic (As).
- Cuivre (Cu).
- Chrome (Cr).
- Zinc (Zn).

Quand le guide de qualité cherche à avoir un caractère général, les organismes choisis sont les plus simples possibles, en bout de chaîne trophique, comme c'est le cas des guides de qualité des sédiments (Ingersoll *et al.* 2000).

Ces guides fixent également des limites sur la présence des autres métaux lourds qui ne sont pas considérés comme essentiels. La présence de ces métaux n'est pas rare dans le milieu vivant (Freiberg *et al.* 1979).

Ces éléments qui ne présentent pas une fonction métabolique, sont connus comme « non essentiels » et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques (Freiberg *et al.* 1979 ; O-P-S, 1987 ; Alloway et Ayres, 1997 ; Ingersoll *et al.* 2000). Ils ont un rôle important dans les réactions biochimiques mais ils peuvent devenir toxiques.

### ▪ **Le zinc (Zn) :**

Il est naturellement présent dans la nature, principalement sous forme de sulfure. La métallurgie utilise beaucoup de zinc lors de la fabrication d'alliages. Il est également utilisé pour la galvanisation de pièces métalliques, dans la fabrication de pigments pour la teinture, dans les vernis, comme raticide et enfin dans la fabrication de produits phytosanitaires. Les apports de zinc au milieu naturel sont particulièrement dus à la métallurgie (production de métaux non-ferreux, industrie du fer et de l'acier) et à la combustion des bois et des charbons (Rodier, 1996. Sarkar, 2002).

### ▪ **Le cuivre (Cu) :**

Ce métal est présent dans la nature principalement sous forme de minerais de cuivre. Il s'agit d'un métal « essentiel ». Le cuivre est très utilisé dans l'industrie pour son excellente conductivité thermique et électrique. Il entre aussi dans la composition de nombreux alliages (laiton, bronze, maillechort). Sous forme de sels de cuivre, il est utilisé comme fongicide ou algicide en agriculture, pour les traitements chimiques de surface, le tannage des peaux, entre autres. L'industrie électrique, très consommatrice de cuivre, en rejette de grandes quantités dans les rivières et l'atmosphère dont l'ultime réceptacle est l'océan. De plus, l'utilisation d'oxydes de cuivre comme matière active dans certaines peintures antisalissure constitue une source importante de cuivre en zone portuaire (Rodier, 1996. Chiffolleau, 2001. Sarkar, 2002).

### ▪ **Arsenic (As) :**

L'arsenic est un élément chimique de la famille des pnictogènes, de symbole As et de numéro atomique 33, présentant des propriétés intermédiaires entre celles des métaux et des métalloïdes (Mahan, 1987). Son nom vient du latin *arsenicum*, tiré du grec *arsenikon* (« qui dompte le mâle ») en raison de sa forte toxicité. Le prénom Arsène est tiré de la même racine grecque *arsen* (« mâle », Anonyme, 2007). La configuration électronique de l'arsenic induit quatre degrés d'oxydation possibles :(-3), (0), (+3), (+5). Les composés de l'arsenic rencontrés dans l'environnement correspondent principalement à des espèces inorganiques, présentant les deux degrés d'oxydation As(V) et As(III) : arsénates et arsénites, respectivement. Ils sont solides, liquides voire gazeux. Il existe plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic qui correspondent à des arsénates, des sulfures et sels sulfatés, des arsénites, des arséniures ou encore des oxydes (Hurlbut Jr. et Klein, 1982).

▪ **Le chrome (Cr) :**

L'industrie métallurgique est la plus importante utilisatrice de chrome. 80% du Cr extrait est utilisé pour la fabrication d'alliages ferreux et non-ferreux. Le Cr restant est utilisé dans l'industrie chimique sous forme de dichromates pour le tannage des peaux et des cuirs, comme mordant pour teintures, dans la production de conservateurs alimentaires, et comme colorant sous forme de sels de chrome (Chiffolleau, 2001; Sarkar, 2002).

**5.2.2. Les métaux Lourds non-essentiels (Toxique) :**

Éléments dépourvus d'intérêt pour l'organisme car ils n'interviennent à aucune activité biologique définie. Peuvent représenter un vrai danger à des concentrations considérables plus ou moins élevées, les plus toxiques sont :

- Cadmium (Cd)
- Plomb (Pb).

▪ **Le plomb (Pb) :**

Élément abondamment répandu dans la croûte terrestre, le plomb est un des métaux les plus utilisés dans l'industrie de carburant. L'utilisation de l'essence au plomb, carburant très polluant et toxique, a pris fin en juillet dernier, quand l'Algérie a épuisé ses stocks. Jusqu'à l'année 2000, le plomb, sous forme tétraéthyle, a été largement utilisé dans les carburants comme antidétonant (AFP, 2021). Cette dernière décennie, les émissions de plomb dans l'environnement ont fortement diminué suite à la généralisation de l'utilisation d'essence sans plomb. En milieu urbain, les peintures à base de plomb sont encore des sources de relargage de plomb, de même que les systèmes de canalisations très anciens (Rodier, 1996 ; Chiffolleau, 2001 ; Sarkar, 2002). Le plomb est aussi utilisé comme adjuvant dans les PVC et on le retrouve dans l'eau de consommation (Al-Malack, 2001 ; Lasheen et al. 2008).

▪ **Le cadmium (Cd) :**

Il est rencontré dans la nature dans les minerais de zinc. Le cadmium est un sous-produit important de la métallurgie du zinc. Les principaux secteurs d'utilisation sont les batteries nickel-cadmium (70%), les pigments (13%), la galvanoplastie (8%) et les stabilisants (7%). Moins de 5% de la quantité de cadmium utilisée par l'industrie est recyclée. C'est-à-dire que la quasi-totalité du cadmium d'origine anthropique est disséminée dans l'environnement.

Les apports de cadmium au milieu naturel sont liés à l'industrie du zinc, à la combustion du charbon, à la sidérurgie et à la fabrication et l'utilisation des engrais phosphatés (Chiffolleau, 2001).

### **5.3. Les Sources d'émission des métaux lourds**

Les ETM sont diffusés vers l'atmosphère lors de processus naturels comme l'érosion éolienne, les activités volcaniques, les embruns marins et les feux de forêts. Cependant, les activités anthropiques telles que la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol). Parmi les différents éléments métalliques émis dans l'environnement lors des activités anthropiques, le zinc, le plomb, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel sont les plus couramment mesurés dans les études environnementales en raison de la diversité des sources d'émission.

Le sédiment marin est un compartiment complexe et relativement hétérogène formé d'eau, de matériaux détritiques, de composés minéraux et organiques ([Power et al. 1992](#)).

Il est défini comme un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport ([Foucault et al. 1980](#)).

Le sédiment joue un rôle important dans le devenir des polluants dans l'eau qu'ils peuvent fixer ou adsorber puis transporter et déposer dans un autre milieu ([Marchand al. 2006](#)).

#### **5.3.1. Les sources naturelles**

Parmi les importantes sources naturelles, l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma.

#### **5.3.2. Les sources anthropiques**

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait, des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes.

Les sources anthropogènes sont les suivantes :

- Activités pétrochimiques.
- Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières Industrielles, fours à ciment...) transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations).
- Incinération de déchets.
- Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents).
- Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles et l'industrie.

Le tableau 01 présente quelques exemples de sources industrielles et agricoles d'où peuvent provenir les métaux présents dans l'environnement :

**Tableau 1** : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Farid Atroune, 2012).

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

#### **5.4. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique**

L'écosystème aquatique sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes. Il est composé d'éléments abiotiques (l'eau et les sédiments) et d'éléments biotiques (la faune et la flore). Suite à leur entrée dans les écosystèmes aquatiques, les ETM se répartissent dans tous les compartiments (eau, sédiment, faune et flore) et se trouvent dans les fractions solubles, colloïdales et particulaires, principalement sous forme de cations métalliques (Langstone, 1999 ; Reyms-Keller *et al.* 1998 ; Du Laing *et al.* 2009). À de faibles concentrations, beaucoup de métaux lourds, dont Hg, Cd, Pb, As et Cu inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les poissons. Cette " bioaccumulation " explique leur très forte toxicité.

#### **5.5. Les Métaux lourds dans les sédiments**

Malgré la forte solubilité de certains contaminants métalliques dans les eaux de surface (Coward et Burnett, 1994), les sédiments accumulent les concentrations les plus élevées dans les écosystèmes estuariens (Hynes, 1990).

Cette faculté des sédiments à fixer de grandes quantités de métaux confère donc à ce compartiment du biotope un rôle de stockage significatif (Ribera *et al.* 1996) avec une possibilité de relargage dans la colonne d'eau (Woods, 2009).

Le compartiment sédimentaire n'est pas donc isolé du reste de l'écosystème et peut s'interroger sur le rôle des sédiments pollués qui pourraient se comporter comme une source de contaminants pour le milieu aquatique par diffusion des métaux sédimentaires vers la colonne d'eau. Ce rôle de puits (Spencer et MacLeod, 2002) et de source de contamination (MacFarlane et Burchett, 2000) fait que ce compartiment occupe une place de choix dans l'étude des ETM dans les hydrosphères (Sprovieri *et al.* 2007).

##### **5.5.1. Comportement des ETM dans les sédiments côtiers**

Les sédiments côtiers peuvent avoir deux types de comportement. Les sédiments peuvent accumuler les ETMs dans les différents compartiments minéralogiques (argiles, oxyde de fer et manganèse, carbonate) provenant de sources terrigènes ou océaniques ou produit in situ.

En fonction des conditions physico-chimiques, les sédiments peuvent être remis en suspension et susceptibles de libérer les ETMs dans la colonne d'eau (plus facilement assimilables par les organismes vivants).

La mobilité est l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment, où il est retenu avec une certaine énergie, à un autre, où il est retenu avec une moindre énergie (Baize, 1997).

La spéciation d'un élément correspond à la forme chimique (monoatomique ou moléculaire) sous laquelle se trouve cet élément dans un milieu donné (Quevaulier, 1998) en fonction le plus souvent de leurs stades d'oxydation (Bennett *et al.* 1984).

Dans les phases solides, le terme « spéciation » peut être retrouvé dans la littérature comme la distribution ou la répartition des éléments dans les différentes phases solides (Nirel et Morel, 1990). Ainsi, dans les sédiments, les ETMs peuvent se trouver sous forme de cation hydraté, sous formes complexées à des ligands organiques ou inorganiques, ou adsorbés sur des phases solides mobiles appelés colloïdes (Citeau, 2003).

La biodisponibilité peut se définir comme l'aptitude d'un élément trace à passer dans un compartiment sédimentaire dans lequel il sera directement assimilable par un organisme vivant (Girard *et al.* 2005).

Les ETMs entrent ainsi dans la chaîne trophique (Alvarez *et al.* 2003). Ce terme se caractérise par l'aptitude d'un élément à s'incorporer à un organisme vivant plus que le déroulement effectif du phénomène (Le Mot, 1998).

## **5.6. Normes et réglementations des métaux lourds**

Les normes sont des valeurs limites fixées par la loi et établies en vertu de compromis entre demandes concurrentes.

L'établissement de normes des métaux lourds présente un intérêt particulier. Ceci s'explique par le fait que leurs effets sur l'homme et l'environnement ne cessent d'être mis en lumière, voire prouvés pour certains.

Pour ce qui concerne la qualité des eaux, il existe deux types de normes : les normes de qualité des eaux, qui définissent les caractéristiques que doit présenter une masse d'eau selon son utilisation principale, et les normes concernant les effluents, qui fixent les charges polluantes limites qui peuvent être rejetées ponctuellement dans les milieux récepteurs.

Le fond géochimique est par définition "la teneur naturelle ou originelle en éléments traces dans un sol en absence de tout processus d'apport ou d'exportation vers ou hors d'un site considéré" (Bourrelier, P.H. et Berthelin, J. 1998). Le tableau suivant représente les normes des concentrations en ETM des fonds géochimiques :

**Tableau 2** : Normes des fonds géochimiques (Inal, A. et al. 2018)

	Fonds géochimiques (µg/g), Fe en %										
	Mn	Pb	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd
F.G Local <sup>a</sup>	368.7	34.0	155.0	124.0	5.16	14.0	41.0	34.0	95.0	13.0	0.50
F.G Shale <sup>b</sup>	950.0	12.5	135.0	100.0	5.63	25.0	75.0	55.0	70.0	1.80	0.20
F.G Crust <sup>c</sup>	0.07	17.0	107.0	85.0	4.49	14.0	44.0	25.0	71.0	1.5	0.10
F.G Rivers <sup>d</sup>	1679	61.1	129.0	130	5.81	22.5	74.5	75.9	208.0	36.3	1.55

<sup>a</sup> : Fond géochimiques local dans la baie d'Alger (Inal et al. 2018).

<sup>b</sup> : Fond géochimiques de la croute en schiste (Taylor, 1964).

<sup>c</sup> : Composition moyenne de la croute continentale (Taylor et McLennan, 1985, 1995)

<sup>d</sup> : Concentration moyenne dans les sédiments en suspension des rivières dans le monde (Viers et al. 2009).

## 6. Cadre réglementaire de dragage

Depuis le début des années 2000, la réglementation relative aux activités de dragage a évolué et s'est renforcée afin de mieux prendre en compte les enjeux environnementaux. Il est désormais obligatoire d'évaluer la qualité des sédiments à extraire. Cela se traduit notamment par la réalisation d'analyses physico-chimiques visant à déterminer le niveau de contamination des sédiments (Hayet, A. et al. 2017).

Les opérations de dragage de sédiments et leur gestion en mer ou à terre sont encadrées par des dispositions réglementaires adoptées (i) au niveau international, dans le cadre de conventions internationales, (ii) au niveau communautaire dans le cadre des directives cadre sur les déchets, l'eau et sur la stratégie pour le milieu marin et (iii) au niveau national (Hayet, A. et al. 2017).

Au niveau international, trois instruments juridiques encadrent et organisent les activités de dragage et la gestion des sédiments extraits :

- La Convention OSPAR.
- Le Protocole de Londres.
- Convention d’Helsinki.
- La Convention de Barcelone.

Sur le plan réglementaire, ils engagent les pays signataires à respecter certaines dispositions dont l’application se traduit le plus souvent par une modification ou une mise à jour de la législation au niveau communautaire et/ou national. En termes de gestion des sédiments, ces conventions défendent un principe général commun d’interdiction d’immersion de toute substance. Néanmoins, à titre d’exception, elles autorisent l’immersion en mer sous réserve de démontrer que les sédiments ne sont pas dangereux pour le milieu marin (Hayet, A. et al. 2017).

### **6.1. La Convention de Londres**

Mise en vigueur en 1975, est l’une des premières conventions mondiales visant la prévention de la pollution des mers résultant de l’immersion des déchets. Elle a pour objet de contrôler toutes les sources de pollution des mers et d’encourager les parties à prendre les mesures possibles pour prévenir la pollution des mers résultant de l’immersion des déchets. Au total 82 Etats sont signataires de cette convention. Cette convention a permis de réglementer et contrôler les activités d’immersion et d’incinération qui s’étaient développées entre les années 1960 et 1970. La réglementation de l’immersion en mer est devenue plus stricte en introduisant des méthodes rationnelles de gestion des déchets et en interdisant l’immersion des déchets industriels et radioactifs et des boues d’épuration. L’article III de cette convention, définit l’immersion comme « tout rejet délibéré dans la mer de déchets et autres matières à partir de navires, aéronefs, plates-formes ou autres ouvrages placés en mer ». Cette convention interdit l’immersion de certaines matières (les composés organohalogénés, le Mercure et ses composés, le Cadmium et ses composés, les plastiques non destructibles, le pétrole brut et ses déchets, les déchets radioactifs...), précise les substances et les matières dont l’immersion nécessite des précautions spéciales, énumère les dispositions qui doivent être prises en considération pour établir les critères régissant la délivrance des autorisations d’immersion. (Convention de 1972 de la prévention de la pollution des mers résultant de l’immersion de déchets, 1972 in (Hayet, A. et al. 2017)).

## 6.2. La convention OSPAR

Est une convention de coopération internationale dédiée à « la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord – Est » dont plusieurs pays de l'Union Européenne sont signataires. Cette convention a été mise en vigueur en Mars 1998 pour réunir et remplacer certaines directives de la convention d'Oslo en 1972 de « la prévention de la pollution des mers des navires et des aéronefs » et la convention de Paris en 1974 de « la prévention de la pollution des mers de la pollution d'origine tellurique ». La convention OSPAR oblige les parties contractantes à prendre les mesures nécessaires afin de réduire ou cesser ([Convention OSPAR, 1992 in \(Hayet, A. et al. 2017\)](#)) : L'emploi des substances persistantes, toxiques et susceptibles de bioaccumulation, qui Proviennent de sources telluriques, a pollution par les opérations d'immersion ou d'incinération de déchets, Pollution provenant de sources offshores.

**Tableau 3 :** Valeurs guides des niveaux N1 et N2 ( $\mu\text{g/g}$ ) proposées pour les métaux lourds et les PCB pour la France convention d'OSPAR ([Alzieu et al. 1999](#) ; [CJB/EAM, 2007](#)).

ETM	NIVEAU 1 (N1)	NIVEAU 2 (N2)
Arsenic	25	50
Cadmium	1.2	2.4
Chrome	90	180
Cuivre	45	90
Mercure	0.4	0.8
Nickel	37	74
Plomb	100	200
Zinc	276	552

- Niveau N1 : Il représente un seuil en dessous duquel l'immersion des sédiments peut être autorisée sans études complémentaires et au-dessus duquel une étude plus approfondie pourrait être nécessaire.
- Niveau N2 : Il correspond à un seuil au-delà duquel l'immersion pourrait être interdite sauf si elle constitue la solution la moins dommageable pour l'environnement, ([Alzieu et al. 1999](#)).

### **6.3. La convention d'Helsinki**

Ou la « convention de protection de l'environnement marin de la mer Baltique » vise à contribuer à la réduction de la pollution dans la zone de la mer Baltique. Les mesures prises pour la protection de la mer Baltique doivent éliminer toute trace de pollution qui peut menacer la qualité de l'air, l'eau, le sol et la santé de l'Homme ([HELSINKI Convention, 1992](#)). Les parties contractantes doivent s'assurer de ne pas provoquer une pollution transfrontière dans les zones en dehors de la zone de la mer Baltique.

### **6.4. La Convention de Barcelone**

Adoptée une première fois en 1976, puis renforcée et amendée en 1995, vise à réduire voire éliminer la pollution dans la zone de la mer méditerranée. Les parties signataires de cette convention, sont tenues à contrôler les rejets des polluants d'origine tellurique et des polluants des navires, résultants de l'exploitation et de l'exploration du plateau continental et des fonds marins. Parmi les protocoles élaborés dans le cadre de cette convention ([GEODE, 2012](#)) :

- Un « Protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs »
- Un « Protocole relatif à la coopération en matière de lutte contre la pollution de la mer méditerranée par les hydrocarbures et autres substances nuisibles en cas de situation critique »
- Un « Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique »

### **6.5. Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000**

Les opérations de dragage doivent tenir compte des objectifs de qualité de l'eau superficielle imposés par la DCE. Cette directive établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle a pour objectif de réduire les rejets et émissions de substances classées « prioritaires » (SP) et supprimer, d'ici, 2021, les rejets de substances classées comme « prioritaires dangereuses » (SDP). Les substances prioritaires et prioritaires dangereuses dans le domaine de l'eau sont listées dans l'annexe X de la DCE. En vue d'obtenir un bon état chimique des eaux de surface et conformément aux dispositions et aux objectifs de l'article 4 de la DCE, des Normes de Qualité Environnementale (NQE) pour les substances prioritaires et certains autres polluants ont été établis dans la Directive 2013/39/UE qui concerne le bon état chimique des masses d'eau. ([GEODE, 2012](#)).

## **6.6. Directive Cadre sur les Déchets 2008/98/CE du 19 novembre 2008**

Cette directive établit un cadre juridique pour le traitement des déchets au sein de l'UE. Elle vise à protéger l'environnement et la santé humaine par la prévention des effets nocifs de la production et la gestion de déchets. Cette directive stipule notamment que les « sédiments placés au sein des eaux de surface aux fins de gestion des eaux et des voies d'eau, de prévention des inondations, d'atténuation de leurs effets ou ceux des sécheresses ou de mise en valeur des terres sont exclus du champ d'application de la présente directive, s'il est prouvé que ces sédiments ne sont pas dangereux ». Par effet inverse, les sédiments hors d'eau dangereux sont donc considérés comme des déchets au sens de cette directive (Hayet, A. et al. 2017).

## **6.7. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin 2008/56/CE**

La Directive Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) 2008/56/CE du 17 juin 2008 vise à améliorer l'état de conservation de la biodiversité marine. Elle a pour objectif l'atteinte ou le maintien d'un bon état écologique du milieu marin pour 2020. Tel qu'il est défini dans la Directive, le bon état écologique du milieu marin tient compte de l'exercice d'activités humaines en mer ou à terre ayant un impact sur le milieu, Les activités de dragage et les filières de valorisation sont directement concernées par la DCSMM. De plus, le bon état écologique, objectif final à atteindre, est défini sur la base de onze descripteurs qualitatifs (annexe I de la Directive, tableau I) répartis en trois catégories : descripteurs d'état, descripteurs d'impact et descripteurs de pression. Cinq des onze descripteurs proposés peuvent s'appliquer aux impacts potentiels des activités de dragage (GEODE, 2012).

## **7. Sélection du site d'immersion**

Le choix d'une zone d'immersion en mer ne suppose pas seulement la prise en considération de paramètres de caractère écologique, mais également l'examen de la faisabilité économique et pratique. Dans ce choix, on veillera à ce que l'immersion des matériaux de dragage n'interfère avec ou dévalue les utilisations commerciales et économiques légitimes du milieu marin, ni ne produit des effets indésirables sur les écosystèmes marins vulnérables ou espèces et habitats. Pour pouvoir évaluer un site d'immersion en mer, il convient de connaître les éléments suivants, en tant que des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du fond marin, par exemple, topographie, conditions d'oxydoréduction, matière vivante benthique. (caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la colonne d'eau, par exemple, hydrodynamiques (effets des courants, des marées et du vent sur le déplacement horizontal et le brassage vertical), température, pH, salinité, stratification, indices de pollution

notamment oxygène dissous (OD), besoin chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène (DBO), présence d'azote sous forme organique ou minérale, et notamment présence d'ammoniaque, de matières en suspension, d'autres matières nutritives, productivité, espèces pélagiques et proximité aux:

- Zones récréatives.
- Zones de frai, de recrutement et nourricières de poissons, crustacés et mollusques.
- Voies de migration connues des poissons ou des mammifères marins.
- Zones de pêche commerciale et sportive.
- Zones de mariculture.
- Zones de beauté naturelle ou ayant une grande importance culturelle ou historique.
- Zones d'importance scientifique, biologique ou écologique spéciale.

