

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهئية الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement



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

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

## Le port de Sidi Fredj : quantité et devenir des sédiments de dragage

Présenté par :

- AZRARAK Rafik
- BEGGAR Hanya

Soutenu le 06/07 /13 devant le jury suivant :

M <sup>me</sup> BENZOUAI .S	Maître assistante B	(ENSSMAL)	Présidente
Mr BELKESSA.R	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr HEMDENE.Y	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Co-promoteur
Mr HELLEL.M	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2013

## *Dédicaces*

À mes très chers parents pour leur affection et leurs précieux conseils;

À mes chères sœurs et beaux-frères et mon adorable neveu ;

À tous mes amis pour leurs encouragements et leurs aides ;

À toi Adel, pour ta présence, ton soutien, ta gentillesse, et ton grand cœur.



**Hanya**

## *Dédicaces*

À mes très chers parents qui veillent à ma réussite et bonheur ;

À mes frères et sœurs ;

À tous mes autres proches et mes chers amis ;

Tous simplement, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

**Rafik**

# Remerciements

Nous remercions Allah tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

A cet effet, nous tenons à remercier vivement M<sup>me</sup> BENZOUAI .S d'avoir acceptée de présider le jury de cette soutenance, ainsi que Mr HELLEL.M et Mr HAMDENE. Y de nous avoir honorés de leur présence, et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous s'adressons nos sincères remerciements à notre promoteur Mr BELKESSA. R pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.

Nous tenons également à remercier très chaleureusement Mr GATER.S pour son aide et sa sympathie.

C'est un plaisir autant qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, pour le bon déroulement et la réalisation de ce modeste travail, et surtout nos amis Sara, Rahim, Nour El Imene et izzeddine.

---

# SOMMAIRE

---

<b>Introduction</b> .....	01
---------------------------	----

## **Chapitre I : Généralités sur le site d'étude**

<b>I.1. Présentation du port de Sidi Fredj</b> .....	02
I.1.1. La situation géographique.....	02
I.1.2. Description de la zone d'étude.....	03
<b>I.2. Cadre géomorphologique</b> .....	04
<b>I.3. Analyse des données bathymétriques</b> .....	05
<b>I.4. Etude de l'érosion/dépôt dans la zone d'étude</b> .....	06
<b>I.5. Données océanographiques</b> .....	07
I.5.1. Les houles.....	07
I.5.2. Les courants.....	08
<b>I.6. Simulation numérique : hydrodynamisme / sédimentologie / ensablement</b> .....	09
I.7.2. Actions des houles de direction Nord-Est (N45°).....	09
<b>I.7. Le réseau hydrographique et apports fluviaux</b> .....	11
I.7.1. Oued Beni Messous.....	11
I.7.2. Oued Mazafran.....	11

## **Chapitre II : Moyens et méthodes d'analyses**

<b>II.1. Choix et localisation des stations</b> .....	12
<b>II.2. Compagne en mer</b> .....	13
<b>II.3. Méthode de prélèvement</b> .....	14
II.3.1. Pour les sédiments.....	14
II.3.2. Pour les échantillons d'eau.....	14
<b>II.4. Mesures in situ</b> .....	14
II.4.1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	14
II.4.2. L'oxygène dissous.....	15
II.4.3. La Salinité / la conductivité.....	15
II.4.4. La température de l'eau .....	15
<b>II.5. Analyses au laboratoire</b> .....	16
II.5.1 Analyse de l'eau de mer.....	16
II.5.1.1 Matière en suspension (MES).....	16
II.5.1.2 Matière organique particulaire (MOP).....	17
II.5.1.3 Analyse des sels nutritifs.....	18
II.5.2 Analyses des sédiments marins.....	21
II.5.2.1 Analyse granulométrique.....	21
II.5.2.2 Analyse calcimétrique.....	21
II.5.2.3 Matière organique (MO).....	23
II.5.2.4 Analyse des métaux lourds.....	23
II.5.2.4.1 Nettoyage des instruments.....	23
II.5.2.4.2 Lyophilisation.....	24
II.5.2.4.3 Broyage et homogénéisation.....	24

II.5.2.4.4 Extraction des métaux lourds.....	24
II.5.2.4.5 Digestion ou minéralisation.....	25
II.5.2.4.6 Protocole expérimental.....	25
II.5.2.4.7 Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique.....	25
II.5.2.4.8 Calcul des concentrations des métaux lourds.....	27
II.5.2.4.9 Les Indices de contamination.....	28

## Chapitre III : Résultats et discussions

<b>III.1. Les paramètres physico-chimiques in situ.....</b>	<b>30</b>
III.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	30
III.1.2. L'oxygène dissous.....	30
III.1.3. La Salinité.....	32
III.1.4. La conductivité.....	32
III.1.5 La température de l'eau.....	33
III.1.6 Etude comparative des paramètres physico-chimiques.....	34
<b>III.2 Résultats de l'analyse au laboratoire.....</b>	<b>35</b>
II.2.1 Analyse de l'eau de mer.....	35
II.2.1.1 Matière en suspension (MES).....	35
II.2.1.2 Matière organique particulaire (MOP).....	36
II.2.1.3 Variations et répartitions des sels nutritifs.....	38
<b>III.2.2 Résultats et interprétation de l'analyse Sédimentaire.....</b>	<b>45</b>
II.2.2.1 Analyse granulométrique.....	45
II.2.2.2 Analyse calcimétrique.....	47
II.2.2.3 Matière organique (MO) dans le sédiment.....	48
II.2.2.4 Concentration en métaux lourds des sédiments superficiels.....	50

## Chapitre IV : Dragage et devenir des matériaux dragués

<b>IV.1. Généralités sur le dragage.....</b>	<b>56</b>
IV.1.1. Définition.....	56
IV.1.2. L'intérêt de dragage.....	56
IV.1.3. Aspects techniques du dragage.....	56
IV.1.4. La réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage.....	57
<b>IV.2. Dragage du port de Sidi Fredj.....</b>	<b>57</b>
IV.2.1. Opération de dragage (2012/2013).....	57
IV.2.2. Description des travaux.....	57
IV.2.3. Quantification des matériaux à draguer.....	58
IV.2.4. Qualité des sédiments.....	61
<b>IV.3. Devenir des déblais de dragage.....</b>	<b>62</b>

IV.3.1. Variante N°01 : L'immersion des produits de dragage .....	62
IV.3.2. Variante N°02 : Rechargement des plages (Est / Ouest).....	63
IV.3.3. Variante N°03 : Mini géotubes (Boudins).....	64
IV.3.4. Variante N°04 : Utilisation pour les matériaux de construction.....	64

<b>Conclusion</b> .....	66
-------------------------	----

**Bibliographie**

**Annexes**

---

## Liste des acronymes

---

## Liste des acronymes

---

<b>CTH :</b>	<b>C</b> ontrôle <b>T</b> echnique de la construction <b>H</b> ydraulique.
<b>CETMEF :</b>	<b>C</b> entre d' <b>É</b> tudes <b>T</b> echniques <b>M</b> aritimes <b>E</b> t <b>F</b> luviales.
<b>ONM :</b>	<b>O</b> ffice <b>N</b> ational <b>M</b> étéorologique.
<b>DTP :</b>	<b>D</b> irection des <b>T</b> ravaux <b>P</b> ublics.
<b>ENSSMAL :</b>	<b>E</b> cole <b>N</b> ational <b>S</b> upérieur des <b>S</b> ciences de la <b>M</b> er et de l' <b>A</b> ménagement du <b>L</b> ittoral.
<b>HMI :</b>	<b>H</b> ydro <b>M</b> arine <b>I</b> ngénierie.
<b>IFREMER :</b>	<b>I</b> nstitut <b>F</b> rançaise de la <b>R</b> echerche et l' <b>E</b> xploitation <b>E</b> n <b>M</b> er.
<b>LEM :</b>	<b>L</b> aboratoire des <b>E</b> tudes <b>M</b> aritimes.
<b>LCHF</b>	<b>L</b> aboratoire <b>C</b> entral <b>H</b> ydraulique de <b>F</b> rance.

---

## Liste des abréviations

---

<b>°C :</b>	<b>Degré Celsius.</b>
<b>D.O :</b>	<b>Densité Optique.</b>
<b>G :</b>	<b>Gramme.</b>
<b>m :</b>	<b>Mètre.</b>
<b>m<sup>2</sup> :</b>	<b>mètre carré.</b>
<b>m<sup>3</sup> :</b>	<b>mètre cube.</b>
<b>MES :</b>	<b>Matières En Suspension.</b>
<b>MO :</b>	<b>Matière Organique.</b>
<b>MOP :</b>	<b>Matière Organique Particulaire</b>
<b>mS:</b>	<b>Millisiemens.</b>
<b>MWD :</b>	<b>Mean Wave Direction.</b>
<b>NW :</b>	<b>Nord-Ouest.</b>
<b>NE :</b>	<b>Nord-Est.</b>
<b>N :</b>	<b>Nord.</b>
<b>PH :</b>	<b>Potentiel hydrogène.</b>
<b>PSU :</b>	<b>Practical Salinity Unit.</b>
<b>SAA :</b>	<b>Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.</b>
<b>S :</b>	<b>Sud.</b>
<b>TTC :</b>	<b>Toutes Taxes Comprises.</b>
<b>UV :</b>	<b>Ultraviolet.</b>
<b>µmol :</b>	<b>Micromole.</b>
<b>WTW:</b>	<b>Wissenschaftliche Technische Workstätten.</b>

---

## LISTE DES FIGURES

---

## Liste des figures

---

<b>Fig I.1 :</b>	Localisation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2013) (MapInfo 7.8)	02
<b>Fig I.2 :</b>	Schéma du port de Sidi Fredj	04
<b>Fig I.3 :</b>	Levés bathymétriques (1977-1984-2009).	05
<b>Fig I.4 :</b>	Zone d'érosion et de dépôt (1977-1984-2009)	06
<b>Fig I.5 :</b>	Rose des vagues au large de la côte Algérienne – Hiver- (CTH, 2008).	07
<b>Fig I.6 :</b>	Rose des vagues au large de la côte Algérienne-été (CTH, 2008).	07
<b>Fig I.7 :</b>	Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Assassi, 2010).	09
<b>Fig I.8 :</b>	Champs de houles sur la plage Est de Sidi Fredj : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s.	10
<b>Fig I.9 :</b>	Champs de courants sur la plage Est de Sidi Fredj : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s.	10
<b>Fig I.10 :</b>	Capacité de transport solide sur la plage Est de Sidi Fredj, MWD=45°, Hs=2.56m, T=8s.	11
<b>Fig II.1 :</b>	Répartition des stations de prélèvement dans le port de Sidi Fredj.	12
<b>Fig II.2 :</b>	Echosondeur.	13
<b>Fig II.3 :</b>	pH-mètre.	14
<b>Fig II.4 :</b>	Oxymètre de terrain.	15
<b>Fig II.5 :</b>	Conductimètre de terrain.	15
<b>Fig II.6 :</b>	Balance de précision. Pionner (Au 1/10000 g).	16
<b>Fig II.7:</b>	Etuve Nemmert.	17
<b>Fig II.8 :</b>	Four à moufle. Carbolite CWF 1200.	18
<b>Fig II.9:</b>	Spectrophotomètre UV/VIS (SHIMADZU).	19
<b>Fig II.10 :</b>	Lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8).	24
<b>Fig II.11 :</b>	Mortier en porcelaine.	24
<b>Fig II.12 :</b>	SAA model Hitachi Z-5000.	26
<b>Fig III.1 :</b>	Variation du pH au niveau du port de Sidi Fredj(2013).	31
<b>Fig III.2 :</b>	Variation de l'oxygène dissous (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj(2013).	32
<b>Fig III.3 :</b>	Variation de l'oxygène dissous (%) au niveau du port de Sidi Fredj(2013).	32
<b>Fig III.4 :</b>	Variation de la salinité (PSU) au niveau du port de Sidi Fredj(2013).	33
<b>Fig III.5 :</b>	Variation de la conductivité (mS /cm) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	33
<b>Fig III.6 :</b>	Variation des valeurs moyennes de la conductivité et de la salinité au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	34
<b>Fig III.7 :</b>	Variation de la température (°C) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	34
<b>Fig III.8 :</b>	Répartition des concentrations de MES (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	36
<b>Fig III.9 :</b>	Variation des valeurs moyennes de la matière en suspension en fonction des stations.	37
<b>Fig III.10 :</b>	Répartition des concentrations des MOP (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	38
<b>Fig III.11 :</b>	Variation de la matière organique particulaire au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	38

## Liste des figures

---

<b>Fig III.12 :</b>	Répartition des concentrations de l'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	40
<b>Fig III.13 :</b>	Variation de la concentration de l'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	40
<b>Fig III.14 :</b>	Répartition des concentrations des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	41
<b>Fig III.15 :</b>	Variation de la concentration des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	41
<b>Fig III.16 :</b>	Répartition des concentrations des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	42
<b>Fig III.17 :</b>	Variation de la concentration des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	43
<b>Fig III.18 :</b>	Répartition des concentrations des orthophosphates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj	44
<b>Fig III.19 :</b>	Variation de la concentration des orthophosphates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	44
<b>Fig III.20 :</b>	Répartition des concentrations des silicates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj.	45
<b>Fig III.21 :</b>	Variation de la concentration des silicates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	46
<b>Fig III.22:</b>	Répartition des taux de pélites dans les sédiments (%) au niveau du port Sidi Fredj (2013).	47
<b>Fig III.23 :</b>	Variation des taux de pélites dans les sédiments (%) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	47
<b>Fig III.24 :</b>	Répartition des taux de carbonates ( $\text{CaCO}_3$ %) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	48
<b>Fig III.25 :</b>	Variation des taux de carbonates ( $\text{CaCO}_3$ %) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	49
<b>Fig III.26 :</b>	Répartition des taux de la matière organique (%) dans les sédiments au niveau du Port de Sidi Fredj (2013).	50
<b>Fig III.27 :</b>	Variation des taux de la matière organique (MO) dans les sédiments au niveau du port de Sidi Fredj (2013).	50
<b>Fig III.28 :</b>	Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des métaux lourds (Bouaziz et Djerrai, 2010).	51
<b>Fig III.29 :</b>	Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj	30
<b>Fig III.30 :</b>	Indice de contamination (IC) par le plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).	52
<b>Fig III.31 :</b>	Variation des concentrations du Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).	53
<b>Fig III.32 :</b>	Indice de contamination (IC) par le Cadmium dans le sédiment superficiel du port de	54

## Liste des figures

---

	Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).	
<b>Fig III.33 :</b>	Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).	55
<b>Fig III.34 :</b>	Indice de contamination (IC) par le mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).	55
<b>Fig IV.1 :</b>	Stockage du sable après dragage au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.	60
<b>Fig IV.2 :</b>	Chenal d'accès (cavalier) pour le dragage de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.	60
<b>Fig IV.3 :</b>	Répartition des bassins du port de Sidi Fredj (Azrarak et Beggar, 2013).	61
<b>Fig IV.4 :</b>	Bathymétrie du port de Sidi Fredj avant le dragage de la passe d'entrée (Azrarak et Beggar, 2013).	62
<b>Fig IV.5 :</b>	Zones d'ensablement dans le port de Sidi Fredj (Azrarak et Beggar, 2013).	63
<b>Fig IV.6 :</b>	Pourcentage des différentes fractions sédimentaires.	64

---

## Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

---

<b>Tab I.1 :</b>	les caractéristiques du port de Sidi Fredj.	03
<b>Tab I.2 :</b>	Superficies et profondeurs des bassins antérieurs (L.E.M, 1998).	04
<b>Tab I.3 :</b>	Amplitudes des vagues en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).	08
<b>Tab I.4 :</b>	Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).	08
<b>Tab II.1:</b>	Concentration des solutions standards utilisées (ug/ml).	27
<b>Tab II.2:</b>	Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes Algériennes, françaises et hollandaises (Belkessa, 2005).	28
<b>Tab II.3 :</b>	Valeurs de l'indice de contamination (IC) (Alzieu, 1999).	29
<b>Tab III.1:</b>	Paramètres physicochimiques au niveau du port de Sidi Fredj.	35
<b>Tab III.2:</b>	Les valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type des sels nutritifs des eaux de surface de Sidi Fredj.	39
<b>Tab IV.1:</b>	Surface et quantités à draguer dans le port de Sidi Fredj.	62
<b>Tab IV.2 :</b>	Comparaison des variantes proposées.	67

---

# Introduction

---

## Introduction

De nos jours, le littoral est l'un des espaces économiques le plus convoité tant pour sa partie marine que pour sa partie terrestre. En effet, les activités économiques essentielles s'y concentrent comme les industries, le tourisme conduisant à une urbanisation rapide et dense (**Moussoni, 2003**).

Le dragage est une opération nécessaire pour maintenir l'activité et la sécurité navale dans les structures portuaires.

Cette opération génère des quantités importantes de matériaux, d'où la nécessité d'une réflexion pointue pour la gestion de ces matériaux qui fait appel à des moyens humains et matériels considérables.

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

Le devenir des déblais de dragage, immersion ou gestion à terre, est aujourd'hui une préoccupation constante des gestionnaires de port à laquelle il convient qu'ils puissent apporter des réponses acceptables.

Dans le cadre d'un suivi et afin d'apprécier la quantité et le devenir des sédiments dragués dans le port de Sidi Fredj, le présent travail, permet de quantifier les matériaux à draguer ainsi de proposer leur devenir en se basant sur les mesures des différents paramètres physico-chimiques et chimiques dans l'eau de mer accompagnant d'une analyse sédimentaire qui a pour objet l'étude du déplacement sédimentaire et du dépôt des sédiments.

Ce présent mémoire est élaboré selon quatre parties :

- la première partie, regroupe les aspects relatifs aux données climatiques, océanographiques, morphologiques de la zone étudiée.
- La deuxième partie, présente les moyens et méthodes à utiliser dans notre recherche.
- La troisième partie, comporte l'essentiel des résultats obtenus lors des différentes études, ainsi que leurs interprétations.
- La quatrième partie : la détermination de la quantité de sédiment à draguer dans le port de Sidi Fredj avec des recommandations que nous avons jugées essentielles en ce qui concerne le devenir des déblais.

---

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la zone d'étude**

---

## Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

### I.1. Présentation du port de Sidi Fredj

#### I.1.1. La situation géographique

La presqu'île de Sidi-Fredj (anciennement Sidi-Ferruch) large d'environ 620 mètres, se situant à environ 25 km à l'ouest d'Alger. Du point de vue administratif elle appartient à la commune de Staouéli, daïra de Zéralda et Wilaya d'Alger (Figure I.1).

C'est un promontoire rocheux ensailli par rapport aux côtes sableuses limitrophes caractérisé par deux pointes :

-La pointe de Marabout à l'Est où se situe le port de plaisance de Sidi Fredj.

-La pointe de St Janvier à l'Ouest à la limite de la baie d'El Djamila.

Ses coordonnées Géographiques sont :

- Longitude :  $2^{\circ}50'46''$  à  $2^{\circ}50'60''$  E.
- Latitude :  $36^{\circ}45'45''$  à  $36^{\circ}45'54''$  N.



Figure I.1: Localisation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2013).

### I.1.2. Description de la zone d'étude

La presqu'île de Sidi-Fredj forme deux baies très ouvertes, celle du Nord-Est et celle du Sud-Ouest, également remarquables par les grandes plages et les dunes qui les bordent. La baie du Nord-Est permet l'accès au port de plaisance et la baie du Sud-Ouest offre un bon mouillage pour toute espèce de bâtiments avec des vents d'est et de Nord-Est.

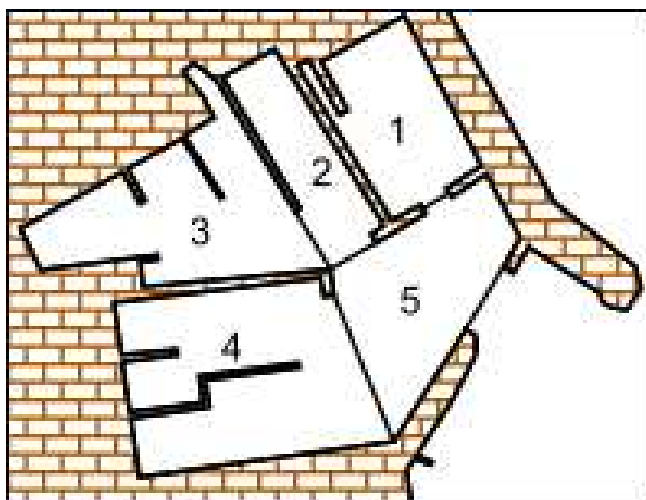
Le port Sidi Fredj est réalisé entre deux jetées de type à talus faibles, protégées coté mer à une profondeur de 1.5m par des blocs d'enrochement naturel :

- Une jetée Nord principale avec une longueur de 200 m se termine par un musoir servant de barrière de protection contre la houle ;
- Une jetée secondaire avec une longueur de 190 m sublimant la plage Est (tableau I.1).

**Tableau I.1** : les caractéristiques du port de Sidi Fredj.

Ouvrages de protection	Longueur (m)
Jetée principale Nord	200
Petit jetée Sud	190
Total	390
Ouvrages d'accostage	Longueur (m)
Quais	495
5 Appontements en Béton	340
5 Appontements Flottants	110
<b>Total</b>	945
Terre plein	Surface (ha)
	5.00
Plan d'eau	Surface (ha)
	2.00
Flottille	Quantité
Plaisanciers	450
Passe d'entrée	Longueur (m)
	50

Ainsi qu'il est composé d'un quai et de dix appontements jouent un rôle d'une passerelle pour assurer une occupation équilibrée du plan d'eau suivant le nombre d'embarcations et le tirant d'eau (Figure I.2)



**Figure I.2 :** Schéma du port de Sidi Fredj

Le port de Sidi Fredj comprend cinq bassins d'amarrage d'une superficie totale de 38 000 m<sup>2</sup> permettant l'accostage des bateaux de plaisance, la profondeur et la surface est différente d'un bassin à un autre (tableau I.2).

**Tableau I.2 :** Superficies et profondeurs des bassins antérieurs (L.E.M, 1998).

Bassin	Superficie (m <sup>2</sup> )	Profondeur (m)
1	8000	0.60 - 2.60
2	3000	2.50
3	5000	1.50 – 4.50
4	9400	2.50 – 3
5	10000	3.50

## I.2. Cadre géomorphologique

Le littoral de la baie d'El Djamila est caractérisé par une importante accumulation sableuse. Un cordon dunaire de l'ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d'El Djamila, de nombreux bancs rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau (Boutiba, 1996).

De nombreux platiers rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau jusqu'à des profondeurs de 4 à 5 m sur la plage de Moretti et de Club des Pins (CTH, 2011).

Le promontoire rocheux abritant le port de Sidi Fredj est soudé à l'arrière-pays par un tombolo d'un km de long et de 500m de large dans l'axe est orienté vers le Nord-Ouest, formant une barrière étroite dans l'axe majeur est orienté sud-ouest nord-est déborde des deux côtés du tombolo créant deux anses relativement abritées de part et d'autre de l'extrémité des côtes sableuses.

A l'Est de la presqu'île de Sidi Fredj s'étendent les plages sableuses de club des pins, Moretti et plus à l'est on ne rencontre que des criques individualisées par leurs affleurements rocheux.

Du côté Ouest de Sidi Fredj nous rencontrons également des étendues sableuses constituant les plages suivantes : plage Ouest, Palm Beach et Azur plage.

