

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : *Environnement marin*

**Thème :**

*Etude des caractéristiques physicochimiques et  
bactériologiques des eaux de mer et des sédiments dans le port  
de plaisance de « Sidi Fredj », en vue d'une immersion.*

Présenté par :

- M<sup>elle</sup> BOUAZIZ Thanina
- Mr DJERRAI Nouredine

Soutenu le 29/07 /2010 devant le jury suivant :

Mr REFES W.	ENSSMAL	Président
M <sup>elle</sup> AMROUCHE L.	ENSSMAL	Promotrice
M <sup>me</sup> HALLADJ F.	Univ. M'hamed Bougara	Examinatrice
Mr DRICHE M.	ENSSMAL	Examineur
Mr BACHOUCHE S.	ENSSMAL	Examineur

## Remerciements

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à M<sup>elle</sup> *AMROUCHE L.*, notre promotrice de nous avoir initié à la recherche, ainsi que pour ses excellents conseils, critiques et suggestions qui nous ont été d'une grande utilité.

Nous tenons à remercier vivement Mr *REFES W.*, enseignant à l'ENSSMAL, pour l'intérêt qu'il porte à ce travail et pour nous avoir témoigné sa confiance en acceptant de présider la commission d'examen. Nous remercions également les membres de jury pour avoir accepté de participer à la soutenance de ce mémoire: M<sup>me</sup> Halladj F. ; enseignante à l'université de Boumerdès, Mr *Driche M.*, enseignant à l'ENSSMAL, malgré leurs obligations ont tenus à examiner ce travail, Mr *Bachouche S.*; enseignants à l'ENSSMAL, qui tout au long de notre travail, n'a cessé de nous fournir tous les éléments, conseils et orientations nécessaires pour mener à terme notre étude, qu'ils trouvent dans ces lignes le témoignage de notre respectueuse reconnaissance.

Nous tenons par ailleurs à exprimer notre haute considération et sincères remerciements à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'ESSMAL, le personnel de la bibliothèque et navigateurs du port de Sidi Fredj, pour leur précieuse aide.

Sans oublier *Moustapha*, qui nous a été d'un grand secours, lors de nos manipulations, et pour ses nombreux services, sa disponibilité et sa serviabilité.

Nos reconnaissances à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce modeste mémoire, en particulier nos familles respectives qui nous ont soutenu moralement tout au long de notre parcours universitaire.

# Sommaire

## Introduction

## Liste des abréviations

## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Chapitre I. Généralités

I.1. Définition de la pollution marine.....	1
I.2. Les différents types de pollution .....	1
I.3. Les descripteurs de l'eau de mer .....	1
I.3.1. Les paramètres physico-chimiques .....	1
I.3.1.1. La température.....	2
I.3.1.2. La salinité .....	2
I.3.1.3. Le potentiel d'Hydrogène.....	2
I.3. 1.4. La conductivité.....	2
I.3. 1.5. L'oxygène dissous .....	2
I.3.1.6. La demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	3
I.3.1.7. Les matières en suspension .....	3
I.3.1.8. La matière organique.....	3
I.3. 2. Paramètres microbiologiques.....	3
I.3. 2.1. Germes témoins de contamination fécale.....	3
I.3. 2.1.1. Les Coliformes totaux .....	3
I.3. 2.1.2. Les Coliformes fécaux « thermotolérants ».....	4
I.3. 2.1.3. Les Streptocoques fécaux.....	4
I.3. 2.2. Germes pathogènes .....	4
I.3. 2.2.1. Les Salmonelles.....	4
I.3. 2.2.2. Les Vibrions .....	4
I.3. 2.2.3. Les Staphylocoques.....	5
I.3. 2.2.4. Les Clostridium sulfito-réducteurs.....	5
I.3. 2.3. Les champignons « mycètes ».....	5
I.3. 2.3.1. Les moisissures.....	5
I.3. 2.3.2. Les levures .....	5
I.3. 3. Autres paramètre biologiques.....	6
I.3. 3. 1. La chlorophylle .....	6
I.3. 3. 2. Les phéopigments .....	6
I.3. 4. Polluants chimiques .....	6
I.3. 4. 1. Les métaux lourds .....	6
I.3. 4. 1.1. Définition et classification des métaux .....	6
I.3. 4. 1.2. Origine des métaux dans l'environnement marin .....	6
I.3. 4. 1.3. Propriétés physico-chimiques des métaux étudiés.....	7
a) Le plomb (Pb) .....	7
b) Le cadmium (Cd) .....	7
c) Le mercure (Hg).....	7
I.3. 4. 2. Les hydrocarbures totaux (HCT).....	8
I.3. 4. 2.1. Présentation.....	8

I.3. 4. 2.2. Les classes principales d'hydrocarbures .....	8
I.3. 4. 2.3. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin .....	8
I.3.4. 2.4. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer .....	9
I.3. 4. 3. Les sels nutritifs.....	9
I.3. 4. 3.1. Origines des sels nutritifs .....	9
I.3. 4. 3.2. Différentes formes de sels nutritifs.....	10
I.3. 4. 3.2.1. L'Azote .....	10
I.3. 4. 3.2.2. Les phosphates .....	11
I.3. 4. 3.2.3. La silice dissoute.....	11
I. 4. Le dragage.....	12
I. 4.1. Définition.....	12
I. 4.2. Accès au dragage.....	12
I. 4.3. Type des dragages .....	12
I. 5. Définition de l'immersion.....	12
I. 5.1. Réglementation sur l'immersion des produits de dragage.....	13
I. 5.1.1. Dispositions internationales.....	13
I. 5.1.2. Dispositions régionales.....	13
I. 5.1.3. Dispositions nationales.....	13
<b>Chapitre II. Matériel et méthodes</b>	
II. Matériel et méthodes.....	15
II.1. Présentation de la zone d'étude.....	15
II.1.1. Situation géographique.....	15
II.1.2. Description du port de sidi Fredj.....	15
II.1.3. Sources de pollution dans le port.....	16
II.1.4. Localisation des points de prélèvement .....	16
II.2. Travail réalisé en mer : Prélèvement des échantillons et mesure des paramètres physico-chimiques .....	18
II.2.1. Prélèvement des échantillons.....	19
II.2.1.1. Prélèvement d'eau.....	19
II.2.2.2. Prélèvement de sédiment.....	19
II.2.2.3. Prélèvement des oursins.....	19
II.3. Travail réalisé au laboratoire .....	19
II.3.1. Mesure des autres paramètres.....	19
II.3.1.1. Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	19
II.3.1.2. Mesure de la matière en suspension (MES) .....	20
II.3.1.3. La matière organique particulaire (MOP) .....	20
II.3.1.4. Dosage de la chlorophylle <i>a</i> par spectrophotométrie.....	21
II.3.2. Analyse des paramètres chimiques .....	21
II.3.2.1. Dosage des sels nutritifs .....	21
II.3.2.1. 1. Méthode d'analyse .....	21
II.3.2.1. 2. Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	22
II.3.2.1. 3. principe de dosage de l'azote nitreux (NO <sub>2</sub> ).....	22
II.3.2.1. 4. Principe de dosage de l'azote nitrique (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	22

II.3.2.1. 5. Principe de dosage du phosphore.....	22
II.3.2.1. 6. Principe de dosage des silicates ( $\text{SiO}_2^-$ ).....	22
II.3.2.2. Le dosage des métaux traces dans les sédiments superficiels.....	22
II.3.2.2.1. Traitement des sédiments .....	23
II.3.2.3. Analyse des hydrocarbures totaux.....	24
II.3.2.4. Analyse granulométrique .....	24
II.3.2.5. Matière organique dans le sédiment.....	25
II.3.3. Analyse microbiologique.....	27
II.3.3.1. Analyse bactériologique de l'eau de mer.....	27
II.3.3.1.1. Dénombrement des coliformes, des streptocoques fécaux et des staphylocoques....	27
II.3.3.1.2. Dénombrement des germes sulfitoréducteurs .....	28
II.3.3.1.3. La recherche des Salmonelles et les Vibrions.....	28
II.3.3.2. Dénombrement et recherche de la flore contenue dans les oursins .....	28
II.3.3.3. Recherche et numération des bactéries dans les sédiments .....	30
II.3.3.3.1. Numération des coliformes totaux et des coliformes fécaux .....	30
II.3.3.3.2. Numération des streptocoques fécaux .....	30
II.3.3.3.3. Dénombrement des anaérobies sulfitoréductrices (ASR).....	30
II.3.3.3.4. recherches des salmonelles et des vibrions .....	30
II.3.3.4. Techniques de caractérisation et d'identification de quelques bactéries .....	42
a- Protocole de la coloration de Gram.....	42
b- Test de la catalase.....	42
c- Test d'oxydase .....	42
d- Identification par la méthode des galeries API .....	42
<b>Chapitre III. Résultats et discussion</b>	
III. Résultats et discussion .....	43
III. 1. Variation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du port de Sidi Fredj et de la plage Est.....	43
III. 1.1. Variation des paramètres physico-chimiques .....	43
III. 1.1.1. La Température .....	43
III. 1.1.2. La Salinité .....	
III. 1.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (pH).....	44
III. 1.1.4. L'Oxygène dissous .....	45
III. 1.1.5. La $\text{DBO}_5$ .....	46
III. 1.1.6. Les matières en suspension (MES).....	46
III. 1.1.7. La matière organique (MO).....	47
III. 1.1.8. Les Sels nutritifs .....	47
III. 1.1.8.1. L'azote ammoniacal .....	47
III. 1.1.8.2. Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	48
III. 1.1.8.3. Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....	48
III. 1.1.8.4. Les orthophosphates .....	49
III. 1.1.8.5. Les silicates .....	50
III. 1.1.9. La Chlorophylle <i>a</i> et les phaéopigments.....	50
III. 1.1.10. Etude comparative des paramètres physico-chimiques des eaux du port de Sidi Fredj avec les données antérieures.....	51

III. 1.2. Evaluation des paramètres bactériologiques des eaux.....	52
III. 1.2.1. Résultats de recherche et de dénombrement des germes indicateurs de la pollution ..	52
III. 1.2.1.1. Les Coliformes totaux .....	52
III. 1.2.1.2. Les Coliformes thermotolérants « Fécaux ».....	53
III. 1.2.1.3. Les Streptocoques fécaux.....	54
III. 1.2.1.4. Les Staphylocoques .....	54
III. 1.2.1.5. Les Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR).....	55
III. 1.2.1.6. Etude comparative des paramètres bactériologiques des eaux du port de Sidi Fredj avec les données antérieures.....	56
III. 1.2.2. Résultats d'identification des germes pathogènes.....	56
III. 1.2.2. 1. Les entérobactéries .....	56
III. 1.2.2.1.1. Les salmonelles .....	56
III. 1.2.2.1.2. Les vibrionacées .....	57
III. 1.3. Résultats des analyses des sédiments du port de Sidi Fredj .....	59
III. 1.3.1. Analyse granulométrique des sédiments.....	59
III. 1.3.1.1. La fraction fine (pélites).....	59
III. 1.3.1.2. La matière organique dans le sédiment.....	59
III. 1.3.1.3. Courbes cumulatives .....	60
III. 1.3.2. Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj.....	63
III. 1.3.2.1. Le Plomb .....	64
III. 1.3.2.2. Le Cadmium (Cd) .....	65
III. 1.3.2.3. Le Mercure (Hg).....	66
III. 1.3.2.4. Etude comparative.....	68
III. 1.3.3. Concentration des hydrocarbures totaux dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.....	69
III. 1.3.4. Evaluation des paramètres bactériologiques des sédiments .....	69
III. 1.3.4.1. Résultat de recherche et estimation des germes indicateurs de la pollution .....	71
III. 1.3.4.1.1. Les coliformes totaux, fécaux et les streptocoques fécaux.....	71
III. 1.3.4.2. Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs (ASR) au niveau des sédiments..	72
III. 1.3.5. Profils biochimiques de quelques bactéries identifiées grâce à la galerie biochimique API20E.....	73
III. 1.3.6. Evaluation des paramètres bactériologiques des oursins .....	75