L'avenir des déblais de dragage pose de nombreuses problématiques, tant d'ordre technique qu'environnemental. Une attention toute particulière doit être portée aux opérations se réalisant à proximité de zones sensibles telles que les réserves protégées. De telles opérations engendrent un volume considérable de sédiments, et peuvent entraîner des modifications sur l'environnement marin (Coulon, F. 2014).

Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, leur niveau de contamination et les risques qu'ils présentent pour l'environnement, les matériaux dragués peuvent être : soit rejetés en mer par surverse au moment du dragage, soit immergé dans les zones autorisées, soit déposés à terre en vue d'un stockage ou d'un traitement. Le rejet en mer « Immersion » est l'option la plus retenue partout dans le monde par les gestionnaires des opérations de dragage. En effet, il représente la solution la moins coûteuse. Les coûts ne dépendent que de la distance séparant le site de mise en dépôt et la zone de dragage. Cette solution n'est permise que lorsque les sédiments ont des concentrations en métaux lourds et en polluants organiques inférieures aux seuils d'acceptabilité du rejet en mer fixés par les critères adoptés (Bel Hadjali, I. 2014).

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

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

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

La description de l'état initial dans l'étude d'impact propre aux zones d'immersion devra, par exemple, recenser les zones d'importance halieutique, les zones d'intérêt environnemental, les sites de cultures marines proches, les zones de baignade, les zones de prise d'eau, ainsi que d'une façon générale les zones économiques et de loisirs (Bachouche S., 2010).

## **Chapitre 2 : Zone d'étude**

## 1. Situation géographique

D'un point de vue administratif, la zone de Sidi Fredj est située à la commune de Staoueli Daïra de Zéralada wilaya d'Alger. La région de Sidi Fredj est considérée comme presque une île, elle est située à 24.5 km au nord-ouest d'Alger elle s'étend sur 1 km au bord de la mer. La Zone forme le cap de la baie de Bou-Ismaïl, la limite ouest de la baie d'El Djamilia où se situe la pointe de Saint Janvier et à l'est de cette dernière on trouve la pointe de Marabout qui s'étend à l'est de la baie de Bou-Ismaïl. La région comporte un port de plaisance implanté dans l'abri Est qui s'intègre dans le complexe touristique. Le port de Sidi Fredj se situe entre 2°50'48'' Est de longitude et 36°45'17'' Nord de latitude jusqu'à 2°50'41'' Est de longitude et 36° 45' 06'' Nord de latitude.

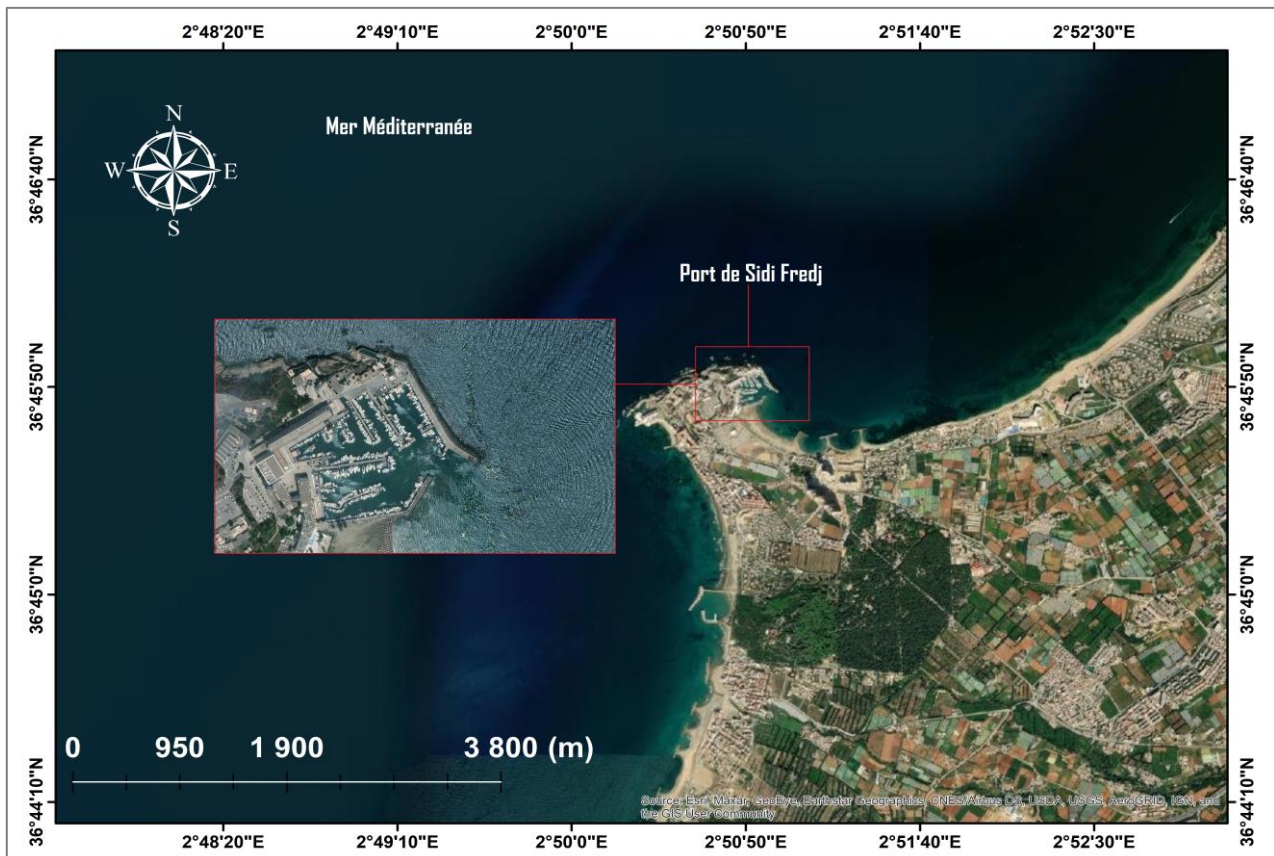


Figure 2 : Image satellitaires du port de Sidi Fredj

## 2. Aspect Géologique

Le socle dont les affleurements sont considérés comme une partie du massif d'Alger qui est formé par des roches métamorphiques (gneiss, micaschistes et calcaires métamorphiques. (Degiovanni, 1973).

L'âge des sédiments au-dessus du socle est estimé de 66.4 Ma c'est-à-dire l'époque *Paléocène*.

ÈRES	PÉRIODES	ÉPOQUES
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Holocène (récent) Pléistocène
	TERTIAIRE	1,6 — 5,3 — Pliocène 23,7 — Miocène 36,8 — Oligocène 57,8 — Éocène 66,4 — Paléocène

Figure 3 : l'échelle relative des temps géologiques.

### 3. Les infrastructures du Port de Sidi Fredj

C'est notre zone d'étude la superficie du port de Sidi Fredj s'étend sur 38000 m<sup>2</sup>, les délimitations du port représentent des ouvrages de protection contre la houle et la nature rocheuse protégé ces derniers.

Le port de Sidi Fredj est constitué de cinq bassins édifiés permettant l'accostage des embarcations et des petits bateaux.

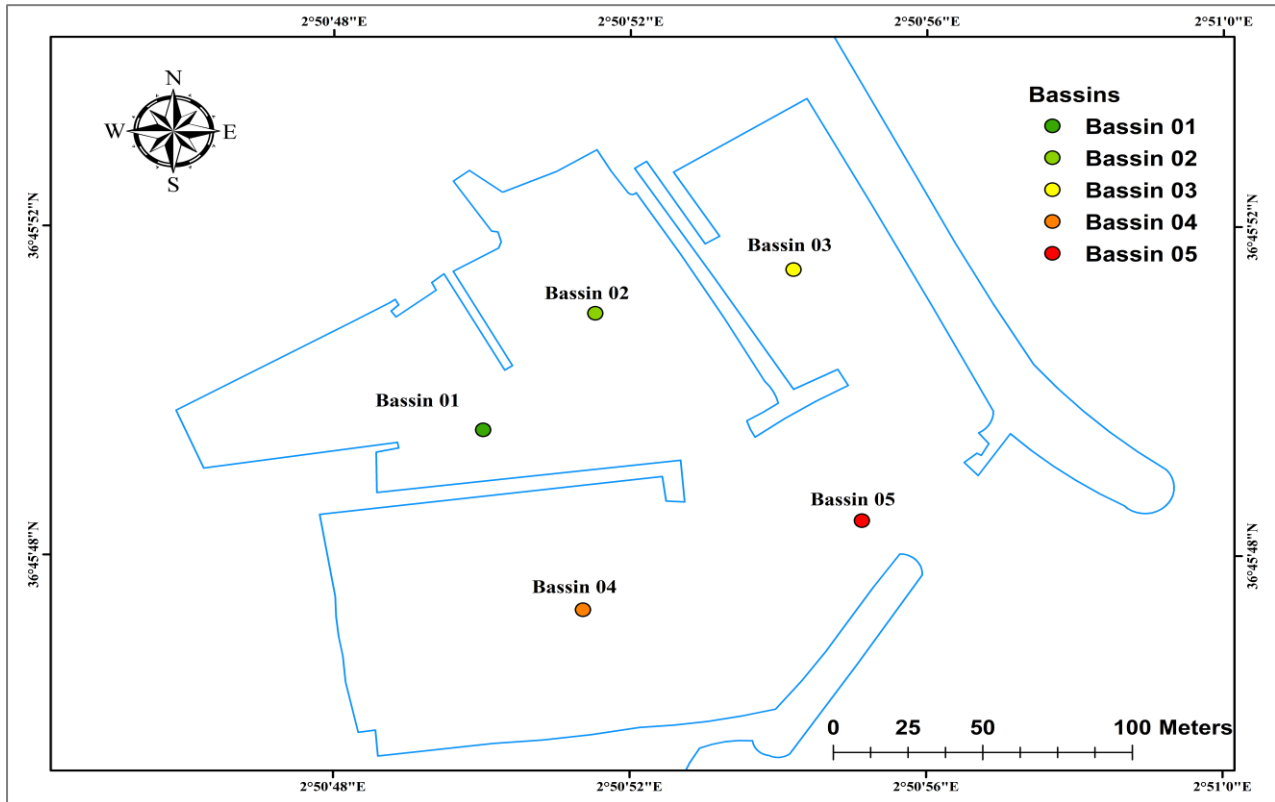
Tableau 4 : Superficie et profondeur des bassins du port (Amrani et Ferhat, 1994)

Bassin Portuaire	Superficie (m <sup>2</sup> )	Profondeur (m)
1	8000	0,40 à 2,20
2	3000	1,75
3	5000	3 à 4,80
4	10000	1,40 à 2,60
5	9400	0,50 à 5

- **Bassin 01** : c'est le bassin le plus loin de l'entrée du port il est caractérisé par le diversement d'un égout principal.
- **Bassin 02** : délimité par l'épi de la tour mauresque et la station d'essence.

## Chapitre 2 : Zone d'étude

- **Bassin 03** : c'est le bassin de relâche en hiver pour les bateaux il est délimité par la grande jetée.
- **Bassin 04** : délimité par le quai numéro 03 et la jetée sud.
- **Bassin 05** : se situe à la sortie du port adressé au large.



**Figure 4** : Carte des bassins du Port de Sidi Fredj

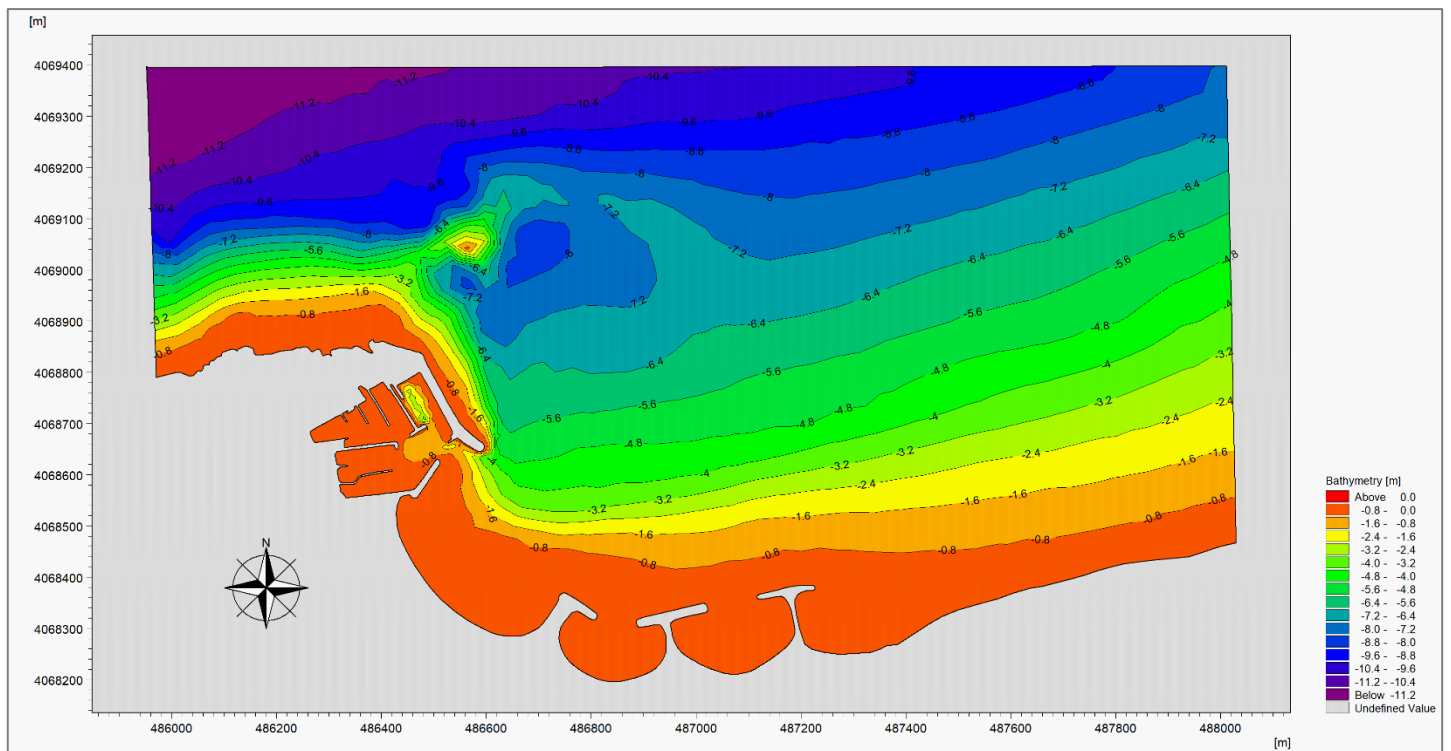
Les deux jetées du port sont de type à talus faites d'enrochements naturels. La grande jetée Nord, principale, longue de 260 m, se termine par un musoir et sert de barrière de protection contre les houles.

La petite jetée Sud délimitant la plage Est de Sidi Fredj est longue de 200 m.

**Côté port** : La digue est aménagée en quais accostables, comportant 3 épis et 8 appontements (04 fixes et 04 flottants).

**Côté mer** : Le talus de la digue est protégé jusqu'à une certaine profondeur (1,5 m) par des blocs d'enrochements naturels. L'intérieur et l'extérieur du port sont séparés par un mur servant d'abri.

#### 4. La Bathymétrie des fonds



**Figure 5 :** Carte bathymétrique de la Baie d'El Djemila côté Ouest

Le plateau continental des cotes algériennes est très étroit surtout au niveau des massifs et des caps, Au niveau de cap de Sidi Fredj la largeur du plateau continental est de moins de 10 Km (Leclaire, 1972).

#### 5. La dérive littorale

Dans la région de Sidi-Fredj, les observations sur terrain par la méthode des flotteurs lestés, montrent que : pendant les houles de secteur Nord-ouest, la dérive littorale est de direction de Nord-sud sur la côte Ouest de la presqu'île et d'Ouest Sud-ouest vers l'Est Nord-est sur la côte Est (De Giovanni, 1973).



Figure 6 : Dérive littorale dans la zone de Sidi Fredj. (De Giovanni, 1973) (Modifié)

## 6. La couverture sédimentaire

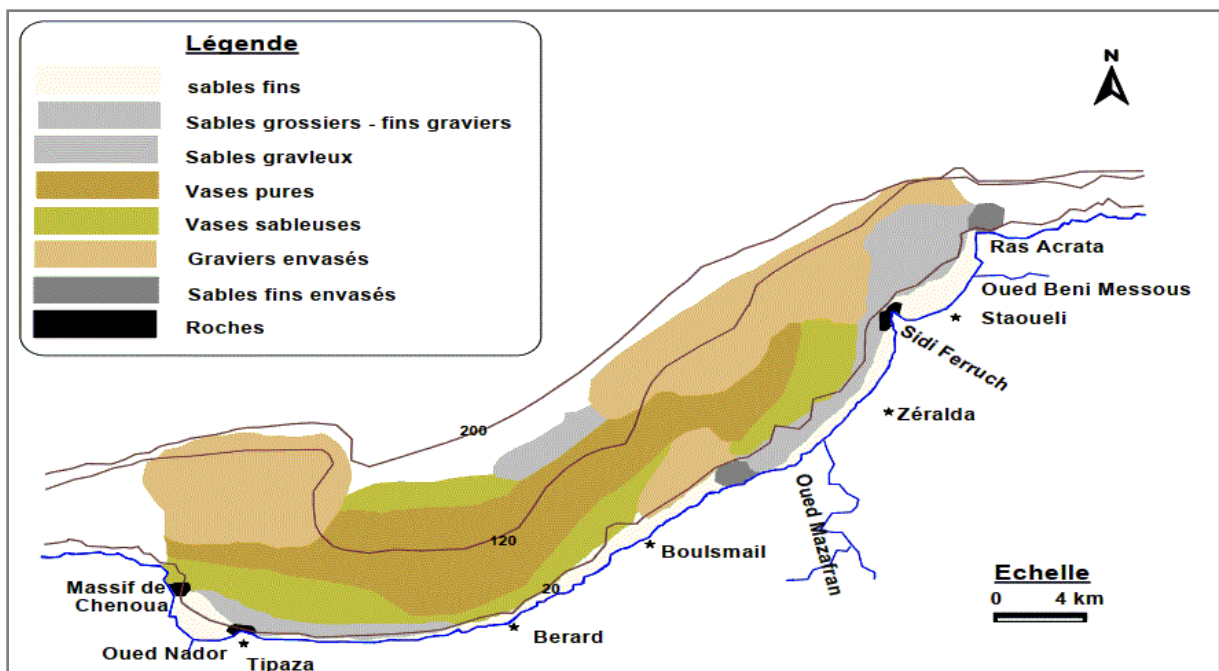


Figure 7 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2004)

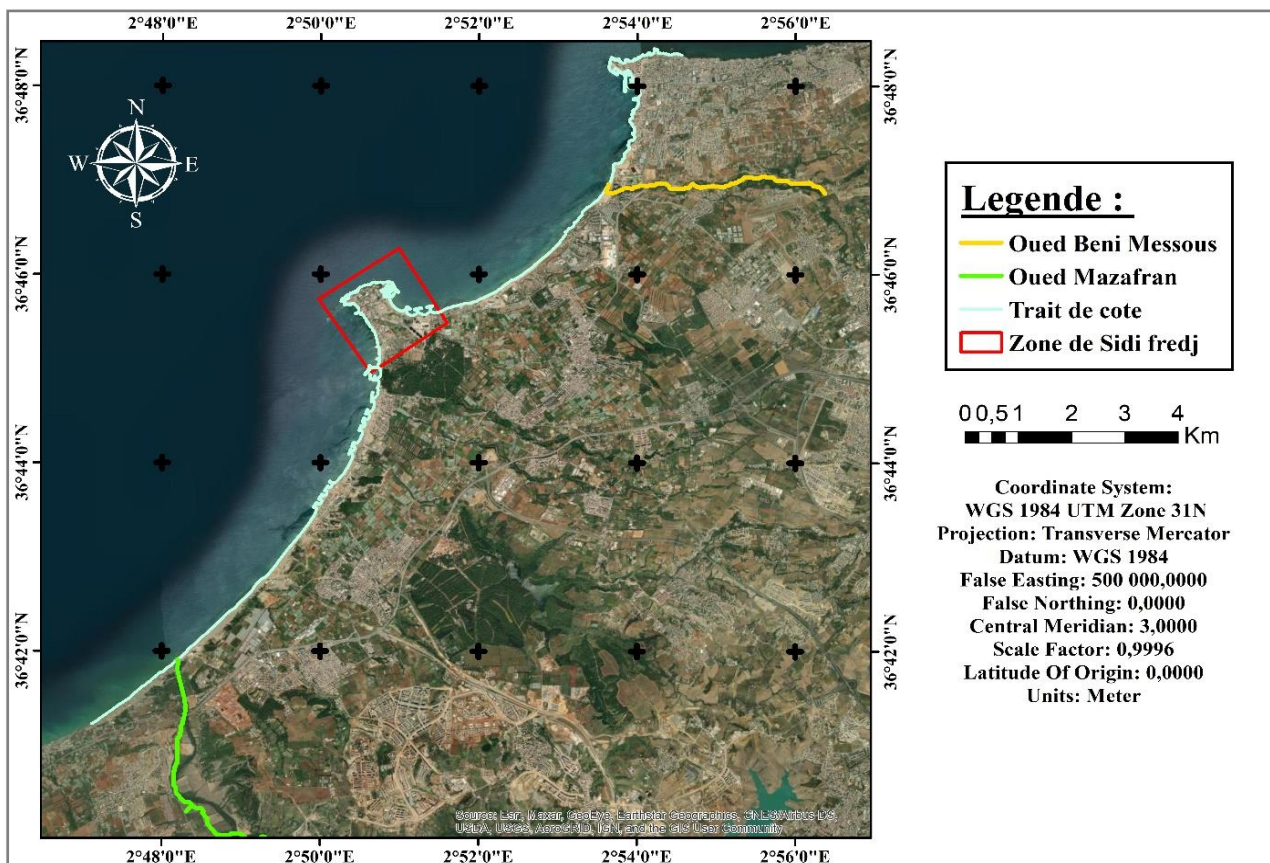
La répartition et la nature des sédiments du plateau continental dépendent de son relief, l'importance des apports terrigènes, des courants et des houles (Leclaire, 1972).