### I.3. Analyse des données bathymétriques

Une comparaison des levés bathymétriques disponibles : levés de 1977, 1984 et celui de 2009 a été effectuée par le CTH (Figure I.3). Cette comparaison nous a permis d'identifier l'évolution des fonds au niveau du site d'étude et de faire ressortir après traitement des diverses données :

En 1977, nous remarquons que la passe d'entrée et le chenal d'accès connu un ensablement.

Suite à une opération de dragage qui a eu lieu entre 1977 et 1984, nous constatons une diminution voir une disparition de cet ensablement.

Par contre en 2009, l'ensablement a pris le dessus sur la passe d'entrée et le chenal d'accès.

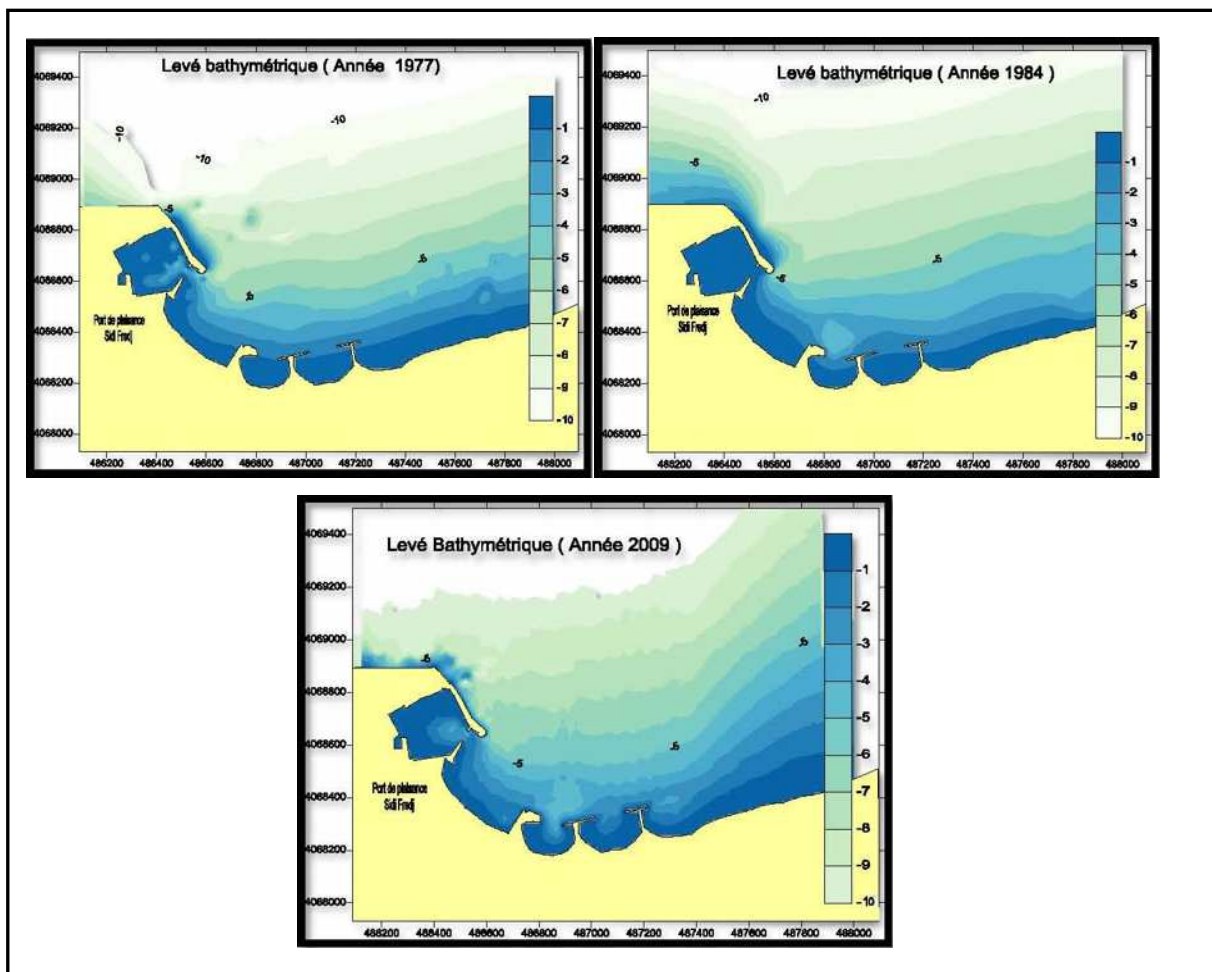
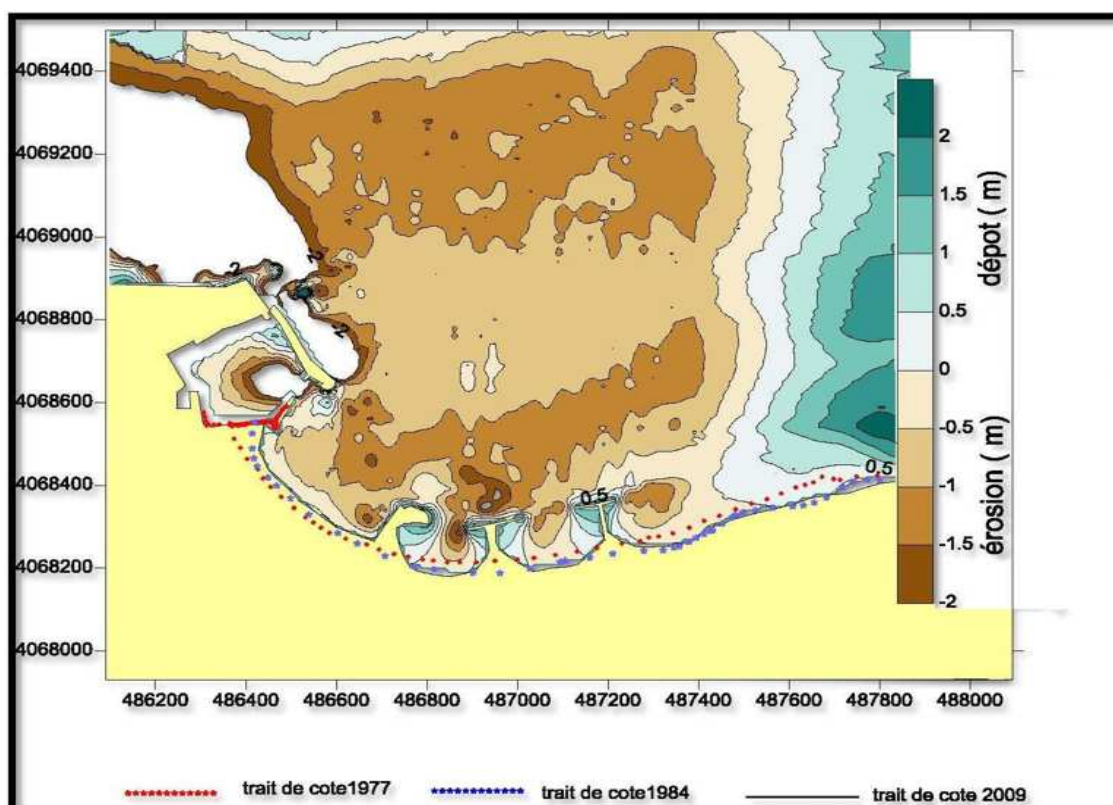


Figure I.3 : Levés bathymétriques (1977-1984-2009) (CTH, 2011).

#### I.4. Etude de l'érosion/dépôt dans la zone d'étude

La figure I.4, a été réalisée à l'aide du logiciel Surfer, qui nous a permis de superposer les trois levés bathymétriques et de voir la tendance qui règne entre 1977 et 2009. Nous remarquons qu'au niveau du port et de ses alentours jusqu'à des profondeurs de -5 m, que la tendance vire plutôt à une érosion qu'à une sédimentation (couleur marron), à l'exception d'un léger dépôt au niveau de la passe d'entrée, représenté par une couleur bleue, estimé à 0.5 m d'épaisseur.

Les résultats de la simulation numérique de l'état actuel, montrent clairement que le processus d'ensablement de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj reste un phénomène assez négligeable. Ceci est en accord avec les constatations faites in-situ, puisque toutes les évolutions de la bathymétrie depuis 1977 montrent un ensablement modéré de la passe d'entrée.



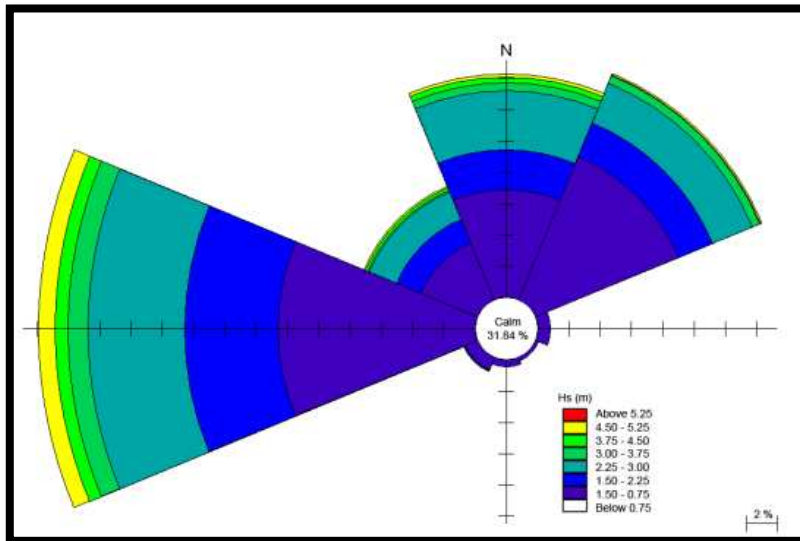
**Figure I.4 :** Zone d'érosion et de dépôt (1977-1984-2009) (CTH, 2011).

## I.5. Données océanographiques

### I.5.1. Les houles

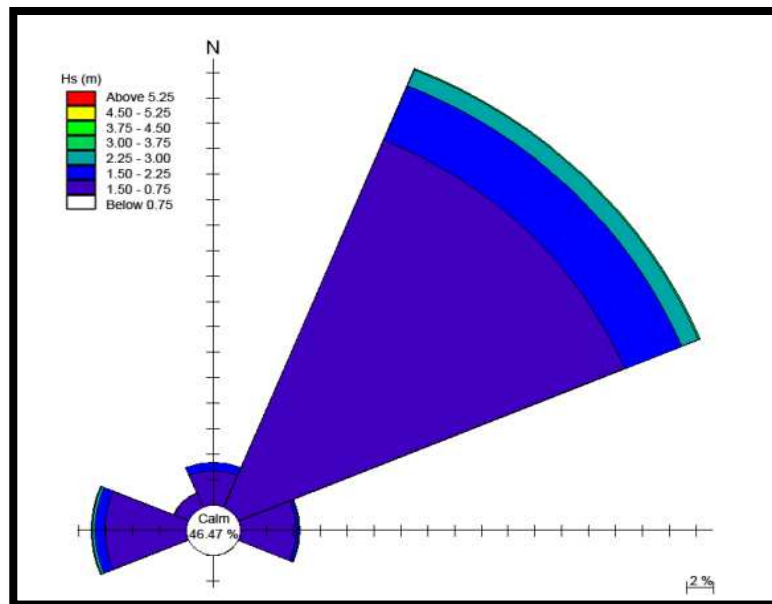
Les statistiques des houles dans la région de Sidi Fredj, font apparaître deux régimes :

- Les houles plus fortes sont hivernales, de direction Ouest dominante avec les plus grandes amplitudes (entre 1 et 3m) engendrant une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest. (Figure I.5)



**Figure I.5 :** Rose des vagues au large de la côte Algérienne – Hiver- (CTH, 2008).

- En été, les directions dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes plus faibles et leur propagation est pratiquement parallèle à la côte (Oukazi, 1993) (Figure I.6).



**Figure I.6 :** Rose des vagues au large de la côte Algérienne-été (CTH, 2008).

**Tableau I.3:** Amplitudes des vagues en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord- Ouest
Période de retour (s)					
Biennale	4.90	4.93	4.12	7.36	4.16
Quinquennale	5.75	5.67	4.70	8.43	4.87
Décennale	6.38	6.23	5.14	9.22	5.40
Vingtennale	7.02	6.79	5.59	10.02	5.94
Cinquantennale	7.87	7.53	6.17	11.08	6.65
Centennale	8.50	8.08	6.62	11.88	7.18

Pour une période de retour Cinquantennale, les données illustrées sur le tableau I.3 montrent que les vagues les plus énergiques relatives à ce secteur Ouest avec des hauteurs d'environ 11.88 m.

**Tableau I.4:** Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).

Etat de la mer	Période des vagues (s)					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
Calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Total(%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

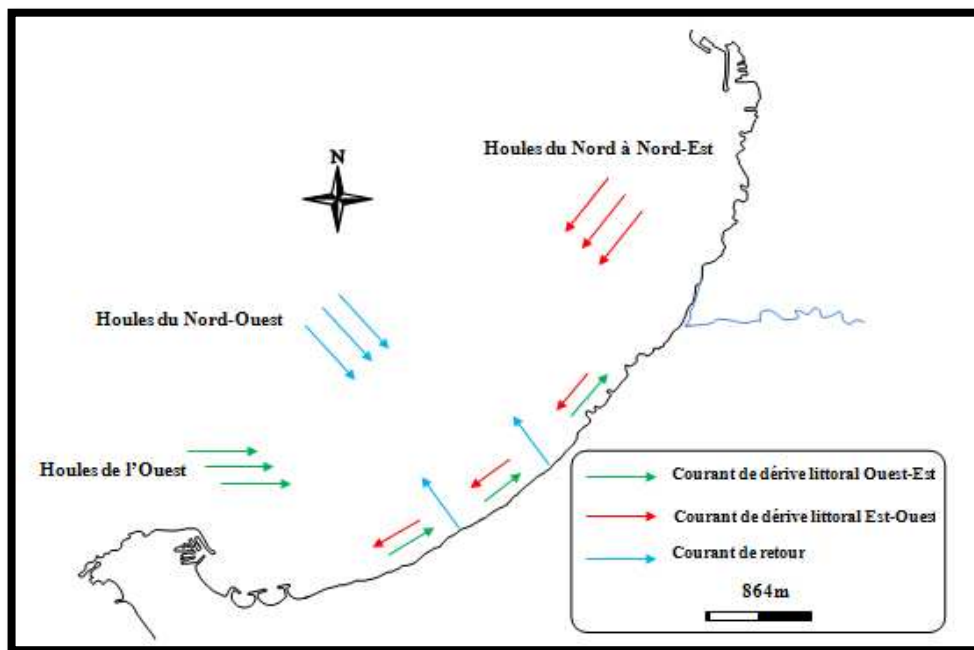
Les vagues observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% la période est  $\leq$  à 7s). Quand au reste des oscillations qui ne dépassent pas 3%, elles pourraient concerner la houle, puisque celles-ci se caractérisent, entre autres, par l'importance de sa période comprise dans notre cas entre 10 et 13s.

### I.5.2. Les courants

Cette carte déduit les différentes directions de vagues dans la région de Sidi Fredj et certains courants potentiels induits par le vent (Figure I.7).

On remarque que les directions qui peuvent donner naissance aux courants de dérive littorale sont les suivantes : Nord à Nord-Est et l'Ouest, tandis que les vagues du Nord-Ouest pourraient quant à elles générer des courants onshore-offshore pouvant être responsables (potentiellement) aussi bien d'apport en sable que d'érosion côtière.

Les courants de dérive littorale peuvent alimenter longitudinalement les plages de la région, notamment au niveau des zones où les sédiments peuvent être piégés (caps, zones rocheuses, etc). Aussi, les sédiments de la dérive littorale peuvent atteindre les plages, lorsque le transport sédimentaire longitudinal (drive littorale) est interrompu par des flux de houle frontale.



**Figure I.7:** Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Assassi, 2010).

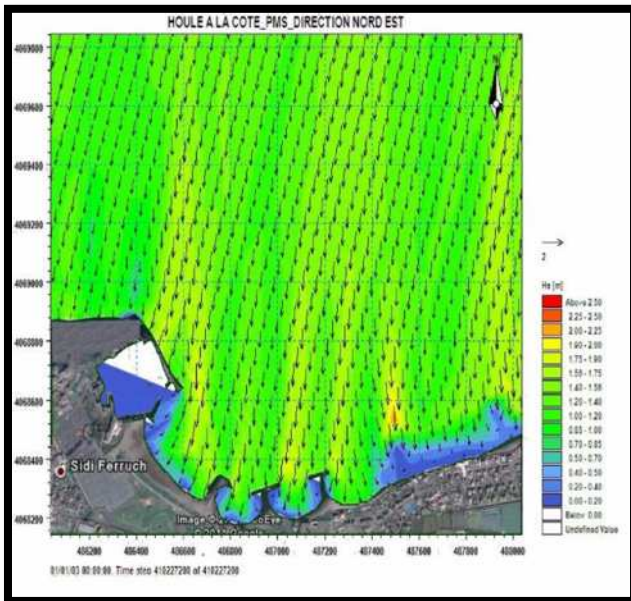
## I.6. Simulation numérique : hydrodynamisme / sédimentologie / ensablement

### I.6.1. Actions des houles de direction Nord-Est (N45°)

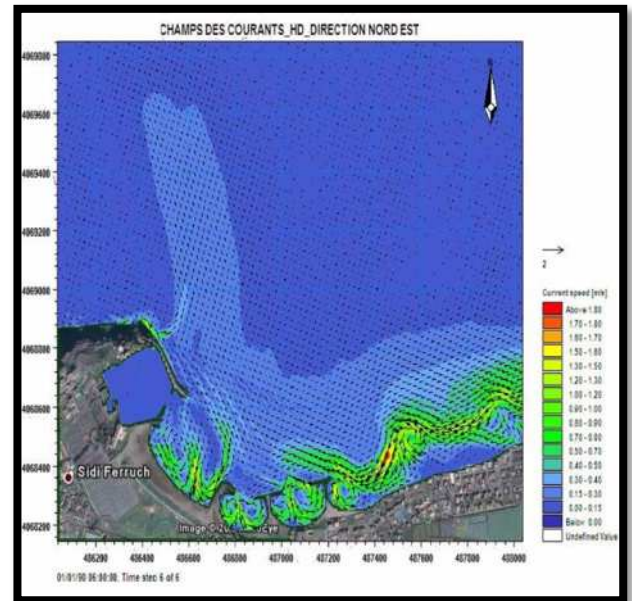
Pour les houles de direction Nord-est, nous ne constatons aucune amplification importante à l'approche du rivage. Comme pour la direction Nord 360°, nous remarquons, que les houles sont bien réfractées à l'approche de la cote (couleur bleue) (Figure I.8).

Comme constaté pour la direction Nord 360°, il existe au niveau de la plage de Sidi Fredj une grande circulation (tourbillons) (Figure I.9). Avec un courant littoral remontant vers le port, mais qui reste moins importante que celle relative à la direction Nord. Ces courants sont capables de transporter du sable de la plage vers le port.

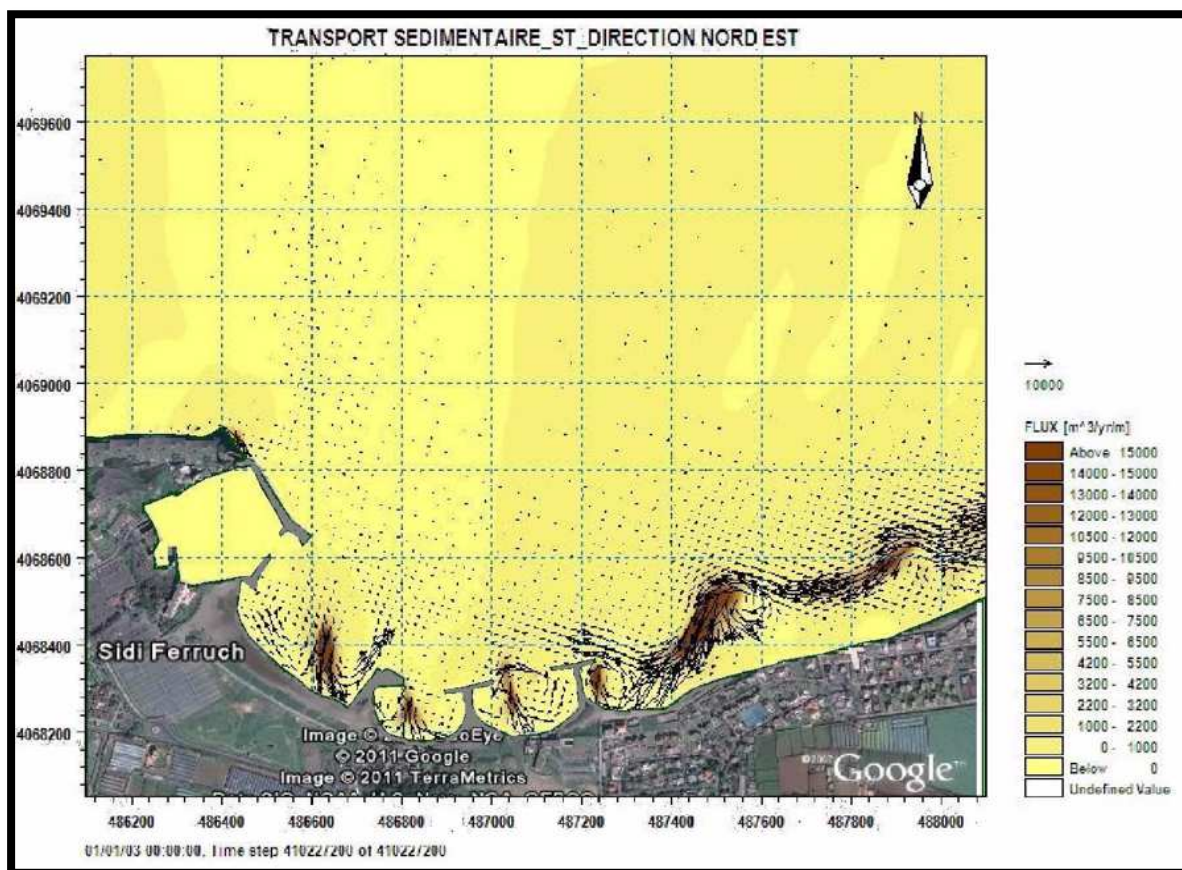
Au niveau des épis on relève, comme précédemment, la présence de deux tourbillons. Sur le plan Sédimentlogique (Figure I.10), nous constatons la présence de zone de couleur foncée à l'Est des épis, au niveau de la plage de Moretti, ainsi que juste derrière le premier épi en L, du côté de la plage. Ceci traduit une certaine capacité de transport. Au voisinage de la passe d'entrée du port de plaisance, on ne constate aucune zone de couleur foncée, ce qui prouve que les capacités de transports sont négligeables à ce niveau.



**Figure I.8 :** Champs de houles sur la plage Est de Sidi Fredj : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s (CTH, 2011).



**Figure I.9:** Champs de courants sur la plage Est de Sidi Fredj : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s (CTH, 2011).



**Figure I.10 :** Capacité de transport solide sur la plage Est de Sidi Fredj :  
MWD=45°, Hs=2.56m, T=8s (CTH, 2011)

### I.7. Le réseau hydrographique et apports fluviaux

Les principaux oueds qui alimentent la zone de Sidi Fredj se déversent dans la baie de Bou – Ismail sont au nombre de deux, et sont obliques à la côte. (Figure I.22)

#### I.7.1. Oued Beni Messous

Se situe à 18 Km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et Club des Pins, alimente la baie d'El Djamila, son débit est faible par rapport au débit des autres oueds (Oued Nador et Oued Mazafran). (Benzohra, 1993).