## **Conclusion**

## **Références bibliographiques**

## **Les annexes**

## Liste d'abréviation

- **AFNOR** : Association Française de NORmalisation
- **AIEA** : Agence International de l'Atome et de l'Energie
- **ASR** : Anaérobies Sulfito-Réducteurs
- **CEAEQ** : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec
- **CF** : Coliformes Fécaux
- **CT** : Coliformes Totaux
- **DM** : Dilution Mère
- **EDS** : Eau Distillée Stérile
- **GSAMP**: Group of Scientific Aspects of Marine environmental Protection
- **ISO**: International Standard Organization
- **OMS**: Organisation Mondiale de la Santé
- **PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- **SF** : Streptocoques Fécaux
- **Staph** : Staphylocoques
- **WTW** : Wissenschaftliche Technische Workstätten

## Liste des figures

Figure 1 : Classification de la pollution marine.....	1
Figure 2: Situation géographique de la presqu'île de Sidi Fredj.....	15
Figure 3: Description du port de sidi Fredj.....	16
Figure 4: Localisation des stations de prélèvement d'eaux de mer pour les analyses bactériologiques et physico-chimiques.....	17
Figure 5: Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour les analyses bactériologiques et des métaux lourds.....	17
Figure 6: Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures totaux.....	18
Figure 7: Dispositif pour la mesure de la DBO <sub>5</sub> .....	19
Figure 8: Four à moufle.....	20
Figure 9: Le dispositif de tamisage des sédiments : Tamiseuse électrique.....	25
Figure 10: Modalité d'analyse granulométrique.....	26
Figure 11: Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.....	27
Figure 12: Technique de dénombrement des coliformes.....	31
Figure 13: Technique de dénombrement des streptocoques fécaux.....	32
Figure 14: Technique de dénombrement des staphylocoques.....	33
Figure 15: Technique de recherche des bactéries sulfiteoréductrices.....	34
Figure 16: Technique de recherche des salmonelles.....	35
Figure 17: Technique d'identification des salmonelles.....	36
Figure 18: Technique de recherche des vibrions.....	37
Figure 19: Technique d'identification des vibrions.....	38
Figure 20: Recherche et dénombrement des bactéries dans les oursins.....	39
Figure 21: Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures.....	40
Figure 22: Dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode des NPP dans les sédiments.....	41
Figure 23: Variation des moyennes de la température en fonction des stations.....	43
Figure 24 : Variation des moyennes de la salinité en fonction des stations.....	44
Figure 25 : Variation des valeurs moyennes du pH en fonction des stations.....	44
Figure 26: Variation des moyennes de L'oxygène dissous en fonction des stations.....	45
Figure 27 : Variation de la (DBO <sub>5</sub> ) en fonction des stations.....	46
Figure 28 : Variation des moyennes de la (mes) en fonction des stations.....	46
Figure 29 : Variation des moyennes des taux de matières organiques en fonction des stations.....	47
Figure 30 : Variation des moyennes des concentrations d' NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en fonction des stations.....	47
Figure 31 : Variation des concentrations moyennes des NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en fonction des stations.....	48
Figure 32 : Variation des moyennes de concentration des NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en fonction des stations.....	49
Figure 33 : Variation des moyennes de concentration des PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> en fonction des stations.....	49
Figure 34 : Variation des moyennes de concentration des NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en fonction des stations.....	50

Figure35 : Variations des moyennes de concentration de la <i>chlorophylle a</i> et les phaéopigments en fonction des stations.....	50
Figure36 : Variations des concentrations moyennes des coliformes totaux (CT) en fonction des stations. ....	53
Figure 37 : Variations des concentrations moyennes des coliformes fécaux (CF) en fonction des stations.....	53
Figure 38 : Variations des concentrations moyennes des streptocoques fécaux (SF) en fonction des stations.....	54
Figure 39 : Variations des concentrations moyennes des staphylocoques (Staph) en fonction des stations.....	55
Figure 40 : Variations des concentrations moyennes des anaérobies sulfitoréductrices (ASR) en fonction des stations.....	55
Figure 41: Variation du taux des pelites en fonction des stations.....	59
Figure 42: Variation du taux de matières organiques dans les sédiments en fonction des stations.....	59
Figure 43: Courbe cumulative et histogramme unimodale pour la station 1 .....	60
Figure 44 : Courbe cumulative et histogramme bimodale pour la station 2 .....	60
Figure 45: Courbe cumulative et histogramme plurimodales pour la station 3.....	61
Figure 46: Courbe cumulative et histogrammes plurimodales pour la station 4 .....	61
Figure 47: Courbe cumulative et histogramme unimodales pour la station 5.....	61
Figure 48: Courbe cumulative et histogramme unimodale pour la station 6.....	62
Figure 49 : Courbe cumulative et histogrammes unimodale pour la station 7 .....	62
Figure 50 : Courbe cumulative et histogrammes unimodale pour la station 8.....	62
Figure 51. Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj. ....	64
Figure 52 : Indice de contamination (IC) par le plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj . ....	65
Figure 53 : Variation des concentrations du Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj. ....	65
Figure 54 : Indice de contamination (IC) par le Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.....	66
Figure 55 : Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.....	66
Figure 56: Indice de contamination (IC) par le mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj .....	67
Figure 57 : Concentration moyenne du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj .....	68
Figure 58 : Concentration moyenne du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj .....	68
Figure 59 : Concentration moyenne du Cd dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj .....	69
Figure 60 : Variation des concentrations des hydrocarbures totaux dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj. ....	70

Figure 61 : Variation des concentrations des coliformes totaux (CT) dans le sédiment en fonction des stations. ....	71
Figure 62 : Variations des concentrations des coliformes fécaux (CF) dans le sédiment en fonction des stations. ....	71
Figure 63 : Variation des concentrations des streptocoques fécaux (SF) dans les sédiments en fonction des stations. ....	72
Figure 64 : Variations des concentrations des anaérobies sulfitoréductrices (ASR) en fonction des stations. ....	73
Figure 65 : Auto-analyser SAN Plus Système de marque SKALAR, 1998. (annexe I)	

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats moyennes des paramètres physicochimiques enregistrés au niveau du port de Sidi Fredj.....	51
Tableau 2: Teneurs moyennes des eaux des ports de Sidi fredj ,Marseille et d'Annaba en sels nutritifs.....	52
Tableau 3 : Tableau comparatif des résultats moyens d'analyse bactériologique.....	56
Tableau 4 : Profil morphologique et biochimique de quelques bactéries identifiées (Cocci, Gram+).....	57
Tableau 5: Profil morphologique et biochimique de quelques entérobactéries identifiées (Bacilles, Gram-).....	58
Tableau 6 : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises.....	63
Tableau 7: Valeurs de l'indice de contamination (IC) .....	64
Tableau 8 : Qualité bactériologique des oursins.....	76

### Annexe III

Tableau 9 : Nombre le plus probable (NPP) dans le cas du système a trois tubes

### Annexe III

Tableau 10 : Résultats des paramètres physico-chimiques

Tableau 11: Coordonnées géographiques des stations de prélèvement d'eau de mer.

Tableau 12 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures

Tableau 13 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse bactériologiques, des métaux lourds et granulométriques.

Tableau 14 : Les concentrations moyennes des paramètres bactériologiques dans l'eau enregistrées au niveau des stations

Tableau 15 : Taux de pérites pour chaque station (%) dans le port de Sidi Fredj.

Tableau 16 : Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau du la zone d'étude.

Tableau 17 : Principaux critères de qualité des eaux de baignade (Extrait de l'annexe 1 du décret n° 93-164 du 10 juillet 1993)

Tableau 18 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (journal officiel de la république algérienne N°26 : 24Rabie Elaouel 427 23avril 2006)

# Introduction

## Introduction

Les zones côtières sont le lieu d'activités multiples parmi lesquelles la navigation tient une place importante. Les ports de commerce, de plaisance et de pêche jouent un rôle vital pour les économies régionales, nationales voire internationales.

Les structures portuaires sont le plus souvent établies dans des zones où la profondeur d'eau est relativement faible, où il est alors indispensable de réaliser des dragages pour restaurer des seuils acceptables pour la navigation.

Cependant, les opérations de dragage engendrent un volume considérable de sédiments remaniés et entraînent des modifications notables sur l'environnement marin ainsi que la dispersion des contaminants transportés par les courants, qui peuvent s'accumuler dans des zones qui n'étaient pas contaminées auparavant.

Dans de nombreux pays, l'impact des dragages et des immersions dans l'environnement reste une préoccupation constante des autorités portuaires et des pouvoirs publics. Différentes méthodes pour apprécier les risques potentiels sont utilisées. Elles consistent d'abord à faire référence à des critères de qualité des sédiments déterminés par des seuils acceptables pour différents contaminants.

En Algérie, les opérations de dragage sont du domaine du ministère des travaux publics. Du point de vue réglementaire, les lignes directrices pour l'immersion des déblais de dragages sont fixées au niveau international par la convention d'Oslo.

Le port de Sidi Fredj est le seul port de plaisance en Algérie., mais malheureusement, il souffre d'ensablement. Les derniers travaux de dragage remontent en 2003, alors qu'ils doivent être effectués théoriquement tous les 03 ans.

Ce petit port n'arrive plus à faire face à l'afflux des bateaux de plaisance. Alors qu'il dispose de 400 places, plus de 600 bateaux y sont actuellement amarrés.

D'après les navigateurs du port de Sidi Fredj, certaines embarcations (surtout en ce qui concerne les bateaux de plaisance) ne peuvent pas manœuvrer dans de bonnes conditions dans le bassin portuaire vue la faible épaisseur de tranche d'eau, surtout au niveau de la passe d'entrée qui ne dépasse pas les 02 mètres.

En effet, la configuration du port par rapport aux différentes houles ne permet pas la sortie des eaux et des sédiments du port, ce qui explique l'ensablement permanent de la passe d'entrée. Un reniflard situé à l'opposé de la passe permet l'aération des eaux du port.

Il est à noter que les sédiments de dragage de 2003 (noirâtres et pollués) ont été déposés sur la plage Est à raison de 5000m<sup>3</sup> puis aplanis , se sont déplacés vers la passe d'entrée 2 mois après leur mise en dépôt .

A cela s'ajoute le déversement direct des eaux pluviales et de ruisselllements dans le port .

Dans ce constat, il nous est apparu intéressant de faire un état des lieux avant les travaux de dragage prévus avant la fin 2010, et évaluer les risques que peuvent présenter ces sédiments durant le dragage lui-même et si toutefois il y aurait une immersion.

Pour cela des analyses physicochimiques, chimiques et, bactériologiques des eaux, des sédiments et des oursins ont été réalisées à travers une campagne de prélèvement ayant lieu du mois de mars au mois de mai de l'année en cours.

Pour l'analyse de l'eau, le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale a été effectué par la technique de filtration sur membrane. Nous avons également recherché la présence des germes pathogènes à savoir les Salmonelles, les Vibrions, les Staphylocoques et les sulfitoréducteurs. En plus des paramètres physicochimiques effectués in situ, nous avons procédé au dosage des sels nutritifs et de la chlorophylle.

En ce qui concerne la deuxième matrice « les sédiments », l'évaluation de la qualité bactériologique a été réalisée par la méthode de dénombrement en tubes multiples. Nous avons aussi évalué leur contamination par les métaux lourds et les hydrocarbures.

Quant à la troisième matrice « les oursins », nous nous sommes contentés des analyses microbiologiques.

Enfin, sur la base des données et des résultats recueillis nous espérons pouvoir conclure sur la présence ou pas de charge polluantes au niveau des trois matrices analysées, afin d'apporter des réponses aux questions posées, à savoir la qualité des sédiments à draguer et leur devenir.

# Généralités

## I.1. Définition de la pollution marine

Selon l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP, 1984), on entend par pollution du milieu marin: *"l'introduction, directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) lorsqu'elle a des effets nuisibles, tels que dommages aux ressources vivantes, risques pour la santé humaine, entrave aux activités marines incluant la pêche, altération de la qualité des eaux au regard des usages, et dégradation des valeurs d'agrément."*

Il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de la pollution en fonction de sa nature.