- Les vases et les galets sont les réceptifs dominants sur la baie de Bou-Ismaïl.

- Au niveau du cap de Sidi Fredj les zones peu profondes sont recouvertes par les sables fins surtout au niveau de la plage Est.
- Le sable fin envasé couvre une partie au nord du cap qui s'étend jusqu'au Ouest.
- Les sables fins se trouvent près de l'embouchure de Oued Beni Messous.

## 7. Réseau hydrographique

Les principaux jettent d'eau qui sont près de la zone de Sidi Fredj sont l'oued de Mazafran situé au Ouest de la région et celui de Beni Messous à l'Est.



**Figure 8 :** Image satellitaire des réseaux hydrographiques dans la baie de Staoueli

**Oued Mazafran :** C'est le plus important oued qui découle dans la baie de Bou-Ismaïl il se forme par la réunion des trois Oueds Chiffa, Djer et Bouroumi. L'oued de Mazafran est caractérisé de juin à décembre en 2013 par un débit moyen de 17.38% du débit liquide annuel. Ainsi que en 2013 du décembre a Avril le débit moyen est de 82.61% ce qui démontre un changement du débit important en Hiver et en printemps par rapport à l'été et l'automne. Le débit solide de ce oued est supérieur à 15 000 kg/s (Foudil, B. 2012).

La zone d'embouchure d'oued Mazafran est localisée au niveau de la plage Colonel Abbas qui se situe entre Zéralada et Douaouda.

**Oued Beni Messous** : se situe entre el Djamila et Sidi Fredj son embouchure à Chéraga à environ 20 km à l'ouest d'Alger. traverse les communes de Beni Messous et Chéraga au nord, de Bouzaréah au Nord-Est, Delly Ibrahim à l'Est, Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée « les dunes» qui fait partie de la baie d'El Djamila. Son débit est estimé de 0.245 m<sup>3</sup>/s il est faible par rapport à l'oued de Mazafran. (Menguellati et Sraoui, 2012).

## 8. Facteurs météorologiques

### 8.1. Température et précipitation

La région de Sidi-Fredj, comme l'ensemble des côtes Algériennes, est caractérisée par un climat méditerranéen, tempéré : relativement froid et humide en hiver et chaud en été.

#### 8.1.1. La température

**En période hivernale** : de décembre à Mars les températures en hiver sont très variables, elle varie entre 5°C au minimum et 19°C au maximum.

**En période estivale** : de Juin à Septembre les températures en été sont très variables, elle varie entre 16°C au minimum et 32°C au maximum.

**Tableau 5** : Variation de la température (°C) région de Sidi Fredj ([fr.climate-data.org](http://fr.climate-data.org))

Période	Température (°C)	
	Min	Max
Hivernale	5°C	19°C
Estivale	16°C	32°C

#### 8.1.2. Précipitation

**En période hivernale** : la pluviométrie est importante de Décembre à Mars, varie entre : 60 mm au minimum et 94 mm au maximum.

**En période estivale** : la pluviométrie est faible de Juin à Septembre, varie entre : 1 mm au minimum et 24 mm au maximum.

**Tableau 6 :** Variation de la pluviométrie (mm) région de Sidi Fredj ([fr.climate-data.org](http://fr.climate-data.org))

Période	Précipitation (mm)	
	Min	Max
Hivernale	60 (mm)	94 (mm)
Estivale	1 (mm)	24 (mm)

## 8.2. Les Vents

Dans la région de Sidi-Fredj, la répartition des vents est globalement concordante avec celle des houles le long de l'année. (LEM, 1984).

## 9. Facteurs hydrodynamiques

### 9.1. Les courants

La côte algérienne est traversée par un courant général dénommé courant Algérien résultant d'un écoulement d'eau atlantique à travers le détroit de Gibraltar, le courant Algérien pénètre sous forme de veine et circule d'Ouest en Est, et dès 1° et 2° est, il donne naissance à des méandres et des tourbillons côtier (50-100 km) associés à des upwellings. (Millot *et al*, 1990 in Boudjellaba et Dehane, 2012).

**Les courants côtiers :** En absence de courant permanent ou de marée suffisamment importante, les courants induits par la houle au large ou à la côte. (Caulet, 1972 in Boudjellaba et Dehane, 2012).

**Tableau 7 :** Tableau de Fréquence en pourcentage d'apparition de la houle dominante (LEM in Sadaoui et Chabi, 2011).

	Nord	Nord-Est	Nord-Ouest	Ouest
Fréquence en Hiver (%)	7.766%	26.016%	4.433%	17.266%
Fréquence en Eté (%)	9.266%	10.533%	8.816%	33.183%
Fréquence Annuelle (%)	8.52%	18.27%	6.62%	25.22%

## 9.2. La houle

Les houles hivernales qui sont de direction Ouest et Nord-ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin. (Haddouche, 2003).

Les houles estivales sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la cote. (Haddouche, 2003).

## 10. Les Sources de pollution

Les principales sources de pollution au niveau de la région de Sidi Fredj sont les eaux usées domestiques venant des constructions municipales qui entourent cette zone. Concernant le port de Sidi Fredj les sources de pollution sont :

- Les rejets des travaux d'entretien des embarcations (peinture, casiers, huiles, détergents...).
- L'égout qui se jette dans le bassin 01, représente la source de pollution a plus importante.
- Les rejets organiques comme les hydrocarbures et inorganiques comme les métaux lourds venant des embarcations et la station d'essence.

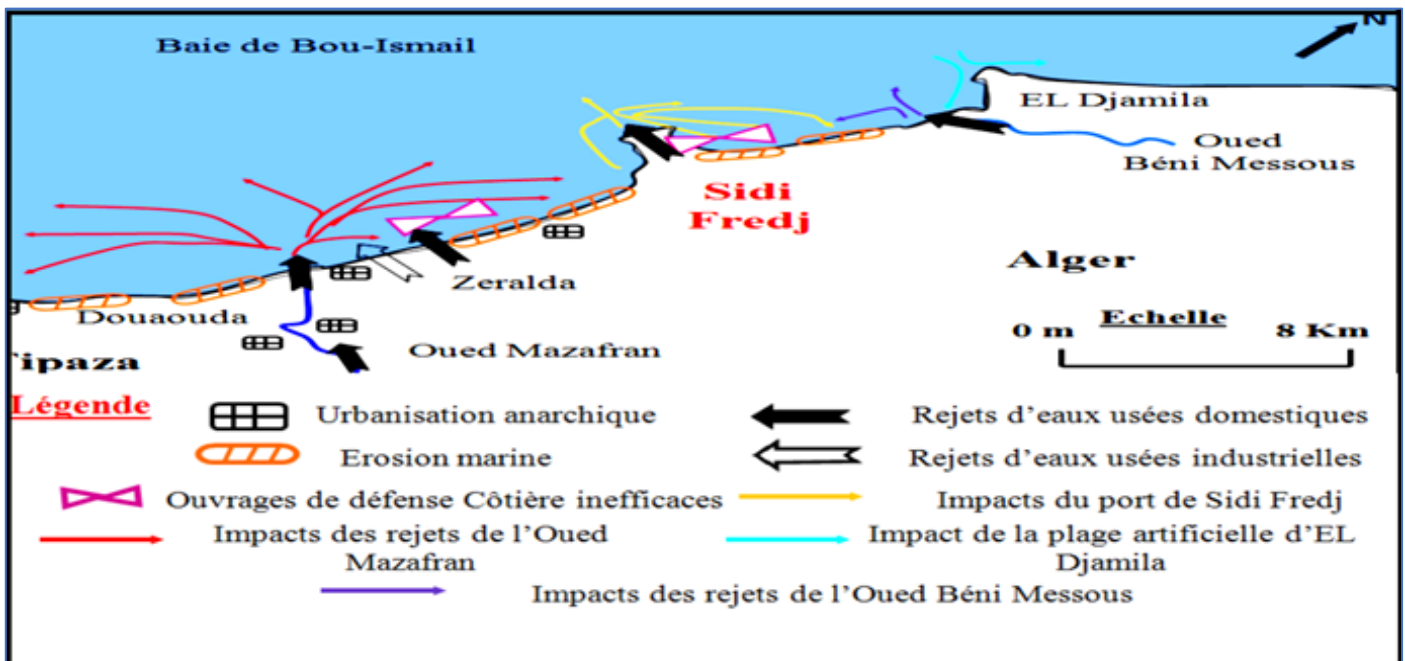


Figure 9 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la région de Sidi Fredj.

(Belkessa et al. 2008).

## **Chapitre 3 : Matériels et méthodes**

## 1. Travaux effectués en mer et paramètres mesurés

### 1.1. Choix et localisation des stations

Dans le but d'évaluer la qualité du sédiment superficiel du port de Sidi Fredj, une sortie en mer a été programmée le 14 juillet 2021. Les travaux en mer ont été réalisés au bord de l'embarcation « Habibas II » dont le nombre de stations échantillonner est de 09. Ces stations ont été positionnées à l'aide d'un G.P.S. Au cours de cette sortie, les paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, et oxygène dissous) ont été mesurés *in-situ*, alors que les échantillons d'eau de mer destinés à la mesure de (MES) et les échantillons de sédiment destinés à l'analyse des métaux lourds ont été conservés pour l'analyse au laboratoire.

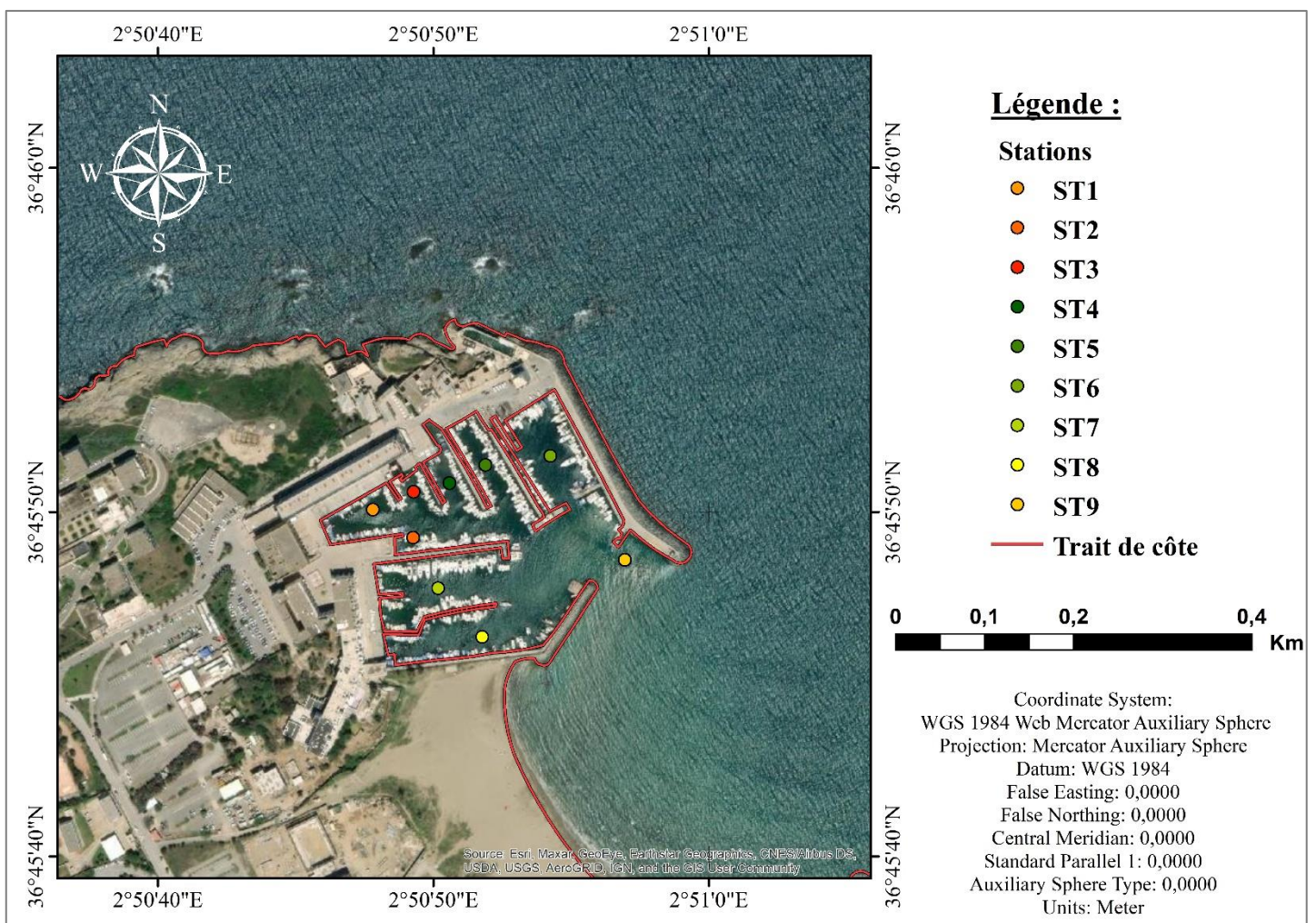


Figure 10 : Localisation des stations de prélèvements au niveau du port de Sidi Fredj

## 1.2. Prélèvement d'eau de mer

Le prélèvement de l'eau a été effectué en surface à l'aide d'une bouteille NISKIN (capacité de 5 litres) qui s'agit d'un cylindre, ouvert aux deux extrémités et muni de systèmes de fermeture, que l'on descend à la profondeur désirée et que l'on ferme à distance à l'aide d'un « messenger » afin d'y enfermer le volume d'eau qui sera remonté à bord de l'embarcation.

L'échantillonnage a été effectué dans des flacons en polyéthylène de 1 litre.

Chaque flacon est rincé avec de l'eau de mer à analyser.

## 1.3. Mesure des paramètres physico-chimiques :

### 1.3.1. L'Oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous dans l'eau de mer a été mesuré par un oxymètre de terrain de marque « HANNA, HI 9146 ». Sa teneur est donnée en mg/l et en pourcentage (%).

### 1.3.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'eau de mer a été mesuré par d'un pH-mètre de terrain de marque WTW pH 315i préalablement calibré. Sa précision est de  $\pm 0,01$ .

L'électrode en verre est rincée après chaque manipulation avec l'eau distillée et légèrement essuyée.



Figure 11 : prélèvement de l'eau de mer



Figure 12 : Mesure de l'oxygène dissous



Figure 13 : pH-mètre de terrain de marque WTW pH 315i

### 1.3.3. La température

La température est mesurée *in-situ* en ( $^{\circ}$  C) à l'aide d'un pH mètre de terrain de type WTW pH 315i d'une précision de  $\pm 0.01$ pH (Figure 13).

### 1.3.4. La salinité et la conductivité

La mesure de salinité et de conductivité est effectuée à l'aide d'un conductimètre type (Cond197i, WTW) avec une précision de  $\pm 0.1\%$ . la conductivité est donnée en **mS/cm** et la salinité en **P.S.U.**



**Figure 14** : conductimètre type (Cond197i, WTW)

### 1.4. Prélèvement du sédiment

Le prélèvement du sédiment se fait à l'aide d'une bene VAN VEEN piocheuse inoxydable.

Le sédiment destiné à l'analyse des métaux doit être prélevé dans la partie centrale, la couche superficielle est prélevée à l'aide d'une spatule en plastique et mise dans des sachets de congélation.

L'outil préleveur qui est en contact avec l'échantillon doit être isolé des métaux pour ne pas influencer les résultats d'analyse.

Les échantillons sont immédiatement placés au frais dans une glacière et transportés au laboratoire de Sidi Fredj.



**Figure 15** : Benne de VAN VEEN

### 1.5. Conservation des échantillons

Les échantillons sont transportés dans des sachets de congélation, une étiquette stable et ineffaçable est nécessaire sur chaque sachet.

L'étiquetage doit assurer la traçabilité précise de l'échantillon, les informations principales à mentionner sont :

- La station concernée ou un code permettant d'identifier la station,
- La date et l'heure d'échantillonnage.

Les piluliers destinés à l'analyse des métaux sont congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$  dans les meilleurs délais en attendant l'analyse.

## **2. Travaux effectués au laboratoire**

### **2.1. Analyse de la matière en suspension (MES)**

#### **Matériel**

- Des membranes filtrantes Whatman (GF/F) ( $\varnothing = 0.45\mu\text{m}$ ).
- Rompe de filtration de marque Millipore.
- Etuve à  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  de type WTB BINDER.
- Four à moufle de type WiseTherm.
- Balance de précision de type KERN ABS220-4N (dont la sensibilité est de  $1/10000$  g).
- Dessiccateur contenant du gel de silice.
- Epprouvettes graduées de 250 ml.
- Pinces en acier inoxydable
- Portes filtres avec couvercle.
- Pissette d'eau distillée.

#### **Mode opératoire**

- Conditionnement des filtres
  - Etaler les filtres sur une feuille d'aluminium.
  - Mettre les filtres au four à moufle à  $450^{\circ}\text{C}$  pendant 2 h afin de les nettoyer de toute substance organique et ainsi renforcer leur rigidité et leur solidité.
  - Laisser refroidir les filtres au dessiccateur.
  - Numéroter les boîtes à filtres.
  - Peser les filtres pour avoir P1.
  - Placer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, et les mettre au dessiccateur.
- Filtration de l'eau de mer
  - Homogénéiser doucement l'échantillon.
  - Mesurer 500ml d'eau de mer avec l'éprouvette.
  - Placer le filtre dans le dispositif de filtration.
  - Verser l'échantillon et actionner la pompe à vide.
  - Filtrer le volume de l'eau mesuré.
  - Mettre le filtre dans l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 2h.

- Peser chaque filtre pour avoir P2.

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

$$MES (mg/l) = (P2 - P1) / VF$$

- **P1** : poids du filtre avant filtration de l'échantillon (mg).
- **P2** : poids du filtre après filtration de l'échantillon (mg).
- **V<sub>f</sub>** : volume d'eau filtré en litre (l).



**Figure 16** : Rampe de filtration de marque Millipore

## 2.2. Détermination de la matière organique particulaire (MOP)

Selon (Rodier, 1984), la mesure de la matière organique particulaire consiste à sécher des filtres d'eau de mer dans un four à moufle à 450°C pendant deux heures afin de brûler toute la matière organique.

### Matériel :

- Filtres contenant la matière en suspension.
- Creusets en porcelaine.
- Four à moufle de type WiseTherm.
- Balance de précision de type KERN ABS220-4N (dont la sensibilité est de 1/10000 g).
- Pince, dessiccateur.

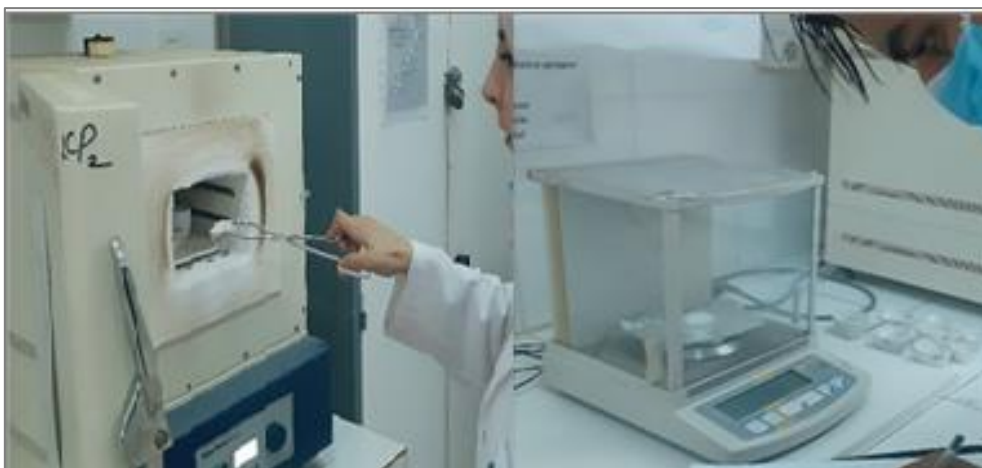
### Mode opératoire :

- Peser les creusets munis du filtre contenant la matière en suspension (P3).
- Mettre les creusets dans le four à moufle à 450°C pendant 2h.
- Laisser refroidir au dessiccateur.
- Peser une seconde fois (P4).

La différence de ces deux poids (P3, P4) nous donne celui de la matière organique brûlée :

$$MOP(mg) = P3 - P4$$

- **P3** : Poids du creusé avec le filtre avant séchage (mg).
- **P4** : Poids du creusé avec le filtre après séchage (mg).



**Figure 17** : Les étapes de la mesure de la MOP

### 2.3. Analyse de la matière organique dans le sédiment (MO)

#### Matériels :

- Creusets en porcelaine préalablement nettoyés et numérotés.
- Four à moufle de marque Carbolite CWF 1200.
- Balance de type Denver M-220D.
- Pinces, spatules.

### Mode opératoire :

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

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

$$\%MO = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \times 100$$

- % **MO** : pourcentage de la matière Organique.
- $P_0$  : Poids du creuset vide (g).
- $P_1$  : Poids du creuset final (g).
- $P_2$  : Poids du creuset contenant les cendres (g).



**Figure 18** : Les étapes de la mesure de la matière organique dans le sédiment.

## 2.4. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...). L'analyse granulométrique peut être réalisée par tamisage. Le Principe du tamisage consiste à mesurer le poids de sédiment retenu par les toiles de mailles de tamis calibrés. Chaque tamis est superposé par taille de maille décroissante selon une progression mathématique. Le poids de sédiment retenu (refus de tamis) peut alors être connu. On utilise une tamiseuse qui va faire vibrer l'ensemble de la colonne pendant un temps précis généralement 10 minutes). Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose.

### Matériel :

- Série de Tamis série AFNOR (norme NF X 11-501 : dont l'ordre des tamis par ordre de diamètres décroissent par unités de microns, est le suivant : 2000 µm, 1600 µm, 1250 µm, 1000 µm, 800 µm, 630µm, 500µm, 400µm, 315µm, 250µm, 200µm, 180µm, 160µm, 140µm, 100µm, 80µm, 63µm.
- Balance de précision de type ADVENTURER (de 1/100g)
- Etuve de marque MEMMERT.
- Colonne vibrante de marque RETSCH.
- Boites de pétries.