#### I.7.2. Oued Mazafran

Situé à l'Ouest de Sidi Fredj, Oued Mazafran est formé par la ramification des Oueds Djer, Chaffa et Bou-Roumi, possédant un bassin versant de 1850 km<sup>2</sup>.

---

## **Chapitre II**

### **Moyens et méthodes d'analyses**

---

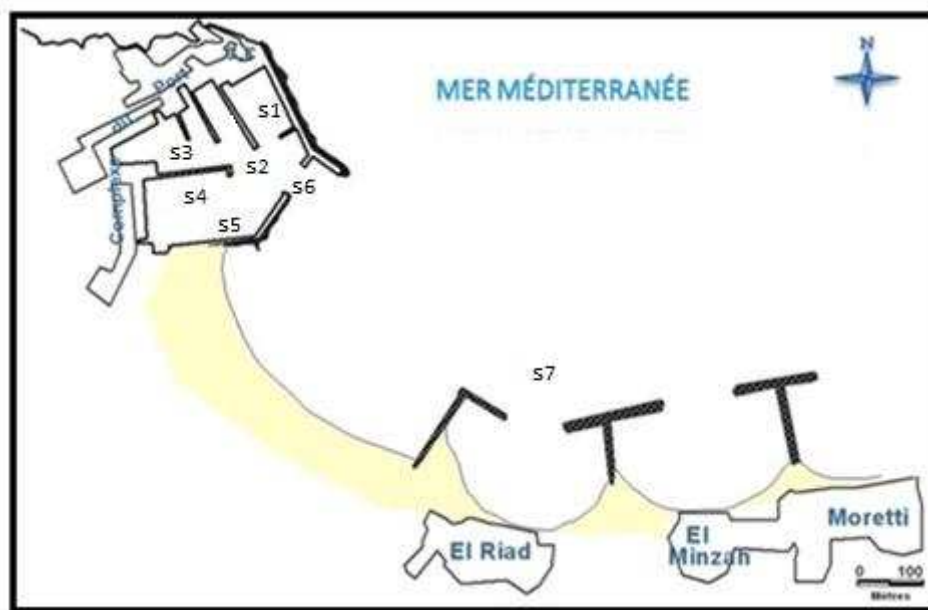
Les paramètres analysés dans ce chapitre sont :

- La matière en suspension (MES) ;
- La matière organique particulaire (MOP) ;
- La matière organique (MO) ;
- Les pérites, la  $\text{CaCO}_3$  (calcaire) ;
- Les sels nutritifs ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_4^+$ ) ;
- les métaux lourds (Hg, Pb, Cd, Cu).

## II.1. Choix et localisation des stations

Afin de pouvoir caractériser l'état physicochimique des sédiments et de l'eau de notre zone d'étude, sept (07) stations de prélèvement d'échantillons ont été choisies et réparties comme suit :

- Une station de prélèvement au niveau de chaque bassin de port (S1, S2, S3, S4, S5).
- Une station au niveau de la passe d'entrée (S6)
- Une station à l'extérieur du port (S7) située à  $36^\circ 45' 723'' \text{N}$  et  $2^\circ 51' 148'' \text{E}$



**Figure II.1 :** Répartition des stations de prélèvement dans le port de Sidi Fredj.

## II.2. Compagne en mer

Les travaux en mer ont été réalisés à bord d'une petite embarcation « **Aurès** », le choix de ces stations a été fait d'une façon à couvrir l'ensemble de la zone d'étude.

Les travaux ont eu lieu le 05/05/2013 dans des conditions météorologiques favorables (état de la mer : calme, direction du vent : néant, journée ensoleillée...).

Les travaux effectués sont :

- Prélèvement d'échantillons de sédiment dans les 7 stations ;
- Prélèvement d'échantillons d'eau dans les 7 stations ;
- Mesures des paramètres physicochimique in-situ (T, pH, S, C, O<sub>2</sub>).

Afin d'effectuer les différents prélèvements et mesures nous avons utilisé le matériel suivant :

- Une benne piocheuse de type Van Veen.;
- Des flacons de plastique pour les prélèvements des échantillons d'eau;
- Sachets de congélation utilisés pour les prélèvements des échantillons de sédiment;
- Une carte géographique de la zone d'étude dont laquelle nous avons indiqué la répartition des stations ;
- Une glacière pour la conservation des échantillons ;
- Un échosondeur (FURUNO LS-4100) (Figure. II.2);
- Un GPS.



**Figure II.2:** Echosondeur de type FURUNO LS-4100.

## II.3. Méthode de prélèvement

### II.3.1. Pour les sédiments

Ce prélèvement est réalisé à l'aide d'une benne inoxydable « Van Veen ». Les échantillons désignés pour l'analyse des métaux lourds, la calcimétrie, les pérites et la matière organique sont transvasés dans des sachets en plastique dont nous avons mentionné le numéro de chaque station.

### II.3.2. Pour les échantillons d'eau

Les prélèvements ont été effectués au moyen de bouteilles stériles en plastique, d'une contenance de 250 à 500 ml. Le prélèvement a été fait à la main, la bouteille est tenue d'une main, le goulot vers le bas puis la bouteille est penchée légèrement vers le haut pour déloger l'air et poussée en avant, afin d'éviter toute contamination. L'échantillonnage s'effectue à une profondeur de 15 à 30 cm sous la surface de la mer. Ensuite la bouteille sera étiquetée, placée dans la glacière (+04°C).

## II.4. Mesures in situ

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés in situ en utilisant une valise multi-paramètres.

### II.4.1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

La mesure du pH a été effectuée in situ par le pH mètre portable de marque Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW », qui mesure le pH par la méthode électrochimique avec une électrode en verre. (Figure II.3)



Figure II.3: pH-mètre.

### II.4.2. L'oxygène dissous

Durant cette campagne, on a utilisé un oxymètre de terrain de marque «WTW type Oxi330i/Set ». L'appareil est calibré avant son utilisation. La valeur s'affiche en mg/l avec une précision de  $\pm 0.1$  %. (Figure II.4)



Figure II.4 : Oxymètre de terrain.

### II.4.3. La Salinité / la conductivité

Les mesures sont réalisées à l'aide d'un conductimètre de marque WTW type 315 /S (figure II.5), qui a une précision de  $\pm 0,1$  PSU et  $\pm 0,1$  mS/cm. Les résultats sont exprimés respectivement en PSU (unité pratique de salinité) et mS/cm.

### II.4.4. La température de l'eau

Pour la température, tous les appareils de mesures utilisés (conductimètre, oxymètre et pH-mètre) donnent la température en °C. Nous avons noté qu'il n'y avait pas de différence entre les résultats des différents appareils, mais durant notre campagne on a travaillé surtout avec un conductimètre de marque WTW type 315 i /S (figure II.8). La précision est de l'ordre  $\pm 0.1$ °C. (Figure II.5)



Figure II.5 : Conductimètre de terrain.

## II.5. Analyses au laboratoire

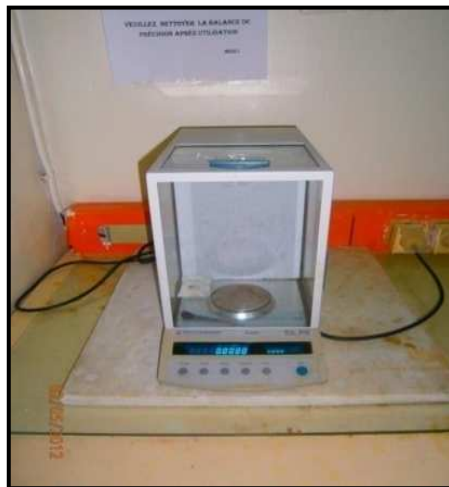
### II.5.1 Analyse de l'eau de mer

#### II.5.1.1 Matière en suspension (MES)

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur des membranes filtrantes afin de retenir les particules de taille supérieur a  $0.45\mu\text{m}$ . La membrane est séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaitre la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant (Aminot et Chaussepied, 1983).

#### Matériel utilisé

- Filtres Watman de type GF/F ( $0,45\mu\text{m}$ ),
- Dispositif de filtration sous vide de marque Sartorius,
- Balance de précision de marque Pionner TM (au  $1/10000$  g). (figure II.6)
- Etuve de marque Nemmert. (figure II.7)
- Pince, éprouvette graduée et des portes filtres avec couvercle,
- Dessiccateur.



**Figure II.6** : Balance de précision Pionner (Au  $1/10000$  g).



**Figure II.7:** Etuve. Nemmert.

**Mode opératoire :** Il consiste en trois étapes ;

- Préparation des filtres au laboratoire
- Filtration de l'eau de mer
- Séchage et pesée des filtres

**Calculs et expression des résultats :**

Le calcul de la concentration en MES s'est fait avec la formule suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = [(P_2 - P_1)/V].10^3 \dots\dots\dots \text{(II.1)}$$

- $P_1$  = poids du filtre avant filtration (mg).
- $P_2$  = poids du filtre après filtration (mg).
- $V$  = volume filtré (l).

### II.5.1.2 Matière organique particulaire (MOP)

#### Principe

La méthode décrite par Rodier, 1984 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, et le taux de cette dernière dans l'eau de mer est déterminé par pesée différentielle.

## Matériels utilisés

- Nous avons utilisé les filtres contenant les matières en suspension ;
- Creusets en porcelaine ;
- Four à moufle de marque Carbolite CWF 1200 (figure II.8) ;
- Balance Pioneer TM de précision  $10^{-4}$ g.



**Figure II.8 :** Four à moufle. Carbolite CWF 1200.

### Mode opératoire

- Numéroté et peser les creusets vides ( $P_0$ ) ;
- Peser les creusets munis de filtres ( $P_1$ ) ;
- Mettre les creusets dans le four à moufle à  $450^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures ;
- Laisser refroidir au dessiccateur, peser une seconde fois ( $P_2$ ) ;
- Calculer le taux de matière organique particulaire par la formule suivante :

$$\text{MOP (mg/l)} = [(P_1 - P_2)/V] \dots\dots\dots \text{(II.2)}$$

- **MOP** : matière organique particulaire (mg/l) ;
- **$P_1$**  : Poids du filtre avant séchage (mg) ;
- **$P_2$**  : Poids du filtre après séchage (mg).

### II.5.1.3 Analyse des sels nutritifs

Afin de minimiser les risques de contamination, les flacons de prélèvement d'eau ont subi le prétraitement suivant :

- 1- Rinçage à l'eau du robinet.
- 2- Rinçage à l'eau acidulée (HCL à 5%)
- 3- Rinçage à l'eau bidistillée deux fois et fermeture hermétique et immédiate du flacon.

Lors du prélèvement à bord, chaque flacon est rincé deux fois avec l'eau de l'échantillon avant son remplissage.

Les sels nutritifs ont été analysés au laboratoire à l'aide d'un spectrophotomètre de type UV/VIS (SHIMADZU) type MINI 1240 (Figure II.9).



**Figure II.9:** Spectrophotomètre UV/VIS (SHIMADZU).

#### a) Principe de dosage des nutritifs

Le principe de dosage des sels nutritifs est basé sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde ( $\lambda$ ). (Annexe I)

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O) obéit à la loi de **Beer-Lambert** qui est exprimée par la relation suivante :

$$A = D.O = \log (I_0/I) = \epsilon.L.C \dots\dots\dots (II.3)$$

- Avec :
- $I_0, I$  : Intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant ;
  - $A$  : Absorbance ou densité optique ;
  - $\epsilon$  : Coefficient d'extinction moléculaire ;
  - $L$  : trajet optique (épaisseur du milieu absorbant) ;
  - $C$  : Concentration du milieu absorbant.

### b) Analyse des sels nutritifs

- **Dosage de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )**

La méthode de dosage de l'ammonium est basée sur le protocole de Koroleff (1969) qui est simple et qui offre une bonne précision.

C'est une application à l'eau de mer de la réaction de Berthelot ainsi schématisée :



En milieu légèrement basique. L'ammoniac forme une monochloramine avec l'hypochlorite. Cette dernière réagit avec le phénol en présence d'un excès d'hypochlorite pour former le bleu d'indophénol absorbant à 630 nm. La réaction est accélérée par le nitroprossiate ou plus exactement un dérivé formé en milieu basique (**Patton, 1977**).

- **Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )**

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide  $\text{pH} < 2$ . Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (**Benschneider et Robinson, 1952**).

- **Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

La méthode est basée sur la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (**Wood et Armstrong 1967**). Puis déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier, 1996**).

- **Dosage des orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40° C (bain-marie), les ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

- **Dosage du silicium dissous ( $\text{SiO}_2$ )**

Dans l'eau de mer, le silicium dissous se trouve à 95 % sous forme d'acide orthosilicique ( $\text{Si(OH)}_4$ ) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Cette forme réagit avec le

molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm.

### **Etalonnage**

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser (Annexe II).

Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes (Annexe II).

## **II.5.2 Analyses des sédiments marins**

### **II.5.2.1 Analyse granulométrique**

La granulométrie est l'étude de la taille des grains et de leur répartition dans un échantillon donné, et puisque on a réalisé notre prélèvement juste après l'opération de dragage qui a été effectuée récemment on a remarqué que le sédiment obtenu est très homogène (sable très fin - vase) donc notre travail a été basé sur l'étude de la fraction fine (les pélites).

- **La fraction pélitique (pourcentage des pélites)**

Elle consiste à évaluer pour chaque échantillon le pourcentage de cette fraction fine qui est inférieure à 80µm :

$$P_p (\%) = ((P_i - P_f) / P_i) * 100 \dots \dots \dots (II.4)$$

Avec:

**P<sub>p</sub>**: pourcentage des pélites (%);

**P<sub>i</sub>**: poids initial (g);

**P<sub>f</sub>**: poids final (g).

### **II.5.2.2 Analyse calcimétrique**

La calcimétrie est la mesure de la teneur d'un sédiment en carbonate de calcium ou de carbonate de magnésium, mais ce dernier étant plus rare, et ayant généralement la même signification géomorphologique.

La calcimétrie donne des indications sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques, elle permet de connaître la part des sédiments biogènes, ou débris coquilliers. Et donc de suivre les migrations des sédiments nés dans des régions riches en plantes

ou animaux fabriquant du calcaire. La teneur en carbonates est aussi généralement utilisée en tant qu'outil stratigraphique.

### Principe

La méthode est basée sur la mesure de la diminution du poids de l'échantillon causée par la décomposition du calcaire après attaque du sédiment à l'acide chlorhydrique ou l'esprit de sel. Le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) réagit avec l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) pour donner du dioxyde de Carbone ( $\text{CO}_2$ ), de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et du dichlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ), suivant la réaction ;



Ce qui n'est pas attaqué par l'acide chlorhydrique est constitué par les éléments insolubles : argiles, quartz,.....etc.

### Matériels utilisés

- Acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) et esprit de sel,
- Boîtes de pétrie,
- Eau distillée ( $\text{H}_2\text{O}$ ),
- Etuve de marque Nemmert,
- Balance Pioneer TM de précision 10-4g.

### Mode opératoire

- Peser dans des boîtes de pétries une masse  $m=20\text{g}$  de sédiment ( $P_1$ ) sec pour chacune des stations.
- Ajouter de l'acide chlorhydrique (ou esprit de sel) jusqu'à extinction de l'effervescence.
- Laisser décanter.
- Aspirer le surnageant contenant le dichlorure de calcium à l'aide d'une seringue.
- Rincer à l'eau et aspirer le surnageant encore une fois.
- Sécher les échantillons à l'étuve.
- Repeser les échantillons ( $P_2$ ).
- Le taux de carbonates existant dans le sédiment est donné par la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 (\%) = [(P_1 - P_2) / P_1] * 100 \dots\dots\dots (\text{II.5})$$

- **P1** : poids avant traitement par l'acide (20g)
- **P2** : poids après traitement par l'acide.

### II.5.2.3 Matière organique (MO)

#### Principe de la méthode

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

#### Matériels utilisés

- Balance Pioneer TM de précision  $10^{-4}$ g,
- Creusets en porcelaine,
- Four à moufle de marque Carbolite CWF 1200,
- Pincettes.

#### Mode opératoire

- Peser et numéroter les creusets vides ( $P_1$ ),
- Peser les creusets contenant le sédiment ( $P_2$ ),
- Mettre les creusets dans un four à moufle à  $600^\circ\text{C}$  pendant 2 heures,
- À l'aide d'une pince retirer les creusets du four, tout en évitant de les exposer à un courant d'air, ce dernier emporte avec lui les cendres, ce qui pourrait engendrer des biais dans les résultats obtenus.
- Une fois que les creusets retrouvent une température raisonnable, pouvant être manipulés, ils sont placés dans un dessiccateur dans le but d'absorber toute l'humidité.
- Repeser les creusets ( $P_i$ ).
- Le taux de matière organique dans le sédiment est déterminé par la formule suivante ;

$$\text{MO (\%)} = [(P_s - P_i) / P_s] \cdot 100 \dots\dots\dots \text{(II.6)}$$

Où ; -  $P_s$  : poids sec ;  $P_s = P_2 - P_1$

-  $P_i$  : poids incinéré

### II.5.2.4 Analyse des métaux lourds

#### II.5.2.4.1 Nettoyage des instruments

C'est une étape indispensable pour éviter toute source de contamination des échantillons. Le matériel à utiliser est soumis à des protocoles de propretés. Pour cela, la vaisselle est lavée

avec des détergents commerciaux, rincée à l'eau bidistillée. Un second nettoyage est effectué avec une eau acidulée à 10% à base d'acide nitrique 68%.

#### II.5.2.4.2 Lyophilisation

C'est la déshydratation par sublimation des échantillons à  $-40^{\circ}\text{C}$  et sous vides (10 bars) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8). (Figure II.10).



**Figure II.10 :** Lyophilisateur (modèle Christ Betta 1-8).

#### II.5.2.4.3 Broyage et homogénéisation

Les sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine (Figure II.11).



**Figure II.11 :** Mortier en porcelaine.

#### II.5.2.4.4 Extraction des métaux lourds

Il existe plusieurs méthodes pour l'extraction des métaux lourds citées par plusieurs auteurs (**Charlou et Joanny, 1983**).

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds présentée dans ce mémoire est la méthode d'extraction du métal total contenu dans l'échantillon (**Charlou et Joanny, 1983**).

#### II.5.2.4.5 Digestion ou minéralisation

La digestion permet de libérer les différents métaux adsorbés à la surface des particules sédimentaires par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique.

#### II.5.2.4.6 Protocole expérimental

Le protocole utilisé est celui adopté par (Charlou et Joanny, 1983). Pour sa réalisation nous disposons de cinq godets en Téflon.

#### Minéralisation des échantillons

- nettoyer les godets avec 3ml de l'acide nitrique (65%) pendant 3 heures à 150°C ;
- Rincer avec de l'eau distillée et les remettre à l'étuve jusqu'à séchage ;
- 0.5g de sédiment sec dans chaque godet ;
- Ajouter 6ml de HCL et 2ml d'acide nitrique et remettre les godets sur la plaque chauffante pendant 3 heures ;

On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml. Il faut rincer les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on les remue pour compléter la dissolution. On ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bidistillée.

On réserve un godet pour témoin blanc contient 6ml de HCL et 2ml de l'acide nitrique.

#### II.5.2.4.7 Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse largement appliquée (Forstner et Salomons, 1980), bien adaptée (Boust et Jouanneau, 1981). Cette méthode est principalement utilisée pour déterminer les niveaux de concentration en métaux lourds dans l'environnement.

Les éléments métalliques adsorbés sur les sédiments marins superficiels sont analysés par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, selon les protocoles expérimentaux décrits par (Charlou et Joanny, 1983). Le principe, la description de la technique d'analyse et les éléments constitutifs du spectrophotomètre utilisé sont inspirés de (Pinta, 1971), et (Audigié et Dupont, 1985). (Figure II.12)



**Figure II.12:** SAA model Hitachi Z-5000.

### ➤ Principe de la Spectrométrie d'Absorption Atomique

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

$$N_1 = N_0 \exp(-\Delta E/KT) \dots \dots \dots \text{(II. 7)}$$

Où :

$N_1/N_0$  : La proportion d'atomes excités qui est en fonction de la température,

$\Delta E$  : Représente la différence d'énergie entre deux étapes.

$T$  : Température (K).

$K$  : Constante de Boltzmann

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

### ➤ La loi de Beer-Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert. D'après cette dernière, la densité optique d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant transparent est proportionnelle à l'épaisseur de la solution traversée et à la concentration des substances absorbante de la solution (**Audigié et Dupont, 1985**).

$$I_1 = I_0 \exp(-KLC) \dots \dots \dots \text{(II. 8)}$$





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

$$C = \frac{\text{Concentration observé}}{\text{Concentration normale}} \dots \dots \dots \text{(II. 12)}$$

**Tableau II.3 :** Valeurs de l'indice de contamination (IC) (Alzieu et al, 1999).

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

---

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

---

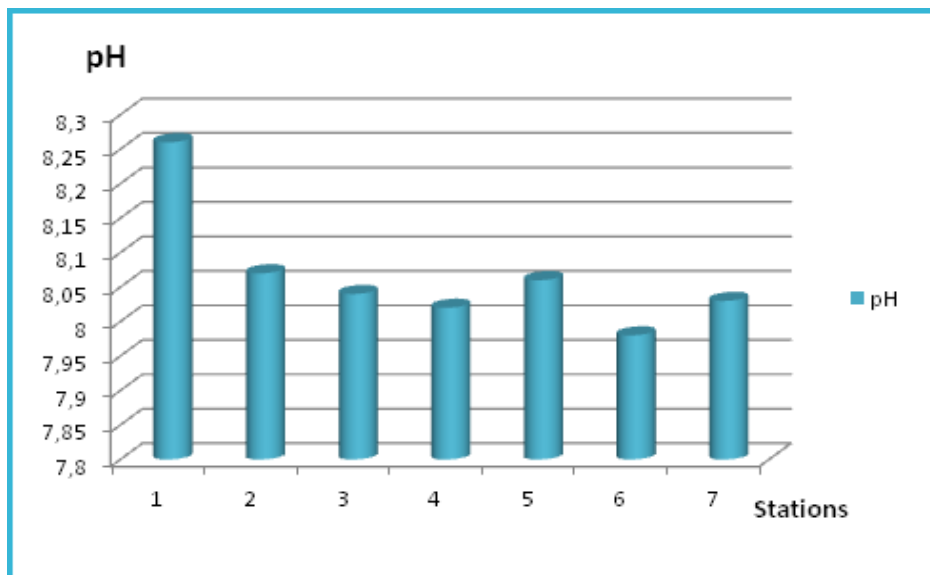
Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuées sur les échantillons de sédiments du port de Sidi Fredj. Ces analyses ont pour principal but la réalisation d'un état initial de leur qualité chimique afin d'apprécier l'impact de leur devenir sur le milieu récepteur.

### III.1. Les paramètres physico-chimiques in situ

#### III.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Les résultats concordent assez bien avec un pH minimum de 7.98 et un pH maximum de 8.26, avec une moyenne de 8.06 et un écart type de 0.09 (Figure III.1).

La valeur moyenne du pH (8.06) est inférieure à celle de l'eau de mer qui est de 8.3 (Aminot et Chaussepied, 2004) mais elle reste conforme aux normes algériennes.