## I.2. Les différents types de pollution

Il existe deux principaux critères utilisés pour classer les polluants en milieu marin. Il s'agit de son origine (urbaine, industrielle et agricole) et de sa nature (chimique, biologique ou physique). (Galaf et Ghannam, 2003) (figure.1).

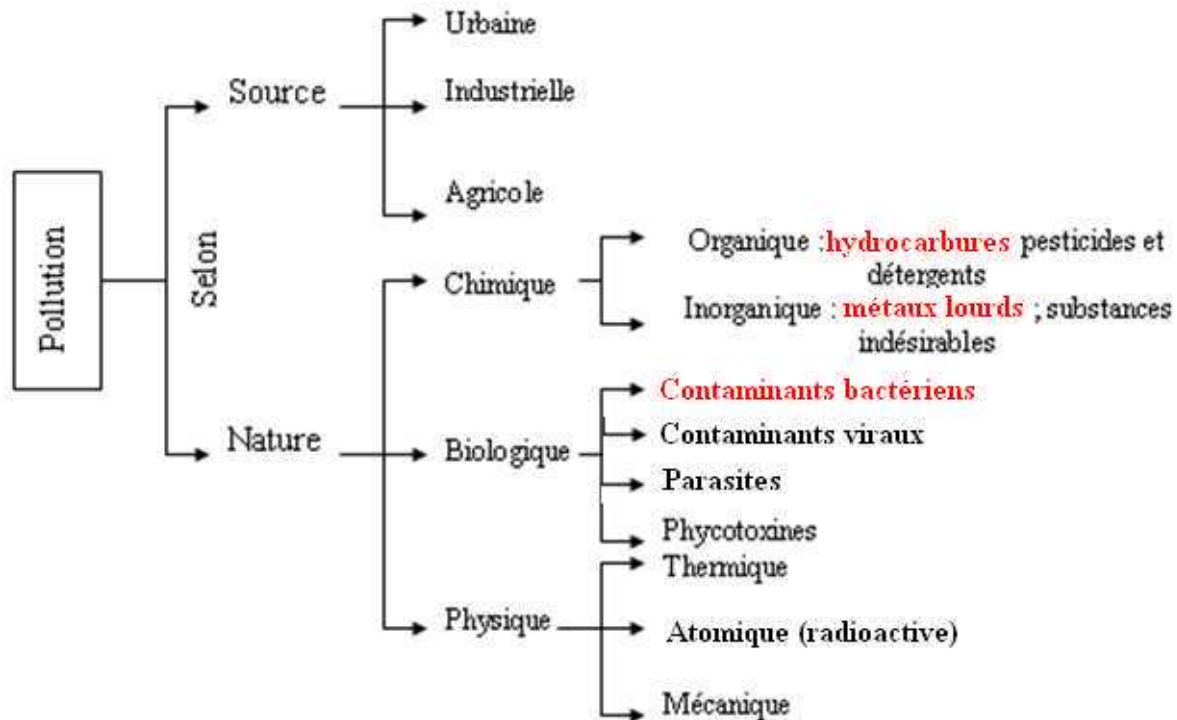


Figure 1 : Classification de la pollution marine. (Taieb Errahmani, 2009), (modifiée).

## I.3. Les descripteurs de l'eau de mer

### I.3.1. Les paramètres physico-chimiques

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. L'étude de la pollution consistera donc à mesurer, par des analyses, ces caractéristiques. Ce sont des paramètres facilement mesurables en continu par des sondes et qu'il est généralement utile de les connaître (Gaujous, 1995).

### I.3.1.1. La température (T)

C'est un facteur écologique important. Il conditionne la nature des communautés aussi bien terrestres qu'aquatiques, ainsi que leurs caractères de leur développement (**Ramade, 2000**).

Dans les océans, la température décroît de la surface vers le fond. Elle varie en fonction des autres descripteurs physico-chimiques. Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tels que : la saturation des gaz dissous, la mesure du pH (**Aminot et Kérouel, 2004**).

### I.3.1.2. La salinité (S)

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (**Aminot et Kérouel, 2004**).

Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer, elle peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**Rodier et al. 2005**). En méditerranée, elle est voisine de 38 à 39 PSU, mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

### I.3.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est relatif à la concentration en ion hydrogène ( $H^+$ ) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Cette notion est définie par Sorensen (1909) comme le logarithme décimal de la concentration en ion  $H^+$  ( $pH = -\log [H^+]$ ). L'eau de mer est moins sensible aux variations du pH grâce à l'effet tampon des sels dissous, le pH en surface est proche de 8,1 et descend à 7,7 en eau profonde (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Sa modification est due aussi à des facteurs physiques (échanges air-mer, la température), et chimiques, des rejets industriels ou des rapports d'eaux continentales à pH acide. Celui de l'eau de mer est proche de 8,2, essentiellement fixe par la présence des carbonates  $CO_2.HCO_3^- .CO_3^{2-}$ . (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

En milieu fermé ou semis-fermé (estuaires, baies, ports), le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou atteindre des valeurs plus acides (**Lefebvre et al, 1993**).

### I.3. 1.4. La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (**Rodier et al., 2005**). La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous (**Aminot et Kérouel, 2004**), elle permet d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau (**Ramade, 2000**).

L'unité de conductivité est le micro-Siemens par centimètre ( $\mu S/cm$ ). La mesure absolue de la conductivité peut servir au calcul de la salinité, mais les conditions de mesure sont alors plus complexes. Dans ce cas, la conductivité d'un échantillon est déterminée par comparaison avec la conductivité d'une eau de mer standard (*eau de mer normale*) dont la salinité est de 35 ‰ (**Rodier et al., 2005**).

### I.3. 1.5. L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène présente dans l'eau à l'état dissous (**Ramade, 2000**). C'est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Les concentrations de l'oxygène dans l'eau de mer varient selon les profondeurs, la zone, la saison, cela est dû à ses différentes sources (atmosphère ou phénomène biologique). Dans les eaux de surfaces, ses teneurs sont proches de la saturation, elles sont influencées par

les échanges atmosphère – mer (Lefebvre et al., 1993). Ces concentrations augmentent avec l'activité photosynthétique, en revanche, elles sont faibles en profondeur, car l'oxygène est utilisé pour oxyder la matière organique (Aminot et Chaussepied, 1983).

#### **I.3.1.6. La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO constitue une mesure de la pollution des eaux par les matières organiques. Elle s'exprime en milligramme d'oxygène par litre, On la mesure dans des tests normalisés après 5 jours d'incubation, d'où le terme de la DBO<sub>5</sub>. Elle désigne la quantité d'oxygène nécessaire à l'action des bactéries aérobies pour oxyder les matières organiques fermentescibles par voie biologique (Ramade, 2000).

#### **I.3.1.7. Les matières en suspension (MES)**

La connaissance des teneurs en matière en suspension est importante pour l'étude des milieux aquatiques. Elle représente la fraction de matières particulaires organique et inorganique entraînées passivement par les mouvements d'eaux (Aminot et Chaussepied, 1983), et dont la taille serait supérieure à 0,5µm (Strickland et Parsons, 1972 in Aminot et Chaussepied, 1983).

Selon la nature des côtes et du fond marin, les matières en suspension peuvent être des sels minéraux précipités, des sédiments, des fragments minéraux, des squelettes planctoniques, ou encore des organismes vivants servant de nutriments aux organismes filtreurs tels que les moules et les bivalves (Lefebvre et al., 1993).

#### **I.3.1.8. La matière organique (MO)**

C'est un ensemble des substances organiques existant à l'état dissous ou particulaire dans les biotopes aquatiques. Les matières organiques sont à la fois présentes dans les eaux et les sédiments (Ramade, 2000).

Le taux de matières organiques est en moyenne de 45 mg/l en zone marine côtière libre. Il augmente cependant de 29 % par rapport à cette valeur dans les enceintes portuaires sans égouts et de 53 % dans celles où existent un ou plusieurs rejets d'eaux résiduaires (Aubert et al., 1972).

### **I.3. 2. Paramètres microbiologiques**

#### **I.3. 2.1. Germes témoins de contamination fécale**

##### **I.3. 2.1.1. Les Coliformes totaux (CT)**

Ils regroupent un certain nombre d'espèces appartenant à la famille des Entérobactereaceae. Selon la définition (ISO), ce sont des bacilles à Gram négatif, non sporulant, anaérobie facultatif, oxydase négative. Ils peuvent croître en présence des sels biliaires et sont capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acides et d'aldéhydes en 48 heures à des températures de 35 à 37°C.

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux) sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, sont importants pour la vérification de l'efficacité d'un traitement d'un désinfectant mais il est d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale (Rodier et al., 2005).

Les Coliformes totaux constituent un groupe de bactéries très hétérogènes, le plus souvent présentes en grand nombre dans les excréments animaux et humains mais dont certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale et peuvent proliférer dans les sols ou dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2005.a).

Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia*.

### **I.3. 2.1.2. Les Coliformes fécaux « thermotolérants » (CF)**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (CEAEQ, 2005.b).

La recherche des coliformes thermotolérants est très importante car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent de très bons indicateurs de pollution d'origine fécale. Leur densité est proportionnelle au degré de la pollution et leur suivie dans l'environnement est également équivalente à celle des pathogènes (Rodier et al., 2005).

Les coliformes fécaux répondent aux critères de bons indicateurs, la principale difficulté qui s'attache à leur emploi, est la survie relativement courte en eau de mer, ce qui peut exiger un recours à des indicateurs supplémentaires (PNUE/OMS, 1977).

### **I.3. 2.1.3. Les Streptocoques fécaux (SF)**

L'expression « streptocoques fécaux » regroupe toutes les bactéries à Gram positif de forme cocci sphériques légèrement ovales, catalase négative (PNUE/OMS, 1977).

Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chainettes (Leclerc et al., 1995). Ils peuvent se multiplier dans des milieux présentant des pH allant jusqu'à 9,6. On peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire aux pH élevés (OMS, 1977).

Ils regroupent l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teïchoïque) antigénique caractéristique du groupe D de la classification de Lancefield, tels que: *Enterococcus faecalis*, *E.faecium*, *E.durans*, *E.hirae*, *Streptococcus peals*, *S.buis* et *S. equines*.

Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (Rodier et al., 2005).

Les dénombrements des streptocoques fécaux présumés sont rarement effectués indépendamment des dénombrements des coliformes.

## **I.3. 2.2. Germes pathogènes**

### **I.3. 2.2.1. Les Salmonelles**

Elles sont de la famille des Entérobactereaceae, Gram négatif, aéro-anaérobies facultatifs, sous forme de bâtonnet. Tous les produits d'origine animale sont susceptibles de contenir des salmonelles. Ce sont des microorganismes non sporulant, habituellement mobiles grâce à des flagelles péritriches ou immobiles, mésophiles avec une température optimale de croissance de 37°C. Les salmonelles fermentent le glucose, le maltose et le mannitol, avec production de gaz, mais elles ne fermentent pas le saccharose. Elles réduisent le sulfite en sulfure et décarboxylent la lysine (Bourgeois, 1990).

Dans le milieu marin, les exutoires d'eaux usées constituent la principale source de pollution par les salmonelles (Leclerc et al., 1995).

### **I.3. 2.2.2. Les Vibrions**

Les vibrions appartiennent à la famille des Vibrionaceae, elle comprend des bacilles à Gram négatif qui sont soit mobiles par une ciliature polaire, péritriche, ou bien immobiles. Ils sont oxydases positives, réduisent les nitrates et dégradent des glucides par métabolisme fermentatif. Au sein de cette famille, on distingue 4 genres : *Vibrio*, *Aeromonas*, *Plesiomonas* et *Photobacterium*.

Les bactéries du genre *Vibrio* sont des bacilles incurvés ou droits, mobiles grâce à un flagelle polaire, basophiles, oxydase positive, ils présentent une importance particulière dans

la contamination des eaux et des fruits de mer. La plupart des vibrions sont d'origine marine, ils ne se multiplient qu'en présence de NaCl. On distingue une trentaine d'espèces différentes, les plus importantes qui sont réputées pathogènes pour l'homme sont : *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae* et *V. vulnificus* (Singleton et Sainsbury, 1984).