### Mode opératoire :

- Sécher les échantillons à 105 °C pendant 24 h dans des boites de pétries.
- Peser 400 g de chaque échantillon ( $P_i$ ).
- Laver l'échantillon sous le robinet à l'aide d'un tamis de 63 µm et agiter manuellement (pour éliminer la fraction pélitique).
- Sécher à nouveau les échantillons à 105 °C pendant 24 h dans des boites de pétries.
- Repeser les échantillons ( $P_f$ ).

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

$$P (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <math>P_i</math> : le poids initial.</li><li>▪ <math>P_f</math>: poids final après rinçage.</li></ul> |
|---|

- Tamiser sur une colonne vibrante pendant 10 min.
- Peser les refus de chaque tamis.



**Figure 19 :** Tamisage et peser des refus

## 2.4.1. Les paramètres de distribution

### 2.4.1.1. Les quartiles

**Le 1<sup>er</sup> Quartile Q1 :** Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.

**Le 2<sup>ème</sup> Quartile Q2 :** La médiane correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50 % du poids total du sédiment échantillonné, elle est déduite aussi à partir de la courbe cumulative.

**Le 3<sup>ème</sup> Quartile Q3 :** Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment.

**Tableau 8 :** Classification des grains de sables selon la norme française

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

## 2.4.2. Les indices granulométriques

### 2.4.2.1. L'indice central MZ

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$$

$$D'où \Phi = -\log_2 D$$

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

**Tableau 9** : Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain (Folk et Ward, 1957)

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

### 2.4.2.2. Le coefficient d'asymétrie Sk (Skewness)

Le coefficient de skewness exprime la symétrie par rapport à la médiane. Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers le grossier, ou vers le fin.

Folk et Ward (1957) :

$$Sk = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})/2 (\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})/2 (\phi_{95} + \phi_5))$$

**Tableau 10 :** Les valeurs adoptées pour le  $S_k$  représentant l'asymétrie du sédiment (Folk et Ward, 1957)

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

### 2.4.2.3. L'indice de classement $S_0$

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

Folk & Ward (1957) :

$$S_0 = [(\varphi_{84} - \varphi_{16})/4] + [(\varphi_{95} - \varphi_5)/6,6]$$

**Tableau 11 :** Les valeurs adoptées pour  $S_0$  représentant les types de classement (Folk et Ward, 1957)

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

## 2.5. La densité du sédiment

### 2.5.1. Matériel utilisés

- Eprouvettes graduées de 10 ml.
- Balance de précision de type ADVENTURER (de 1/100g).

### 2.5.2. Mode opératoire

- Peser les éprouvettes graduées à vide (*P1*).
- Remplissage des éprouvettes avec du sédiment jusqu'au volume de 10 ml.
- Peser les éprouvettes remplis du sédiment (*P2*).

La détermination de la densité suivant l'équation suivante :

$$\rho = \frac{P2 - P1}{V}$$

- *V* : Volume de l'éprouvette.
- *P2* : poids des éprouvettes avec le sédiment (g).
- *P1* : poids des éprouvettes vides (g).

## 2.6. Analyse des métaux lourds

### 2.6.1. Conditionnement du matériel utilisé

Afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisés sont minutieusement nettoyés et conditionnés selon le protocole suivant :

- Lavage aux détergents commerciaux.
- Rinçage à l'eau courante.
- Rinçage à l'eau bidistillée obtenue sur système Milli Q.
- Séchage à l'étuve à 70 °C pour le matériel en verre et en Téflon, à 40°C pour polyéthylène et matière plastique.
- Rinçage à l'eau acidulée.
- Rinçage à l'eau bidistillée et séchage à l'étuve.



**Figure 20** : Conditionnement du matériel de l'analyse des métaux lourds

### 2.6.2. Traitement des sédiments

#### a) Lyophilisation

Le principe est basé sur la déshydratation des échantillons par sublimation donc c'est une libération de l'eau de l'échantillon solide vers une phase vapeur sans passer à la phase liquide elle se fait pendant 48 heures sous une pression de ( $10^{-1}$ mbar) et une température (-50 C° à -60 C°).



**Figure 21 : Lyophilisation du sédiment**

**b) Le broyage**

Le broyage des sédiments lyophilisés se fait à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine (Figure 22). Cette dernière est récupérée dans des piluliers et stockée dans un dessiccateur en présence de gel de silice.

**c) Homogénéisation**

L'homogénéisation permet d'avoir une meilleure répartition des particules à analyser, afin de récupérer la quantité suffisante pour l'analyse.

L'homogénéisation se fait pendant quelques minutes soit par agitation manuelle ou par un agitateur électrique.



**Figure 22 : Le broyage du sédiment**

**d) Extraction et minéralisation des métaux lourds**

Il existe plusieurs méthodes d'extraction des métaux lourds parmi eux on a l'extraction totale et l'extraction séquentielle ou bien partielle, cette dernière méthode est utilisée pour notre étude où une digestion partielle du métal adsorbé est effectuée.

Il s'agit de la méthode la plus classique (Pinta, 1979) faisant appel à une digestion de l'échantillon par une attaque acide (Chiffolleau et Truquet, 1990).

La digestion humide choisie fait appel à l'utilisation de deux acides forts (acide nitrique et acide chlorhydrique) à chaud et sous pressions, qui donne un rendement de récupération maximal de métaux lourds du fait de l'attaque efficace du sédiment par ces acides (Pinta, 1979).

Avant la minéralisation les sédiments ont subi les mêmes procédures de lyophilisation, broyage et homogénéisation.

Le principe de la minéralisation du sédiment pour la détermination des métaux lourds est basé sur le protocole décrit est celui adopté par l'AIEA, 1998 et l'AIEA, 2001 ; selon le matériel et les réactifs du laboratoire certaines étapes sont modifiées.

Les échantillons de sédiments sont traités dans des godets en téflon fermés avec de l'eau régale (1 volume d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré à 68 % + 3 volumes d'acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %) pour décomposer les échantillons. L'utilisation de l'eau régale permet de dissoudre le sédiment et libérer les métaux.

Pour la détermination du mercure : les échantillons de sédiments sont traités avec de l'acide nitrique concentré pour décomposer et solubiliser le mercure.

Un blanc et un échantillon de référence (AIEA 433) sont préparés avec une manière de digestion similaire à celle des échantillons donc dans les mêmes conditions de traitement et d'analyse.

#### ➤ **Minéralisation à blanc**

- La minéralisation à blanc se fait avant d'utiliser les godets par :
- L'ajoute de 4 ml d'acide nitrique 69 % dans chaque godet.
- Après la fermeture des godets, le chauffage se fait sur une plaque chauffante à 120 ° C pendant 2h30 min.
- Laisser refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement.
- Rinçage des godets à l'eau bidistillée puis séchage à l'étuve.

### ➤ **Minéralisation des échantillons**

Peser environ 0.5 g de la matrice à analyser après lyophilisation. Ajouter 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 une nuit, pour éviter un début de réaction imprévu (minéralisation à froid). Mettre les échantillons le lendemain sur une plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min. Laisser refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement. Ouvrir les godets et transférer les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml. Rincer les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau distillée. 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. Un godet pour témoin blanc a été inséré avec la série d'échantillons et subit le même traitement que ces derniers. (AIEA, 1998).



**Figure 23** : Etapes de la minéralisation des échantillons

### e) **Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique**

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

Les éléments métalliques adsorbés sur les sédiments marins ont été analysés par SAA de marque *Perkin Elmer* au niveau du laboratoire de la faculté de chimie Bab Ezzouar (USTHB).

### **f) Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)**

La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) se repose sur le principe que l'atome soumis un rayonnement d'énergie (E), Cette atome va passer de son état fondamental a un état excité, à cause des électrons qui vont passer de sons tour à un niveau d'énergie plus élevé et instable : donc c'est le phénomène d'absorption atomique.

Le retour de l'atome à son état initial est le résultat d'émission d'un rayonnement photonique d'une longueur d'onde ( $\lambda$ ).

L'intensité de cette absorption est contrôlée par le nombre des particules absorbant de la lumière selon la loi de Beer-Lambert.

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

$$I = I_0 \cdot e^{-\epsilon l C}$$

- La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :
- I : Intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergente).
- I<sub>0</sub> : Intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).
- $\epsilon$  : Coefficient d'absorption atomique (constant).
- l : Longueur du trajet optique (constante).
- C : Concentration de l'élément absorbant (analysé).

#### ➤ **L'étalonnage de l'appareil**

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

La mesure de la concentration des ETM dans les échantillons est déterminée depuis une courbe d'étalonnage réalisé à partir de solutions standards préparées au cours de l'analyse.

L'absorbance des solutions standards est mesurée ce qui donne une équation linéaire (voir l'annexe Tableau 02) :

$$Abs = (F)$$

$$Y = aX + b$$

- Y : la densité optique (DO).
- X : Concentration d'ETM à analyser.
- a : Pente de la courbe.
- b : Ordonnée a l'origine.

➤ **Calcul des concentrations**

La concentration du métal est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$C_{finale} = (C_x - C_b) * Fd * V/P$$

Où

- C<sub>finale</sub> : Concentration du métal dans l'échantillon en (µg/g).
- C<sub>x</sub> : Concentration du métal présent dans l'analyte (µg/ml).
- C<sub>b</sub> : Concentration en blanc (µg/ml).
- Fd : Facteur de dilution.
- V : Volume de dilution (ml).
- P : Poids sec de l'échantillon biologique minéralisé (g)

## 2.7. Evaluation de la contamination métallique du sédiment

### 2.7.1. Indice de géo accumulation (Igeo)

L'indice de géo accumulation proportionne l'information nécessaire sur la contamination des sédiments. Il fut introduit pour la première fois par **Müller** en **1979** dans l'étude des métaux lourds (Ni, Co, Cr, Pb, Cu, Hg, Zn, Cd) dans les sédiments de la rivière Rhein.

Ensuite cet indice a été utilisé dans différentes études comme un outil pour identifier l'apport anthropogénique dans les sédiments (Ruiz, 2001 ; Sainz et Ruiz, 2006 ; Turner et Millward, 2002). Il est basé sur la comparaison de la concentration d'un métal dans le sédiment étudié à celle issue du fond géologique.

La méthode consiste à déterminer le degré de contamination métallique dans les sédiments en sept intervalles (Tableau 12), en se basant sur les valeurs obtenues après le calcul de l'indice Igeo, à travers la formule suivante :

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$$

- C<sub>n</sub> : La concentration de l'élément analysé dans le sédiment.
- B<sub>n</sub> : La concentration du fond géologique de ce même métal ( Tableau 13).

**Tableau 12 :** Classification de (Müller, 1979).

Classes	Valeurs	Intensité de pollution
0	$I_{geo} \leq 0$	Non pollué
1	$0 < I_{geo} < 1$	Non pollué à modérément pollué
2	$1 < I_{geo} < 2$	Modérément pollué
3	$2 < I_{geo} < 3$	Modérément pollué à sévèrement pollué
4	$3 < I_{geo} < 4$	Sévèrement pollué
5	$4 < I_{geo} < 5$	Sévèrement pollué à très sévèrement pollué
6	$5 < I_{geo}$	Très sévèrement pollué

**Tableau 13 :** Valeurs des fonds géochimiques (Taylor et McLennan, 1985-1995)

	Fonds géochimiques ( $\mu\text{g/g}$ ), Fe en %										
	Mn	Pb	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd
F.G Crust <sup>c</sup>	0.07	17.0	107.0	85.0	4.49	14.0	44.0	25.0	71.0	1.5	0.10

- F.G Crust<sup>c</sup> : Concentration moyenne de la croûte continentale (Taylor et McLennan, 1985,1995).

### 2.7.2. Facteur de contamination (FC) :

Le facteur de contamination est le rapport de la concentration de chaque métal dans le sol sur la valeur du fond géochimique (concentration naturelle du métal dans le sol). Il est calculé selon l'équation suivante :

$$FC = C_i / C_i B_g$$

- $C_i$  : concentration mesurée pour un élément  $i$ .
- $C_i B_g$  : Background pour un élément  $i$  (concentrations naturelles du métal dans le sol).

**Tableau 14 :** Les classes de facteur de contamination (FC) (Hakanson, 1980 ; Carballeira et al. 1997)

FC	Observations
$FC < 1$	Contamination absente à faible
$1 \leq FC < 3$	Contamination modérée
$3 \leq FC < 6$	Contamination considérable
$6 \leq FC$	Contamination très élevée

### 2.7.3. Degré de contamination (DC) :

Une première étape dans l'évaluation de l'impact de la pollution des sédiments et du niveau de contamination d'une zone donnée consiste à sélectionner un fond de référence ou un échantillon de référence de composition métallique connue de contamination.

Le degré de contamination (DC) est la somme des (FC), permet l'estimation de la contamination a priori polymétallique pour chaque point de prélèvement. Il est calculé selon la formule suivante :

$$DC = \sum FC_i$$

**Tableau 15 :** Les 04 classes de qualité selon le degré de contamination (DC) (Hakanson, 1980)

DC	Observations
$DC < 6$	Contamination faible
$6 \leq DC < 12$	Contamination modérée
$12 \leq DC < 24$	Contamination considérable
$24 \leq DC$	Contamination très élevée

### 2.7.4. Indice de charge de pollution (PLI) :

L'indice de charge de pollution (PLI) donne une évaluation de l'état de toxicité globale du sédiment résultant de l'apport de plusieurs métaux (Tomlinson et al. 1980). Il est défini comme la nième racine de la multiplication des facteurs de contamination (métaux CF) :

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)}$$

- CF : facteur de contamination.
- n : nombre de métaux

Cette méthode dégage deux niveaux de pollution de l'échantillon. Ainsi, pour  $PLI < 1$  : pas de pollution et pour  $PLI > 1$  : présence de pollution

Les valeurs de PLI supérieur à 1 indiquent que la concentration du métal est supérieure à celle du fond géochimique ce qui induit une contamination du sol par ce métal (Cabrera et al. 1999).

### 2.7.5. Indice de risque écologique potentiel (IR) :

L'indice de risque écologique potentiel (IR) est proposé par Hakanson (1980) est une approche représentant la sensibilité des communautés biologiques a l'ensemble des substances toxiques présentes dans les sédiments RI est calculé en utilisant la loi suivante :

$$RI = \sum E_{ri} = \sum T_{ir} * C_{fi}$$

Où :

- $C_{fi}$  : le facteur de contamination.
- $T_{ir}$  : le facteur de réponse toxique pour le métal (i), qui reflète ses niveaux de toxicité et la sensibilité des espèces a cette toxicité.
- $E_{ri}$  : est le facteur de risque écologique potentiel monomial.

Les facteurs de réponse toxique sont respectivement 5, 30, 2, 5, 5,10 et 1 pour le Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, As et Zn (Hakanson 1980).

**Tableau 16 :** Les 04 catégories de (IR) selon l'intensité du risque écologique (Hakanson, 1980)

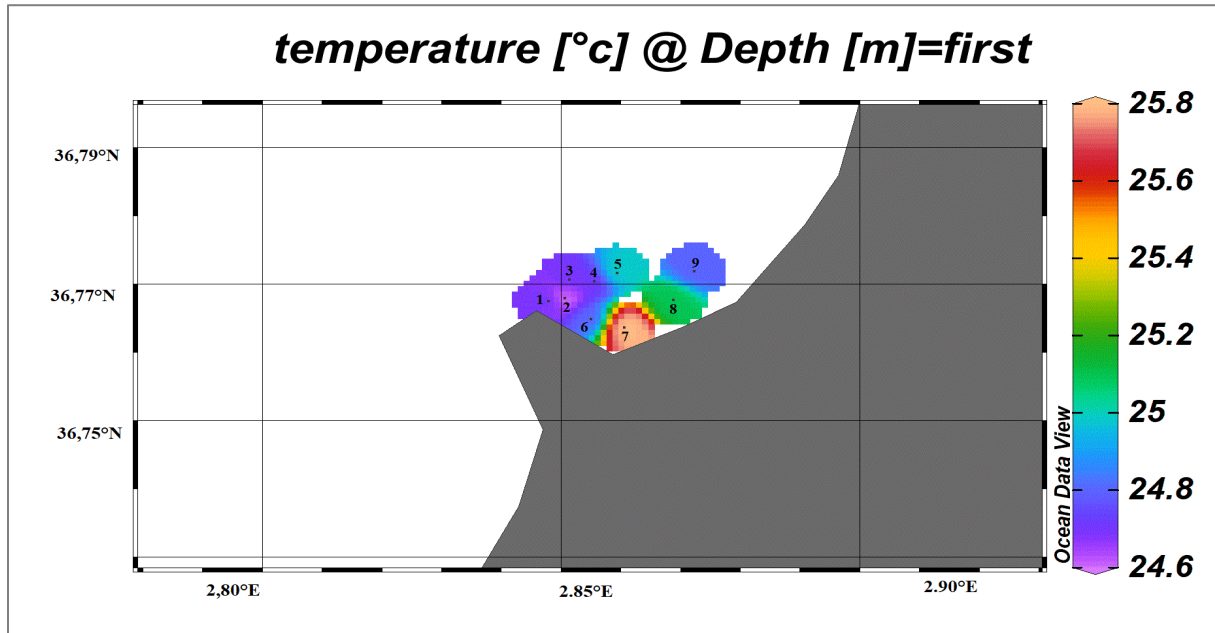
IR	Observations
< 150	Faible Risque
150 – 300	Modéré
300 – 600	Considérable
> 600	Très élevé

## **Chapitre 4 : Résultats et discussions**

## 1. Résultats des paramètres physico-chimiques

### 1.1. Température

Les valeurs de température oscillaient entre un minimum de 24,6 C° (ST 02) et un maximum de 25,8 C° (ST 07) avec une moyenne de 24,91 C° et un Coefficient de variation de 1,003%.



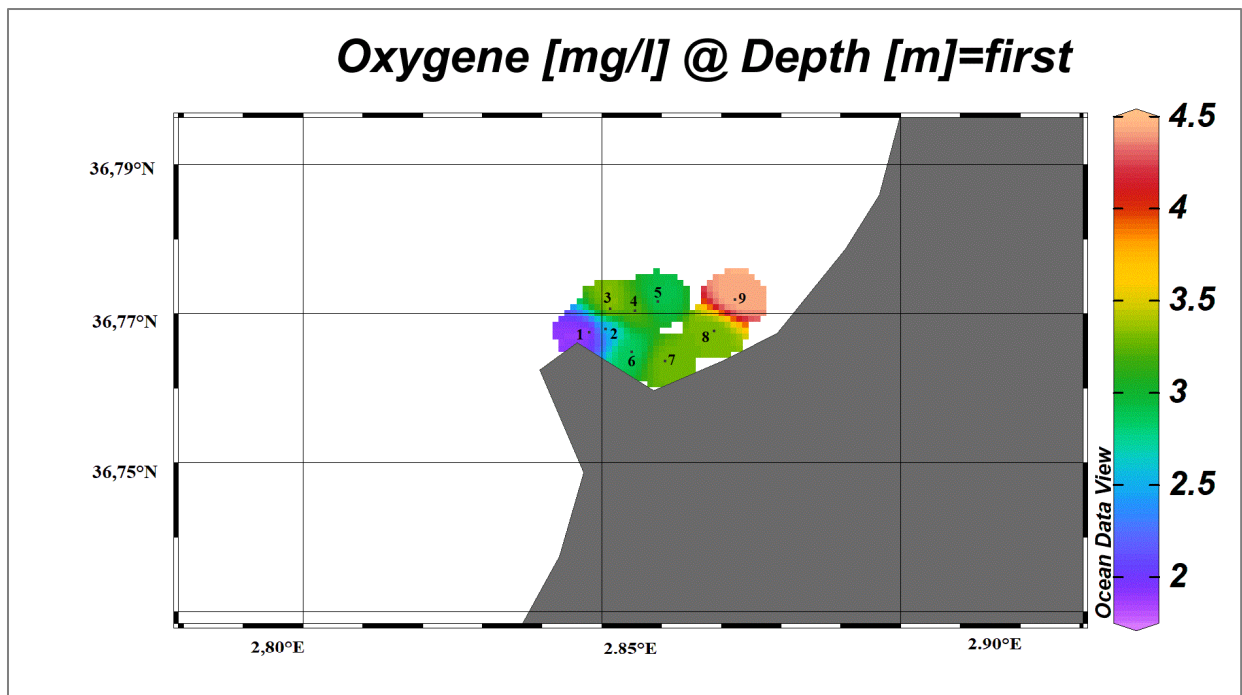
**Figure 24 :** Variation de la température en fonction des stations

Les mesures de température effectuée au niveau du port ne révèlent pas de variations importantes. D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et témoignent du niveau thermique de la saison d'échantillonnage.

### 1.2. Oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous variaient entre 1,83 mg/l (ST 01) et 4,45 mg/l (ST 09) avec une moyenne de 3,09 mg/l et un coefficient de variation de 15,9%.