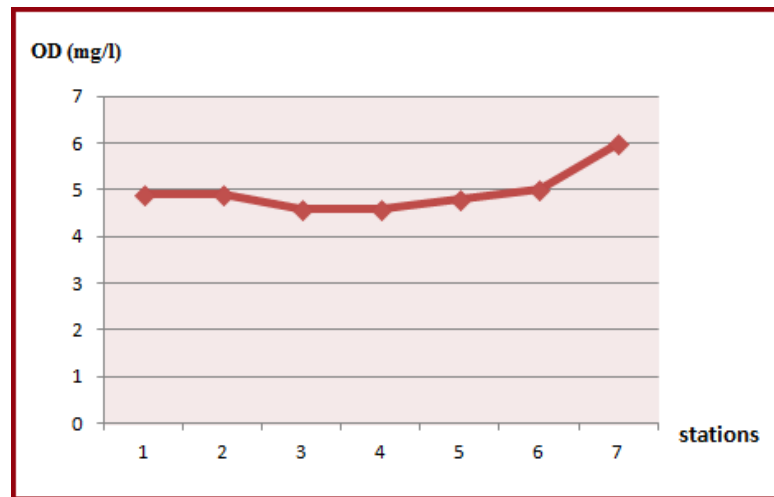


**Figure III.1 :** Variation du pH au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

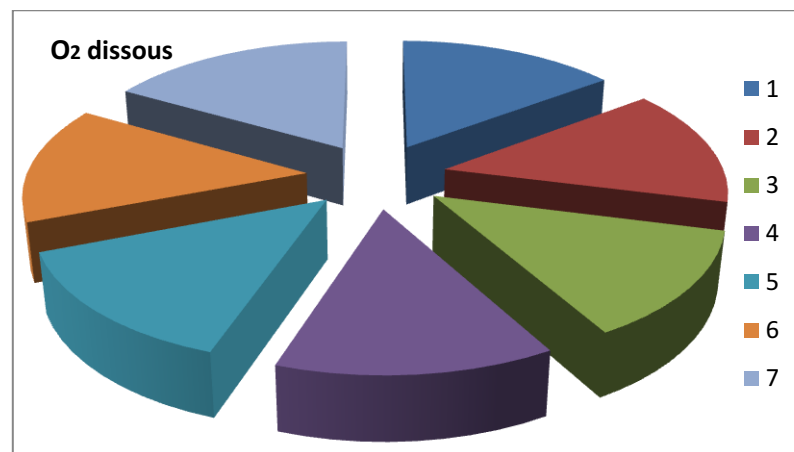
Les valeurs les plus faibles sont dues à la présence d'un égout principal qui véhicule toute les eaux usées au sein du port, et à une acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique, ainsi qu'elles sont dues à l'opération de dragage qui a eu lieu quelques mois avant nos prélèvements.

#### III.1.2. L'oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous varient dans l'intervalle (4.6 - 6 mg/l), avec une moyenne de 4,97 mg/l et un écart type de 0,47 (figure III.2)



**Figure III.2 :** Variation de l'oxygène dissous (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.3 :** Variation de l'oxygène dissous (%) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

La teneur minimale qui est de 4.6 mg/l est enregistrée dans les deux stations (3 et 4) ce qui indique une intense consommation d'oxygène par le processus de reminéralisation de la matière organique en provenance des eaux usées, des entretiens des bateaux ainsi que la morphologie sableuse du fond (moins d'algues benthiques photosynthétiques).

La plus forte teneur en oxygène dissous se trouve au niveau de la station 7 qui est de l'ordre de 6mg/l ce qui est expliqué par la présence d'algues effectuant le phénomène de photosynthèse qui conduisent à la production de l'oxygène. A cet endroit, les eaux sont en contact permanent avec celles de la baie ce qui permet leur renouvellement continu.

### III.1.3. La Salinité

En méditerranée, la salinité est voisine de 38 à 39 PSU au large ; mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (Aminiot et Chaussepied, 1983).

Les résultats obtenus indiquent que les valeurs moyennes de la salinité ne fluctuent que très légèrement entre 34.8 PSU (S<sub>3</sub>) et 35.4 PSU (S<sub>7</sub>), dont la moyenne et l'écart type sont de 35,12 PSU et 0,21 respectivement (Figure III.4).

Les faibles taux de salinité peuvent s'expliquer par l'apport intensif des égouts en eau douce.

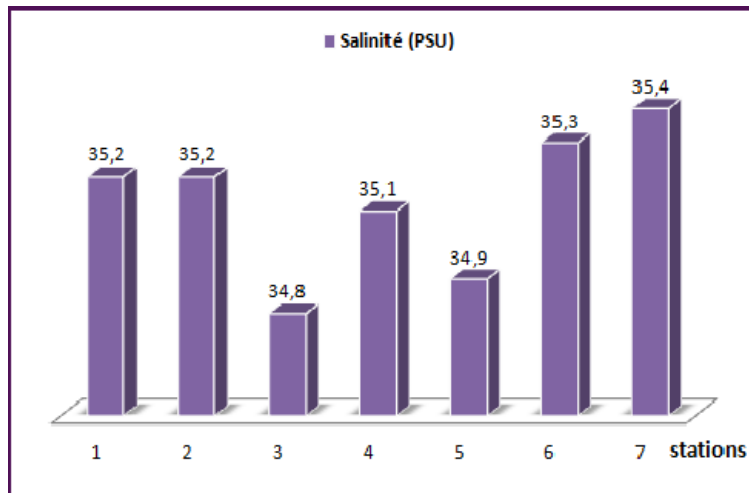


Figure III.4 : Variation de la salinité (PSU) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

### III.1.4. La conductivité

La conductivité varie entre 52.8 mS /cm et 54.1 mS /cm, sa moyenne est de 53.51 mS /cm et son écart type est de 0.41 (Figure III.5)

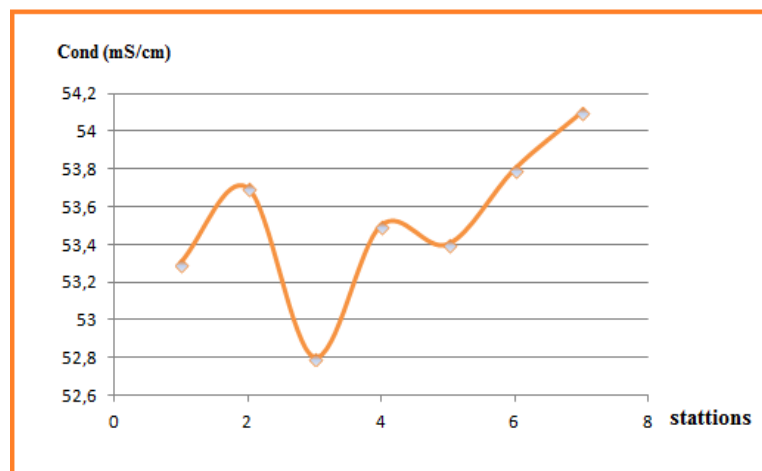
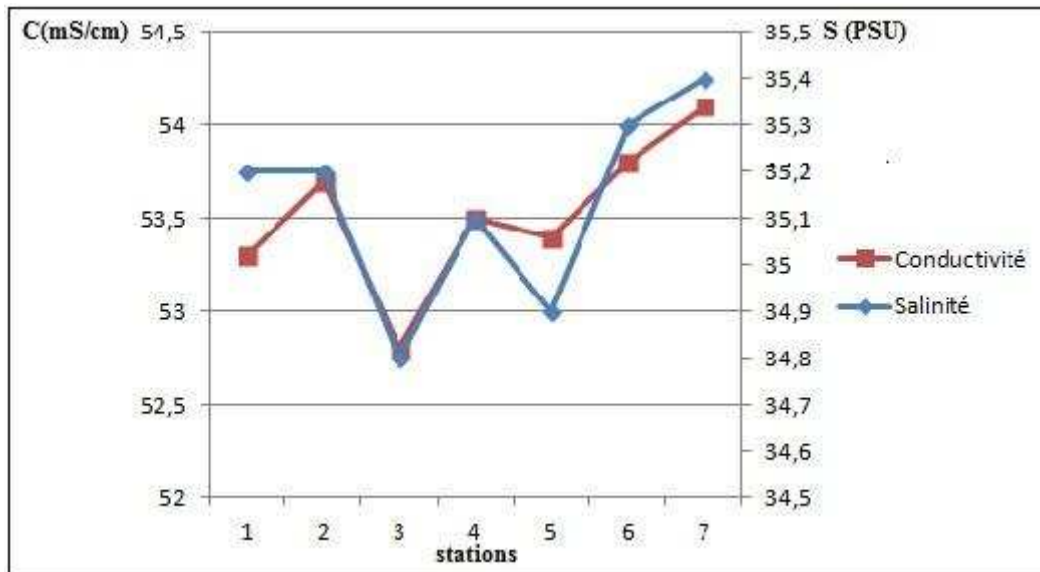


Figure III.5 : Variation de la conductivité (mS /cm) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

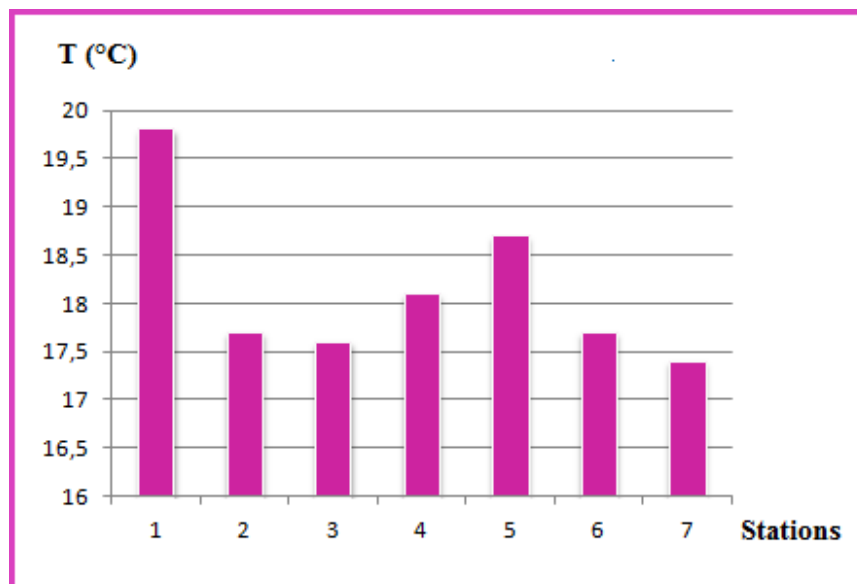
Nous remarquons que l'évolution de la conductivité est proportionnelle avec la salinité (Figure III.6).



**Figure III.6 :** Variation des valeurs moyennes de la conductivité et de la salinité au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

### III.1.5 La température de l'eau

La température a été prise à environ 30 cm de la surface de l'eau, ses valeurs sont comprises entre 17.4 °C et 19.8 °C avec une moyenne de 18,14 °C et un écart type de 0,8 (Figure III.7).



**Figure III.7 :** Variation de la température (°C) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

Les valeurs maximales sont observées au niveau du port, cette température élevée est expliquée par le fait que c'est un bassin semi fermé et qu'il ya pas beaucoup de brassage des eaux, ainsi que par prélèvement effectué dans les eaux superficielles en contact directe avec l'atmosphère.

On remarque que la valeur la moins importante (17.4 °C) est enregistrée au niveau de la station 7 ceci est due à l'agitation causée par le vent donc un fort hydrodynamisme.

### III.1.6 Etude comparative des paramètres physico-chimiques mesurés au niveau du port de Sidi Fredj avec les données antérieures

Le tableau suivant représente les moyennes des paramètres physicochimiques mesurées au niveau du port de Sidi Fredj par différents auteurs

**Tableau III.1** : Paramètres physicochimiques au niveau du port de Sidi Fredj.

	T (°C)	OD (mg/l)	pH	S (PSU)
(Amrani-Ferhat, 1994)	25.73	8,26	7,78	36,18
(Bouaziz-Djerrai, 2010)	18,1	5,38	8,05	36.34
Notre étude, 2013	18,14	4,97	8.06	35,12

D'après ce tableau, on remarque que les températures moyennes présentent de grandes variations. Cependant, elles restent toutes inférieures aux normes algériennes et européennes (inférieures à 30°C).

Cela s'explique aisément par le fait que ces études ont été faites à différentes périodes (le mois de juin pour **Amrani-Ferhat**, mars à mai pour **Bouaziz-Djerrai** et à mai pour la présente étude. Ces fluctuations sont donc des variations saisonnières.

En revanche, les taux moyens d'oxygène dissous enregistrés dans notre étude sont nettement inférieures à ceux des autre études et ceci malgré les faibles températures relevées sachant que ces deux paramètres évoluent de façon inversement proportionnelle, ce qui reflète la sous saturation et l'anoxie des eaux du port de Sidi Fredj.

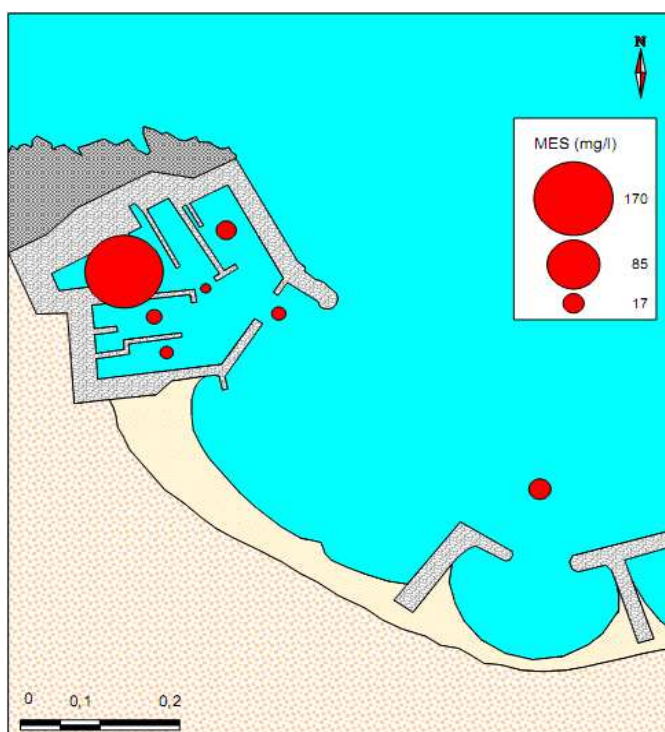
## III.2 Résultats de l'analyse au laboratoire

### III.2.1 Analyse de l'eau de mer

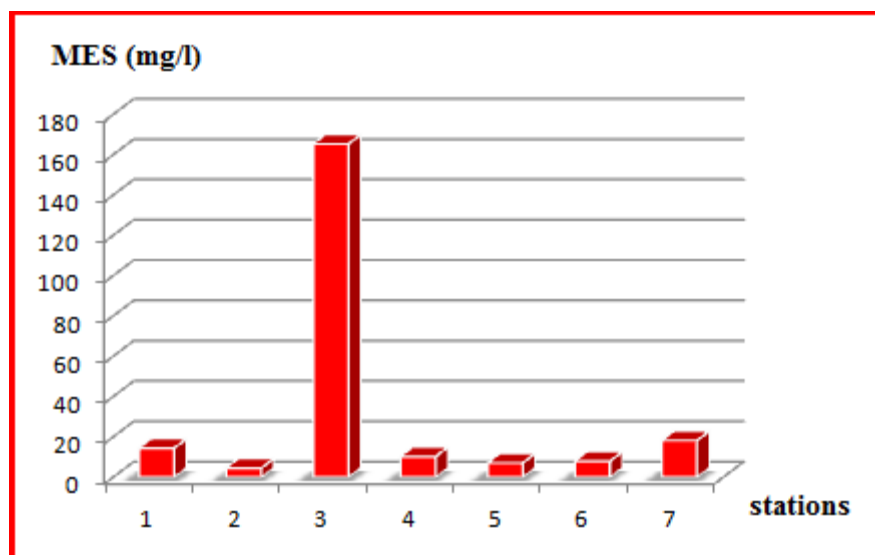
#### III.2.1.1 Matière en suspension (MES)

Il est connu que les eaux usées représentent la source la plus importante des MES en milieu marin.

La teneur moyenne en matière en suspension varie dans l'intervalle [4,56 - 165,36] (mg/l) avec une moyenne de 32,55 (mg/l) et un écart type de 58,74 (Figure III.9).



**Figure III.8** : Répartition des concentrations des MES (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.9 :** Variation des valeurs moyennes de la matière en suspension en fonction des stations.

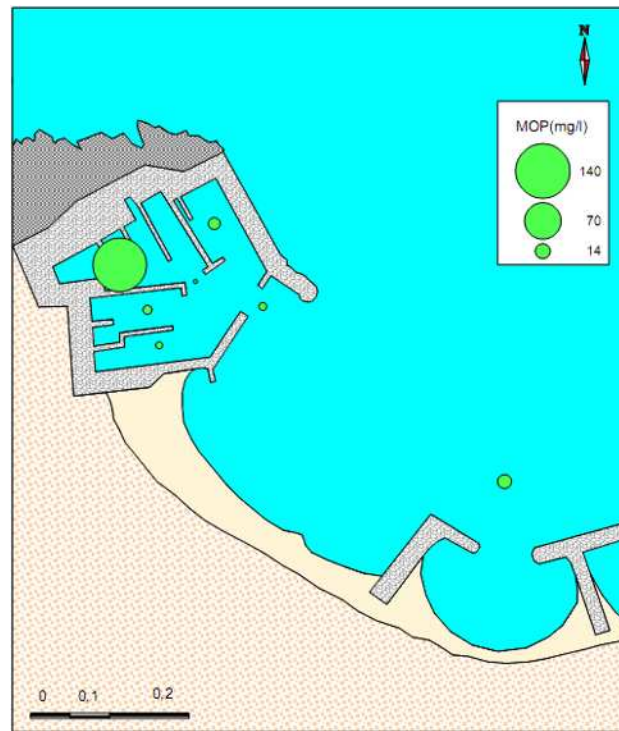
La plus forte teneur se localise au niveau de la station 3 où la faible profondeur favorise la remise en suspension des sédiments superficiels ainsi la présence des rejets des eaux usées (Figure III.8).

Les eaux de surface des autres bassins du port présentent des teneurs moins importantes ceci s'explique par l'absence d'hydrodynamisme suffisant afin de véhiculer la matière en suspension vers tous les bassins.

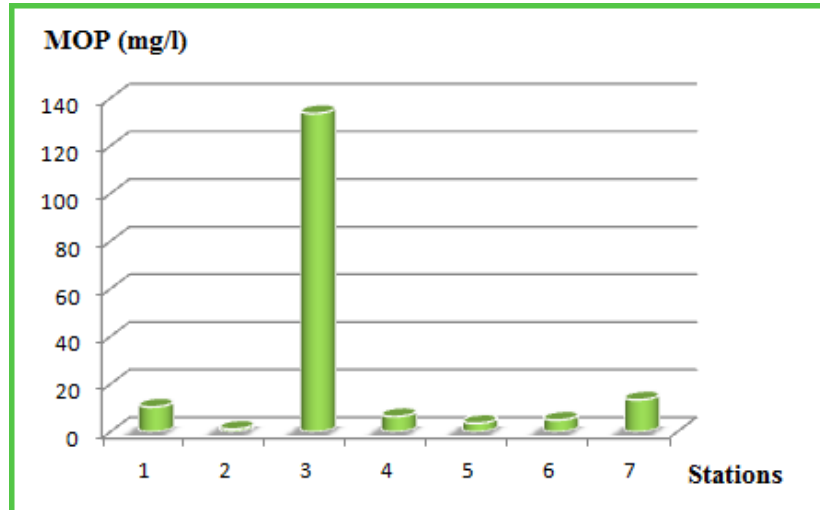
On note aussi que l'éloignement de certains bassins du rejet principal induit à une faible concentration de la matière en suspension (station 7).

### III.2.1.2 Matière organique particulaire (MOP)

Les fluctuations de la matière organique particulaire sont similaires au cycle des matières en suspension.



**Figure III.10 :** Répartition des concentrations des MOP (mg/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.11 :** Variation de la matière organique particulaire au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

Les ports étant le réceptacle de nombreux déchets générés par l'activité humaine, la teneur en matière organique particulaire est assez élevée au niveau de la station 3 qui se trouve près d'un rejet, par rapport à celles mesurées au niveau des autres stations S1, S2, S4, S5, et en milieu marin S7 (Figure III.10).

La forte concentration peut être expliquée par la remise en suspension des particules organiques sédimentées qui n'ont pas suffisamment de temps pour s'oxyder à cause de la faible profondeur.

Cependant, dans le port de Sidi Fredj la concentration en matière organique particulaire varie entre 1.16 et 133.66 mg/l, avec une moyenne des teneurs de 24,81 mg/l avec un écart type de 48,17 (figure III.11).

### III.2.1.3 Variations et répartitions des sels nutritifs

Le tableau suivant montre les concentrations minimales, maximales, moyennes et écart types des sels nutritifs des eaux de surface du port de Sidi Fredj.

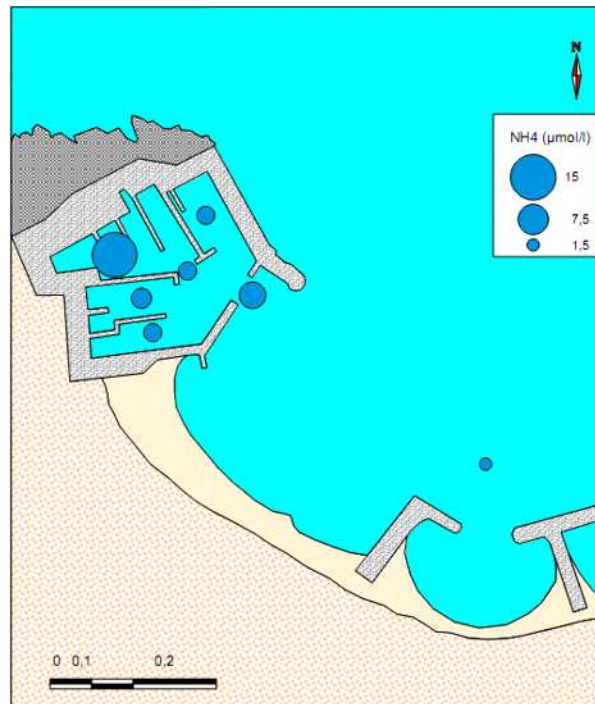
**Tableau III.2 :** Les valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type des sels nutritifs des eaux de surface de Sidi Fredj.

	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] (μmol/l)	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (μmol/l)	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ] (μmol/l)	[SiO <sub>2</sub> ] (μmol/l)	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]
Minimum	0,14	14,30	1,2	1,11	1,54
Maximum	0,59	28,19	2,65	6,69	14,68
Moyenne	0,334	17,33	1,98	4,29	4,93
Ecart type	0,16	4,89	0,60	2,12	4,48

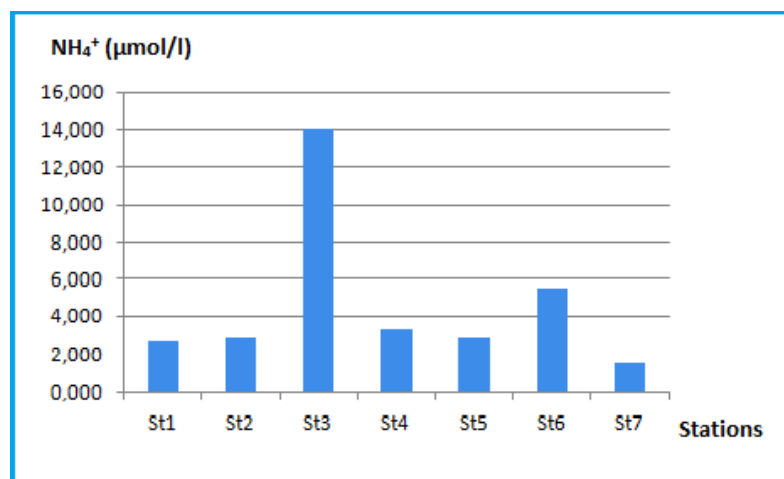
- **Variation de l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

L'azote ammoniacal provient essentiellement de la dégradation des protéines et des acides aminés par une activité bactérienne ainsi que les excréments des animaux.