### I.3. 2.2.3. Les Staphylocoques

Ces bactéries appartiennent à la famille des Micrococcaceae, Ce sont des cocci à Gram positif arrangés en paires, en tétrades ou en grappes. Ils sont immobiles, aérobies ou anaérobies facultatifs, asporulés et catalases positives. Il existe de nombreuses espèces commensales de l'homme ; mais certaines sont potentiellement pathogènes. En effet, dans certaines conditions de fragilisation des défenses naturelles, elles peuvent provoquer diverses infections de gravité variable. Présents dans l'eau en particulier dans les piscines *Staphylococcus aureus* est responsable d'affections cutanées et d'intoxications (Gaujous, 1995, Ramade, 1999, et Rodier et al., 2005).

L'espèce *Staphylococcus aureus* ou « staphylocoque doré » possède toutes ces caractéristiques, ajoutant à cela qu'elle est coagulase positive. Elle revêt plus d'intérêt quant à la pollution des eaux littorales et des fruits de mer.

Il est à noter que les staphylocoques sont ubiquistes, très largement distribués dans l'environnement. Deux autres espèces : *S. epidermidis* et *S. saprophyticus*, sont assez fréquemment rencontrées dans l'eau, mais leur pouvoir pathogène est moins important (Leclerc et al., 1995).

### I.3. 2.2.4. Les Clostridium sulfite-réducteurs

Ce sont des Bacilles Gram positif, anaérobies, sporulants, mobiles par ciliatures péritriches, ne possèdent aucun caractère halophile préférentiel particulier (Brisou et Denis, 1980).

Les Clostridium sont recherchés dans l'eau comme témoins de contaminations fécales fréquentes et très résistantes, mais leur spécificité est discutable car il existe des Clostridium d'origine tellurique (Gaujous, 1995).

Les toxines produites par ces bactéries, qui ne sont généralement pas détruites par les enzymes du système digestif, provoquent de violentes douleurs abdominales accompagnées de vomissements et attaquent le système nerveux central en bloquant l'influx nerveux.

## I.3. 2.3. Les champignons « mycètes »

### I.3. 2.3.1. Les moisissures

Ce sont des thalles constitués de longs filaments de cellules reliées les unes aux autres, qu'on appelle les hyphes. Les moisissures sont capables de vivre dans des habitats où ne peuvent survivre des bactéries grâce à la rigidité des hyphes qui contiennent de la chitine. Quand les conditions du milieu le permettent, les hyphes grandissent pour former une masse filamenteuse « mycélium » visible à l'œil nu (Hart et Shears, 1999 et Gérard et al., 2003).

### I.3. 2.3.2. Les levures

Ce sont des mycètes unicellulaires, non filamenteux qui sont généralement sphériques ou ovales. Comme les moisissures, les levures sont très répandues dans la nature, elles se présentent souvent sous forme de poudre blanche.

Une cellule mère de levure se reproduit par bourgeonnement et est capable de croissance anaérobies facultative (Hart et Shears, 1999 et Gérard et al., 2003).

### I.3. 3. Autres paramètre biologiques

#### I.3. 3. 1. La chlorophylle

La chlorophylle est un pigment indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles *a*, *b*, *c*<sub>1</sub>, *c*<sub>2</sub> et *d*. La chlorophylle *a* est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

#### I.3. 3. 2. Les phéopigments

Dans les milieux strictement marins, les phéopigments résultent du broutage et de la dégradation des cellules et, par conséquent, ne sont pas physiologiquement actifs.

La mesure des phéopigments est utilisée comme critère de l'état physiologique des populations phytoplanctoniques, plus la proportion de phéopigments est élevée par rapport à la chlorophylle *a*, plus les cellules algales sont vieilles, dégradées ou broutées par le zooplancton.

Les phéopigments sont rarement absentes dans les eaux côtières et toujours présentes en eaux estuariennes turbides. (**Aminot et Kérouel, 2004**).

### I.3. 4. Polluants chimiques

#### I.3. 4. 1. Les métaux lourds

##### I.3. 4. 1.1. Définition et classification des métaux

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm<sup>3</sup>. L'appellation métaux lourds est cependant une appellation courante qui n'a ni fondement scientifique, ni application juridique (**Miquel, 2001**).

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles (**Nriagu, 1989 et 1990; Blackmore, 1998; De Wolf et al., 2001 in El Namr et al., 2006**).

Dans l'eau de mer, les métaux peuvent se trouver à l'état ionique, dissous, en complexes colloïdaux, organométalliques ou adsorbés sur le matériel particulaire organique ou inorganique. Si les métaux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur concentration dépasse un seuil, lui-même fonction de l'état physico-chimique (spéciation) de l'élément considéré (**Taieb Errahmani, 2009**).

##### I.3. 4. 1.2. Origine des métaux dans l'environnement marin

Les métaux traces sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, à la fois parce qu'ils sont naturellement présents (**sources naturelles**) ou parce que certaines activités de l'homme favorisent leur dispersion (**source anthropique**).

###### ❖ Origine naturelle

- ✓ L'altération et le lessivage des roches terrestres contenant les métaux sous forme de trace ou concentrés en gisements économiques.
- ✓ Le volcanisme sous marin.
- ✓ Les sources hydrothermales sous marines.
- ✓ La dégradation de la matière organique (végétale, animale et fossile) contenant : Les métaux traces en concentration plus ou moins faibles.
- ✓ Les poussières cosmiques entrant dans la terre et précipitant dans l'océan.
- ✓ L'altération et la réaction avec les sédiments marins.

### ❖ Origine artificielle

Cette origine regroupe toutes les sources des métaux en relation avec les différentes activités humaines et on peut distinguer :

- ✓ Les eaux usées ménagères et industrielles et les sous produits industriels.
- ✓ La combustion de la matière organique végétale (incendies forestiers) et fossiles (pétrole et ses dérivés notamment les carburants).
- ✓ Les activités diverses de l'homme qui génèrent des déchets polluants et sources pour les métaux lourds dans la nature :
  - Exploitation des gisements miniers.
  - Navigation maritime et accidents en mer.
  - Activités portuaires, entretien et réparation navale.

### I.3. 4. 1.3. Propriétés physico-chimiques des métaux étudiés

#### a) Le plomb (Pb)

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

A peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier. Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe également en subsurface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (Cossa *et al.*, 1993 ; Marchand *et Kantin*, 1997).

#### b) Le cadmium (Cd)

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulaires se fait par filtration et ultrafiltration, dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille :

- Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres ( $\text{Cd}^{2+}$ ) et formées par des associations (complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques ;

- les formes colloïdales (de 1 à 450 nm) lorsqu'elles se fixent à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale ;

- les formes particulaires (> 0,45  $\mu\text{m}$ ) se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques, par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différentes fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matière organique, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse) (Gonzalez *et al.*, 1999 *in Casas*, 2005).

Le cadmium à l'état élémentaire n'est pas toxique pour les organismes vivants, mais le devient après ionisation en  $\text{Cd}^{2+}$ .

#### c) Le mercure (Hg)

Le mercure est un métal dont la dynamique dans l'environnement est conditionnée par trois propriétés fondamentales: **physique**, par sa volatilité à température ambiante ; **chimique**, par la stabilité de ses liaisons avec le carbone et le soufre ; **et biologique** par sa très forte bioconcentration et sa toxicité.

Les composés du mercure se divisent en deux classes chimiques principales: le mercure inorganique (incluant le mercure élémentaire) et le mercure organique (incluant le méthylmercure). C'est le seul métal liquide à température ambiante et le seul élément dont l'introduction dans le milieu marin par l'activité humaine ait entraîné la mort d'hommes.

Dans le sédiment marins non contaminés, les teneurs en mercure sont de l'ordre de 20 à 60 ng/g. (Cossa *et al.*, 1997).

### **I.3. 4. 2. Les hydrocarbures totaux (HCT)**

#### **I.3. 4. 2.1. Présentation**

Les hydrocarbures sont les composés organiques les plus simples, constitués de carbone et d'hydrogène essentiellement. Par contre, ils jouissent d'une grande importance commerciale : on les utilise comme carburants, comme combustibles, comme huiles lubrifiantes et comme produits de base en synthèse pétrochimique (Gaujous, 2005)

#### **I.3. 4. 2.2. Les classes principales d'hydrocarbures**

On distingue les hydrocarbures à chaîne ouverte (aliphatiques) et les composés cycliques. Dans les composés à chaîne ouverte contenant plusieurs atomes de carbone, ceux-ci sont reliés les uns aux autres pour former une chaîne ouverte pouvant présenter une ou plusieurs ramifications.

Dans les composés cycliques, les atomes de carbone forment un ou plusieurs cycles fermés.

Cependant, les principales familles d'hydrocarbures que l'on retrouve dans les pétroles et les produits raffinés sont :

- les hydrocarbures Aliphatiques ;
- les hydrocarbures naphéniques ;
- les hydrocarbures Aromatiques ;
- les asphaltènes ;
- les résines.

#### **I.3. 4. 2.3. Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin**

Les principales sources des hydrocarbures en mer sont :

##### **a) Sources naturelles**

Elles représentent les apports biogènes récents ou fossiles (pétroliers) qui sont le résultat d'activités sismiques et volcaniques sous marines, et les apports continentaux d'hydrocarbures d'origine naturelle (végétaux, feu de forêts,...), véhiculés par les fleuves, les rivières, les lessivages ou par voie atmosphérique (Sellali, 1996).

##### **b) Sources anthropogènes**

Elles sont caractérisées par des apports liés à l'activité humaine. Les sources anthropogènes sont diverses (Sellali, 1996):

##### **❖ Apports chroniques**

- Déversement de pétrole ;
- Activités industrielles (raffineries et industries pétrochimiques);
- Exploitation des gisements de pétrole en offshore.

##### **❖ Les rejets liés au trafic maritime**

- Opération des chargements ;
- Déchargement et déballastage des pétroliers ;
- Vidanges des eaux de cales et nettoyage des soutes.

#### ❖ Les rejets d'eau chargée en hydrocarbures résiduels

- issus des garages ;
- stations d'essences et;
- aérodromes...

#### I.3.4. 2.4. Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

Le comportement des hydrocarbures en mer peut être cité comme suis :

- Etalement
- Déplacement
- Evaporation
- Dissolution ou solubilisation
- Emulsification
- Oxydation et biodégradation
- Sédimentation

#### I.3. 4. 3. Les sels nutritifs

L'azote, le phosphore et le silicium sont indispensables à la nutrition des organismes. Ils sont appelés «éléments nutritifs».

Pour sa croissance, son développement et la formation de son squelette, le phytoplancton a besoin de sels nutritifs qu'il trouve dans le milieu marin sous forme dissoute ou particulaire. Ces sels sont essentiellement ceux de l'azote (15 %), du phosphore (3 %) et du silicium (Aubert *et al.*, 1972).

Les concentrations d'éléments nutritifs dans le milieu doivent répondre aux exigences du phytoplancton. Les faibles concentrations minimisent la photosynthèse, tandis que les excès provoquent une eutrophisation du milieu, qui se traduit par une importante croissance de certaines espèces phytoplanctoniques. On trouve alors en surface des concentrations qui peuvent aller de quelques micromoles à quelques dizaines de millimoles par litres (Aminot et Chaussepied, 1983). Par contre, dans les aires artificiellement endiguées, les processus d'eutrophisations s'altèrent et évoluent vers une dystrophie rapide et grave (déséquilibre nutritif).

#### I.3. 4. 3.1. Origines des sels nutritifs

Les sels nutritifs arrivent en milieu marin par diverses sources, on distingue des sources externes ainsi que des sources internes.

##### a) Sources externes

###### • Les rejets

Les rejets à charge polluante sont de multiples origines : agricole, industrielle ou domestique. Ces rejets contribuent à la dégradation du milieu marin, en agissant directement sur ses qualités physico-chimiques et sur l'écosystème.

Les activités agricoles sont une source préoccupante de pollution par les résidus d'engrais et de produits phytosanitaires essentiellement composés de phosphore, d'azote et de leurs dérivés.