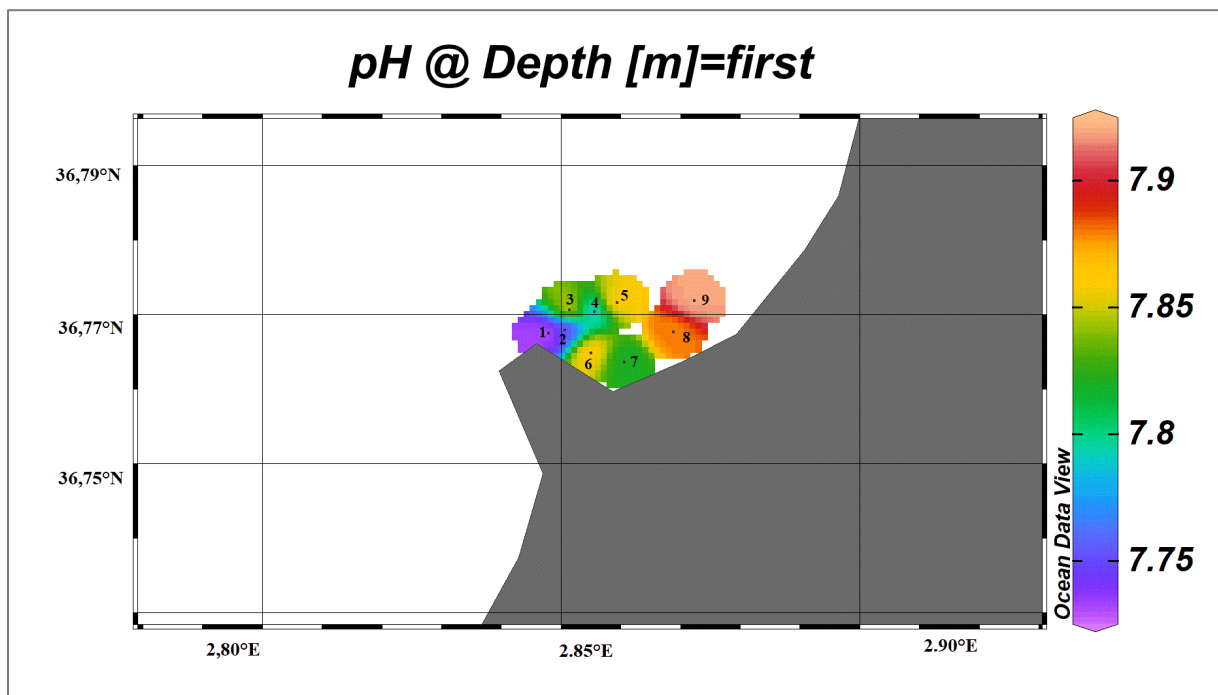
La faible valeur enregistrée au niveau du bassin 01 peut être expliquée par la contribution évidente de l'égout chargé en matière organique d'où une 'activité bactérienne assez importante (consommation massive d'oxygène) alors que la plus forte signalé à la (ST 09) (l'entrée du port) est due à l'agitation des eaux.



**Figure 25 :** Variation de l’oxygène dissous en fonction des stations

### 1.3. Potentiel d’hydrogène (pH)

Les valeurs de pH mesurés dans le port sont comprises entre 7,73 (ST 01) et 7,92 (ST 09) avec une moyenne de 7,82 et un coefficient de variation de 0,64%.

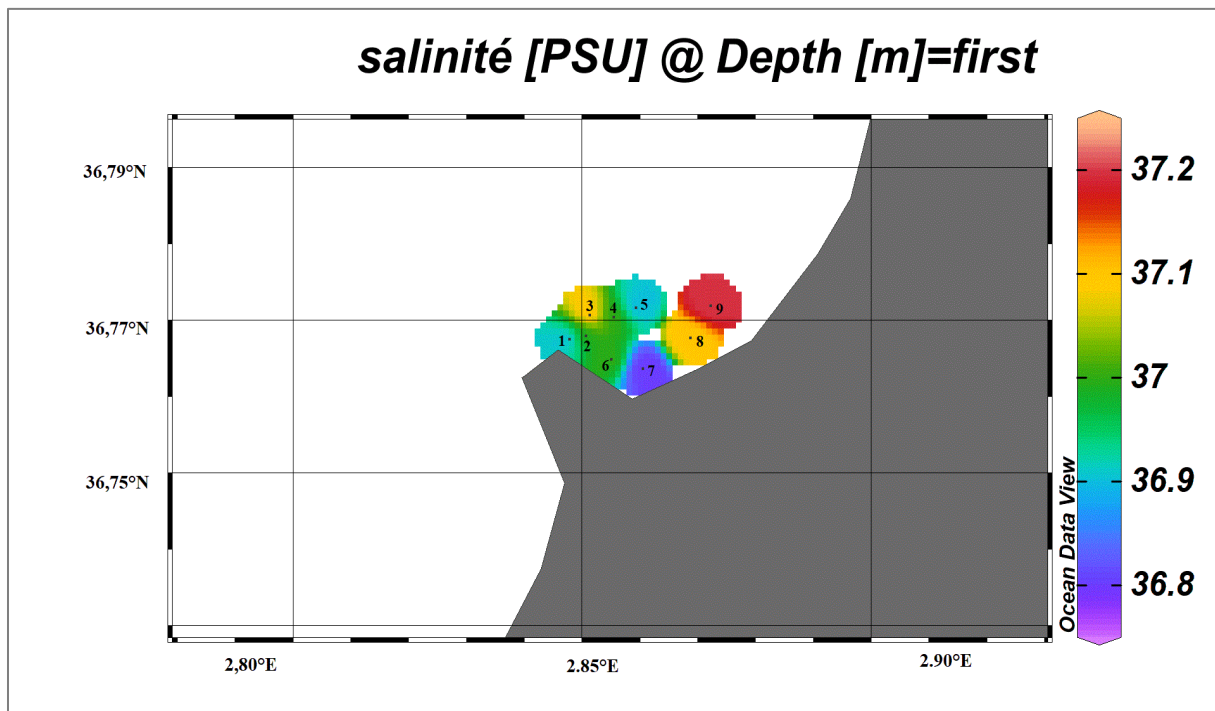


**Figure 26 :** Variation du pH en fonction des stations

D'une manière générale la variation du pH au sein du port est faible. Les valeurs obtenues peuvent être due à la présence d'une pompe à essence au niveau du port (le gasoil peut contenir de l'acide sulfurique), plus les rejets d'eaux usées et l'acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique.

#### 1.4. Salinité

Les valeurs de la salinité mesurées dans le port sont comprises entre 36,8 PSU (ST 07) et 37,2 PSU (ST 09) avec une moyenne de 37 PSU et une coefficient de variation de 0,22%.



**Figure 27 :** Variation de la salinité en fonction des stations

La valeur la plus élevée est signalée au niveau de la ST 09 (à l'entrée du port). En méditerranée, la salinité avoisine les 38-39 PSU au large, mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU. Cela pourrait être expliqué par la présence des rejets d'eau usée à l'intérieur du port qui fait baisser la salinité.

## 2. Les paramètres indicateurs de pollution

Les résultats des paramètres indicateurs de pollution sont présentés sous forme des graphiques et des figures qui représentent la variation des paramètres mesurés par rapport aux stations de prélèvement.

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

Les valeurs de MES varient entre 6,4 mg/l au niveau de la (ST 02) et 58,8 (mg/l) au niveau de la (ST 09) avec une moyenne de 32,6 (mg/l) et un coefficient de variation égal à 49,14%.

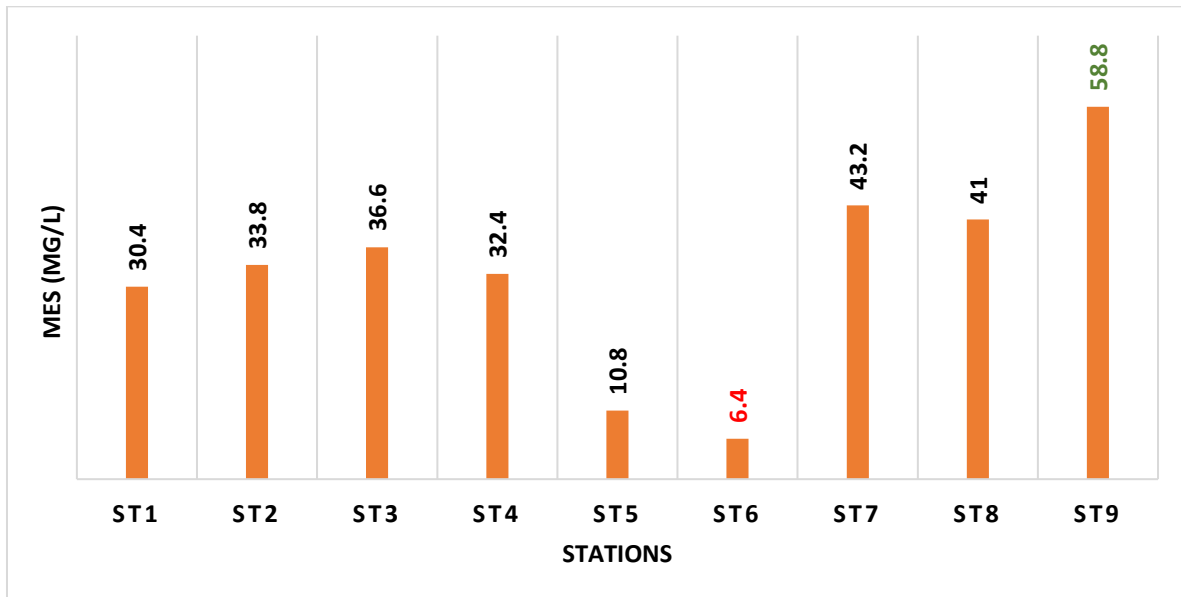


Figure 28 : Variation de la matière en suspension (mg/l) en fonction des stations

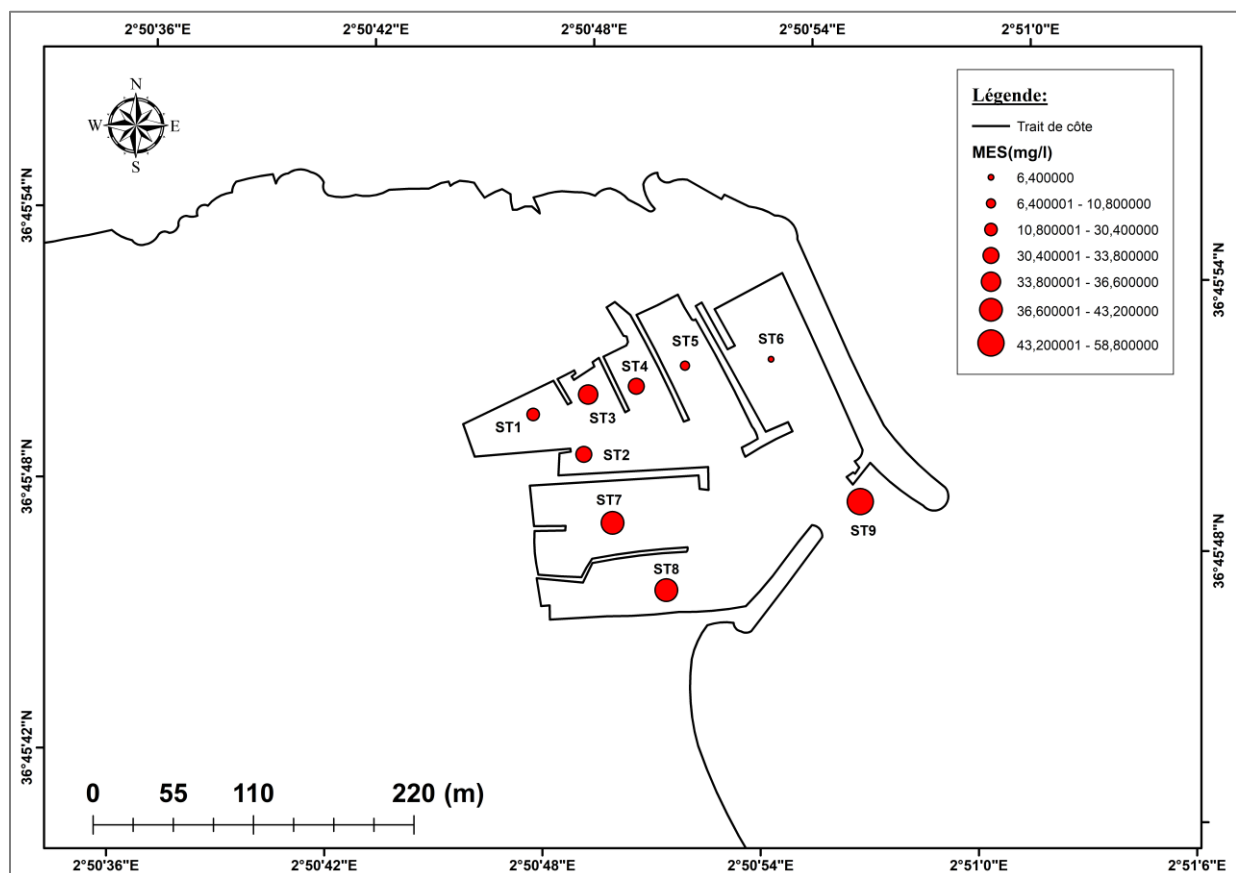


Figure 29 : Carte de répartition de la matière en suspension (mg/l) en fonction des stations

Les figures 28 et 29 représentent la distribution de la concentration de MES en fonctions des stations.

A partir des concentrations obtenues en MES, on constate que :

La valeur la plus élevée signalée à la (ST 09) est due à la présence d'une agitation de l'eau de mer au niveau de la sortie du port le jour de prélèvement et c'est le cas pour les stations 07 et 08. Les stations 05 et 06 situées au niveau des bassins 02 et 03 respectivement marquent les valeurs les plus faibles dans le port. Ces concentrations sont dues à la faible agitation dans ces bassins semi fermés. Les teneurs en MES dans le bassin 01 sont dues à la présence d'un égout principal.

## 2.2. La matière organique particulière (MOP)

Les valeurs de MOP varient entre 1,2 (mg) au niveau de la (ST 06) à 7,7 (mg) au niveau de la (ST 09) avec une moyenne de 5,6 (mg) et un coefficient de variation égal à 38,66 %.

Les figures 30 et 31 représentent la distribution de la concentration de MES en fonctions des stations.

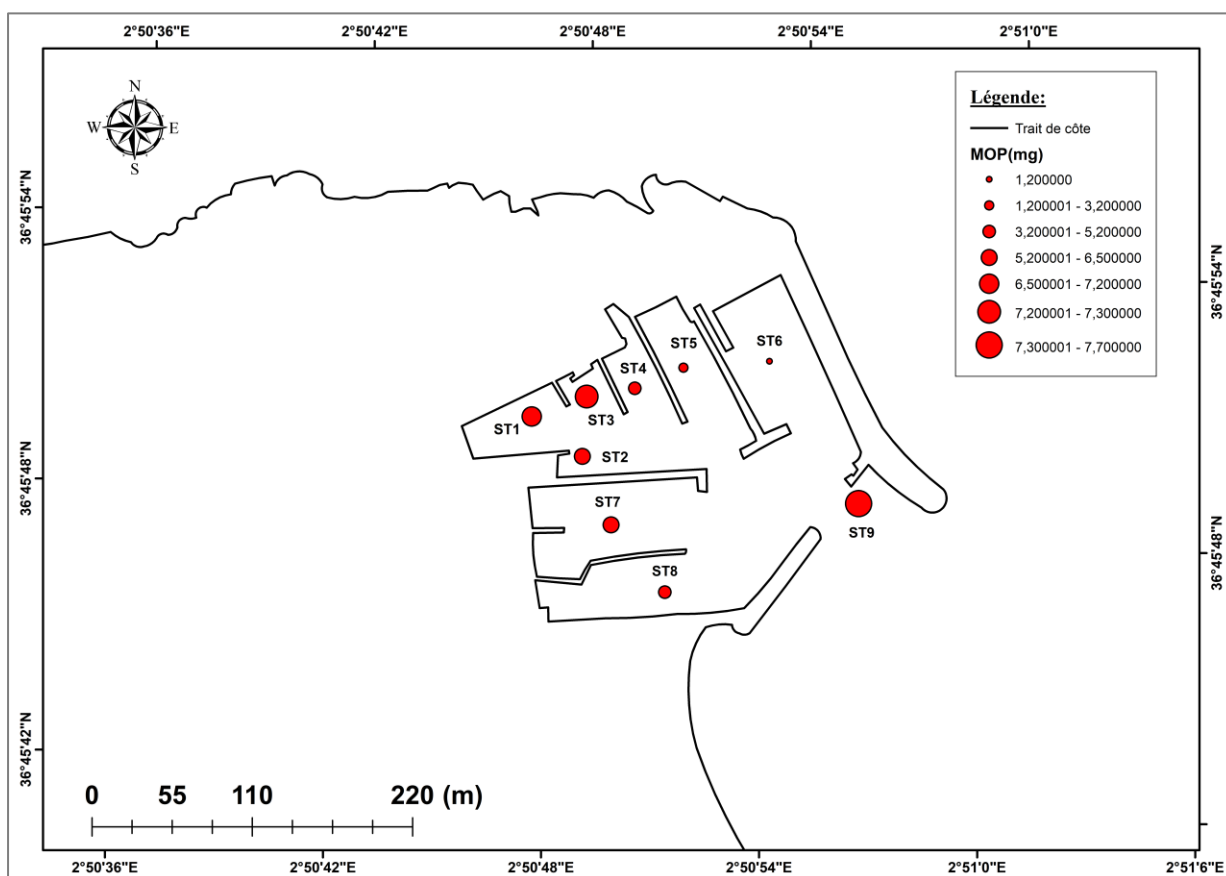
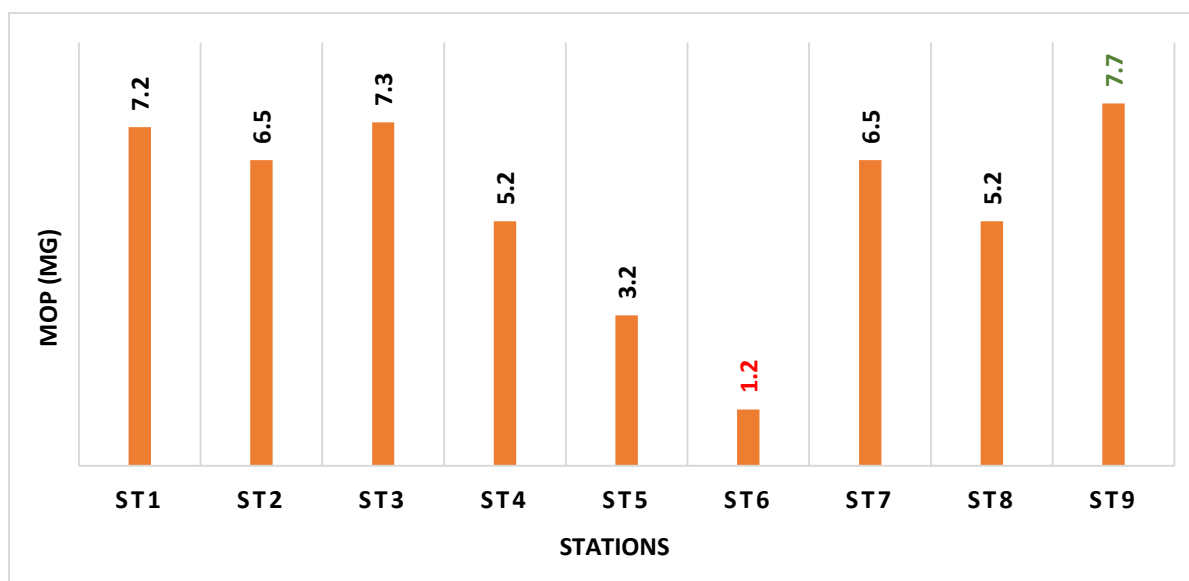


Figure 30 : Carte de répartition de la matière organique particulière (mg) en fonction des stations

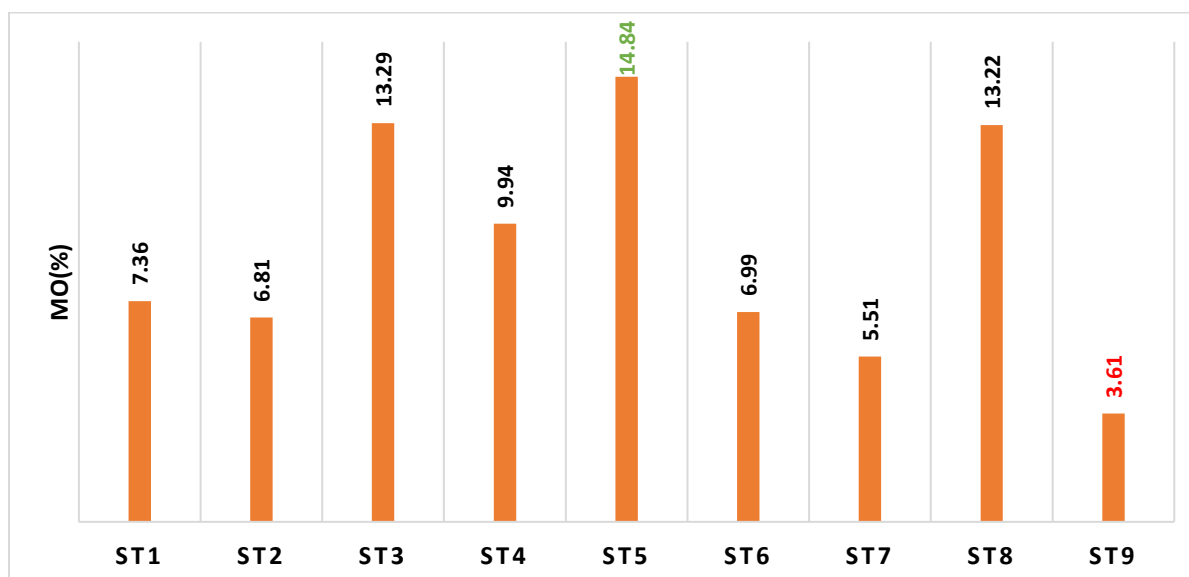


**Figure 31 :** Variation de la matière organique particulaire (mg) en fonction des stations

D'après l'histogramme et la carte de répartition spatiale des MOP, on remarque que :

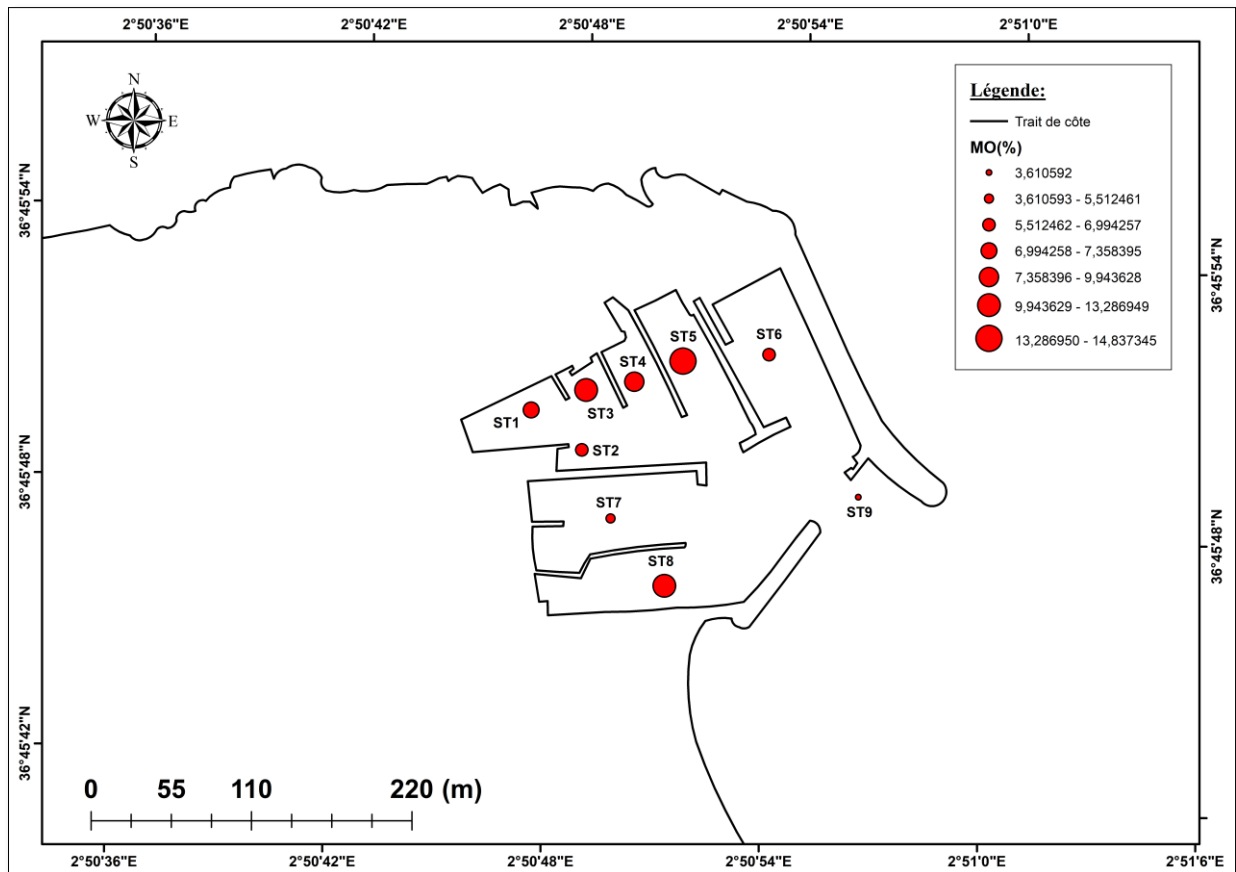
Les teneurs en matière organique particulaire au niveau des stations 05 et 06 sont très faibles contrairement au reste des stations. La (ST 09) représente la plus grande teneur en MOP ce qui est expliqué par la présence d'une relation proportionnelle entre la matière organique particulaire et la matière en suspension.