Les valeurs de l'ammonium sont comprises entre une valeur minimale 1,54 μmol/l au niveau de la station 7 et une valeur maximale 14,68 μmol/l au niveau de la station 3 avec une moyenne de 4,93 μmol/l et un écart type de 4,48 (Figure III.13).



**Figure III.12 :** Répartition des concentrations de l'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



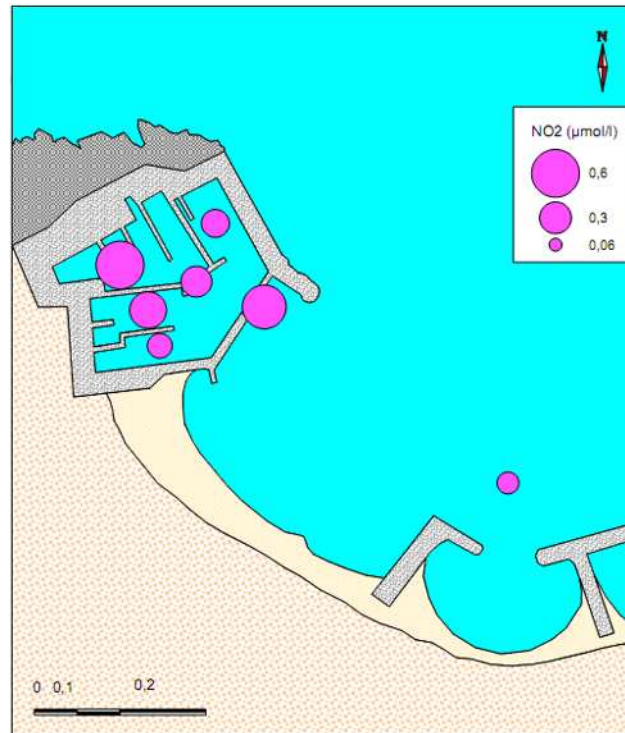
**Figure III.13 :** Variation de la concentration de l'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

Les concentrations en azote ammoniacal dans les différentes stations sont homogènes à l'exception de la station 3 qui présente une forte concentration en ammonium, cela s'explique par les activités portuaires ainsi que les rejets des eaux usées (Figure III.12).

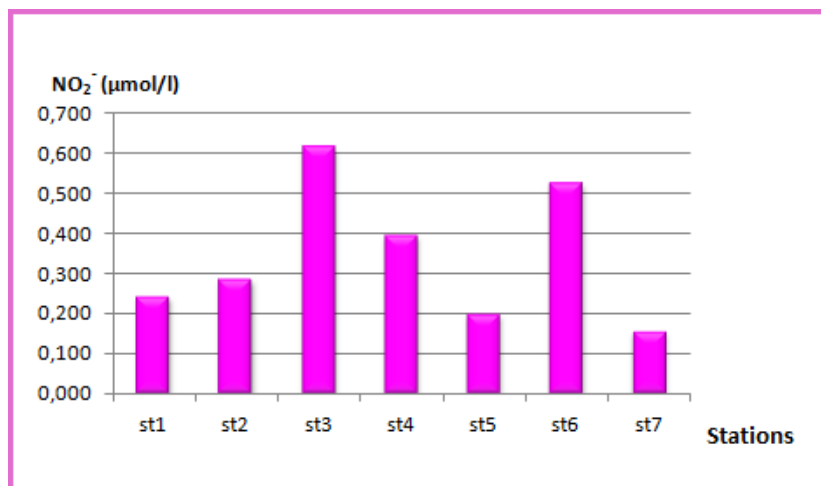
- **Variation des Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )**

Les origines des nitrites sont diverses (**Bougis, 1974**) donne l'importance à l'excrétion zoo planctonique (régénération directe), qui présente à eux seuls 80% de leurs excréments, à cela s'ajoute la régénération bactérienne (moins importante).

Dans le port de Sidi Fredj l'azote nitreux varie entre 0,14 à 0,59  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 0,33  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 0,16 (Figure III.15).



**Figure III.14 :** Répartition des concentrations des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



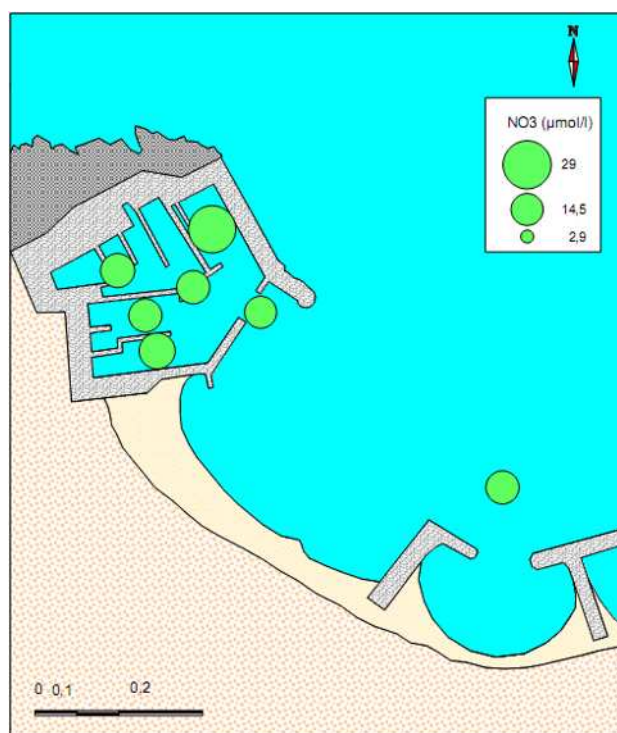
**Figure III.15 :** Variation de la concentration des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

Nous remarquons que la valeur la plus importante est observée au niveau des stations 3 et 6. Les teneurs relativement élevées en nitrites sont attribuées soit à l'apport de substance organique ou non organique par l'égout, soit à la formation des nitrites à partir de la dégradation de la matière organique issue de la charge polluante des eaux usées et l'oxydation de l'ammonium.

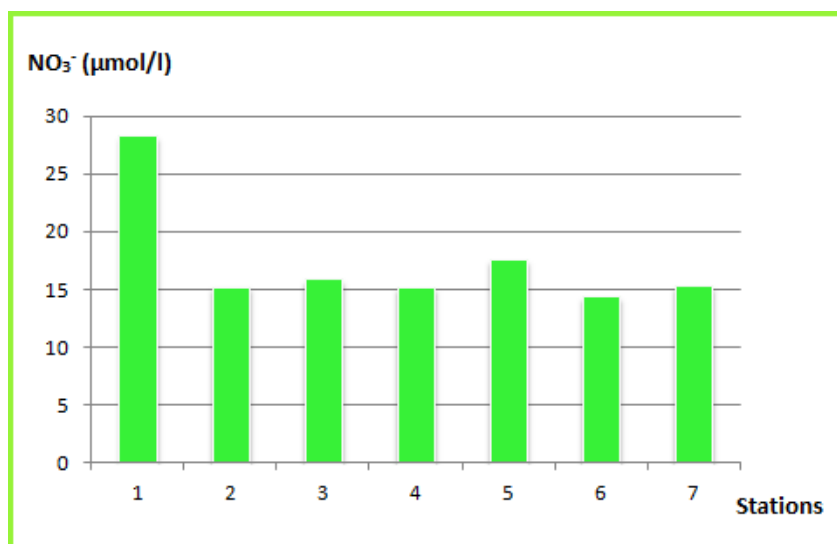
Par ailleurs les teneurs en nitrites sont faibles et relativement homogènes au niveau des stations S1, S2, S4, S5 et S7 c'est peut-être dû au fait que cet ion est un élément intermédiaire à la réaction de dénitrification et/ou leur consommation par les microorganismes lors de leur croissance (Figure III.14).

- **Variation des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les nitrates varient dans l'intervalle [14,30-28,19]  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 17,33  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 4,89 (Figure III.17).



**Figure III.16** : Répartition des concentrations des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.17 :** Variation de la concentration des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

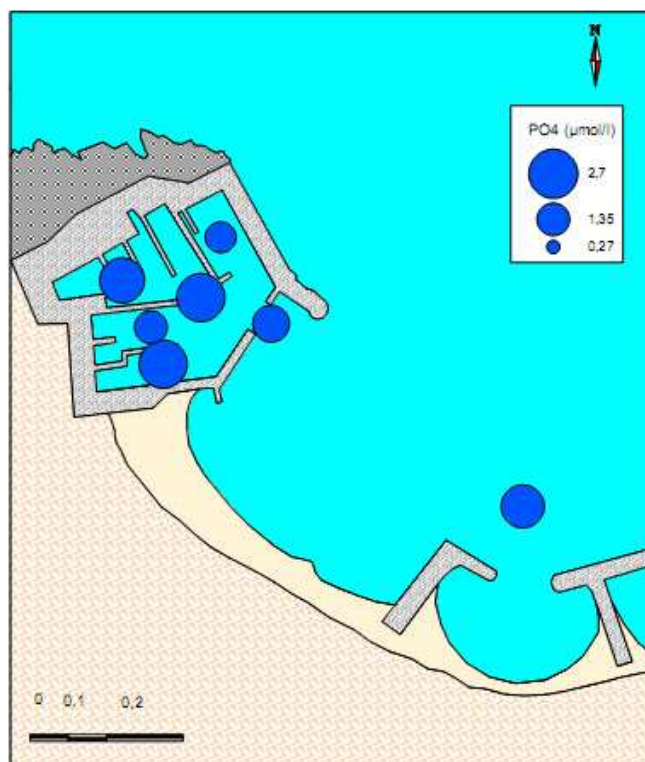
Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (Nitrobacter) transforment les nitrites en nitrates.

Les concentrations les plus élevées sont observées au niveau des stations (S1), ceci peut être dû aux activités anthropiques et à l'oxydation des matières azotées par les bactéries.

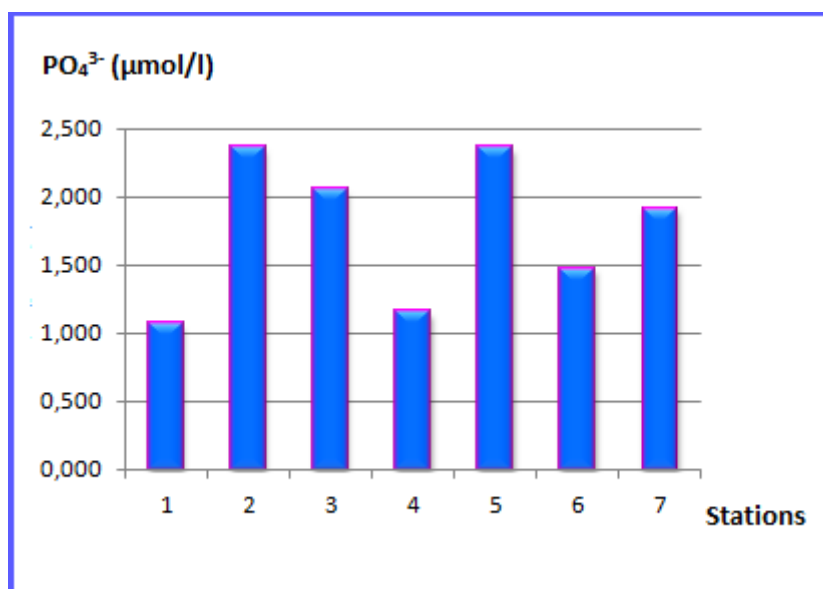
Par contre la teneur a été faible dans la station 6, sont peut être dues à une forte activité photosynthétique et à une faible régénération bactérienne (Figure III.16).

- **Variation des orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

Les concentrations en orthophosphates varient entre [1,2 - 2,65] ( $\mu\text{mol/l}$ ) avec une moyenne de 1,98 $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 0.60 (Figure III.19).



**Figure III.18** : Répartition des concentrations des orthophosphates (µmol/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.19** : Variation de la concentration des orthophosphates (µmol/l) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

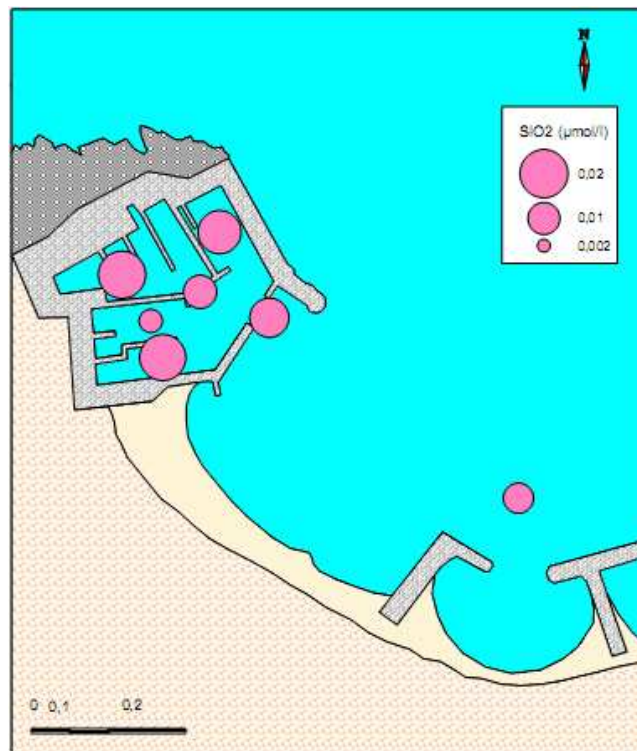
Les concentrations les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations S2, S3, S5 sont dues aux travaux d'entretien des bateaux car les orthophosphates proviennent des détergents utilisés pour les opérations de carénage.

Par contre les concentrations les moins importantes (stations S1, S4 et S6) peuvent être expliquées par la consommation d'orthophosphates par le phytoplancton et/ou probablement ils sont retenus directement dans le sédiment (Figure III.18).

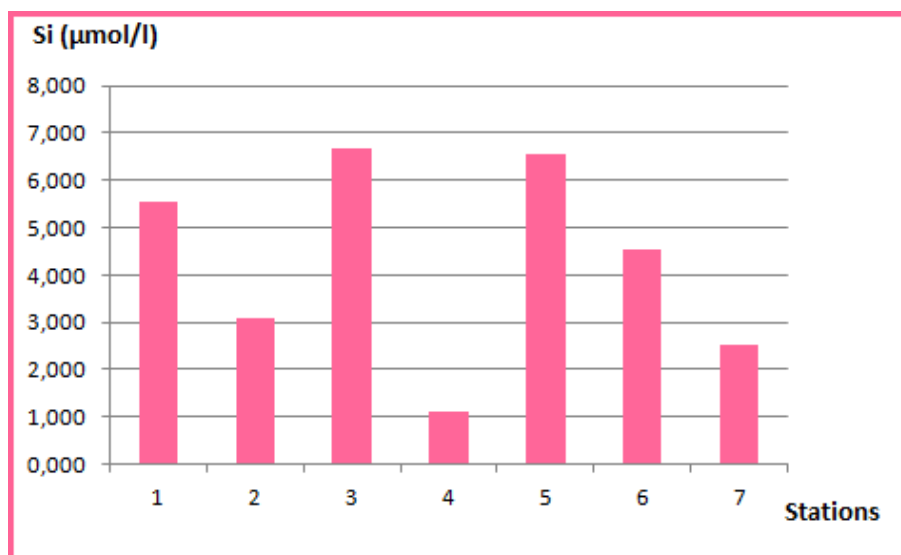
- **Variation des silicates ( $\text{SiO}_2$ )**

Le silicium n'est pas un composant de la matière vivante proprement dite, mais sous forme d'opale ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), il est le constituant essentiel des squelettes et testes siliciques. Il rentre aussi dans la composition du sable (**Bouaziz et Djerrai 2010**).

D'après nos résultats les teneurs en silice varient entre 1,11 à  $6,69 \mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de  $4,29 \mu\text{mol/l}$  et un écart type de 2,12 (Figure III.21).



**Figure III.20** : Répartition des concentrations des silicates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



**Figure III.21 :** Variation de la concentration des silicates ( $\mu\text{mol/l}$ ) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

La richesse en silicate dissoute dans les stations S1, S3, S5 et S6 a une relation avec les apports côtiers et celui des rejets qui se trouve à l'intérieur du port et/ou encore avec la dissolution des tests siliciques et la diffusion à partir des sédiments marins (Houma, 2009) peut être causée par une récente opération de dragage.

Le minimum en silicates a été observé au niveau de la station portuaire S4 ce qui est dû sûrement au développement phytoplanctonique printanier (Figure III.20).

Selon Samson, 1981 les effets limitant de la silice ne sont susceptibles qu'aux saisons printanières lors de la floraison des diatomées, elle est, en milieu marin indispensable pour les algues à squelette siliceux (diatomées).

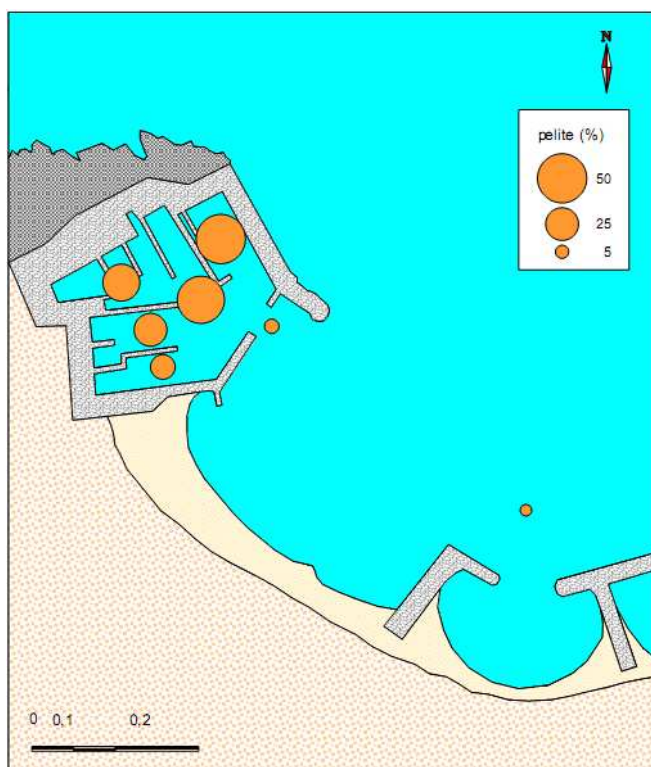
## III.2.2 Résultats et interprétation de l'analyse Sédimentaire

### III.2.2.1 Analyse granulométrique

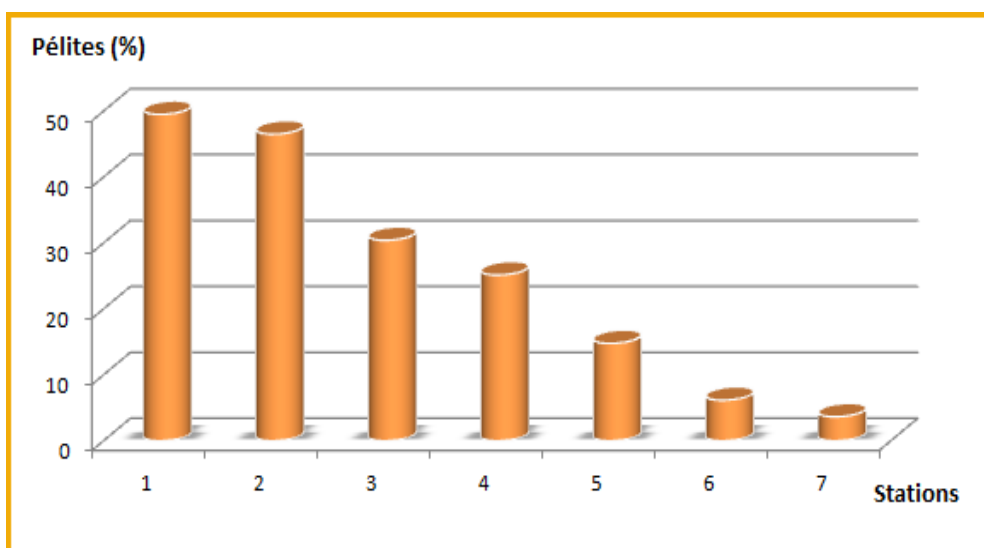
- **La fraction pélitique (pourcentage des pélites)**

Les résultats de la fraction pélitique dans notre zone d'étude sont mentionnés dans le tableau 2 (annexe I).

Le pourcentage des pélites s'échelonne entre un minimum de 3,63% (S7) et un maximum de 49,50% (S1) comme la montre la figure III.24, la moyenne est de 25,15 % et l'écart type est de 18,29 (Figure III.23).



**Figure III.22 :** Répartition des taux de pélites dans les sédiments (%) au niveau du port Sidi Fredj (2013).



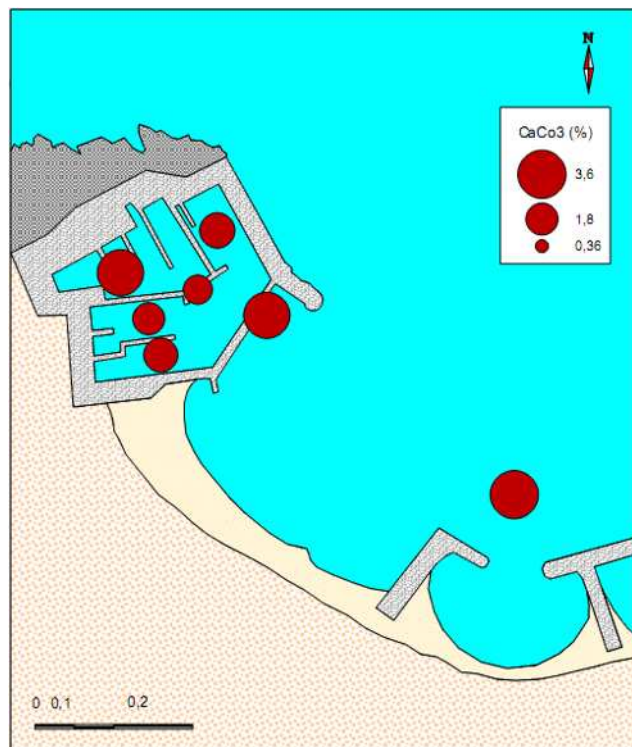
**Figure III.23:** Variation des taux de pélites dans les sédiments (%) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

On remarque que les taux sont assez élevés à l'intérieur du port. Ces taux élevés sont dû au faible gradient de courant à l'intérieur des bassins donc la stagnation des eaux, tant dit que les taux les plus faibles se trouvent à l'entrée du port au niveau de la station 7, dû à un gradient élevé du courant. On constate alors que la présence ou l'absence des pélites est conditionné à la puissance du courant (Figure III.22)

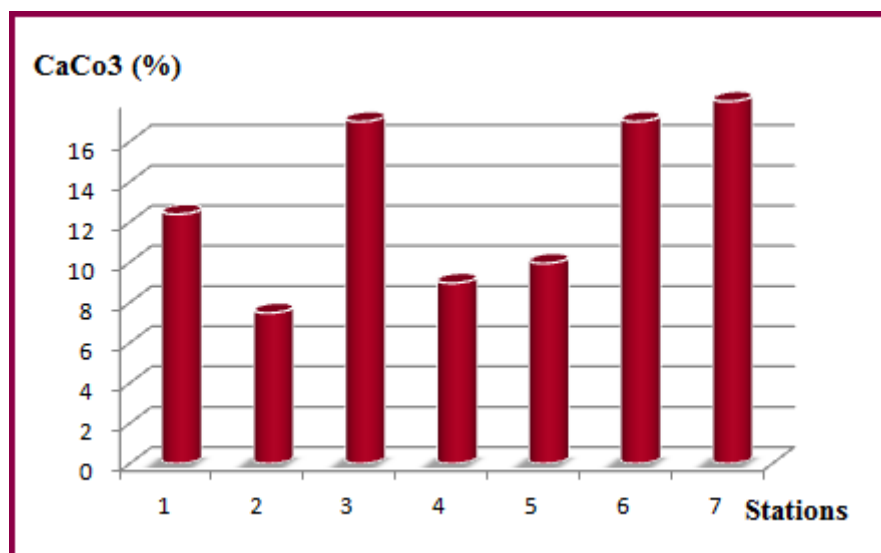
Les taux des pélites pour le port de Sidi Fredj poseraient un problème dans le cas d'un dragage et d'une immersion (panache turbide).