###### • Les précipitations :

Les eaux de pluies lessivent les sols agricoles et créent des ruissellements qui rejoignent la mer et l'enrichissent ainsi en sels nutritifs entrant dans la composition des engrais et fertilisants. Les phosphates d'origine anthropique ont un temps de résidence de  $10^5$  années dans l'eau avant de sédimenter au niveau du substrat pour émerger plus tard suite à des mouvements tectoniques (Froelich *et al.*, 1982, in Bethoux et Copin-Montégut, 1988).

### b) Sources internes

La plus importante est l'activité biologique comprenant toutes les réactions biochimiques et autres (oxydation et dégradation), ayant lieu au niveau de la colonne d'eau.

Dans les zones oligotrophes, on note une diminution de concentration des sels nutritifs, ce sont des zones de faibles productions. Cela est le résultat selon (Minas et al., 1993) de la décomposition de la matière organique produite.

L'excrétion des niveaux trophiques supérieurs, ou encore la minéralisation bactérienne, sont des sources d'ammonium. En infimes quantités, les sédiments peuvent aussi rediffuser les sels nutritifs qui y sont immergés (Jacques et Treguer, 1986).

### I.3. 4. 3.2. Différentes formes de sels nutritifs

#### I.3. 4. 3.2.1. L'Azote

L'azote est un élément essentiel des structures vivantes, il est prélevé dans l'atmosphère par certaines bactéries capables de le fixer directement. Il existe sous trois formes essentielles selon le degré d'oxydation :

Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), ainsi que l'urée ou les acides aminés. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (Copin –Montégut, 1996).

#### a) Azote ammoniacal $\text{NH}_4^+$

Dans l'eau, l'azote réduit, soluble se retrouve sous deux formes : L'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et la forme non ionisée qu'on appelle ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) (Gaujous, 1995).

En fonction de la forme sous laquelle est présent l'azote dans l'eau, la photosynthèse mettra en jeu des réactions enzymatiques différentes, l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) se trouve être la forme la plus rentable énergiquement (Jacques et Treguer, 1986). Cet ammonium est issu de la dégradation de l'azote organique par les bactéries.

Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations inférieures à  $1\ \mu\text{mole/l}$ . Les eaux profondes ne contiennent pas d'ammonium, celui-ci ayant été oxydé en nitrite puis en nitrate.

Il est prédominant dans les estuaires, de même qu'il est considéré comme étant un bon traceur de pollution urbaine, vu ses concentrations élevées à proximité des émissaires urbains qui peuvent atteindre jusqu'à plusieurs centaines de micromoles par litre (Aminot et chaussepied, 1983).

#### b) Nitrates $\text{NO}_3^-$

Les nitrates sont une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse et c'est la forme la plus répandue dans l'océan (65% du stock de l'azote). L'azote nitrique est issu de l'oxydation des nitrites par des bactéries (*Nitrobacter*).

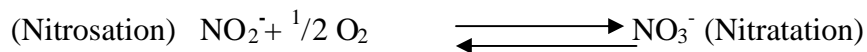
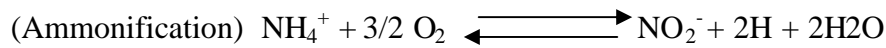
Dans les estuaires où la salinité est faible et les apports terrigènes sont importants, les teneurs augmentent et peuvent atteindre jusqu'à plusieurs centaines de  $\mu\text{moles/l}$ .

Une augmentation considérable des concentrations en nitrates sont observées dans l'ensemble des ports. Ainsi la concentration en nitrate, dont le taux moyen hors du port est de  $28\ \mu\text{g/l}$ , augmentent de 280 % à l'intérieur des zones endiguées en présence de rejets.

Cette valeur atteint même 445 % du taux marin normal dans les aires portuaires stagnantes (Aubert et al., 1972).

#### c) Nitrites $\text{NO}_2^-$

Les nitrites  $\text{NO}_2^-$  constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates, suivant les réactions ci-dessous :



Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrate, leur présence en mer est donc rare et faible en quantité (**Rejsek, 2002**). En effet, les concentrations des nitrites connaissent des variations saisonnières, entre 0,5 et 1  $\mu\text{mole/l}$  en hiver et peuvent atteindre des valeurs très faibles en été ( $< 0,01\mu\text{mol/l}$ ) suite au développement du phytoplancton (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

#### I.3. 4. 3.2.2. Les phosphates

Le phosphore dans l'eau de mer existe sous forme dissoute et particulaire, organique (les phospholipides, ADN, ARN, ATP) et inorganique représentée essentiellement par les ions orthophosphates qui se trouvent sous les formes de  $\text{PO}_4^{3-}$  (10%),  $\text{HPO}_4^{2-}$  (90%) et  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ( $< 1\%$ ) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide orthophosphorique.

A l'état d'équilibre, le phosphate se trouve avec des teneurs assez faibles en surface (0 à 1  $\mu\text{mole/l}$ ) à cause de sa consommation par le phytoplancton (bloom printanier) (**Copin-Montégut, 1996**).

Il est présent comme l'azote dans tout l'environnement naturel. Les fortes concentrations suite à l'enrichissement d'origine domestique ou agricole peuvent provoquer le phénomène d'eutrophisation (**OMS, 1977**).

Au niveau des zones portuaires, sa concentration est très importante et peut augmenter de plusieurs centaines de  $\mu\text{moles/l}$  (**Aubert et al., 1983**).

#### I.3. 4. 3.2.3. La silice dissoute

Le silicium est un élément nutritif, car il entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées, radiolaires...). A pH moyen de l'eau de mer ( $\approx 8,2$ ), le silicium dissous se trouve à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique ( $\text{Si(OH)}_4$ ) dont 5% sont ionisés sous forme de  $(\text{Si(OH)}_3^-)$  (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La distribution verticale de l'acide silicique diffère de celle du phosphore ou de l'azote. Les concentrations augmentent lentement avec la profondeur pour atteindre généralement leur maximum au fond (**Guy, 2006**).

Les teneurs de l'eau en silice fluctuent en fonction des saisons. Au printemps, après les blooms phytoplanctoniques, les concentrations dans la zone euphotique sont très faibles ou presque nulles (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

En revanche, elles augmentent à proximité des côtes et estuaires où les apports en eau douce riche en silice sont considérables. On y trouve des concentrations de l'ordre de 150  $\mu\text{moles/l}$  dans les eaux profondes.

## **I.4. Le dragage**

### **I.4.1. Définition**

Le dragage est une technique qui consiste à enlever les boues du fond des ports marins. Les matériaux dragués sont généralement des matières transités 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 (**Bekari, 2010**)

### **I.4.2. Accès au dragage**

La sédimentation des matières en suspension d'origine continentale ou marine constitue une entrave pour l'accès des navires aux installations portuaires. Le dragage est donc une pratique courante pour restaurer des seuils acceptables pour la navigation, quand les exhaussements sont trop importants. La sédimentation n'ayant pas la même ampleur sur tout le littoral, les ports n'ont pas à faire face aux mêmes problèmes. Une relation entre l'envasement et la nature du fond peut être établie (**Robbe, 1989 in Alzieu et al., 1999**).

### **I.4.3. Type des dragages**

Les ports, qu'ils soient d'estuaires ou ouverts sur la mer, sont souvent constitués par un chenal d'accès, un avant-port ou un port à marée et/ou des bassins à flot. Les modalités de dragage diffèrent selon ces zones, la nature des sédiments à draguer et le type de travaux à réaliser. Classiquement, on distingue trois types de dragage : entretien, approfondissement, aménagement de nouvelles aires portuaires.

- **Dragages d'entretien**

Les opérations de dragage d'entretien concernent la majeure partie des travaux réalisés dans les ports. Ces opérations répétitives visent à extraire les sédiments qui se sont déposés et qui gênent la navigation.

- **Dragages d'approfondissement**

L'évolution de la taille des navires suppose une modernisation des ports et en particulier l'adaptation du seuil de navigation pour les chenaux d'accès et les bassins. Ces travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants.

- **Aménagement de nouvelles aires portuaires**

Les nouveaux aménagements occasionnent souvent le déplacement d'importants volumes de matériaux divers : roche, sable, terre, argile, graviers ou vase. Dans ce cas, les sédiments ne sont généralement pas contaminés. Ces travaux peuvent engendrer des modifications physiques des sites ayant un impact sur leurs fonctions biologiques et écologiques : disparition de vasières...

## **I.5. Définition de l'immersion**

Bien que chaque convention traitant des « immersions » présente une définition différente de ce terme, on entend généralement par immersion, le déversement délibéré dans la mer de substances ou de matériaux à partir (ou au moyen) de navires, aéronefs, engins flottants, plates-formes fixes ou flottantes ou autres ouvrages placés en mer.

Ne sont donc pas considérés comme des immersions les rejets de matériaux effectués directement par conduite sur le littoral. De même, sont *a priori* exclues du champ des conventions les opérations de dragages par surverse ou par agitation. Cette question demeure encore et a été inscrite au programme de travail de la convention de Paris pour l'exercice 1998-2000. Il y a tout lieu de penser que ces techniques seront considérées comme une immersion (**Alzieu et al., 1999**).

### I .5.1. Réglementation sur l'immersion des produits de dragage

L'interdiction d'immersion des produits nuisibles apparaît comme un principe qui est applicable dans tous les états, soit en vertu de règles de droit interne, soit en application des normes internationales.

Les opérations liées au dragage des sédiments et à leur immersion en Algérie sont régies par des réglementations internationales auxquelles l'Algérie a adhéré et par la loi algérienne (**Belkessa, 2005**).

#### I .5.1.1. Dispositions internationales

Sur le plan international, les dispositions concernant l'immersion des produits de dragage sont issues essentiellement des résultats des travaux de :

- **La convention d'Oslo du 15 février 1972** pour la prévention de la pollution marine par :

Les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs. L'article 5 de cette même convention dispose que «l'immersion des substances énumérées en annexe I et II est interdite ».

- **La convention de Londres du 29 décembre 1972** sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets. Cette convention est entrée en vigueur le 30 août 1975.

La liste grise comprend les matières dont l'immersion est subordonnée à la délivrance d'un permis spécifique tels que les déchets contenant des quantités notables d'arsenic, de plomb, de cuivre, de zinc ...

#### I .5.1.2. Dispositions régionales

- **La Convention de Barcelone** du 16 février 1976 adoptée à Barcelone et entrée en vigueur le 12 février 1978 à laquelle l'Algérie a adhéré le 17 janvier 1981.

La convention est basée sur le protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée pour les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs.

C'est sur la base du décret N° 81-02 du 17 janvier 1981 que la loi sur la prévention de la pollution a été élaborée.

Dans son article 1, le décret stipule que «les parties prennent toutes mesures appropriées pour prévenir et réduire la pollution de la zone de la Méditerranée résultant des opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs ».

Dans l'article 4, le décret stipule que «l'immersion dans la zone de la Méditerranée de déchets ou autres matières énumérées à l'annexe II du présent protocole est subordonnée, dans chaque cas, à la délivrance préalable, par les autorités nationales compétentes, d'un permis spécifique » suivant :

- ✓ Caractéristiques et composition de la matière.
- ✓ Caractéristiques du milieu d'immersion et méthodes de dépôt.
- ✓ Considérations et circonstances générales (effets éventuels sur la faune et la flore marine, autres méthodes de traitement, de rejet ou d'élimination ).

#### I .5.1.3. Dispositions nationales

Sur le plan national, l'Algérie a adhéré à la convention de Barcelone et son protocole dont le décret a été adopté pour sa mise en œuvre au plan national. Deux dispositions sont rentrées en vigueur concernant l'environnement marin. Il s'agit de :

- a) **La loi n°83-03 du 05 février 1983** relative à la protection de l'environnement au chapitre III intitulé « protection de la mer » et concernant les articles 48 à 52.

Dans l'article 48, il est stipulé que sont interdits de déversement, l'immersion et l'incinération en mer de matières de toute nature susceptibles :

- ✓ de porter atteinte à la santé publique et aux ressources biologiques,
- ✓ d'entraver les activités maritimes, y compris la navigation et la pêche,
- ✓ d'altérer la qualité de l'eau de mer, du point de vue de son utilisation,
- ✓ de dégrader les valeurs d'agrément de la mer.