### 2.3. Matière Organique dans le sédiment (MO)



**Figure 32 :** Variation de la matière organique (%) en fonction des stations

Les valeurs de MO varient entre 3,61 (%) au niveau de la (ST 09) à 14,84 (%) au niveau de la (ST 05) avec une moyenne de 9,06 (%) et un coefficient de variation égal à 43,42 %.



**Figure 33 :** Carte de répartition de la matière organique (%) en fonction des stations

Les figures 32 et 33 représentent la distribution de la concentration des MO dans les sédiments en fonctions des stations.

A partir des figures 32 et 33 on remarque que :

Le taux de matière organique dans le sédiment portuaire de Sidi Fredj est élevé au niveau des stations 03, 05 et 08. La (ST 09) marque la plus faible valeur car cette dernière se trouve à l'entrée du port qui est un milieu ouvert caractérisé par une agitation permanente.

### 3. Analyse granulométrique

#### 3.1. Le taux des pélites

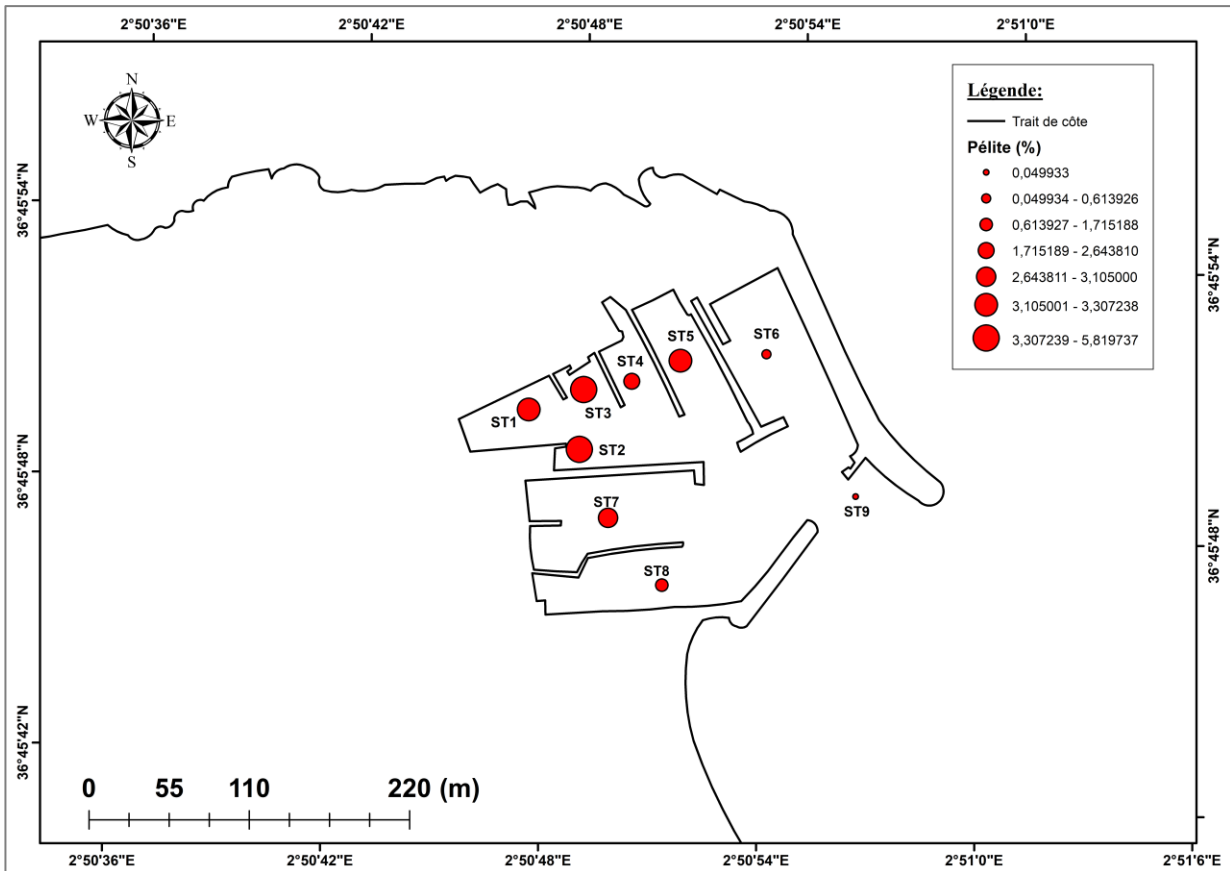


Figure 34 : Carte de répartition de taux des pélites (%) en fonction des stations

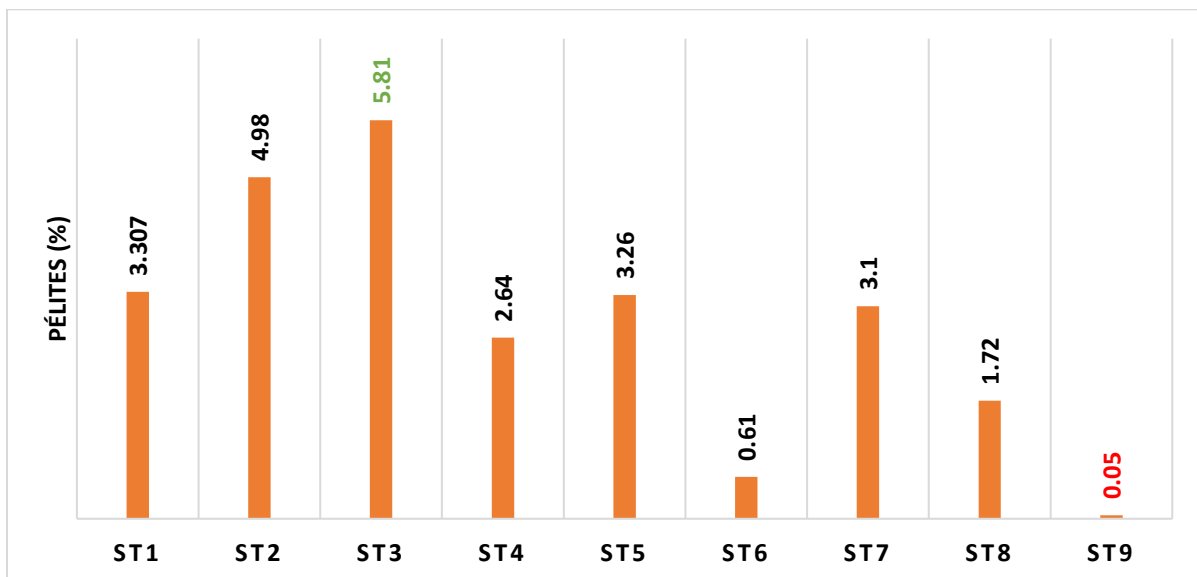


Figure 35 : Variation des pélites (%) en fonction des stations

## Chapitre IV : Résultats et discussion

C'est la fraction la plus fine du sédiment, le taux des pélites varie entre 0.05% à la (ST 09) et 5.82% à la (ST 03) avec une moyenne de 2.83% et un coefficient de variation de 66%.

D'après les résultats sur l'histogramme et la carte de répartition on constate que :

Le taux des pélites à l'extérieur du port est faible. Cela pourrait être expliqué par un fort gradient de courant qui transporte une grande quantité des particules fines.

Le taux des pélites à l'intérieur du port est plus élevé qu'à l'extérieur car le gradient de courant est faible ce qui favorise la stagnation des eaux et la sédimentation des particules en suspension.

### 3.2. Les quartiles

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments superficiels du port de Sidi Fredj, sont représentés dans le Tableau (17).

**Tableau 17** : Valeurs des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau du port de Sidi Fredj

Stations	Q25		Q50		Q75	
	Valeur (µm)	Classification	Valeur (µm)	Classification	Valeur (µm)	Classification
1	150,00	Sable fin	370,87	Sable grossier	1244,30	Sable très grossier
2	120,10	Sable fin	176,46	Sable moyen	306,84	Sable grossier
3	91,45	Sable très fin	128,25	Sable fin	277,80	Sable grossier
4	140,00	Sable fin	174,98	Sable moyen	325,35	Sable grossier
5	100,10	Sable très fin	141,38	Sable fin	235,55	Sable grossier
6	125,11	Sable fin	154,39	Sable moyen	178,68	Sable moyen
7	120,13	Sable fin	163,48	Sable moyen	201,76	Sable grossier
8	380,12	Sable grossier	649,7	Sable très grossier	1926,50	Sable très grossier
9	160,18	Sable moyen	171,73	Sable moyen	194,65	Sable Moyen

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Le 1<sup>er</sup> quartile Q25 : Les valeurs du Q25 (Tableau 17) varient entre 91,45  $\mu\text{m}$  (ST 03) et 380,12  $\mu\text{m}$  (ST 08) avec une moyenne de 166,7  $\mu\text{m}$ . D'après la classification de Folk et Ward (1957), on a de sable très fin, fin et grossier avec la prédominance du sable fin.

Le 2<sup>ème</sup> quartile Q50 : Les valeurs de la médiane (Tableau 17) sont comprises entre 128,25  $\mu\text{m}$  (ST 03) et 649,7  $\mu\text{m}$  (ST 08) avec une moyenne de 236,80  $\mu\text{m}$ . Les résultats montrent l'existence de quatre classes de sable ; un sable fin, un sable grossier un sable très grossier et un sable moyen qui prédomine.

Le 3<sup>ème</sup> quartile Q75 : Les valeurs du Q75 (Tableau 17) varient entre 178,68  $\mu\text{m}$  (ST 06) et 1926,5  $\mu\text{m}$  (ST 08) avec une moyenne de 543,49  $\mu\text{m}$ . Selon la classification de Folk et Ward (1957), on trouve du sable moyen, grossier et du sable très grossier avec une prédominance de sable grossier.

### 3.3. Indices granulométriques

**Tableau 18** : Calculs des indices granulométriques et interprétation des résultats

Stations	Mz	Classification du diamètre moyen	S0	Classification du tri	Sk	Classification d'asymétrie
1	0,42	Sable moyen	3,56	Faiblement classé	0,98	Classement vers les fines
2	0,20	Sable moyen	2,78	Normalement classé	0,84	Classement vers les fines
3	0,15	Sable moyen	2,89	Normalement classé	0,80	Classement vers les fines
4	0,22	Sable moyen	2,64	Normalement classé	0,76	Classement vers les fines
5	0,16	Sable moyen	2,77	Normalement classé	0,80	Classement vers les fines
6	0,15	Sable moyen	1,53	Très bien classé	0,91	Classement vers les fines
7	0,16	Sable moyen	1,87	Bien classé	1,00	Symétrie est parfaite
8	0,86	Sable moyen	3,05	Normalement classé	1,81	Classement vers le grossier
9	0,17	Sable moyen	1,31	Très bien classé	0,88	Classement vers les fines

Les résultats des indices granulométriques des sédiments superficiels du port de Sidi Fredj, sont représentés dans le Tableau (18).

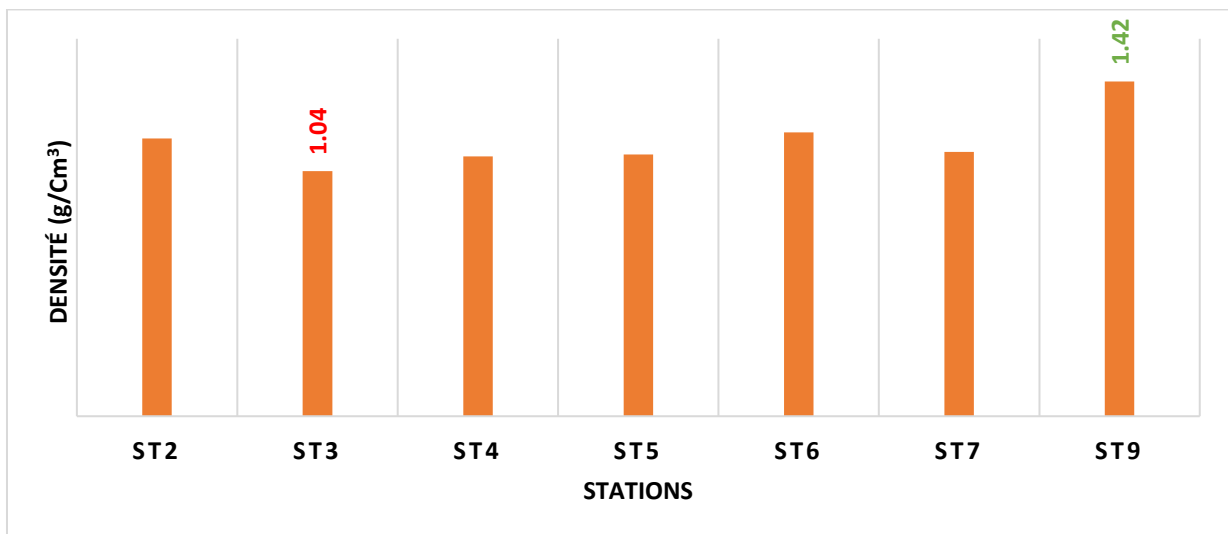
Les valeurs de L'indice central « **Mz** » (Tableau 18) varient entre 0.15 mm et 0.86 mm, ils sont donc compris entre 0 et 1, d'après (Folk et Ward (1957)), le sable est moyen au niveau du port de Sidi Fredj.

D'après les valeurs obtenues de l'indice de classement « **S0** » (Tableau 18), on constate que dans la majorité des stations le sédiment est normalement classé, à l'exception des échantillons 06 et 09 qui sont très bien classés.

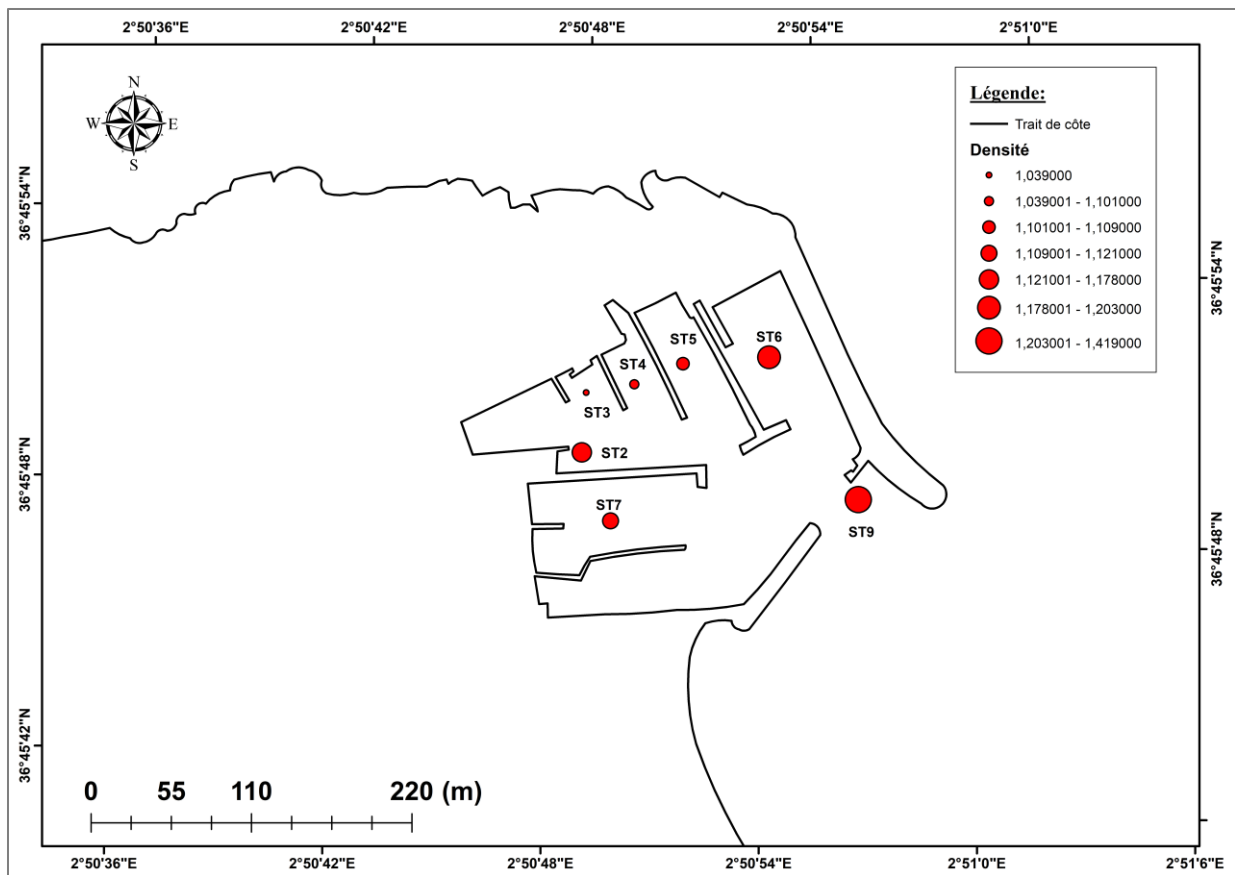
Les valeurs obtenues de coefficient de skewness « **Sk** » (Tableau 18), montrent que le classement dans la majorité des stations tend vers les fines ; à l'exception de la (ST 8) où le classement tend vers le grossier et la (ST 7) où on marque une symétrie parfaite.

### 3.4. La densité du sédiment

Les valeurs de densité des sédiments superficiels du port sont comprises entre 1,04 g/cm<sup>3</sup> (ST 03) et 1.42 g/cm<sup>3</sup> (ST 09) avec une moyenne de 1,17 et un coefficient de variation de 10,55%.



**Figure 36 :** Variation de la densité des sédiments superficiels dans le port de Sidi Fredj



**Figure 37 :** Carte de répartition de la densité (g/cm<sup>3</sup>) des sédiments superficiels dans le port de Sidi Fredj

A partir des résultats obtenus, on constate que les sédiments au niveau du port de Sidi Fredj ont une faible densité par conséquent une faible vitesse de sédimentation.

#### 4. Evaluation de la pollution par les ETM

##### 4.1. Les indices géochimiques

Les résultats des indices géochimiques des sédiments superficiels du port sont présentés dans le Tableau (19).

**Tableau 19** : valeurs du facteur de contamination (FC), indice de géoaccumulation (Igé), indice de charge polluante (PLI) et degré de contamination (DC) dans le sédiment superficiels du port de Sidi Fredj

										DC			PLI		
FC					IGEO					Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
ETM	Min	Max	Moy	Contamination	Min	Max	Moy	Intensité de pollution	Stations	5,85	7,95	6,71	0,66	0,87	0,76
									1	7,40			X		
Cr	0,23	0,37	0,31	Absente à faible	-2,68	-2,02	-2,30	Non pollué	2	6,61					
Pb	1,01	1,66	1,34	Modérée	-0,57	0,14	-0,18	Non pollué	3	5,86					
As	0,17	0,64	0,35	Absente à faible	-3,17	-1,23	-2,21	Non pollué	4	6,81					
Zn	2,18	4,42	3,19	Considérable	0,54	1,56	1,07	Modérément pollué	5	7,16					
Cd	0,20	0,70	0,48	Absente à faible	-3,17	-1,10	-1,74	Non pollué	6	7,95					
Cu	0,74	1,33	1,03	Modérée	-1,02	-0,18	-0,57	Non pollué	7	6,55					
									8	5,85					
									9	6,16					

Les valeurs moyennes calculés de facteurs de contamination « FC » (Tableau 19) varient d'une contamination faible à une contamination modérée pour tous les métaux, à l'exception du zinc qui indique une contamination considérable dont les valeurs de « FC » sont supérieures à 3 dans la majorité des stations (S1, S2, S5, S6, S7et S9).

Les valeurs obtenues de degré de contamination « DC » (Tableau 19) varient entre 5.85 (ST 8) et 7.95 (ST 6), avec une valeur moyenne de 6.71. D'après la classification de (Hakanson 1980), la contamination est faible à modéré.