### III.2.2.2 Analyse calcimétrique

Les carbonates sont présents dans le port de Sidi Fredj avec des taux allant de 7,485% (S2) à 18% (S7) avec une moyenne de 12,97% et un écart type de 4,34 (Figure III.25).



**Figure III.24 :** Répartition des taux de carbonates ( $\text{CaCO}_3$  %) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).



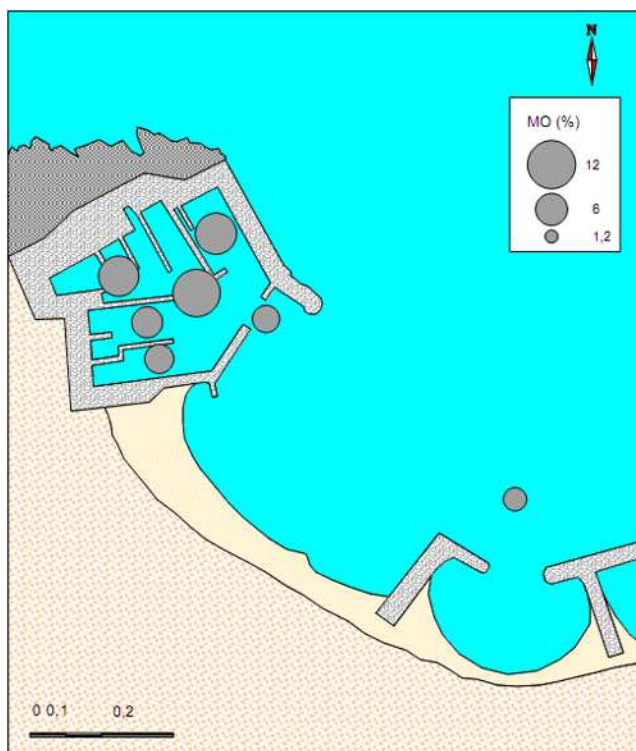
**Figure III.25 :** Variation des taux de carbonates ( $\text{CaCO}_3$  %) au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

Ce taux peut intervenir dans le cas du devenir des produits de dragage. Si l'option de l'immersion est prévue, ceci ne poserait de problème particulier, si l'option de l'utilisation des sédiments comme matériaux, le taux des carbonates est déterminant (Figure III.24).

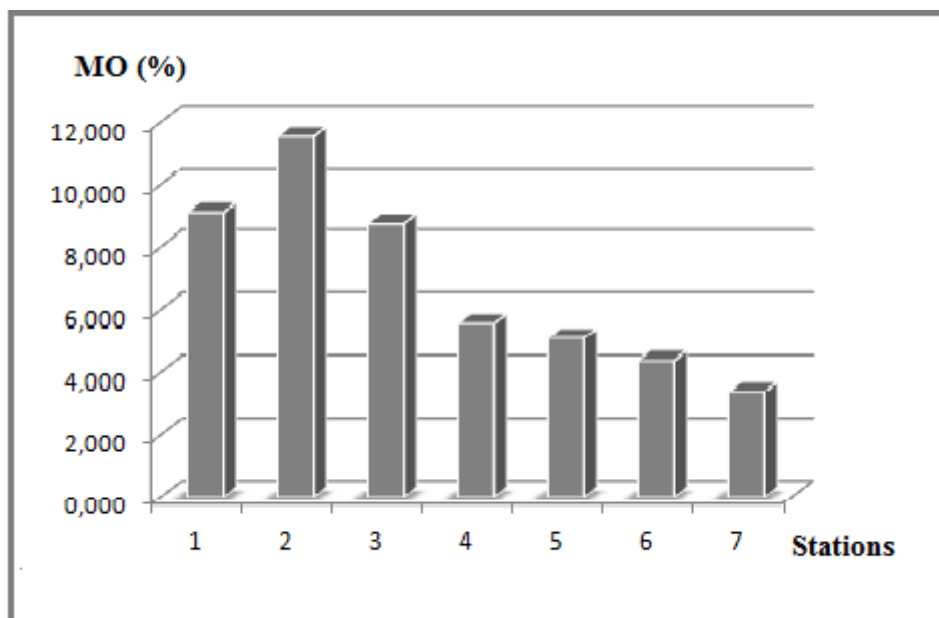
En général, les carbonates sont considérés comme reflétant la qualité des composants biogènes (calcite et aragonite) et terrigène (calcite) présents dans le sédiment. Les taux des carbonates ne présentent pas une grande variation dans les stations de prélèvements.

### III.2.2.3 Matière organique (MO) dans le sédiment

Les valeurs de la matière organique dans le port de Sidi Fredj varient entre un minimum de 3,37 % et un maximum de 11,54 %, avec une moyenne de 6,84 % et un écart type de 2,99 (Figure III.27).



**Figure III.26 :** Répartition des taux de la matière organique (%) dans les sédiments au niveau du Port de Sidi Fredj (2013).

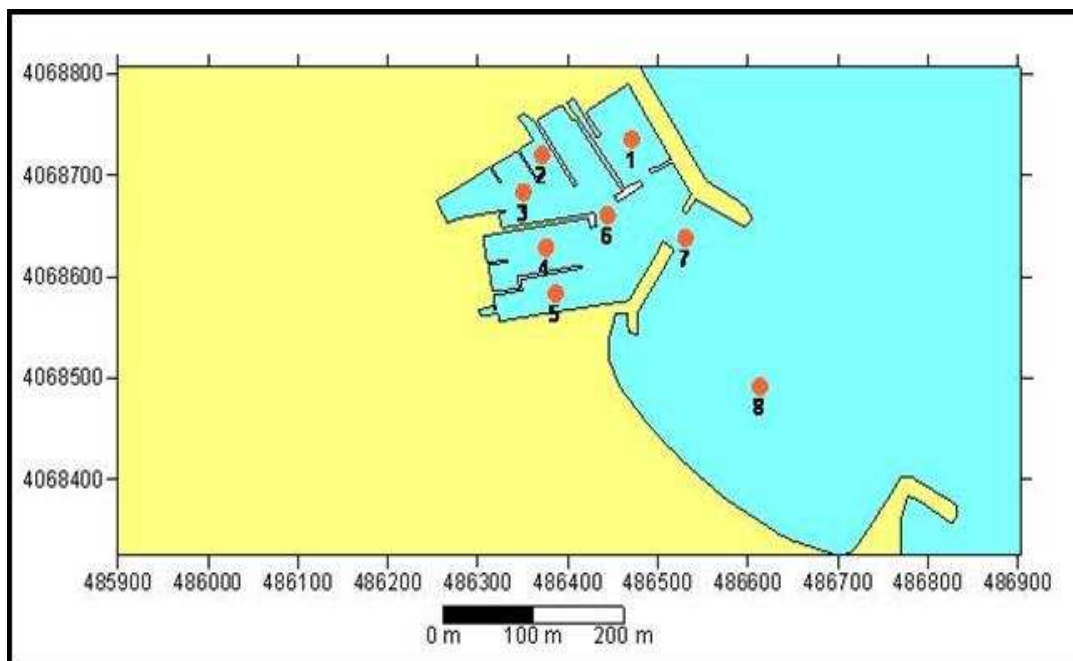


**Figure III.27 :** Variation des taux de la matière organique (MO) dans les sédiments au niveau du port de Sidi Fredj (2013).

D'après Chamley (1987) ; les teneurs dépassant 1% sont considérées pour la mer Méditerranée comme très élevées. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la (S2), ce taux élevé est causé par la stagnation des eaux à ce niveau due à une faible activité hydrodynamique, contrairement au taux le plus faible ce trouvant à l'extérieur du port (S7), donc la stagnation des eaux qui favorise la décantation des MO (Figure III.26).

#### III.2.2.4 Concentration en métaux lourds des sédiments superficiels

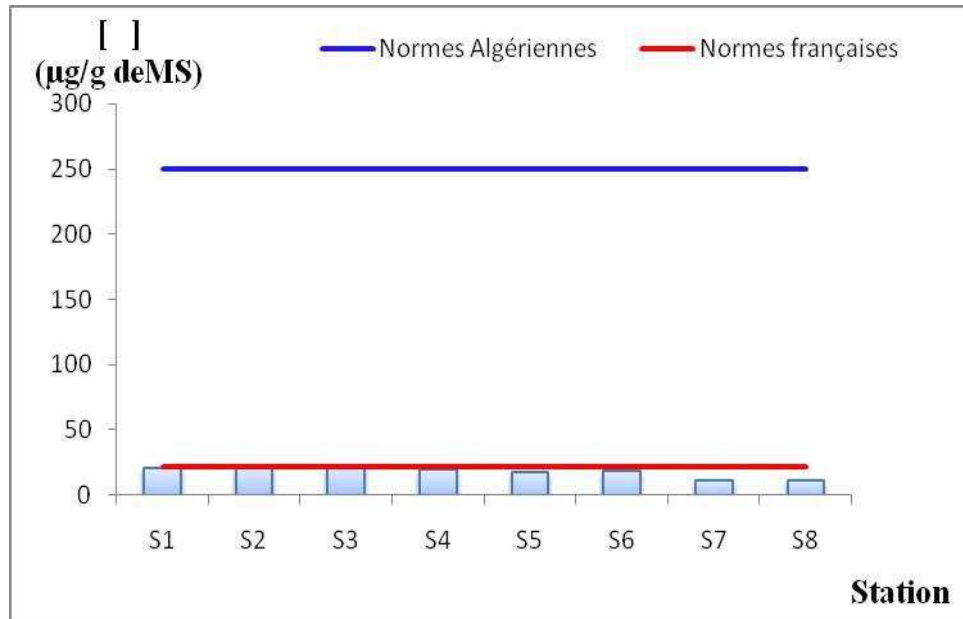
Vu le problème de la SAA on s'est basé sur des lectures réalisées par des anciens étudiants de L'ENSSMAL (**Bouaziz et Djerrai, 2010**), ils ont effectué un prélèvement des échantillons de sédiment afin d'analyser les paramètres indicateurs de pollution (Figure III.28).



**Figure III.28** : Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des métaux lourds (**Bouaziz et Djerrai, 2010**).

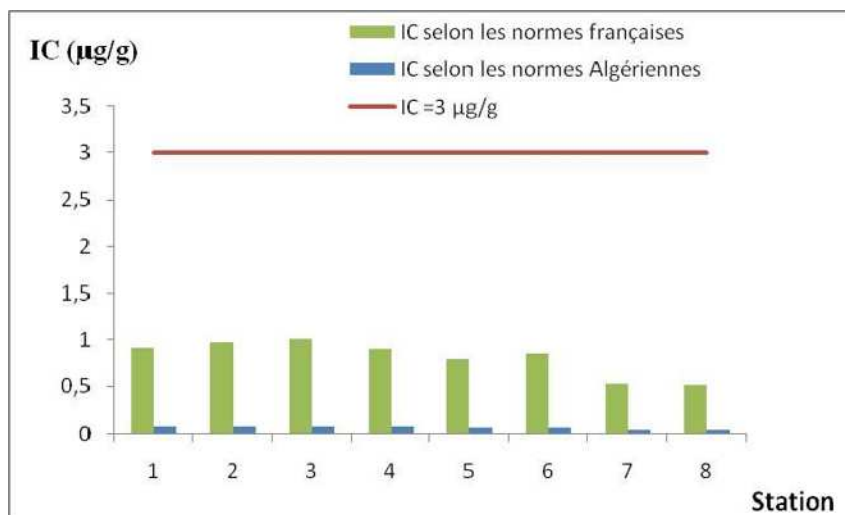
- **Le Plomb (Pb)**

Le Pb se trouve dans le sédiment principalement sous forme de carbonates  $PbCO_3$  (40 à 80 %) ou de chlorures  $PbCl_2$  (1 à 40 %). Il présente une forte affinité pour la matière particulaire. La fraction adsorbée sur les particules en suspension augmente avec le pH et diminue lorsque la chlorinité augmente.



**Figure III.29 :** Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz, et Djerrai, 2010).

Les teneurs en plomb sont comprises entre un minimum de 11.54 µg/g de MS (station 8) et un maximum de 22.3 µg/g de MS (station 3) avec une moyenne de 17.98 µg/g et avec un écart type de 4.17. En général, dans le port de Sidi Fredj ce métal présente des valeurs largement inférieures aux normes algériennes (250 µg/g de MS), de même pour les normes françaises (22 µg/g de MS) (Figure III.29).

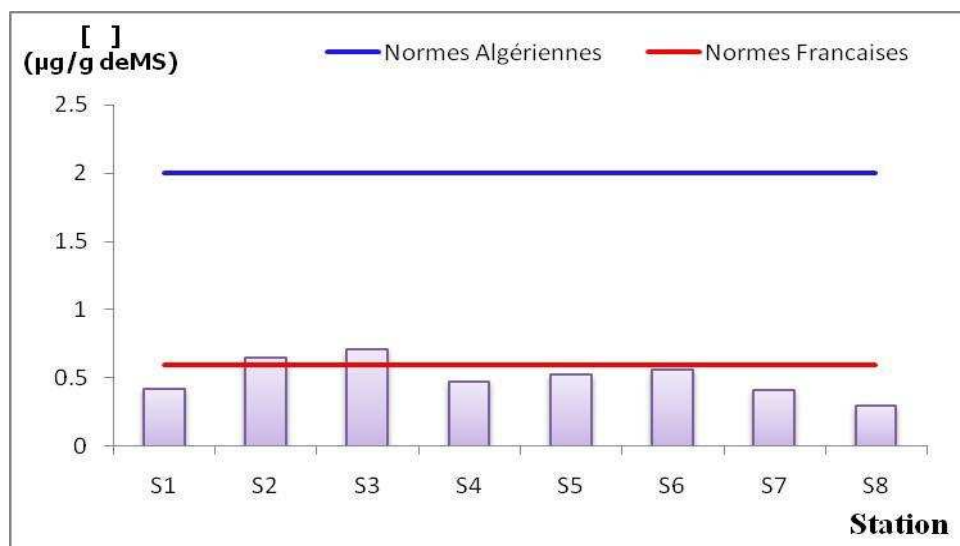


**Figure III.30 :** Indice de contamination (IC) par le plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).

Les indices contaminations par le plomb dans le port Sidi Fredj selon les normes algériennes et françaises sont largement inférieures à 3, l'immersion du produit de dragage peut s'effectuer normalement (Figure III.30).

- **Le Cadmium (Cd)**

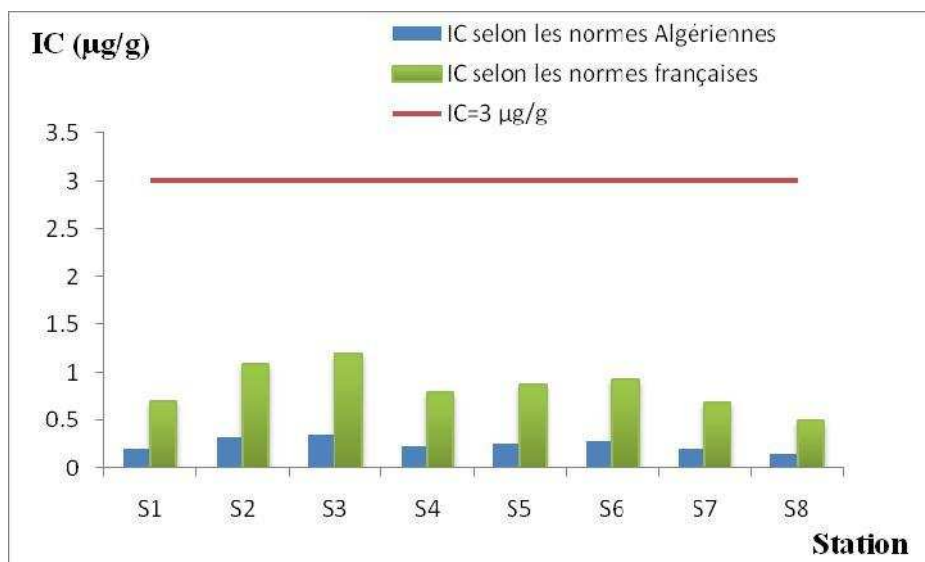
Le Cadmium (Cd) est principalement utilisé pour la fabrication des batteries, mais son introduction dans le sédiment peut résulter de l'activité minière, des eaux de lavage des routes et des déchets d'hydrocarbures. Ses niveaux de présence dépendent non seulement de la contamination, mais aussi de certains paramètres physicochimiques influant les équilibres et les distributions. Dans les sédiments océaniques, la teneur moyenne est voisine de  $0,2 \mu\text{g/g}$ .



**Figure III.31 :** Variation des concentrations du Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).

Les teneurs en Cadmium sont comprises entre un minimum de  $0.3 \mu\text{g/g}$  (station 8) et un maximum de  $0.71 \mu\text{g/g}$  (station 3).

En général, dans le port de Sidi Fredj ce métal présente des valeurs largement inférieures aux normes algériennes ( $2 \mu\text{g/g}$  de MS), pour les normes françaises ( $0.6 \mu\text{g/g}$  de MS), les valeurs sont aussi inférieures à la norme à l'exception des stations 2 et 3 où cette norme est légèrement dépassée (figure III.31).

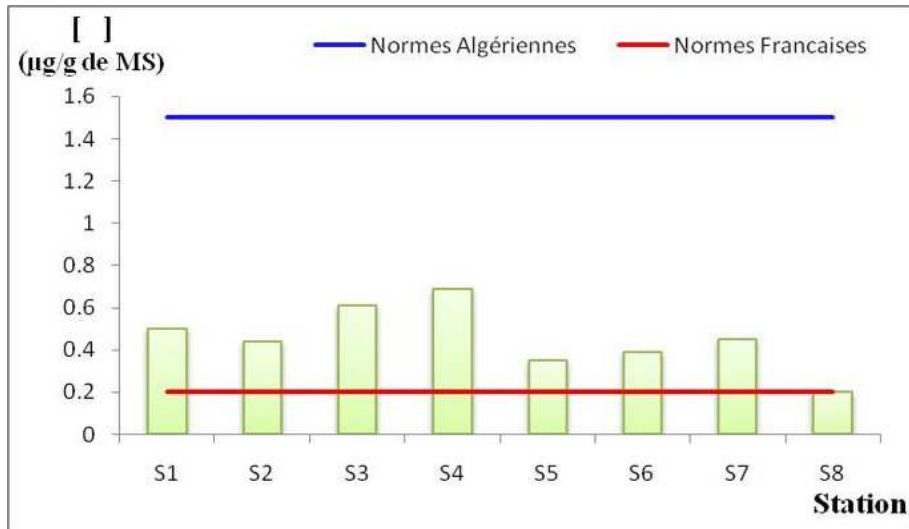


**Figure III.32 :** Indice de contamination (IC) par le Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).

Les indices de contaminations par le Cd dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj, selon les normes Algériennes et Françaises sont largement inférieur à 3, l'immersion du produit de dragage peut s'effectuer normalement (Figure III.32).

- **Le Mercure (Hg)**

Le mercure (Hg) présente un risque majeur pour l'écosystème et pour le consommateur humain, en raison de sa toxicité et de ses capacités de biomagnification par la chaîne alimentaire. Le mercure peut prendre les degrés d'oxydation 0, 1 ou 2 et former des liaisons covalentes stables en donnant ainsi des dérivés alkylés ou phénylés très toxiques.

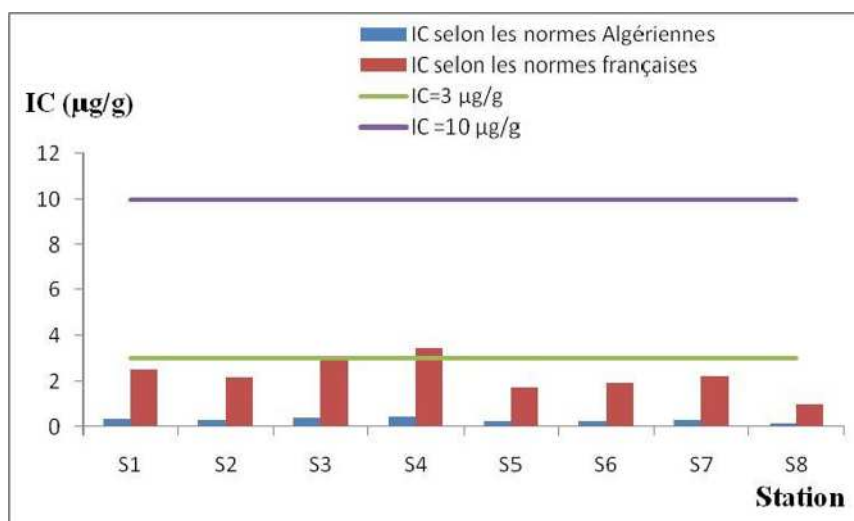


**Figure III.33 :** Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).

Les teneurs en mercure sont comprises entre un minimum de  $0.2 \mu\text{g/g}$  de MS (station 8) et un maximum de  $0.69 \mu\text{g/g}$  de MS (station 4) avec une moyenne de  $0.45 \mu\text{g/g}$  de MS et un écart type de 0.15.

De même, la majorité des sédiments analysés présente des valeurs largement inférieures aux normes algériennes ( $1.5 \mu\text{g/g}$  de MS) (figure III.33).

Cependant, si on devait les comparer aux normes françaises ( $0.2 \mu\text{g/g}$  de MS), ces concentrations sont considérées comme élevées et toutes les stations sont donc polluées par le mercure.



**Figure III.34 :** Indice de contamination (IC) par le mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj (Bouaziz et Djerrai, 2010).

Néanmoins, les indices de contaminations par le mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj sont largement inférieurs à 3, selon les normes Algériennes, l'immersion du produit de dragage peut s'effectuer normalement.

On arrive à la même conclusion, en ce qui concerne les IC de l'ensemble des stations qui restent en dessous de trois, exception faite pour la station (4), l'indice se trouve entre 3 et 10 indiquant une zone polluée, donc Immersion sous conditions (Figure III.34).

En général, les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj ne semblent pas contaminés par les métaux lourds testés (Pb, Hg et, Cd) selon les normes algériennes (**Alzieu et Abarnou, 1999**). L'immersion des produits de dragage peut donc s'effectuer normalement.

---

## **Chapitre VI**

### **Dragage et devenir des matériaux dragués**

---

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

Les bassins du port de Sidi Fredj étant soumis à des phénomènes d'ensablement, il est impératif de procéder à des dragages et d'évacuer les déblais qui en résultent.

Le devenir de ces sédiments dragués dépend bien évidemment de leur nature et de leur concentration en polluants.