A l'article 49 de la présente loi, il est spécifié que «le Ministre chargé de l'environnement peut, après enquête publique, proposer des règlements et autoriser le déversement, l'immersion ou l'incinération en mer, dans les conditions telles que les opérations garantissent l'innocuité et l'absence de nuisance du déversement, de l'incinération ou de l'immersion ».

En complément à l'article 49, dans l'article 51, on stipule qu' «en ce qui concerne les déversements et immersion délibérés existants, le Ministre chargé de l'environnement détermine le délai dans lequel l'interdiction de l'article 49 de la présente loi leur est applicable ».

**b) Le décret n° 88-228 du 05 novembre 1988** définissant les conditions et modalités d'immersion de déchets susceptibles de polluer la mer, effectuées par les navires ou aéronefs.

**Article 2**, il est stipulé que «toute opération d'immersion susceptible de polluer la mer doit se faire dans le cadre des dispositions de la loi n°83-03 du 05 février 1983 susvisée et celles contenues dans le protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs, fait à Barcelone, le 16/02/1976 ratifié par le décret 81-02 du 17 janvier 1981 susvisé.

**Article 3** - En application à l'article 48 de la loi 83-03 du 5 février 1983 susvisé, l'immersion de déchets sous toutes ses formes est interdite :

1°) «Lorsque les déchets contiennent une ou plusieurs substances énumérées à l'annexe I du protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronef fait à Barcelone le 16 Février 1976,... ».

2°) « Dans les zones maritimes présentant des intérêts particuliers du point de vue de la sécurité et sur les plans économiques et écologiques ... ».

**Article 4** – L'immersion de tout autre déchet est subordonnée, dans tous les cas à une autorisation, telle que prévue aux articles 49 et 52 de la loi 85-03 du 05 Février 1983 susvisée, qui peut se présenter sous forme d'un permis général ou d'un permis spécifique.

**Article 8** – Conformément aux dispositions de la loi n°83-03 du 05 février 1983 susvisée, le Ministre chargé de l'environnement est fondé à réclamer au demandeur de permis tout complément de justifications portant sur :

- les résultats des analyses des échantillons de déchets faites dans des conditions qu'il aura déterminées cas par cas et pour lesquels la demande de permis d'immersion est présentée :
- les études qui lui paraissent nécessaires, sur notamment l'état biologique et écologique du milieu marin dans la zone où l'immersion est projetée et au voisinage de celle-ci.

Matériel  
et  
méthodes

## II. Matériel et méthodes

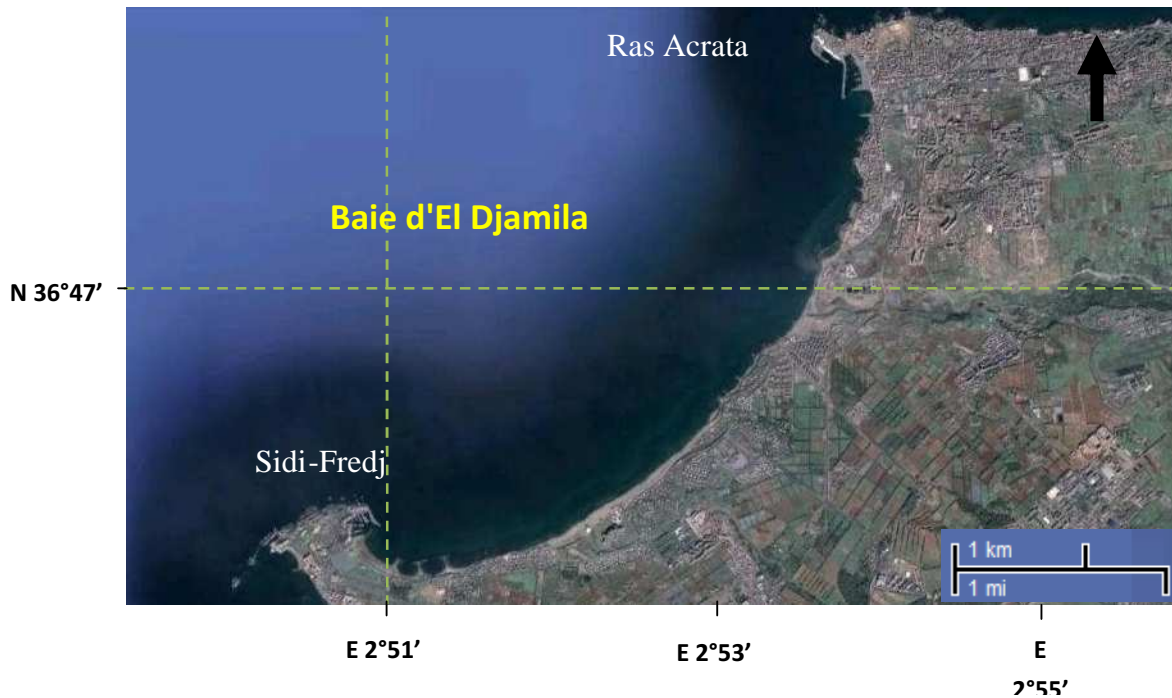
### II.1. Présentation de la zone d'étude

#### II.1.1. Situation géographique

La localité de Sidi Fredj appartient, du point de vue administratif à la commune de Staoueli, daïra de Zeralda et wilaya d'Alger. Elle se situe environ à 25 kilomètres à l'Ouest du chef lieu.

C'est une presqu'île localisée dans la partie Ouest de la baie d'El Djamila. Cette baie est délimitée par deux promontoires rocheux :

- Sidi Fredj à l'Ouest,
- Ras Acrata au Nord-est.



**Figure 2:** Situation géographique de la presqu'île de Sidi Fredj.(Google Earthe).

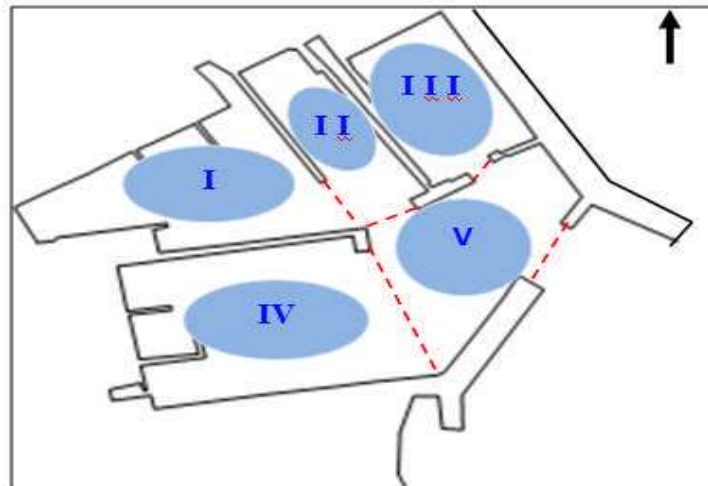
Ses coordonnées Lambert s'établissent comme suit :

- Longitude EST  $2^{\circ}50'52''$
- Latitude NORD  $36^{\circ}45'05''$

Le port de Sidi Fredj est implanté dans l'anse Est de la presqu'île, il est conçu de telle manière à ne pas casser l'harmonie du site permettant ainsi de former avec le paysage alentour, une très belle station balnéaire très convoitée par le tourisme en période estivale.

#### II.1.2. Description du port de sidi Fredj

Le port est subdivisé en cinq (5) bassins (**Figure 3**) aménagés pour permettre l'accostage des petits bateaux ou embarcations.



**Figure 3:** Description du port de sidi Fredj.

**Bassin I:** C'est le bassin le plus éloigné de l'entrée du port, et c'est lui qui accueille le déversement des eaux usées par égout provenant des restaurants qui se trouvent au niveau du site.

**Bassin II:** Délimité par l'épi de la tour mauresque et l'épi de la station d'essence.

**Bassin III:** C'est le bassin de l'hivernage, délimité par la grande jetée.

**Bassin IV:** Délimité par l'appontement trois (3) à l'intérieur et la jetée sud à l'extérieur

**Bassin V:** Situé à la sortie du port et communique avec le large.

Le port qui couvre une superficie de 38 000 m<sup>2</sup> est protégé par des ouvrages contre la houle, et qui servent de délimitation. Ils sont protégés par des enrochements naturels.

Ces ouvrages comprennent :

- une jetée nord principale, longue de 230 m se termine par un musoir, servant de barrière de protection contre les vents, et un phare,
- une jetée Sud, secondaire de 215 m.

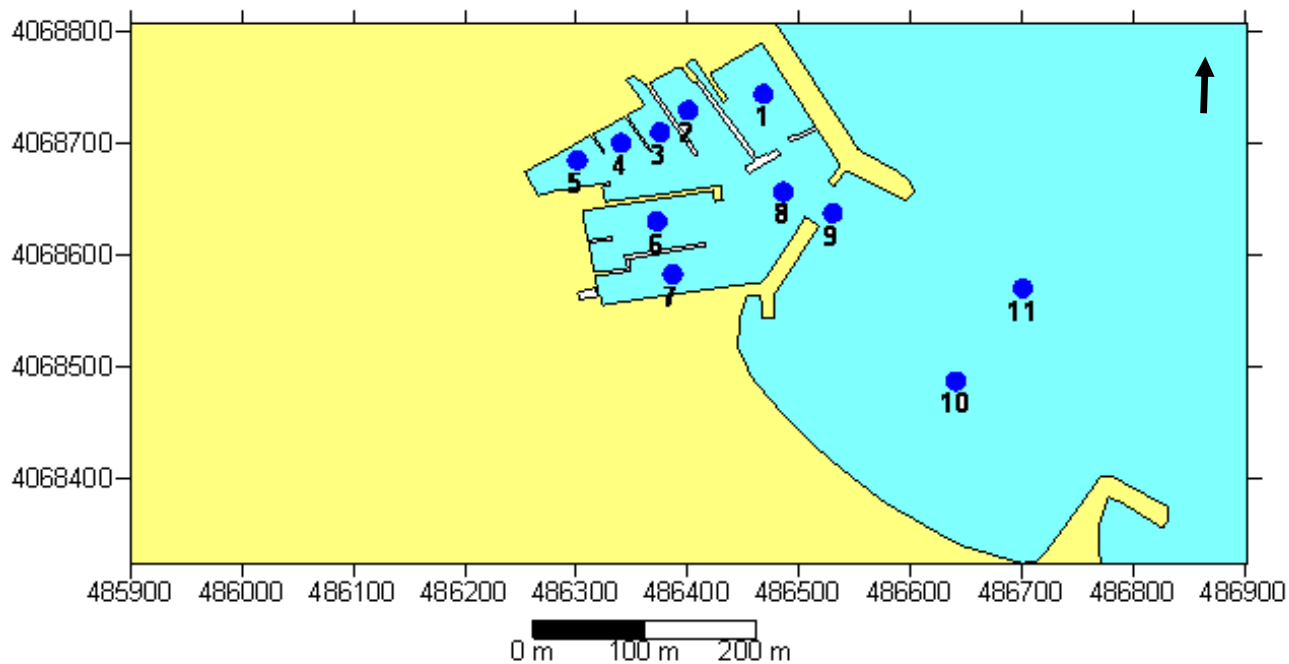
### II.1.3. Sources de pollution dans le port

La pollution dans ce port de plaisance est surtout de type domestique, à caractère saisonnier. A cette pollution s'ajoute un apport de polluants issus des opérations de carénage (peinture, essence, détergent, etc....) qui se réalisent dans l'un des bassins du port.