Les résultats de l'indice de charge polluante « PLI » (Tableau 19) varient entre 0.66 (ST 03 et 09) et 0.87 (ST 1), avec une valeur moyenne de 0,76. Selon la classification de (Cabrera et al. 1999), toutes les stations sont classées comme non polluées.

D'après les valeurs obtenues de l'indice de géoaccumulation (Tableau 19), toutes les stations sont classées comme non polluées ( $I_{geo} \leq 0$ ) par le Cr, Pb, As, Cd, Cu, et modérément pollué par le Zn.

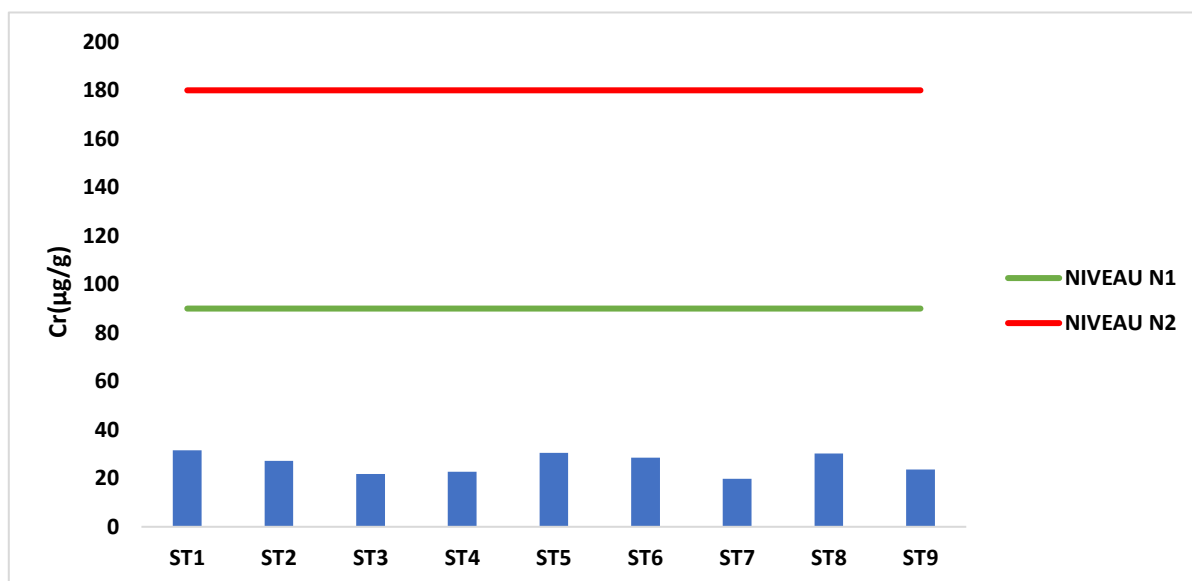
#### 4.2. Indice de risque écologique potentiel (IR)

**Tableau 20** : Valeurs des indices de risque écologique potentiel (RI)

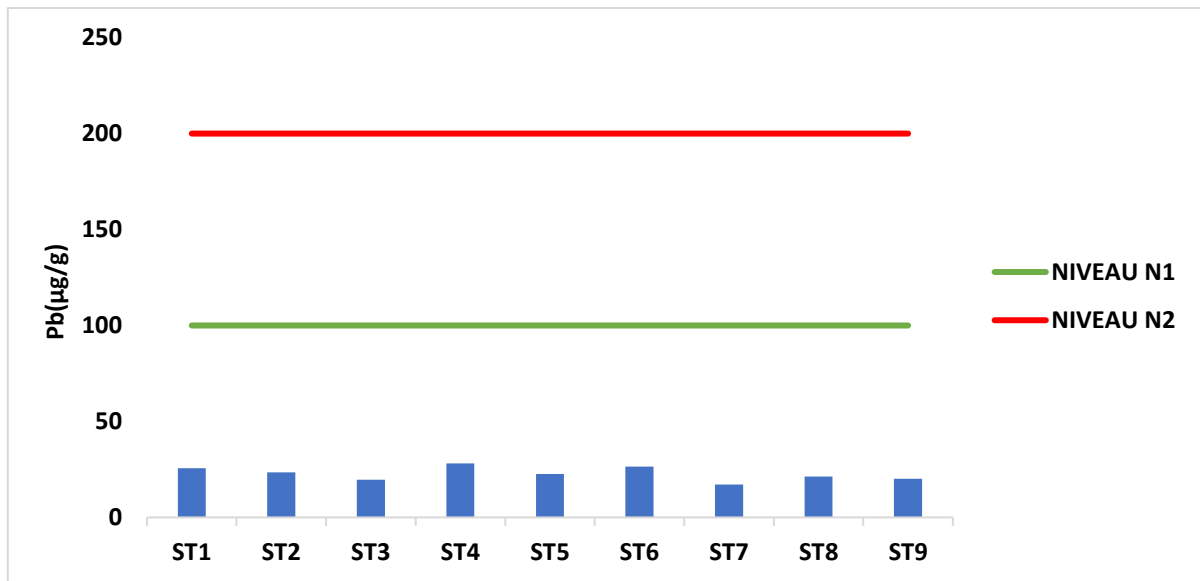
	RI
Min	26,05
Max	39,72
Moy	33,49
Echelle de risque	Faible

Les résultats de l'indice de risque écologique potentiel (IR) (Tableau 20) indiquent que toutes les stations ont une valeur de RI inférieure à 150 donc présentent un risque écologique faible.

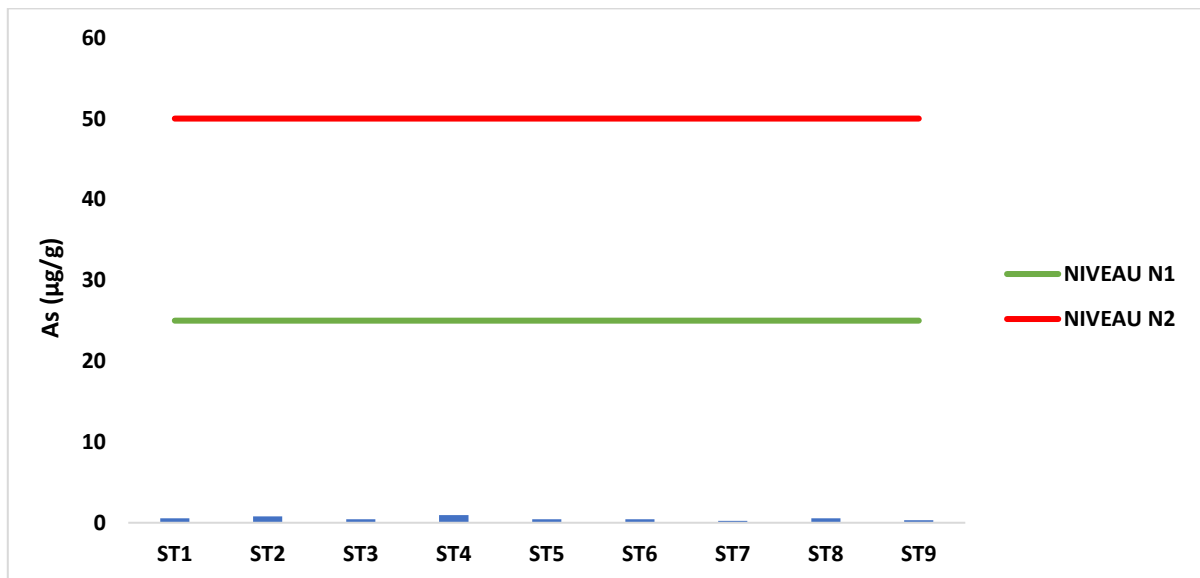
#### 4.3. Comparaison des résultats des métaux avec les valeurs guidant des niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



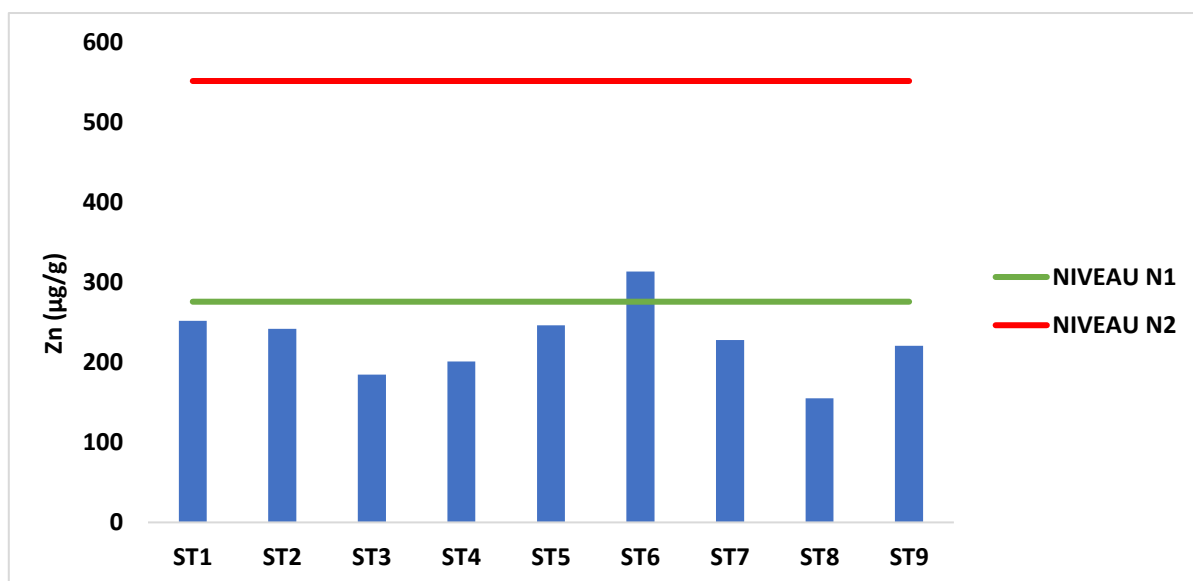
**Figure 38** : Variation de concentration du Cr par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



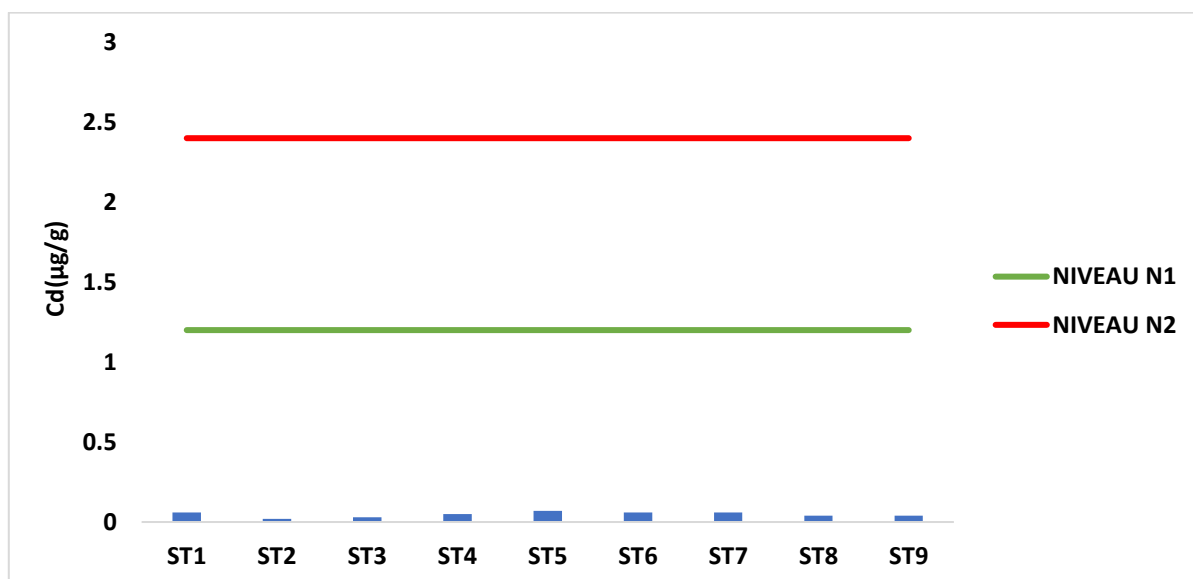
**Figure 39** : Variation de concentration du Pb par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



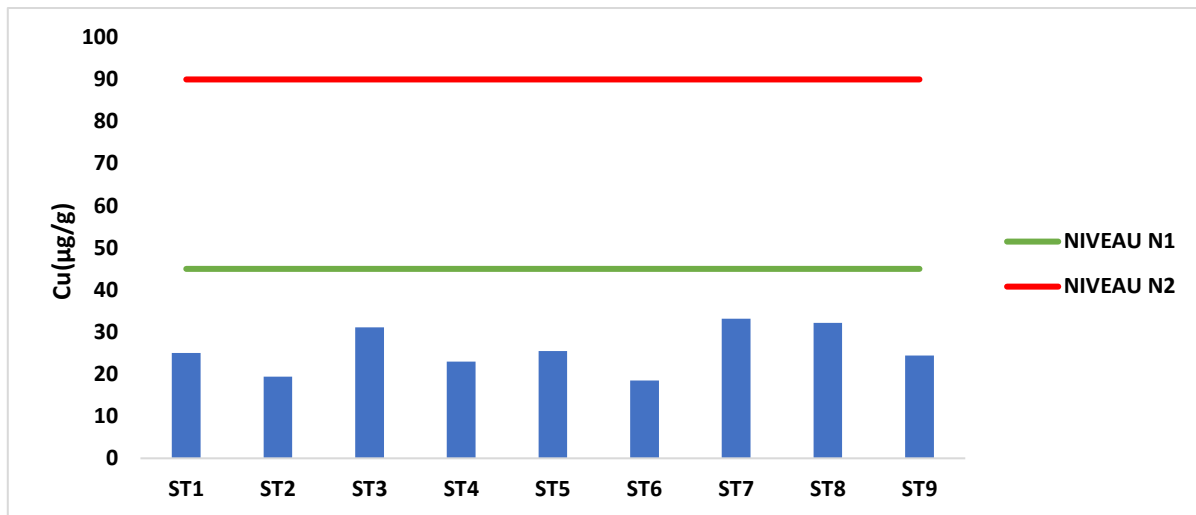
**Figure 40** : Variation de concentration du As par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



**Figure 41** : Variation de concentration du Zn par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



**Figure 42** : Variation de concentration du Cd par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR



**Figure 43 :** Variation de concentration du Cu par rapport aux niveaux N1 et N2 de la convention d'OSPAR

Les concentrations obtenues des métaux au niveau du port de Sidi Fredj sont inférieures aux niveaux N1 et N2 ce qui indique une absence de contamination à l'exception du Zinc qui dépasse légèrement le niveau N1 à la ST 06.

#### **4.4. Comparaison des résultats des métaux avec d'autres régions de l'Algérie et du monde**

Au but d'estimer le niveau de contamination en ETM dans les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj, nous avons procédé une comparaison avec d'autres études.

Les Concentrations en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec) dans le port de Sidi Fredj comparées et d'autres régions de l'Algérie et du monde sont représentées au (Tableau 21) sur la page suivante :

**Tableau 21** : Concentrations en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec) dans le port de Sidi Fredj comparées à d'autres régions de l'Algérie et du monde

Site	Pb	Cd	Cu	Zn	Références
Port de Sidi Fredj	17,19 - 28,14	0,02 - 0,07	18.45- 33.15	155.11 - 313.88	La présente étude (2021)
Port d'Oran	290.64 - 400.86	1.78-2.65	30-42.22	692.11-856.85	(2016)
Ain Franin	19.15-22.23	0.01-0.03	12.02-18.90	64.85-68.88	(2016)
Port d'Alger			64.48-565.36	216.88-809.01	Bachouche (2010)
Port Alger	75.50 – 653.38	6.84 -17.53	54.63 - 229.81	175.99 - 209.49	BEHLOULI 2017
Port de Bouharoun			7.56-197.30	59.32-1297.59	Bachouche (2010)
Baie d'Alger			24-51	123-157	Maouche (1987)
Méditerranée marocaine	31.81-49.66	0.15-1.60	1.63-32.33	64.81-115.27	Benomar (2010)
Estuaire Marocain			24-66	113-217	Cheggour <i>et al</i> (2005)
Méditerranée espagnole	35-218		23-195	56-392	Palanques <i>et al</i> (2008)
Méditerranée égyptienne	49.9-219.5	4.0-53.4	6094-192.5	16.61-166.54	El Nemr <i>et al</i> (2007)
Golfe de Suez			2.79-12.16	25.48-58.06	Hamed et Emara (2006)
Méditerranée française	20.1-393.6	0.15-3.4	14-82.6	29.4-509.3	Fernex <i>et al</i> (2001)
Méditerranée italienne	74-772	0.21-13.45	2.77-51.34	198-3239	Caredda <i>et al</i> (1999)
Port de Naples			12-5743	17-7234	Sprovieri <i>et al</i> (2007)
Méditerranée palestinienne	9-80	0.25-9	10-30	9-95	Feldstein <i>et al</i> (2003)
Baie Jiaozhou			5.31-45.07	32.08-151.65	Wang <i>et al</i> (2009)
Golfe d'Aden			3.1-270	13-51	Mostapha <i>et al</i> (2009)
Mer de Marmara			12.7-30.6	34.1-50.9	Topcuoğlu <i>et al</i> (2004)
Estuaire de Scheldt			1-2600	9-1500	Zwolsman <i>et al</i> (1996)
Sud de la mer Noir			15-119	24-141	Yücesoy et Ergin (1992)
Port de Santos				16.85-137.01	Torres <i>et al</i> (2009)
Sud de la cote de la Turquie			5.19-34.17		Doğan et Kumbur (2009)

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Les teneurs des métaux traces trouvées dans les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj diffèrent largement des concentrations rapportées dans les autres régions du monde (Tableau 21).

On remarque que pour le zinc (Zn) les sédiments portuaires de Sidi Fredj sont bien plus contaminés que ceux de la Méditerranée marocaine, égyptienne et palestinienne. Au niveau national, les concentrations en Zn au port de Sidi Fredj dépassent celles trouvées dans la baie d'Alger, le port d'Alger et Ain Franin mais reste moins importante à celle du port de Bouharoune. Tandis que, pour le plomb (Pb) et le cadmium (Cd), les concentrations trouvées au niveau du port de Sidi Fredj sont inférieures à celles révélées dans le tableau, à l'exception de la région de Ain Franin où on trouve les concentrations les plus faibles. Le port de Sidi Fredj marque une concentration élevée en Cu mais reste moins importante part apport à la concentration signalé au port de Naples (5743 µg/g).

Quant aux teneurs élevés en zinc (Zn) et en cuivre (Cu) dans les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj par rapport à d'autres régions du monde, elles peuvent résulter des différentes activités développées dans le port. Ces activités se constituent généralement, des opérations de la protection anodique des coques des navires ou le zinc est utilisé comme anode sacrificielle plus les apports anthropiques due principalement à la présence un égout dans le port et sans oublier l'existence d'une pompe d'essence.

En générale, on peut dire que les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj ne présentent pas de contamination alarmante en comparaison avec d'autres régions citées dans le tableau.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Les sédiments de dragage représentent un enjeu environnemental et industriel dans des installations au rôle économique majeur comme les ports maritimes ou les barrages hydroélectriques, pour nombre de pays à travers le monde. Leur qualité de réservoir final pour les contaminants favorise l'accumulation des polluants organiques et inorganiques. En particulier, les métaux traces peuvent interagir de multiples manières avec les composants des sédiments, favorisant leur immobilisation ou au contraire leur relargage. Dans ce contexte, les législations internationales et nationales durcissent les conditions de rejet dans l'environnement de ces matériaux une fois dragués. Une gestion à terre devient donc une nécessité, et confère de facto le statut légal de déchets aux sédiments de dragage.

Compte tenu des difficultés de navigation à l'intérieur du port de Sidi Fredj, nous avons mené une étude de caractérisation physique et physico-chimiques des sédiments superficiels en vue d'une éventuelle opération de dragage.

L'étude granulométrique souligne la prédominance de sable moyen normalement classé dans le port, cette fraction grossière a généralement une faible propriété de cohésion et elle est peu associée aux contaminants.

L'étude de la densité des sédiments prélevés dans les neuf stations sont tous supérieurs à 1 mais demeurent d'une légère densité. Le taux des pélites et les teneurs en matière organique dans les sédiments du port sont assez faible.

La quantification des métaux lourds a été réalisée par la spectrophotométrie d'absorption atomique après l'opération de digestion dans des acides forts.

L'évaluation du taux en éléments traces métalliques dans ce port de plaisance de Sidi Fredj n'est pas importante comparée aux autres ports commerciaux tels que le port d'Alger.

Sachant que la fixation et le stockage de ces contaminants dans le sédiment marin obéissent à plusieurs facteurs (propriétés physicochimiques, la granulométrie) cela traduit par une répartition hétérogène, donc la fraction fine est caractérisée par une importante aptitude à les intégrer et les stocker, contrairement au sédiment grossier.

Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments superficiels du port sont, généralement hétérogènes et varient selon le métal et le site.

Nous pouvons conclure d'une manière générale que la concentration des métaux lourds dans le port de Sidi Fredj est au-dessous des normes internationales.

## Conclusion générale

Avec la validation de ces résultats et complété par d'autres contaminants comme MES, MOP et MO. Les sédiments du dragage du port de sidi Fredj pourraient subir une immersion en mer en prenant les précautions nécessaires dans un souci de préserver le milieu marin.

### Perspectives et recommandations :

- Compléter cette étude par l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques et l'analyse microbienne.
- Encourager le développement de filières de valorisation des sédiments du dragage dans un concept de développement durable afin de créer un meilleur équilibre entre les dimensions économique, sociale et environnementale.