## **IV.1. Généralités sur le dragage**

### **IV.1.1. Définition**

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

### **IV.1.2. L'intérêt de dragage**

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

### **IV.1.3. Aspects techniques du dragage**

On distingue généralement les dragues mécaniques, hydrauliques et pneumatiques (**CETMF, 2000**).

Le choix du type de drague dépend essentiellement des caractéristiques granulométriques des matériaux trouvant au sein du port.

Vu la dominance de la fraction fine (pélites, sable fin), le mode de dragage le plus adéquat est le dragage hydraulique.

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

#### **IV.1.4. La réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage**

Cette opération a été entreprise dans le respect de la législation nationale, notamment les décrets ayant trait à la protection de l'environnement marin de toute sorte de pollution et de dégradation. D'après le journal officiel de la république algérienne, les principaux textes encadrant les opérations de dragage maritime peuvent se résumer comme suit :

**Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003**, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

**Loi n° 02-02 du 5 février 2002**, relative à la protection et à la valorisation du littoral.

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

## **IV.2. Dragage du port de Sidi Fredj**

### **IV.2.1. Opération de dragage (2012/2013)**

Dans le cadre de la convention n° 081/2012 du 02/07/2012, la Direction des Travaux Publics de la wilaya d'Alger a confié au bureau d'étude « Hydro Marine Ingénierie-HMI » la réalisation d'une étude dans le but de draguer le port de plaisance de Sidi Fredj.

Cette mission a débuté le mois d'Octobre 2012 et elle devait s'achever dans un délai d'exécution de 4 mois mais elle a connu un retard d'environ 2 mois, à cause des empêchements climatique. Le montant global de cette opération est de 39 429 000,00 DA TTC. **(DTP, 2012)**.

### **IV.2.2. Description des travaux**

Les travaux consiste à :

Draguer à -4.00m environ au niveau du chenal d'accès et la passe d'entrée et une partie vers la plage pour éviter le retour immédiat du sable.

Le volume du sable dragués est estimé à environ 25 000 m<sup>3</sup> et stocké au niveau de la plage limitrophe (figure IV.1) pour l'évacuation et l'étalage du sable au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj (Figure IV.2).



**Figure IV.1 :** Stockage du sable après dragage au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.

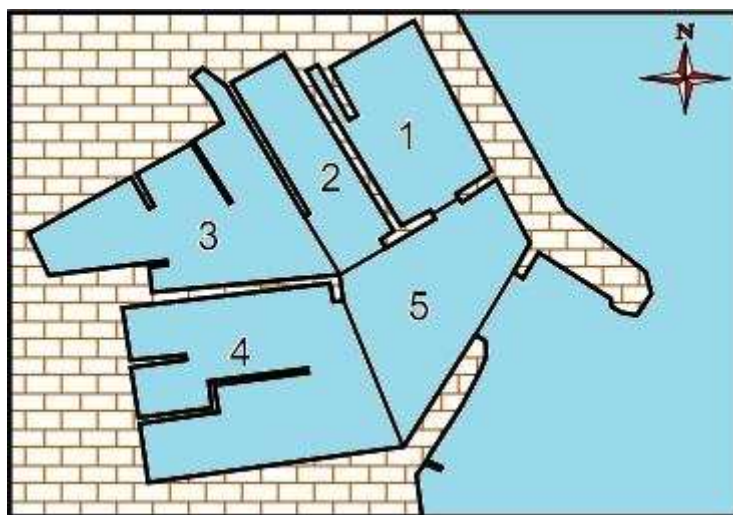


**Figure IV.2 :** Chenal d'accès (cavalier) pour le dragage de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.

### IV.2.3. Quantification des matériaux à draguer

A fin de calculer les matériaux à draguer, nous avons procédé les étapes suivantes :

- Pour pouvoir estimer la profondeur actuelle moyenne de chaque bassin, on s'est basé sur un levé bathymétrique réalisé en 2013 par HMI;
- la superficie des bassins a été estimée par le LEM en 1998 ;
- le choix de la profondeur à atteindre est de -4m, puisque la moyenne des tirants d'eau des bateaux accostés dans le port sont d'environ 1.5m pour faciliter la navigation.



**Figure IV.3 :** Répartition des bassins du port de Sidi Fredj.

A la fin on calcul les volumes de sédiment à draguer avec une simple formule mathématique :

$$V = \sum (S_i \times P_1) - \sum (S_i \times P_2)$$

Avec :

V : volume à draguer en  $m^3$  ;

$S_i$  : superficie de chaque bassin en  $m^2$  ;

$P_1$  : profondeur à atteindre en m ( $P_1 = 4m$ ) ;

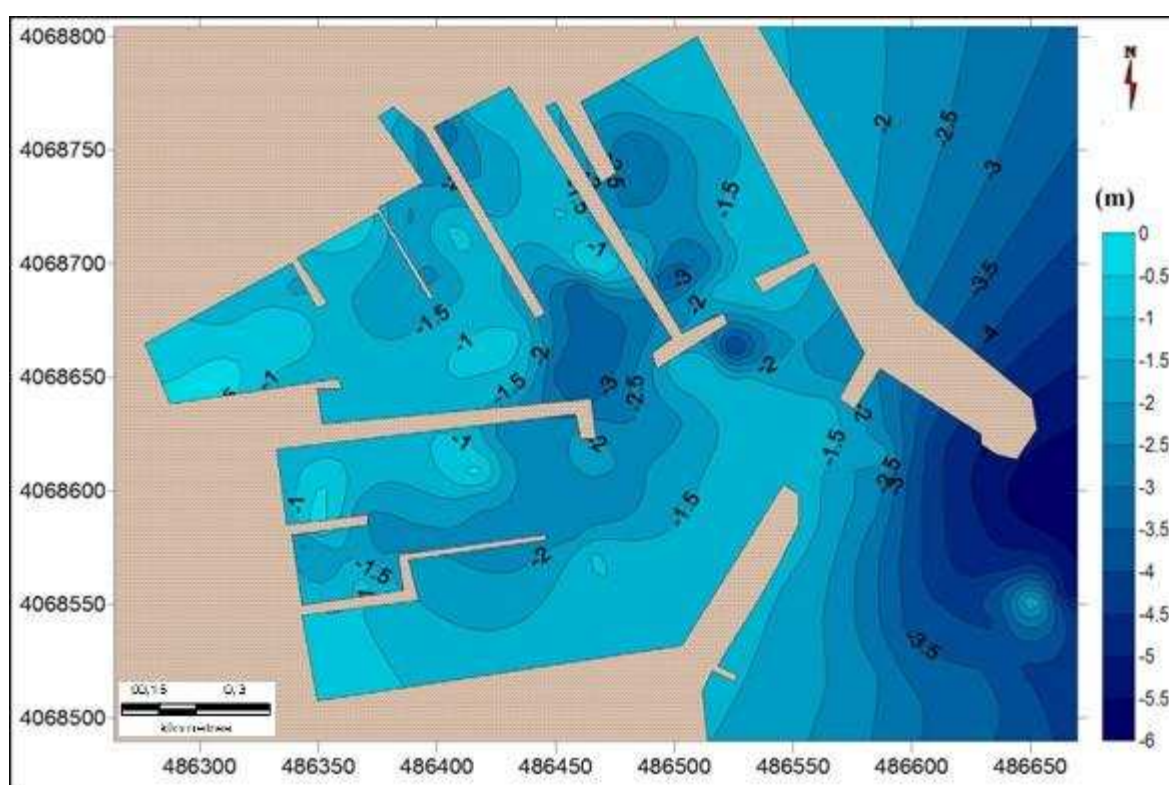
$P_2$  : profondeur actuelle moyenne de chaque bassin en m.

Pour permettre une meilleure manœuvre des embarcations dans le port, l'épaisseur de sédiments à draguer doit atteindre 1,5 m en moyenne. L'opération de dragage concerne tous les bassins du port, vu que la passe d'entrée et le chenal d'accès étaient très récemment dragués.

**Tableau IV.1** : Surface et quantités à draguer dans le port de Sidi Fredj

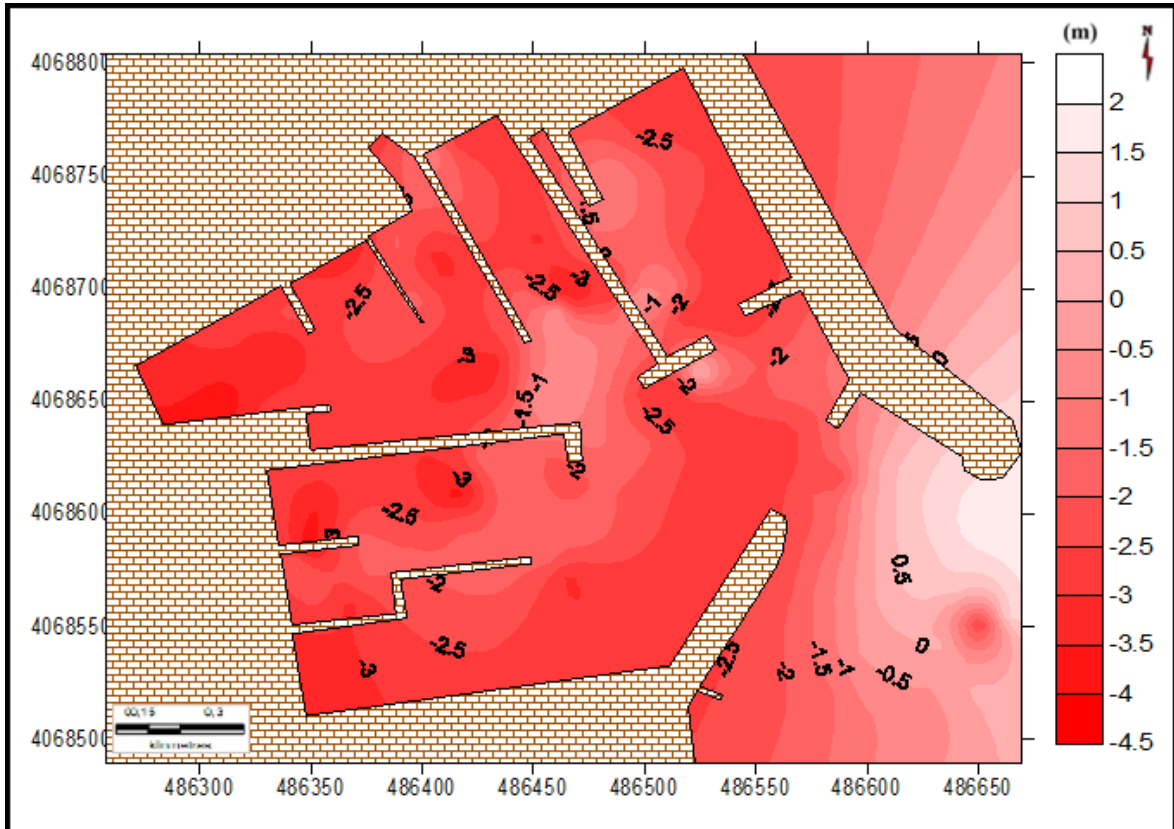
Bassin	Profondeur actuelle (m)	Profondeur à atteindre (m)	Superficie des bassins (m <sup>2</sup> )	Volume à draguer (m <sup>3</sup> )
1	3.05	4	8000	7560
2	2.60	4	3000	4176
3	2.06	4	5000	9665
4	2.29	4	10000	17040
5	2.45	4	9400	14513.6
<b>Le volume total à draguer est de :</b>				<b>52954.6</b>

Donc le volume qui doit être dragué est d'environ **52954.6 m<sup>3</sup>**, la surface concernée par le dragage est d'environ **35400 m<sup>2</sup>**.



**Figure IV.4** : Bathymétrie du port de Sidi Fredj avant le dragage de la passe d'entrée (Azrarak et Beggar, 2013).

Cette carte a été réalisée avec les logiciels (Mapinfo 10.0 et Surfer 8) à partir d'un levé bathymétrique fourni par HMI en Octobre 2012. Elle présente les isobathes au sein du port de Sidi Fredj, la variation de la bathymétrie est remarquable dans tout le port, elle varie entre -0.5 et -4m. (Figure IV.4).

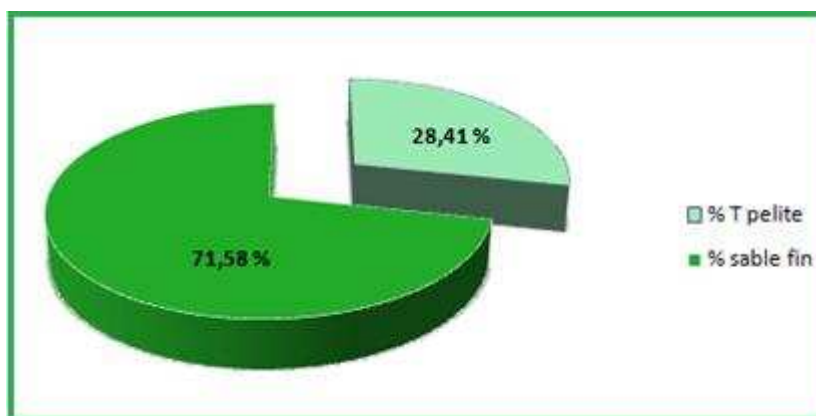


**Figure IV.5 :** Zones d'ensablement dans le port de Sidi Fredj (Azrarak et Beggar, 2013).

La figure IV.5 a été réalisée à l'aide de deux logiciels (Mapinfo 10.0 et Surfer 8), elle représente les différentes zones d'envasement allant de jusqu'à 3.5 m d'épaisseur (bassin 3, bassin 4), ce qui permet de délimiter les surfaces à draguer.

#### IV.2.4. Qualité des sédiments

D'après les résultats obtenus dans le chapitre précédent, le pourcentage des pélites présent dans les sédiments analysés est de l'ordre de 28.41% ce qui signifie un taux assez considérable, la quantité des sables fins reste cependant la plus dominante (71.58%). (Figure IV.6).



**Figure IV.6 :** Pourcentage des différentes fractions sédimentaires.

### IV.3. Devenir des déblais de dragage

Les analyses des paramètres indicateurs de pollution montrent que les matériaux à dragués sont dépourvus de concentrations notables en contaminants métalliques et organiques. Les matériaux extraits ne sont pas donc pollués.

Le devenir des matériaux de dragage constitue une question environnementale. En effet il s'agit de trouver pour les **52954.6 m<sup>3</sup>** de matériaux à draguer, une issue qui soit adéquate à la fois économique et écologique.

Quatre variantes régissant le devenir de ces matériaux sont présentées ci-après en présentant pour chacune d'elle les avantages et les inconvénients.

#### IV.3.1. Variante N°01 : L'immersion des produits de dragage

C'est l'option la plus utilisée en Algérie car elle est la moins onéreuse et qui tient compte au préalable d'une étude granulométrique, hydrologique, chimique et biologique du site d'immersion, qui est choisie selon les critères physiques suivants :

- L'éloignement des côtes.
- Profondeur suffisamment importante pour que les sédiments ne soient pas repris par les courants (profondeur 50 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, même si elle se situe hors du champ de vision des usagers du port. 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 (**Bachouche,2010**).

L'immersion par clapage peut avoir lieu comme la grande quantité du sable fin (71.5%) entraîne avec elle la fraction pélitique (28.4%) vers le fond.

#### **IV.3.2. Variante N°02 : Rechargement des plages (Est / Ouest)**

Le rechargement de plage est la filière d'utilisation qui semble a priori la plus logique : on rend à la mer ce qu'on lui enlève. L'évolution actuelle des littoraux sous les actions tant naturelles qu'humaines marque une nette tendance à l'érosion.

La plage ouest connaît un net recul depuis plusieurs années, l'idée de recharger les sédiments de dragage du port de Sidi Fredj peut répondre au devenir de ces sédiments qui pourront répondre aux problèmes d'érosion.

La pratique montre que la méthode des enrochements est la plus souvent utilisée pour préserver les rivages. L'enrochement consiste à dresser des barrières de protection aux pieds des falaises, ou sur le haut des plages.

Au-delà de leur aspect esthétique discutable, ces remparts présentent le défaut majeur de ne pas remédier aux causes fondamentales du recul du littoral, qui est, entre autre, le déficit sédimentaire. Certes, la technique de l'enrochement coûte presque trois fois moins chère que la technique de rechargement de plage, mais les surcoût est tempéré par la grande valeur touristique de la plage, dont l'aspect parfaitement naturel attire davantage le public.

Il en résulte des besoins en matériaux de rechargement. Ceux-ci deviennent de plus en plus difficiles à trouver dans le domaine terrestre d'où l'intérêt d'utiliser des matériaux issus des dragages portuaires.

**IV.3.3. Variante N°03 : Mini géotubes (Boudins)**

Les Géotubes sont des structures tubulaires spécialement mis au point en vue d'une protection contre l'érosion.

La mise en œuvre du géotube est réalisée par pompage hydraulique avec matériau sableux (grâce à son incompressibilité).

Le géotube devient alors une structure flexible, monolithique et continue qui résiste aux forces des houles et des courants. Les Géotubes sont utilisés pour la protection des rivages, du littoral dans le cadre de la lutte contre l'érosion, et pour la construction des ouvrages hydrauliques et maritimes.

**IV.3.4. Variante N°04 : Utilisation pour les matériaux de construction**

La valorisation des produits de dragage est souvent recherchée pour résoudre le problème de leur devenir d'une part, et d'autre part utiliser ces matériaux pour la construction.

Si les sédiments dragués sont propres et de bon qualité granulométrique, ils peuvent être utilisés pour les travaux de construction (routier et bâtiment...).

Pour mieux apprécier les avantages et les inconvénients de chaque variante, un tableau récapitulatif a été élaboré :

**Tableau IV.2** : Comparaison des variantes proposées :

<b>Variante</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Variante N°01</b> <b>Immersion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité d'exécution.</li> <li>- Cout réduit.</li> <li>- Durée courte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation locale de la turbidité temporaire.</li> <li>- Perturbation temporaire pour le milieu d'immersion.</li> <li>- Risque de retour des MES vers la côte.</li> </ul>
<b>Variante N°02</b> <b>Rechargement des plages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservation du paysage naturel et des usages.</li> <li>- Redressement du niveau de la plage Ouest.</li> <li>- N'aggrave pas le déficit sédimentaire.</li> <li>- Résout le problème de l'érosion.</li> <li>- Meilleure efficacité avec des épis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approvisionnement en sédiments similaires à ceux de la plage.</li> <li>- Nécessite des recharges récurrentes.</li> <li>- Coût élevé.</li> </ul>
<b>Variante N°03</b> <b>Géotubes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacement de tout ou partie des enrochements et des matériaux de carrière.</li> <li>- Réduction importante des coûts de construction.</li> <li>- moyens matériels beaucoup moins importants pour la mise en œuvre.</li> <li>- Utilisation possible des matériaux du site.</li> <li>- Respecte l'environnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilité faible sur les fonds en pente dans les cas de fortes houles.</li> <li>- Risque important de déchirement de l'enveloppe.</li> <li>- Affouillement possible en pied si des vides existent dans la structure, dus à un remplissage trop lent.</li> <li>- Difficultés d'accès au site de la plage ouest</li> </ul>
<b>Variante N°04</b> <b>Matériaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La qualité du sable marin est bonne pour les matériaux de constructions.</li> <li>- Utilisation comme supplément dans le macadam des routes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation des déblais de dragage demande un traitement.</li> <li>- Cout élevé.</li> </ul>

L'immersion et le rechargement de la plage Ouest reste les deux solutions à retenir. Pour la plage ouest, il est soulevé le problème d'accès au site.

---

## **Conclusion générale**

---

## Conclusion générale

Soumis chaque année à un ensablement, le port de Sidi Fredj voit ses fonds diminuer.

Son dragage est donc indispensable pour l'amélioration des conditions d'accès, de sécurité de navigation dans les bassins portuaires, ainsi que la lutte contre la pollution des plans d'eaux.

Le dragage du port seul n'est pas suffisant, cela s'est vérifié à plusieurs reprises puisque les sédiments reviennent vers le port au bout de quelques mois seulement.

A travers ce Travail de Fin d'Études nous avons estimé la quantité du sable à draguer (environ 53 000 m<sup>3</sup>) grâce à un levé bathymétrique qui a confirmé cette remontée du fond, causée essentiellement par les courants marins.

Le port a connu plusieurs dragages mais le fait de déposer à chaque fois les sédiments sur la plage Est ne règle aucun problème donc nous avons aussi mis en évidence de différentes propositions de valorisation des déblais de dragage notamment l'immersion des produits dits au large à une profondeur de 100 m environ, ainsi qu'une autre solution peut être envisagée à savoir l'alimentation de la plage ouest qui connaît une grande érosion.

Ces propositions sont conditionnées par les paramètres physico-chimiques et le taux de contamination mesurés pendant ce travail.

Cependant, il faut garder à l'esprit que le but des opérations de dragage est d'assurer des seuils dans les ports et les chenaux pour le maintien de la navigation. Il est important de draguer mais il faut aussi avoir une pensée au respect de l'environnement.

---

# BIBLIOGRAPHIE

---

**Alzieu . C, Abarnou. A, Bassoulle. P, Boutier. B, Chiffolleau . J.F, Crenn. I, Derrien. A, Erard. L, Denn. E, Gourmelon. M, Guiliaud J. F, Jacinto. R. S, Le Cann. P ; 1999.** Dragages et environnement marin : état des connaissances. Ed. Ifremer, Plouzané, France, p223.

**Amrani. S, Ferhat. A ; 1994.** Etude des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau dans un port de plaisance (Sidi Fredj) . Mémoire d'ingénieur ENSSMAL.

**Alzieu. C, et al ; 1999.** Dragage et environnement marin : Etat des connaissances. Plouzané : Edition Ifremer, p (72,96).

**Aminot. A, Chaussepied. M ; 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre national pour l'exploitation des océans, Brest, p395.

**Assassi. C, Otmani. H ; 2010.** Etude de protection de la zone de Club des Pins. Mémoire d'ingénieur ENSSMAL, p13.

**Audigie. C.L, Dupont .G, Zonszain .F ; 1985.** Principe des méthodes d'analyse biochimique. Ed. DOIN, Tome 2, 2<sup>ème</sup>. p190.

**Bachouche. S ; 2010.** Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage, p110.

**Belkessa. R ; 2005.** Les ports d'Algérien : ensablement, pollution et dragage du sédiment. Thèse de doctorat. Université de Constantine.

**Benschneider. K, Robinson. R; 1952.** A new spectrophotometric methode. FAO Fisheries Technical Paper, pp 137-238.

**Benzohra. M ; 1993.** Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille, p 33.

**Bouaziz. T, Djerrai. N ; 2010.** Etude des caractéristiques physicochimiques et bactériologiques des eaux de mer et des sédiments dans le port de plaisance de Sidi Fredj, en vu d'une immersion. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, p (22-50-64-69) .

**Bougis ; 1974 .**Ecologie du plancton marin (Tom 1).Masson , (paris), p196.

**Boust. D, jouanneau. JM, latouche. C ; 1981.** Méthodologie d'interpretation de teneurs totales en metaux traces contenues dans les sédiments estuariens et littoraux.Bull.Ins.Geol.Bassin d'auitaine,Bordaux,N°30, pp.71-86.

**Boutiba. M ; 1996.** Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest Alger).Thèse magistère .Aménagement du littoral. ENSSMAL, p123.