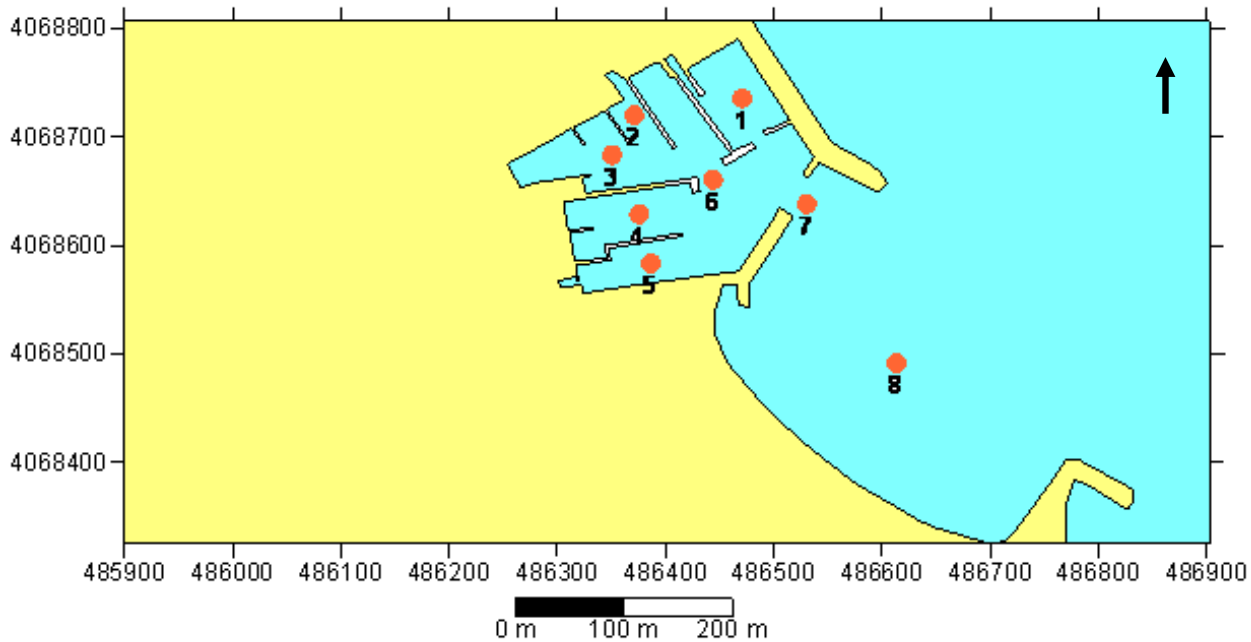
### II.1.4. Localisation des points de prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau et de sédiment, ainsi que la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau ont été effectués à bord de l'embarcation, entre 21/03/10 et 09/05/10 à raison de quatre sorties sur le terrain.

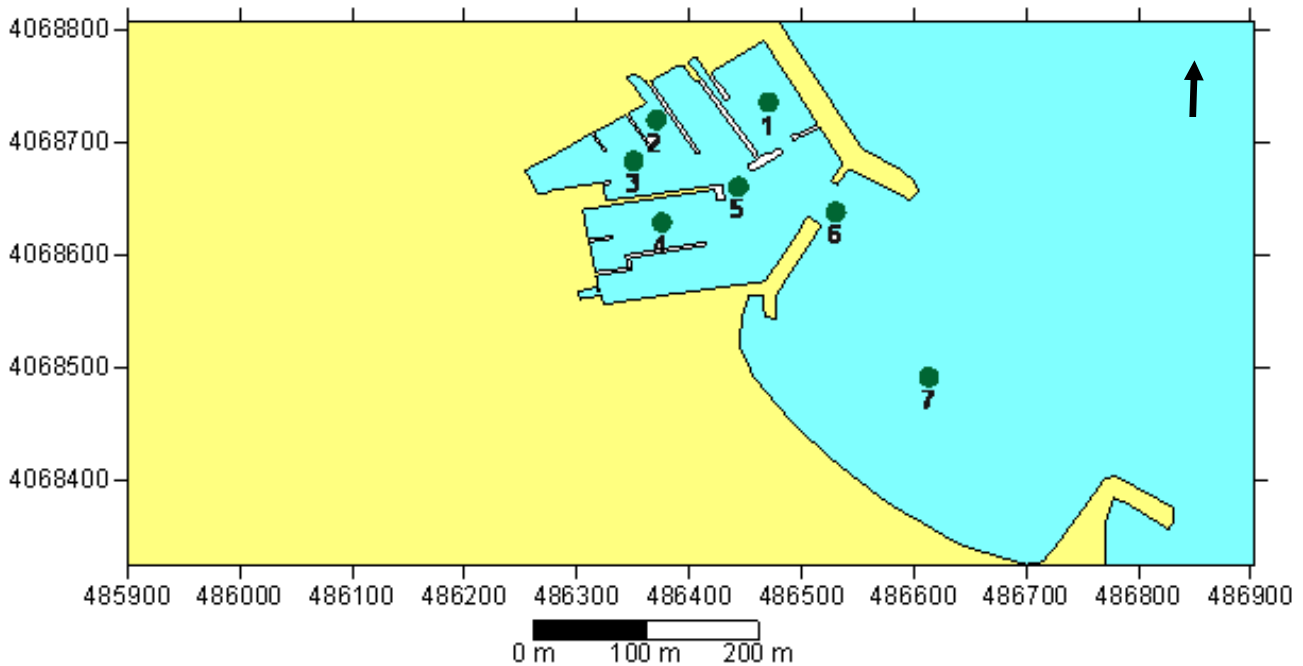
Onze (11) stations ont été localisées pour le prélèvement d'eau, et 8 pour le sédiment. Le choix des stations a été fait d'une façon à couvrir l'ensemble du port ainsi qu'une partie de la plage Est.



**Figure 4:** Localisation des stations de prélèvement d’eaux de mer pour les analyses bactériologiques et physico-chimiques.



**Figure 5:** Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour les analyses bactériologiques et des métaux lourds.



**Figure 6:** Localisation des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures totaux.

## II.2. Travail réalisé en mer : Prélèvement des échantillons et mesure des paramètres physico-chimiques

Les différentes stations de prélèvement, ont été disposées comme suit : 8 stations au niveau du port, une autre au niveau de la passe, une au niveau de la plage Est, et une dernière un peu plus au large. Au niveau de chaque station de prélèvement, nous avons effectué la mesure *in situ* des paramètres suivants : Le pH, la température, la salinité, la conductivité et l'oxygène dissous,

Au cours des sorties l'équipement ou le matériel de prélèvement comprenait quelques flacons de 500 ml et d'autres de 250 ml en verre, des flacons de 120 ml en polyéthylène, une benne de type « Van Veen », des glacières, des boîtes de Pétri en verre, des sachets de congélation et des valises multiparamètres suivantes:

- pH mètre de terrain de marque « WTW » type pH 315 i/Set., muni d'une électrode en verre. Il affiche aussi les valeurs de températures.
- Oxymètre de terrain de marque « WTW type Oxi330 i /Set » à calibration et compensation automatiques, muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans l'eau de mer. La valeur de l'oxygène dissous s'affiche sur un petit écran en mg/l avec une précision de  $\pm 0.1$ mg/l. et en pourcentage de saturation.
- Conductimètre de type WTW 315 i /Set qui permet la mesure de la conductivité ainsi que la salinité de l'eau de mer. Il affiche aussi les valeurs de températures.
- Un GPS (Global Positioning System) pour la localisation des stations.

## II.2.1. Prélèvement des échantillons

### II.2.1.1. Prélèvement d'eau

Au niveau de chaque station, un prélèvement d'eau en surface a été effectué pour : l'analyse bactériologique, la mesure des matières en suspension (MES) et de la matière organique particulaire (MOP), la mesure de la demande biochimique en oxygène ( $DBO_5$ ), les sels nutritifs ainsi que la mesure de la chlorophylle.

En effet, à l'aide des flacons en verre préalablement stérilisés de 250 et de 500 ml, et des flacons en polyéthylène de 120 ml. Un étiquetage précis est élaboré pour une aisance reconnaissance des stations avant le remplissage des flacons.

Le prélèvement est effectué à une profondeur de 15 à 30 cm sous la surface d'eau, le flacon est tenue à la main près de la base et plongé dans l'eau en l'ouvrant dans l'eau, le goulot vers le bas, le flacon est pendu légèrement vers le haut pour dégager l'air (et pousser en avant) afin d'éviter toute contamination. En suite le bouchon est remis toujours sous l'eau en prenant garde de ne pas remplir entièrement le flacon on laisse un espace vide suffisant pour l'homogénéisation. Tous les échantillons sont ensuite conservés dans une glacière transportable pour des analyses ultérieures au laboratoire.

### II.2.2.2. Prélèvement de sédiment

Réalisé à l'aide d'une benne de type « Van Veen ». La benne est descendue au fond à l'aide d'une corde, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le crochet qui maintient les mâchoires ouvertes est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiments superficiels. Sur le bateau, la benne est ouverte et le contenu en est collecté dans des sacs en plastique destinés aux analyses bactériologiques, granulométriques et au dosage des métaux lourds, et dans des boîtes de Pétri en verre, quand le sédiment est destiné à l'analyse des hydrocarbures totaux. L'échantillon étant étiqueté doit être aussitôt mis dans la glacière puis transporté au laboratoire.

### II.2.2.3. Prélèvement des oursins

Faute de moules (organismes filtreurs de grandes quantités d'eau et excellents indicateurs de pollution), des oursins ont été prélevés au niveau de la passe d'entrée du port et mis dans la glacière. Ils ont fait l'objet d'analyses bactériologiques.

## II.3. Travail réalisé au laboratoire

### II.3.1. Mesure des autres paramètres

#### II.3.1.1. Demande biochimique en oxygène ( $DBO_5$ )

La mesure de la  $DBO_5$  a été effectuée à l'aide d'un  $DBO$ -mètre de marque « WTW », C'est une méthode manométrique avec des manomètres de marque Oxi -Top à affichage numérique qui se fixent directement sur les flacons de  $DBO$ .

Un volume de 250 ml d'échantillon est introduit dans des flacons bruns en verre avec agitation magnétique. La consommation d'oxygène induit une production de  $CO_2$  absorbé par un piège à soude créant ainsi une dépression enregistrée par le manomètre. Cette dépression est liée par corrélation à la  $DBO$  en fonction du volume de l'échantillon. La température est équilibrée par un thermostat réglé à  $20^\circ C$ . La lecture se fait après cinq jours. La valeur réelle de la  $DBO_5$  se calcule comme suit :

$$DBO_5 \text{ (mg/l)} = X * F$$

X : valeur affichée après 5 jours

F= Facteur variant en fonction du volume d'eau utilisé,

(lu à partir du catalogue).



Figure 7: Dispositif pour la mesure de la  $DBO_5$

### II.3.1.2. Mesure de la matière en suspension (MES)

Du fait de son impact sur la transparence de l'eau, la production primaire phytoplanctonique et sur les échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer, ce paramètre est important à déterminer lors des études des milieux aquatiques.

#### ➤ Principe de la méthode :

Elle consiste à filtrer un volume d'eau à travers une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à 0.45 µm. La différence de poids des filtres séchés avant et après filtration permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant. La précision sur la concentration des (MES) dépend du volume d'eau filtré et la sensibilité de la balance (Aminot et Chaussepied ,1983 et Rodier et al., 2005).

#### ➤ Appareillage

- Un dispositif de filtration sous vide de marque **Sartorius stedim**.
- Des membranes filtrantes de type **Whatman GF/C** de Φ 47mm et de porosité 0.45 µm.
- Une balance de précision 10<sup>-3</sup>.
- Une étuve de marque **MEMMERT**
- Eprouvette graduée de 250 ml et des pinces.

#### ➤ Mode opératoire (annexe I)

- Préparation des filtres ;
- Filtration de l'échantillon (100 ml) ;
- Calcul et expression des résultats :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (\text{P}_2 - \text{P}_1)/\text{V}$$

- ✓ P<sub>1</sub> : Poids du filtre sec avant filtration (mg).
- ✓ P<sub>2</sub> : Poids du filtre sec après filtration (mg).
- ✓ V : Volume d'eau filtrée (litre).

### II.3.1.3. La matière organique particulaire (MOP)

Les filtres utilisés pour la détermination de la teneur des matières en suspension dans l'eau de mer sont mis dans des creusets en porcelaine, et pesés avec précision.

Après les avoir passé au four à moufle (**Figure 8**) à 600°C pendant deux heures, les creusets et les filtres sont à nouveau pesés. La différence de ces deux poids nous donne le poids de la matière organique brûlée (calcinée).

$$\text{MOP (\%)} = \frac{(\text{P}_1 - \text{P}_2)}{\text{P}_1} \times 100$$

Avec :

P<sub>1</sub> : Poids du creuset et du filtre avant séchage.