# **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, 184 p.
- **AFP (Agence France Presse) (30/08/2021).** L'essence au plomb n'est plus utilisée sur la planète, une étape majeure. [en ligne]. [consulté le 14/10/2021] disponible sur le web : <https://www.france24.com>.
- **AIEA, (1998).** Programme préliminaire pour MED POL sur l'analyse des métaux traces dans les échantillons biologiques et les sédiments. IAEA-MEL : Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : Laboratoire sur l'Étude de l'Environnement Marin.
- **AIEA, (2001).** The performance study for MED POL determination of trace elements and methylmercury in estuarine sediment sample : Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : MED POL.
- **Alloway, B.J. et Ayres, D.C. (1997).** Chemical Principles of Environmental Pollution. London : Blackie Academic and Profesional, 394 p.
- **Al-Malack, M. H. (2001).** Migration of lead from unplasticized polyvinyl chloride pipes. Journal of hazardous materials. Vol. 82, no 3, pp. 263-274.
- **Alvarez, E. et al. (2003).** Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia NW Spain and in the spontaneously occurring vegetation. Science of the total environment. vol. 313, no 1-3, pp.185-97.
- **Alzieu, C. et al. (1999).** Dragage et environnement marin : états des connaissances. Plouzané : Edition Ifremer, 223 p.
- **Amiard, J.C. et al. (1987).** Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential cu, Zn and non-essential Cd, Pb trace metals in various estuarine and coastal organisms. Journal of experimental marine biology and ecology. vol. 106, no 1, pp.73- 89.
- **Aminot, A. et Chaussepied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Paris : Edition Cnexo, 395 p.
- **Aminot, A. et Kérouel, R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France : Edition Ifremer, 336 p.
- **Amrani, S. et Ferhat, R.A. (1994).** Etude des caractéristiques physico-chimiques bactériologiques de l'eau dans un port de plaisance Sidi-Fredj. Mémoire de D.E.U.A. Alger : ISMAL. 78 p.
- **Asso, A. (1982).** Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule Perna dans la région d'Alger. Thèse de doctorat. Océanographie biologique. France : université d'Aix Marseille ii. 149 p.

- **Atroune, F. et Abdelhak, B. (2012).** Les métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger : Influence de l'oued el Harrach sur leur distributions. Bulletin du service géologique de l'Algérie. Vol. 23, n° 2, pp. 169 – 178.
- **Audigié, C. (1985).** Principes des méthodes d'analyse biochimique. France : Edition Doin, 190 p.
- **Bachouche, S. (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun : étude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse de magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 160 p.
- **Baize, D. (1997).** Teneurs totales en éléments trace métalliques dans les sols (France) : Références et stratégies d'interprétation. Paris : Edition INRA, 410 p.
- **Bel hadjali, I. (2014).** Contribution à l'étude des sédiments marins tunisiens : cas des ports de Radès et de Gabès. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : école centrale de Lille, 195 p.
- **Belkessa, R. (2005).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Constantine : Université Mentouri, 412 p.
- **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 : VIIIème congrès maghrébin des sciences de la mer 04/07. Novembre 2007. Maroc 2007.
- **Belkessa, R. et al. (2008).** Protection works of the sea coast in Algéria, Copedec VII, Dubai, UAE, paper no: S-26.
- **Bennett, B.G et al. (1984).** Perspectives and prospective on health effects of metals. In Changing metal cycles and human health. Berlin: springer-Verlag, pp 407-423.
- **Boudjellaba, D. et Dehane, D. (2012).** Etat de la pollution par les hydrocarbures dans les eaux et les sédiments superficiels dans la baie d'Alger et la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur. Alger : Enssmal. 69 p.
- **Bourrelier, P.H. et Berthelin, J. (1998).** Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion. Paris : Edition Lavoisier, p 98.
- **Cabrera, F. et al. (1999).** Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. Science of the Total Environment. Vol. 242, no 1-3, pp 117-129.
- **Carpentier, S. et al. (2002).** Quality of dredged material in the river seine basin (France). Science of the Total Environment. vol. 299, no 1-3, pp 57-72.
- **Chamley, H. (1987).** La sédimentologie. Paris : Edition Dunod, 175 p.

- **Chapman, PM. et al. (1987).** Synoptic measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition (the sediment quality triad) in San Francisco Bay. Marine Ecology Progress Series. Vol. 37, n°1, pp 75-96.
- **Chiffolleau, J.F. et Truquet, I. (1990).** Méthodes de dosage de cd, pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, al, mn, Fe dans les sédiments et les matières en suspension. Direction des recherches océanographiques. France : Edition Ifremer, 15 p.
- **Chiffolleau, J.C. (2001).** La contamination métallique, région haute Normandie, (programme scientifique seine-aval). France : Edition Ifremer : p 39.
- **Citeau, L. (2003).** Colloidal facilitated transfer of metals in soils under different land use. Colloids and surfaces a : physicochemical and engineering aspects .vol. 217, no 1-3, pp 11-19.
- **Cojan Isabelle et Maurice Renard (2006).** Sédimentologie - 2<sup>ème</sup> Edition. Paris : Edition Dunod, 444 p.
- **Convention Helsinki. (1992).** the protection of the marine environment of the Baltic sea area, Helcom, 2008, 45 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.
- **Cowart, JB. et Burnett, WC. (1994).** The distribution of uranium and thorium decay-series radionuclides in the environment. Journal of Environmental Quality. vol. 23, no 4, pp 651-662.
- **DCE (23/10/2000).** Directive 2000/60/ce du parlement européen et du conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. [en ligne]. [consulté le 27/10/2021] disponible sur le web : <https://eur-lex.europa.eu>.
- **De Giovanni, C. (1973).** Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi-Freuch ouest d'Alger, thèse de doctorat, géologie marine et sédimentologie. France : université d'Aix Marseille, 105 p.
- **De Villers, J. et al. (2005).** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Vol. 2, pp. 158-162.
- **Dean, JG. et al. (1972).** Removing heavy metals from wastewater. Environmental Science & Technology. vol. 6, no 6, pp. 518-522.
- **Du Laing, G. (2009).** Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain. soils and sediments. Science of the total environment.vol. 407, no 13, pp. 3972-3985.

- **El Fadili, M. (2015).** Enquête dragage 2011, synthèse des données : rapport d'activité. Document non publié. France : MargnyLès-Compiègne.
- **Erdoğan, M. (2009).** Monitoring and statistical assessment of heavy metal pollution in sediments along izmir bay using ICP-MS. These de doctorat. Chimie. Turkey : Institute of technology, 116 p.
- **Fernand, V. (1976).** Granulométrie, Encyclopædia Universalis [en ligne], [consulté le 29 octobre 2021]. disponible sur le web : <https://universalis.fr/encyclopedie/granulometrie/>.
- **Filella, M. (2009).** Freshwaters: which nom matters. Environmental chemistry letters. Environmental chemistry letters. Vol. 7, no 1, pp. 21-35.
- **Folk, R.L. et W.C. Ward (1957).** Brazos river bar : the significance of grain-size parameters. Journal of sedimentary research. vol. 27, pp 3-26.
- **Forghani, G. et al. (2009).** Geochemistry and speciation of metals in sediments of the Maharlu saline lake, shiraz, SW Iran. Environ earth sc. Vol 59, n°1, pp 73–184.
- **Foucault, A. et Raoult, JF. (1980).** Dictionnaire de géologie, Paris : Edition Masson, 334 p.
- **Foudil Bouras, A. & Buscail, R. (2012).** Approche Géochimique D'un Hydrosystème Côtier Algérois .Thèse de Doctorat, Université Des Sciences Et De La Technologie Houari-Boumediene - Alger. p 49.
- **Friberg, L. et al. (1979).** Handbook on the toxicology of metals. Amsterdam: Edition Elsevier, 1542 p.
- **Geffard, O. (2001).** Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants étudiés. Thèse doctorat . France : université bordeaux 1, 376 p.
- **Geode. (2012).** Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion guide méthodologique. P 134.
- **Gharbi, T.L. (2008).** rôle de la matière organique sur le devenir des polluants métalliques. cas de la fertigation d'un sol en climat méditerranéen. Thèse de doctorat. Toulon. p 305.
- **Girard, M.C. et al. (2005).** Sol Et Environnement. Paris : Édition Dunod, 816 p.
- **Guézennec L (1999).** Hydrodynamique et transport en suspension du matériel particulaire fin dans la zone fluviale d'un estuaire macrotidale : l'exemple de l'estuaire de la Seine (France). Thèse doctorat. géologie. université de Rouen. 254 p.

- **Haddouche, I. (2003).** Etude de l'état de pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en juillet 2002. Mémoire d'ingénieur d'état. Environnement. Alger : ISMAL. pp 13-17.
- **Hakanson, L. (1980).** Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. vol. 14, no 8, pp. 975-1001.
- **Hayet, A. et al. (2017).** impacts écologiques de sédiments pollués extraits et déposés en milieux terrestres. Etat des connaissances et évaluation des risques pour les écosystèmes. ILIS : Université de Lille 2. 308 p.
- **Hope, D. et al. (1994).** A review of the export of carbon in river water : fluxes and processes. Environmental pollution. Vol 84, n°3, pp.301-324.
- **Houma, F. et Belkessa, R. (2005).** Phénomène de la qualité des grands ensembles portuaires. Projet d'étude ISMAL/MATE/ONDD.
- **Hurlbut, Jr. et al. (1982).** Manuel de minéralogie de Dana. Barcelone : Edition reverté, 564 p.
- **Inal, A. et al. (2018).** Les métaux traces dans les sédiments marins et les espèces démersales de côte algérienne : contribution à l'évaluation du risque écologique, Thèse de doctorat. Alger : ENSSMAL. p.73.
- **Koroghli, A. (2010).** Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse de magister. Écologie et environnement. Alger : USTHB. 150 p.
- **Labanowski, J. (2004).** Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation. Thèse de doctorat Chimie et microbiologie de l'eau. France : Université de Limoges 199 p.
- **Langston, W. J. et al. (1999).** Bioavailability of metals in sediments of the Dogger Bank (central North Sea): A mesocosm study. Estuarine, coastal and shelf science. Vol 48,n°5, 540 p.
- **Lasheen, MR. et al. (2008).** Factors influencing lead and iron release from some Egyptian drinking water pipes. Journal of hazardous materials. vol. 160, no 2-3, pp. 675-680.
- **Le Mot, Y.M. (1998) :** Localisation des éléments métalliques et identification de leurs phases porteuses dans les sols du périmètre agricole d'une friche industrielle. Région nord-pas-calais. Mémoire de DEA. France : université paris xii-val de marne. 45 p.

- **Leclaire, L. (1972).** La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro Balear (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoires naturelles, nouvelle série. Tome xxiv. Paris : Edition muséum, 319 p.
- **LEM, (1984).** Laboratoire Etude Maritime. Etude de protection du rivage de Sidi-Fredj et de club des pins.
- **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.
- **Mac, F. et Burchett, MD. (2000).** Cellular distribution of cu, pb and Zn in the grey mangrove, *Avicennia marina* Forsk Vierh. Aquatic botany. vol. 68, no 1, pp 45-59.
- **Macdonald, D.D. et al. (2000).** Development and Evaluation of Consensus Based Sediment Quality Guidelines for Frechwater Ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicity. vol. 39, no 1, pp 20-31.
- **Madigou, E. (2005).** Influence du statut trophique de cours d'eau sur les fonctionnalités microbiennes des biofilms Epipsammon et Epolithon. Thèse doctorat. Biologie. Lyon : Université Claude Bernard. 236 p.
- **Mahan, B.H. (1987).** Chimie. Cours Universitaire. Fonds Educatif Interaméricain S. A.
- **Marchand, C. et al. (2006).** Havy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. Marine Chemistry. Vol 98, n°1, pp 1-17.
- **Marchand, M. (1997).** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. OCEANIS. Vol. 23, n°4, pp. 597-629.
- **Menguellati, A. et Sraoui, A.M. (2012).** Les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et de la baie Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur, Alger : ENSSMAL, 66 p.
- **Mezali K., 1998.** Contribution à la systématique, la biologie et la dynamique des populations de cinq espèces d'*holoturies aspidochirotes* *Holothuria tubulosa*, *H. polii*, *H. forscali* et *H. sanctari* de l'herbier à *posidonie océanique* L Deline de la presqu'île de Sidi Fredj. Thèse magistère. Ecologie marine. Algérie : ISMAL, 246 p.
- **Miquel, M. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques : Rapport d'activité. Document non publié. France : Sénat.
- **Miraoui, M. (2010).** Prétraitement et traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation dans le génie civil. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : université des sciences et technologies de Lille 1, 210 p.

- **Müller, P.J. et Suess, E. (1979).** Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans-I. Organic carbon preservation, deep sea research part a. Oceanographic research papers. vol. 26, no 12, pp. 1347-1362.
- **Nirel, P.M.V. et Morel, F.M. (1990).** Pitfalls of sequential extractions. Water research. Vol 24, n° 8 , 1056 p.
- **Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (2003).** la qualité de l'eau et de l'assainissement en France. document non publié. France : M. Gérard Miquel.
- **O-P-S. (1987).** Guides pour la qualité de l'eau potable. Critères relatifs à la santé et autres informations base. Publication scientifique 506. Organisation panaméricaine de la santé, Washington, 350 p.
- **PAC (Programme d'Aménagement Côtier Algérois) (2004).** Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djanet au Mont Chenoua. Bilan et diagnostic, partie I caractéristiques physiques, Projet PAC/ MATE-PAM/CAR ASP, 64 p.
- **Pernet-Coudrier, B. et al. (2008).** Dissolved Organic Matter From Treated Effluent Of A Major Wastewater Treatment Plant : Characterization And Influence On Copper Toxicity. Chemosphere. vol. 73, no 4, p. 593-599.
- **Pinta, M. et al. (1979).** Spectrométrie d'absorption atomique : 1. Problèmes généraux. 2. Application à l'analyse chimique Paris : Edition ORSTOM, 708 p.
- **Power, EA. et Chapman, PM. (1992).** Assessing Sediment Quality. In Burton, GAJ Eds.Sediment Toxicity Assessment, Lewis, Chelsea, MI, USA. 18 p.
- **Quevauviller, P. (1998).** Method Performance Studies in Speciation Analysis. UK: The Royal Society of Chemistry, pp 71-75.
- **Ramade, F. (1998).** Dictionnaire Encyclopédique Des Sciences De L'eau. Paris : Edition Ediscience, 785 p.
- **Reyms-Keller A. et al. (1998).** Effects of heavy metals on *Aedes aegypti* Diptera, (Culicidae) larvae. Ecotoxicology and environmental Safety. vol. 39, no 1, pp. 41-47.
- **Ribera, D. et al. (1996).** Uranium in the Environment : Occurrence, Transfer, and Biological Effects. Reviews in Environmental Contamination and Toxicology. pp 53-89.
- **Rodier, J. (1996).** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8eme Edition. Paris : Edition Dunod. pp 385- 401.
- **Ruiz, F. (2001).** Trace metals in estuarine sediments from the southwestern Spanish coast. Marine Pollution Bulletin. vol. 42, no 6, p. 481-489.

- **Sadaoui, M. et Chabi, A. (2011).** Diagnostic et paramètres environnementaux du littoral Ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 83 p.
- **Sainz, A. et Ruiz, F. (2006).** Influence of the very polluted inputs of the Tinto–Odiel system on the adjacent littoral sediments of southwestern Spain : a statistical approach. *Chemosphere*. vol. 62, no 10, pp. 1612-1622.
- **Sarkar, B. (2002).** Heavy Metals in the Environment. New York : Editions Marcel Dekker, pp 6-7.
- **SONG, Y. (2016).** Traitement électrocinétique des sédiments de dragage et valorisation par solidification/stabilisation. Thèse de doctorat. Génie civil. Normandie : Normandie université, 164 p.
- **Spencer, K.L. et Macleod, C.L. (2002).** Distribution and Partitioning Of Heavy Metals in Estuarine Sediment Cores and Implications for the Use of Sediment Quality Standards. *Hydrology and Earth System Sciences*. vol. 6, no 6, pp. 989-998
- **Sprovieri, M. et al. (2007).** Heavy Metals, Haps and PCB in Surface Sediments of the Naples Harbour Southern Italy. *Chemosphere*. vol. 67, no 5, pp. 998-1009.
- **Taylor, S.R. (1964).** Abundance of chemical elements in the continental crust : a new table. *Geochimica et cosmochimica acta*. Vol 28,n° 8 , pp. 1273-1285.
- **Taylor, S.R. et Mc Lennan, S.M. (1985).** The Continental Crust : Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 330 p.
- **Tomlinson, L, et al. 1980.** Problems in the assessments of heavy-metal levels in estuaries and formation of a pollution index, *Helgol Meeresunters*. vol 33, n° 5, pp 66-75.
- **Turner, A. et Millward, G.E. (2002).** Suspended Particles: Their Role in Estuarine Biogeochemical Cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 55, no 6, pp. 857-883.
- **Van de ven, N.S.G. (1977).** Teneur d'éléments présents à l'état de traces chez le bétail des plaines alluviales du Rhin et l'Ijssel. Vol 89, 262 p.
- **Viers, J., et al. (2009).** Chemical composition of suspended sediments in World Rivers : New insights from a new database. *Science of the total Environment*. vol. 407, no 2, p. 853-868.
- **WOODS, A. (2009).** Tracing the Distribution of Heavy Metals in Sediments of the Pearl River Estuary. Master's thesis. Geochemistry .Royaume-Uni : Durham University. 144 p.
- **Wyse, E.J. et al. (2004).** Report on the world-wide intercomparison exercise for the determination of trace elements and methylmercury in marine sediment *IAEA 433*. IAEA/AL/147, IAEA/MEL/75, IAEA. 113 p.

# **Annexe**

**Table 1** : Résultats de l'analyse in-situ des paramètres physicochimiques

Station	Latitude	Longitude	Température (°C)	Oxygène(ppm)	Saturation d'oxygène	Salinité(PSU)	pH
1	36.763897632	2.846648362	24,7	1,83	23,7	36,9	7,73
2	36.763666785	2.847030241	24,6	2,54	33,6	37	7,75
3	36.764041542	2.847046253	24,7	3,39	38,1	37,1	7,85
4	36.764154603	2.847393256	24,7	3,24	42,7	37	7,79
5	36.764269152	2.847823587	25	2,91	43,8	36,9	7,86
6	36.764364814	2.848447345	24,8	2,87	33,3	37	7,86
7	36.763298301	2.847352414	25,8	3,29	39,9	36,8	7,82
8	36.762907857	2.847760289	25,1	3,3	38,6	37,1	7,88
9	36.763521170	2.849205617	24,8	4,45	52,6	37,2	7,92

**Table 2** : Conditions spectrophotométriques et électrothermiques des métaux lourds

		Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	
Longueur d'onde (nm)		253,7	283,3	228,8	324,8	213,9	279,5	
Largeur de la fente (nm)		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.2	
Intensité (ma) (HCL)		19	08	06	15	15	15	
	Vitesse de montée (°c/s)	-	20	20	-	-	-	
	Température (°c)	-	110	110	-	-	-	
	Temps (s)	-	40	40	-	-	-	
Mise en cendre	Vitesse de montée (°c/s)	-	20	20	-	-	-	
	Température (°c) 1ere phase	-	400	350	-	-	-	
	temps	-	20	30	-	-	-	
	Vitesse de montée (°c/s)	-	15	15	-	-	-	
	Température (°c) 2éme phase	-	560	460	-	-	-	
	temps	-	45	40	-	-	-	
Atomisation	Vitesse de montée (°c/s)	-	1	0	-	-	-	
	Température (°c)	-	2400	2200	-	-	-	
	Temps (s)	-	5	6	-	-	-	
	Types d'atomisation	VF	FG	FG	FAA	FAA	FAA	
	VF : vapeurs froides FG : four à graphite	FAA : flamme air-acétylène HCL : lampe à cathode creuse						

## Résumé

L'opération de dragage constitue une nécessité vitale au maintien de l'activité d'un port. Elle est justifiée par l'accumulation dans les ports et dans les chenaux de navigation, de matériaux provenant du bassin versant et ou de la mer et visent ainsi à rétablir des tirants d'eau suffisants pour permettre la libre circulation et la sécurité des navires. La contamination des sédiments portuaire est l'une des questions les plus critiques dans l'évaluation des risques pour l'environnement dans la mesure des projets de dragage. Le but principal de cette étude est la caractérisation des sédiments du port de Sidi Fredj. Les caractéristiques physiques et chimiques de sédiment, ont été examinées en utilisant plusieurs techniques et appareils de laboratoire. Les résultats indiquent une absence de contamination par les métaux lourds (Cr,Pb,As,Cd et Cu) à l'exception du Zinc qui dépasse légèrement les normes définies. L'analyse granulométrique montre la prédominance de la fraction sableuse. La densité des sédiments et leurs teneurs en matière organique sont assez faibles. En conclusion, les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj ne sont pas de mauvaise qualité et peuvent avoir une immersion.

**Mots clés : dragage, sédiments marins, métaux lourds, contamination.**

## Abstract

Dredging is a vital necessity for maintaining the activity of a port. It is justified by the accumulation in ports and navigation channels of material from the watershed and or the sea and thus aims at restoring sufficient draught to allow the free movement and safety of ships. Contamination of harbor sediments is one of the most critical issues in the environmental risk assessment of dredging projects. The main purpose of this study is the characterization of sediments of the port of Sidi Fredj. The physical and chemical characteristics of the sediment were examined using several techniques and laboratory equipment. The results indicate an absence of contamination by heavy metals (Cr, Pb, As, Cd and Cu) except for Zinc which slightly exceeds the defined standards. The granulometric analysis shows the predominance of the sandy fraction. The density of the sediments and their organic matter content are quite low. In conclusion, the surface sediments of the port of Sidi Fredj are not of poor quality and can have an immersion.

**Key words: dredging, marine sediments, heavy metals, contamination.**

## ملخص

يعتبر التجريف ضرورة حيوية للحفاظ على نشاط الميناء. ويبرره تراكم المواد في الموانئ والقنوات الملاحية من متجمعات المياه أو البحر وبالتالي يهدف إلى استعادة العمق الكافي للسماح بحرية الحركة وسلامة السفن. يعد تلوث رواسب الموانئ أحد أهم القضايا في تقييم المخاطر البيئية لمشاريع التجريف. الغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو توصيف رواسب ميناء سيدي فرج. تم فحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرواسب باستخدام عدة تقنيات ومعدات معملية. تشير النتائج إلى عدم وجود تلوث بالمعادن الثقيلة (الكروم، الرصاص، الزرنيخ، الكاديوم والنحاس) باستثناء الزنك الذي يتجاوز قليلاً المعايير المحددة. يوضح التحليل الحبيبي غلبة الجزء الرملي. كما ان كثافة الرواسب ومحتواها من المواد العضوية منخفضة الى حد ما. في الختام، إن الرواسب السطحية لميناء سيدي فرج ليست ذات نوعية رديئة ويمكن أن تغمر.

**الكلمات المفتاحية: جرف، رواسب بحرية، معادن ثقيلة، تلوث.**