- CETMEF ; 2000.** Centre d'études techniques maritimes et fluviales. Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France Métropolitaine, p 9.
- Charlou. J.L, Joanny. M; 1983.** Dosage du mercure et d'autres Métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn,) dans les sédiments marins par absorption atomique (285-297) Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin.(Ed) Centre National pour l'exploitation des Océans, Paris, p 395.
- CTH ; 2011.** Contrôle technique de la construction hydraulique. Etude de désensablement du Port de plaisance de Sidi Fredj, p (8, 27, 42,52).
- DTP ; 2012.** La Direction des Travaux Publics. Travaux de dragage du port de Sidi Fredj, p3.
- Forstner. U, salomons. W ; 1980.** Utilisation de quelques éléments métalliques.
- Goucem. T, Rebhi. M ; 2011.** Port de Sidi Fredj : Quantité de sédiments à draguer .Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, p 4.
- Houma. F ; 2009.** Modélisation et Cartographie de la Pollution Marine et de la Bathymétrie à partir de l'Imagerie Satellitaire. Thèse Doctorat Univ Paris, p 12.214.
- Journal officiel de la république algérienne ; 2006.** Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels N°25 : 24 Rabie Elaouel 427 23 avril 2006.
- LEM ; 1998.** Laboratoire d'Etudes Maritime, Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.
- Mac Farlan F ; 2004.** Méthodologie de gestion des matériaux de dragage maritime - Application au port de Dunkerque. Thèse de doctorat, Université d'Artois– Ecole des Mines de Douai.
- Murphy. J, Riley. J ; 1962.** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27, pp 31-36.
- Oukazi. H; 1993.** le port de plaisance de Sidi Fredj: approche critique à travers son fonctionnement et l'impact sur l'environnement immédiat. Mémoire d'Ingénieur ENSSMAL.
- Pinta. M ; 1971.** Spectrophotométrie d'absorption atomique, problèmes généraux : application à l'analyse chimique. Ed Masson (Paris) ; p508.
- Rodier. J ; 1996.** L'analyse de l'eau [8<sup>ème</sup> édition] eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Edition: DUNOT (Paris), pp 385- 401.
- Wood. E; Armstrong. F , Richard F. A; 1967.** Determination of nitrate in seawater by cadmium-cooper reduction to nitrite. J. Mar. Biol. Assc. U.K., 47:pp 23-31.

---

# **ANNEXE**

---

## ANNEXE I

**Tableau N°01** : les coordonnées géographiques

Stations	x	y
1	2°50'54,38''	36°45'51,73''
2	2°50'53,41''	36°45'49,32''
3	2°50'49,48''	36°45'50,00''
4	2°50'50,92	36°45'48,13''
5	2°50'51,54''	36°45'46,65''
6	2°50'56,90''	36°45'48,27''
7	2°51'09,43''	36°45'41,00''

**Tableau N°02** : le pourcentage de la fraction pélitique

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Pélites (%)	49,5	46,5	30,39	25,13	14,76	6,14	3,63

**Tableau N°03** : Paramètre physico-chimique in-situ

	T (°c)	S (psu)	O <sub>2</sub> (mg/l)	pH	C (mS /cm)	P(m)
S1	19.8	35.2	4.9	8.26	53.3	3
S2	17.7	35.2	4.9	8.07	53.7	2.9
S3	17.6	34.8	4.6	8.04	52.8	1.9
S4	18.1	35.1	4.6	8.02	53.5	1.6
S5	18.7	34.9	4.8	8.06	53.4	1.9
S6	17.7	35.3	5.00	7.98	53.8	3.2
S7	17.4	35.4	6.00	8.03	54.1	3.7

## ANNEXE II

### Dosage des sels nutritifs

#### 1). Dosage d'azote ammoniacal

##### ➤ Principe

Il s'agit de la méthode de Korolef (1969).

Dans un premier temps l'ammoniac forme une monochloramine avec l'hypochlorite en milieu légèrement basique, cette dernière réagit avec le phénol en présence d'un excès d'hypochlorite pour former le bleu de l'indophénol absorbant à 630 nm.

Cette méthode consiste à doser la totalité de l'azote ammoniacal.

##### ➤ Mode opératoire

###### • Préparation des réactifs

- Réactif I : Solution de phénol-nitroprussiate

Pour 1 l de réactif, dissoudre 35 g de phénol et 400 mg de nitroprussiate de sodium dans de l'eau distillée et compléter à 1 l.

- Réactif II : solution alcaline d'hypochlorite

Pour 1 l de réactif :

Dissoudre 280 g de citrate trisodique et 22 g de soude dans environ 800 ml distillée.

Ajouter un volume de solution de hypochlorite correspondant à 1,4 g de chlore et compléter jusqu'à 1 l.

###### • Solution étalon primaire d'ammonium

Dissoudre 0,661g de sulfate d'ammonium dans un litre d'eau distillée.

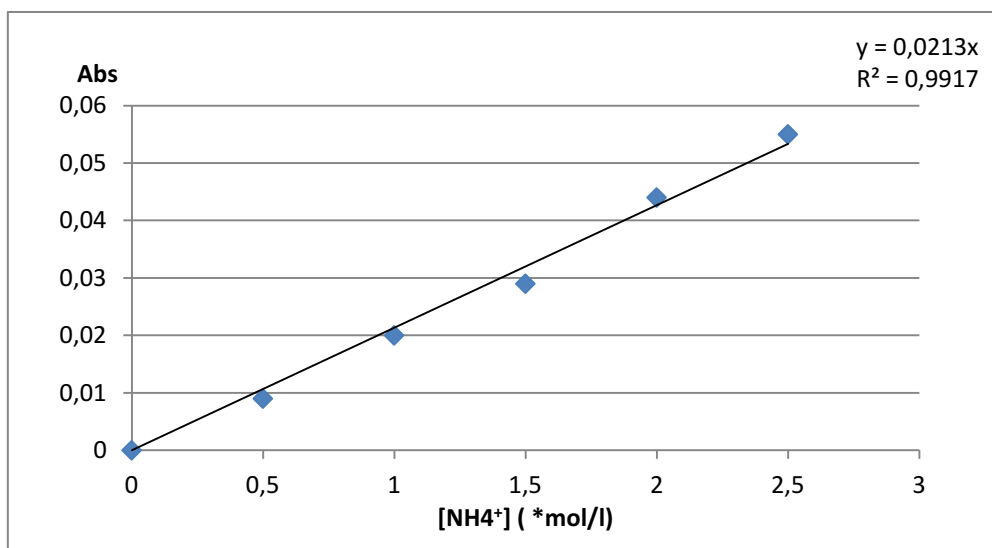
1ml contient 10  $\mu$  mol d'ammonium.

###### • Procédure général d'analyse

- Prendre 100 ml de la solution à analyser et ajouter 3 ml de réactif I, agiter et bien homogénéiser.
- Ajouter sans attendre 3 ml de réactif II, placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 heures.
- Mesurer l'absorbance à 630 nm.

- **Etalonnage**

Tracer la droite d'étalonnage  $Abs = f(C)$  à partir des résultats de l'analyse des étalons figure(V.1).



**Figure(V.1) :** Courbe d'étalonnage de l'ammonium.

## 2). Dosage des nitrites

### ➤ Principe :

En milieu acide ( $pH < 2$ ) les nitrites libèrent de l'acide nitreux ( $HNO_2$ ) qui réagit avec une amine aromatique la sulfanilamide pour donner un composé diazoïque.

En présence de dihydrochlorure de N-(1-naphtyl) éthylène diamine, il se forme un complexe de couleur rose dosé par colorimétrie (méthode Griess) mesuré à 543 nm.

Cette méthode est appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et robinson(1952).

### ➤ Mode opératoire

- **Préparation du réactif colorant**

Produits chimiques exigés :

Acide o-phosphorique $H_3PO_4$ (85%).....	50 ml.
Sulfanilamide $C_6H_8N_2O_2S$ .....	10g.
$\alpha$ -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$ .....	0,5g.
Eau distillée $H_2O$ .....	850 ml.

### Préparation :

Diluer l'acide o-phosphorique dans  $\pm 750$  ml d'eau distillée. Ajouter le sulfanilamide et le  $\alpha$ -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** la solution est stable pendant 2 semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

- **Préparation de la solution étalon nitrite à  $5000\mu\text{mol/l}$**

Dissoudre 0,345 g de nitrate de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ) dans de l'eau distillée et compléter jusqu'à 1 L, cette solution est stable 1 à 2 mois et doit être conservée au froid à l'abri de la lumière.

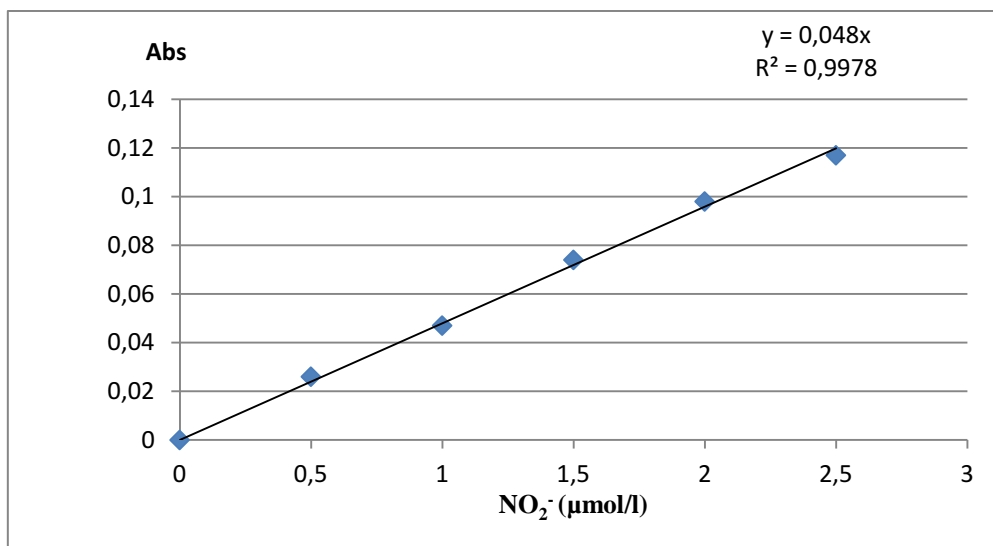
1 ml contient  $5\mu\text{mol}$  de nitrite.

- **Procédé général d'analyse**

Introduire dans une éprouvette 50 ml de la solution à analyser (étalon ; échantillon) et ajouter 2ml de réactif colorant, attendre quelques minutes et faire la mesure de l'absorbance à la longueur d'onde  $\lambda = 543\text{nm}$ .

- **L'étalonnage**

On utilise une gamme d'étalonnage à base d'une solution étalon secondaire de nitrite et on trace la graphie  $\text{Abs} = f(C)$



**Figure (V.2) :** la courbe d'étalonnage des nitrites.

### 3) . Dosage des ions nitrates

#### ➤ Principe

La méthode utilisée est fondée sur le dosage des ions nitrites obtenus par réduction quantitative (>95%) des ions nitrates.

On mesure en réalité la somme des concentrations des ions  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$  par déduction de la concentration en nitrites déterminée sans réduction, on obtient la concentration des ions nitrates.

#### ➤ Mode opératoire

##### • Préparations des réactifs

- Réactif I : solution de sulfanilamide

Diluer 50 ml de l'acide chloridrique concentré ( $d= 1,18$ ) dans environ de 300 ml de l'eau distillée et dissoudre 5 g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à 500 ml.

- Réactif II : solution de N-naphtyl-Ethylènediamine

Dans 500 ml d'eau distillée dissoudre 0,5 g de dichloridrate de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine.

- Solution concentrée de sulfate d'ammonium

Préparer une solution de 250g de chlorure d'ammonium  $\text{NH}_4\text{Cl}$  par litre dans de l'eau distillée.

- Solution diluée de sulfate d'ammonium

Diluer 40 fois la solution précédente avec de l'eau distillée.

- Solution de sulfate de cuivre

Dans 500 ml d'eau distillée dissoudre 10 g de sulfate de cuivre pentahydrate ( $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$ ).

##### • Préparation de la solution étalon nitrate à 5000 $\mu\text{mol/l}$

Dissoudre 0,506 g de nitrate de potassium anhydre dans un litre d'eau distillée et ajouter 1 ml de chloroforme.

1 ml contient 5  $\mu\text{mol}$  de nitrate.

##### • Préparation de la colonne de réduction

- Laver environ de 50 g de grains à l'acide chloridrique 2 mol/l puis rincer à l'eau distillée.
- Laver rapidement à l'acide nitrique 0,3 mol/l puis rincer à l'eau distillée.
- Laver à nouveau à l'acide chloridrique 2 mol/l pour chasser les ions  $\text{NO}_3^-$  et rincer abondamment à l'eau distillée.

- Traiter le cadmium par 100 à 150 ml de solution de sulfate de cuivre : dans un erlenmeyer agiter le cadmium avec cette solution et laisser en contact pendant plusieurs minutes ; la solution se décolore
- Laver ensuite abondamment à l'eau distillée par débordement de l'erlenmeyer pour ne jamais mettre en contact le cadmium traité avec l'air jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de fines particules en suspension.
- Retourner l'erlenmeyer sur la colonne sans y faire entrer d'air et faire tomber le cadmium jusqu'à une hauteur de 15 à 20 cm tout en tapotant la colonne pour obtenir un tassement régulier.
- Laver abondamment la colonne avec la solution diluée de chlorure d'ammonium.

- **Analyse de la concentration totale nitrite+nitrite**

- Prendre 100 ml d'échantillon et ajouter 2 ml de la solution concentrée de chlorure d'ammonium.
- Conditionner la colonne avec environ de 5 ml de cette solution pour diminuer les risques d'interférences entre échantillons successifs.
- Verser alors le reste de l'échantillon.
- Rejeter les 30 premiers ml.
- Recueillir 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer.
- Ajouter aussitôt 1ml de réactif 1 et laisser reposer 2 à 8 minutes.
- Ajouter 1ml de réactif 2 et laisser reposer 10 minutes mais pas plus de 2 heures.
- Mesurer l'absorbance de l'échantillon à 543 nm.

- ✓ Contrôle du rendement de réduction

Préparer une solution à 20  $\mu\text{mol/l}$  en mettant dans une fiole jaugée 2ml de la solution étalon nitrate et en complétant à 500 ml avec de l'eau distillée.

Passer la solution dans la colonne et mesurer l'absorbance.

Calculer le rendement de réduction **R** avec ( $R < 1$ ).

- ✓ Contrôle la réduction des ions nitrites

On procède exactement comme pour la mesure de rendement de la réduction des ions nitrates en préparant une solution de 20  $\mu\text{mol/l}$  de nitrite et la faire passer à travers la colonne réductrice afin de mesurer la fraction des ions nitrites non réduites soit **r**.

➤ **Calcul et expression des résultats**

$$[\text{NO}_3^-] \mu\text{mol/l} = C \cdot 1/R - [\text{NO}_2^-] \cdot r/R$$

**[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] μmol/l** : concentration des ions nitrates de l'échantillon.

**C**: concentration de nitrate +nitrite.

**[NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]** : concentration de l'échantillon en nitrite.

Les concentrations sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage de nitrite figure (V.2).

#### **4). Dosage des orthophosphates**

➤ **Principe**

Le principe du dosage des orthophosphates selon la méthode de Murphy et Riley repose sur la réaction de l'anion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) avec l'ion molybdate d'ammonium et l'ion oxydurate de potassium (Antimoine) en milieu acide pour la formation de l'acide phosphomolybdique. Cet acide est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance à 885nm.

➤ **Mode opératoire**

- **Préparation des réactifs**

- Réactifs solution de molybdate d'ammonium :

Dissoudre 15 g de paramolybdate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dans 500ml d'eau distillée, elle doit être conservée dans un flacon en plastique à l'abri de la lumière ; la solution est stable indéfiniment.

- Acide sulfurique :

Dans une fiole en verre avec un fond d'eau distillée ajouter petit à petit 70 ml d'acide sulfurique (densité =1,84) .compléter le volume jusqu'à le trait de jauge 500 ml.

- Solution d'acide ascorbique :

Dissoudre 11g d'acide ascorbique ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) dans 800 ml d'eau distillée, ajouter 60 ml d'acétone ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) et compléter à l'eau distille jusqu'à 1000 ml par l'eau distillée.

- Solution de d'oxotartrate de potassium et d'antimoine :

Dissoudre 0,34 d'oxytartrate de potassium et d'antimoine(III)  $(\text{KSbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  dans 250 ml d'eau distillée . Cette solution se conserve plusieurs mois en réfrigérateur.

### **Le mélange des réactifs**

- 100 ml de solution de molybdate d'ammonium
- 250 ml d'acide sulfurique  $2,5 \text{ mol.l}^{-1}$
- 100ml sa solution d'acide ascorbique
- 50ml de solution d'oxytartrates de potassium et d'antimoine

#### **• Préparation de la solution étalon**

Solution étalon concentrée de phosphate à  $5000 \mu\text{mol/l}$

En dissoudre 0,6805 g dihydrogénophosphate de potassium anhydre de pureté garantie  $(\text{KH}_2\text{PO}_4)$  pour 1 l de solution préparée en fiole jaugée avec de l'eau déminéralisée et ajouter 1 ml chloroforme

1 ml contient  $5 \mu\text{mol}$  de phosphate.

Solution étalon diluée de phosphate à  $500 \mu\text{mol/l}$

Diluer 10 fois la solution étalon concentrée pour obtenir la solution étalon diluée :

1 ml contient  $0,5 \mu\text{mol}$  de phosphate.

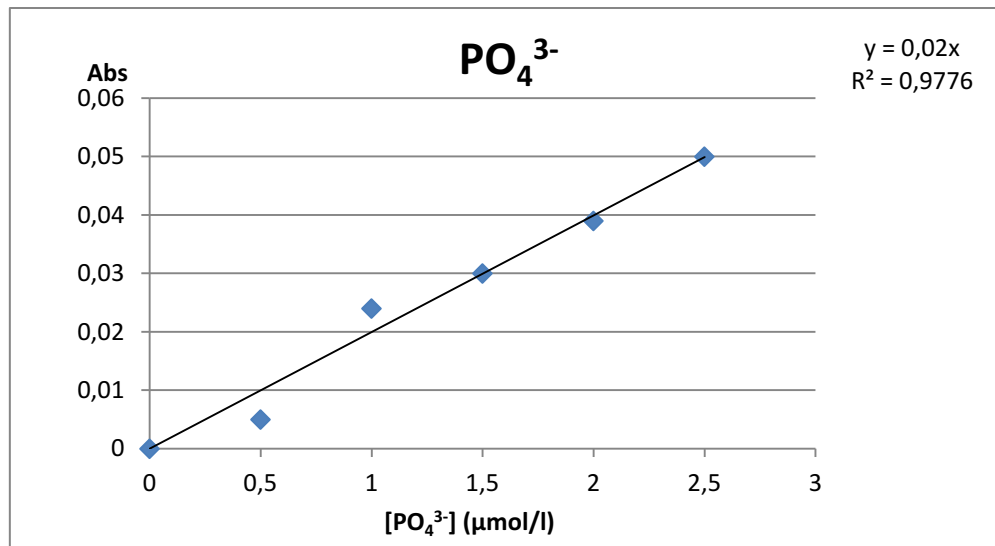
Cette solution se conserve quelques jours au réfrigérateur.

#### **• Procédure générale de dosage**

En application au protocole de dosage des orthophosphates selon la méthode de Murphy et Riley, nous ajoutons à 50ml de chaque étalon, 5ml du réactif précédemment préparée,

Attendons 5 minutes puis mesurons leur absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre (réglé à la longueur d'onde de 885nm)

Soit la droite d'étalonnage Figure (V.3)



**Figure (V.3) :** la courbe d'étalonnage des orthophosphates.

On procède la même méthode pour l'analyse des échantillons.

## 5). Dosage des silicates

### ➤ Principe

L'analyse est effectuée selon la méthode de Mullin et Riley (1955) adaptée par Strickland et Parson (1972). Le dosage est fondé sur la formation du complexe silicomolybdique qui après réduction donne une coloration bleu intense.

### ➤ Mode opératoire

- Préparation des réactifs
- Réactif I : réactif au molybdate

Pour 500 ml de réactif :

Dissoudre 4g de paramolybdate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  en poudre dans environ de 300 ml d'eau distillée.

Ajouter 12 ml d'acide chloridrique concentré ( $d = 1,18$ ) mélanger et compléter jusqu'à 500ml avec de l'eau distillée.

- Solution de métol-sulfite

Dans 500 ml d'eau distillée

Dissoudre 6 g de sulfate de sodium anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et ajouter 10 g de métol (sulfate de p-méthylaminophenol,  $\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_6\text{S}$ ).

- Solution saturée d'acide oxalique

Agiter 50 g d'acide oxalique  $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$  avec 500 ml d'eau distillée, laisser décanter et prendre le surnageant.

- Solution d'acide sulfurique

Ajouter avec précaution et en mélangeant au fur et à mesure 250 ml d'acide sulfurique concentré de ( $d= 1,84$ ) à 250 ml d'eau de distillée.

- Réactif II : réducteur

Ce réactif est obtenu en mélangeant les réactifs ci dessus dans les proportions suivantes :

- 100 ml de solution de méthol-sulfite.
- 60 ml de solution d'acide oxalique.
- 60 ml d'acide sulfurique.

Compléter avec de l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution

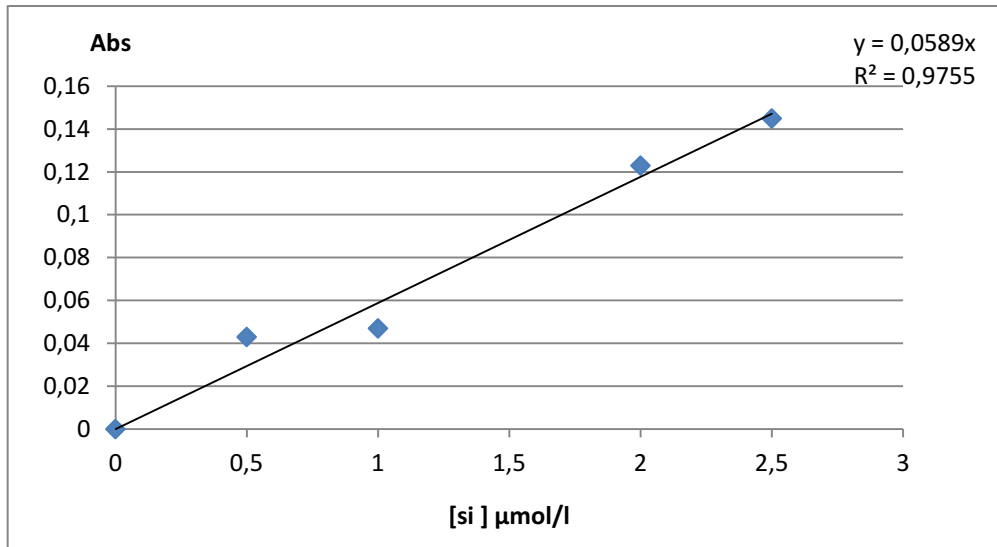
Cette solution est préparée juste avant utilisation et ne se conserve pas.

- **Procédure général d'analyse**

- Introduire dans une éprouvette de 50 ml, 10ml de réactif I
- Ajouter à l'aide d'une pipette 25 ml de la solution à analyser (étalon ou échantillon), mélanger et laisser 10 minutes mais pas plus de 30 minutes.
- Ajouter rapidement le réactif II pour compléter à 50 ml et mélanger aussitôt
- Attendre de 2 à 3 heures et faite la lecture de l'absorbance à  $\lambda= 810$  nm.

- **Etalonnage**

On trace la droite d'étalonnage  $Abs = f ( C )$  à partir des résultats obtenus de l'analyse des échantillons. Figure (V.4)



**Figure (V.3)** : la courbe d'étalonnage des silicates.