P<sub>2</sub> : Poids du creuset et du filtre après séchage.



**Figure 8:** Four à moufle.

### II.3.1.4. Dosage de la chlorophylle *a* par spectrophotométrie

#### ➤ Principe de la méthode

La méthode consiste à filtrer un volume d'eau à travers un filtre. Le filtre sera ensuite immergé dans un solvant qui assurera l'extraction des pigments chlorophylliens, puis, on mesure l'absorbance avant et après acidification de l'extrait (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

#### ➤ Mode opératoire

- Filtration de l'échantillon (250 ml) ;
- Congélation des filtres de type GF/F ;
- Extraction de la chlorophylle *a* ;
- Mesure de l'absorbance des pigments;
- Calcul de la concentration par la formule de **Lorenzen (1967) in (Aminot et Chaussepied, 1983)** :

$$[\text{Chlorophylle } a] \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{(26,7 * (A_{665}^{na} - A_{665}^a) * v)}{V * l}$$

$$[\text{Phéopigments}] \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{(26,7 * (1,5 * A_{665}^a - A_{665}^{na}) * v)}{V * l}$$

- ✓ **V** : volume d'eau filtré (l).
- ✓ **v** : volume de solvant d'extraction (ml).
- ✓ **l** : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (cm).
- ✓ **A<sub>665</sub><sup>na</sup>** : absorbance corrigée (n.a: non acidifiée).
- ✓ **A<sub>665</sub><sup>a</sup>** : absorbance corrigée (a: acidifiée).
- ✓ **26.7** et **1.5** : constantes

## II.3.2. Analyse des paramètres chimiques

### II.3.2.1. Dosage des sels nutritifs

#### II.3.2.1. 1.Méthode d'analyse

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SiO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé, sur l'appareil « **Auto Analyser San Plus** » S.F.A.S troisième génération (**Annexe I**) selon les protocoles définis par SKALAR, 1998.

Le mode opératoire détaillé pour le dosage de chaque sel ainsi que les réactifs utilisés sont consignés en **annexe I**.

#### ➤ Principe général

Le principe de dosage des sels nutritifs est basé sur une réaction de coloration. En effet ces sels réagissent dans certaines conditions (T°, C, pH, Catalyseur ...) avec des réactifs spécifiques pour donner naissance à une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'ondes (λ). 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 colorimétrie est basée sur la loi de Beer-Lambert qui est définie comme suit :

$$A = \ln I_0 / I = \epsilon \cdot L \cdot C$$

Avec:

- **I<sub>0</sub>, I** : est l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant ;
- **A** : est l'absorbance ou densité optique ;
- **ε** : est le coefficient d'extinction moléculaire ;

- **L** : est le trajet optique (épaisseur du milieu absorbant) ;
- **C** : est la concentration du milieu absorbant.

➤ **Matériel utilisé**

- Auto-Analyzer SAN plus System de marque SKALAR®, 1998;
- Bi-distillateur MILLI-Q® Reagent Water System, balance, spatules, béchers et étuve ;
- Deux micropipettes Fortuna® avec éjecteur d'embouts de type DIGITAL , une de 200 à 1000 µl et l'autre de 20 à 250 µl. Des fioles de 100 et 500 ml ;

### II.3.2.1. 2.Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Le constructeur SKALAR a adapté la procédure automatisée par Thé pour la détermination de l'ammonium contenue dans l'eau de mer. Elle est basée sur la réaction de Berthelot (1859) modifiée par Thé. Elle s'applique à des concentrations allant de 2 à 100 ppb N. En milieu alcalin (8 < pH < 11,5), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu indophénol. Après oxydation, un composé coloré vert est formé. La réaction de Thé est catalysée par le nitroprussiate de sodium. Le composé formé dans un maximum d'absorption qui se fait à une longueur d'onde de 630 nm (SKALAR® 1998).

### II.3.2.1. 3.principe de dosage de l'azote nitreux (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

La méthode décrite, fondée sur la réaction de Griess, a été appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et Robinson (1952). Les ions nitrite forment un diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide (pH < 2), puis le diazoïque réagit avec le N-naphtyl-éthylènediamine pour former le colorant rose absorbe à la longueur d'onde de 543 nm.

### II.3.2.1. 4. Principe de dosage de l'azote nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

La méthode retenue est celle fondée sur le dosage des ions NO<sub>2</sub><sup>-</sup> obtenus par réduction quantitative des ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. En réalité on mesure la somme des concentrations des ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Par déduction de la concentration en nitrite, déterminé sans réduction, on obtient la concentration en nitrate. La réduction est effectuée par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre (Wood *et al.*, 1967).

### II.3.2.1. 5. Principe de dosage du phosphore (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Les ions phosphate réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine (III), pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique ; cette forme réduite, de coloration bleue, a un maximum d'absorption à 885 nm.

### II.3.2.1. 6. Principe de dosage des silicates (SiO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Le dosage de l'acide orthosilicique dans l'eau de mer est basé sur la méthode de **Murphy et Riley (1962)**. C'est une méthode automatique selon le constructeur SKALAR. Elle repose sur la formation de l'acide silicomolybdique, non affectée par la salinité proposée par **Smith et Milne (1981) (in Aminot et Kérouel, 2004)**. Sa mesure est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique par la réaction des silicates avec le molybdates d'ammonium en milieu acide. Ce complexe sera par la suite réduit par l'acide ascorbique en donnant naissance à un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm. L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates.

### II.3.2.2. Le dosage des métaux traces dans les sédiments superficiels

Le dosage d'éléments métalliques en trace dans le milieu marin nécessite un contrôle rigoureux et permanent des différentes étapes, car il existe des risques de contamination des échantillons du moment de prélèvement qu'à celui de l'analyse finale. Pour cela, un soin particulier a été apporté aux prélèvements et aux méthodes de dosage des métaux (AIEA, 2001).

### II.3.2.2.1. Traitement des sédiments

Chaque échantillon de sédiment prélevé et conservé par congélation, va subir le traitement suivant :

#### a) Lyophilisation

Le principe est la déshydratation des échantillons par sublimation qui s'effectue par la libération de l'eau de l'échantillon en passant de la phase solide à la phase vapeur sans passer par la phase liquide. Cette opération a été effectuée dans un lyophilisateur de type CHRIST-Beta 1- 8 pendant 72 heures sous vide ( $10^{-1}$  mbar) et à très basse température (-55 °C).

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

#### b) Broyage

Les échantillons de sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière est récupérée dans des piluliers en verre et stockée dans un endroit sec (dessiccateur en présence de gel de silice).

#### c) Homogénéisation

Pour avoir une répartition homogène des particules de sédiment dans l'échantillon, on procède à une agitation manuelle. Elle permet de prélever une quantité de sédiment représentative de l'échantillon.

#### d) Extraction des métaux lourds

Les méthodes d'extraction des métaux lourds dans le sédiment sont multiples et regroupées en deux classes : les méthodes d'extraction totale et les méthodes d'extraction sélectives (**Added, 1981, De Groot et al., 1982, Charlou et Joanny, 1983 et Fernandez, 1984**). Pour le cas de la présente étude, une troisième méthode d'extraction est utilisée. Cette dernière permet l'extraction du métal totale adsorbé à la surface des grains par une digestion partielle qui s'effectue généralement avec des acides forts concentrés et des oxydants (HNO<sub>3</sub>, HCl, HClO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>) (**Charlou et Joanny, 1983, P.N.U.E/F.A.O./O.M.S., 1989**).

##### ➤ Principe de la digestion ou de la minéralisation

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

##### ○ Minéralisation à blanc

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet 2 ml d'eau régale (1 volume d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré à 68 % + 3 volumes d'acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37%). Puis, on ferme hermétiquement les godets et on chauffe sur une plaque chauffante à 150 ° C pendant 2h30min.

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

##### ○ Minéralisation des échantillons

Selon le protocole décrit par l'**AIEA (1998)**, la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon. On pèse environ 0.5 g de sédiment lyophilisé. On y ajoute 4 ml d'eau régale puis on ferme hermétiquement les godets. On laisse les échantillons à la température ambiante une nuit, afin d'éviter un début de réaction trop brusque (minéralisation à froid) puis on les met sur plaque chauffante à 150°C pendant 2h30min. On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets à l'aide de deux pinces adéquates et, on rince les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 100 ml avec de l'eau distillée dans des fioles, puis les transvaser dans des flacons en polyéthylène de 125ml.

La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à + 4°C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (**AIEA, 2001**).

### e) Analyse des métaux lourds

L'analyse des métaux lourds s'est poursuivie au niveau de l'Institut Pasteur d'Algérie. Le dosage est effectué grâce au spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

#### - Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique

Le passage de la forme ionique (métal en solution) à la forme atomique se produit par une source thermique (source d'atomisation).

Les atomes ainsi formés passent d'un niveau énergétique fondamental (état initial) à un niveau plus élevé (état excité) traversé par un faisceau de lumière à mesure et d'intensité incidente  $I_0$ . L'absorbance correspond à la différence entre l'intensité incidente ( $I_0$ ) et l'intensité transmise ( $I$ ). Cette différence ( $I-I_0$ ) est déterminée par un photomultiplicateur qui lui transforme cette intensité lumineuse en un signal électrique quantifiable.

#### - 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 ou 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 (**Audigie et al., 1985**).

### II.3.2.3. Analyse des hydrocarbures totaux

L'analyse des hydrocarbures dans les sédiments superficiels est réalisée selon les étapes suivantes :

#### a) Congélation, lyophilisation, broyage et homogénéisation (voire II.3.2.2)

#### b) Extraction

- peser 5 g de sédiment dans des cartouches en cellulose ;
- Mettre les cartouches dans un extracteur Soxhlet pour extraire les hydrocarbures ;
- Verser 150 ml d'hexane dans le ballon
- Régler le chauffage à 90°C en premier temps, dès que l'hexane commence à bouillir fixer la température à 60°C ;
- Laisser l'extraction se poursuivre pendant 8 h.

#### c) Concentration

- Concentrer l'extrait à l'aide d'un évaporateur rotatif à 40°C sous un léger vide ;
- Dans un tube à essai conditionné, mettre 1 à 2 g de sulfite de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ );
- Ajouter 10 ml d'hexane dans le ballon, agiter puis verser dans le tube précédent couvert du papier aluminium.

#### d) Purification et analyse : Elles ont été réalisées au niveau de l'IPA.

### II.3.2.4. Analyse granulométrique (Figures 9 et 10)

La granulométrie est l'étude de la taille des grains et de leur répartition dans un échantillon donné.

#### ❖ Mode opératoire :

- Séchage de l'échantillon à 105°C pendant 24h dans une étuve ;
- Peser l'échantillon, puis le faire passer sous un courant d'eau « robinet » dans un tamis de 40  $\mu\text{m}$  de diamètre afin de soustraire la fraction fine (pélites) ;
- Remettre l'échantillon dans l'étuve à 105°C pendant 24h ;
- Peser une deuxième fois ;
- Tamiser mécaniquement sur une tamiseuse, pour cela on a utilisé une colonne de tamis dont l'écartement entre les tailles est faits selon les normes AFNOR ;

- Peser le refus de chaque tamis.

Le diamètre des mailles de la série de tamis qu'on a utilisé dans l'ordre décroissant sont : 800  $\mu\text{m}$ - 630  $\mu\text{m}$  -500  $\mu\text{m}$  -400  $\mu\text{m}$  -315  $\mu\text{m}$  -250  $\mu\text{m}$ -200  $\mu\text{m}$ -160  $\mu\text{m}$ - 140  $\mu\text{m}$ - 100  $\mu\text{m}$  -80  $\mu\text{m}$  - 63 $\mu\text{m}$ . Chaque tamisage dure 10 minutes.

#### ❖ Traitement des données

Les résultats du tamisage et des pesées ont été présentés sous forme de courbes cumulatives, lesquelles ont été tracées sur un graphe semi-logarithmique en portant en ordonnée le pourcentage cumulé, et en abscisse le diamètre du grain estimé en micron. L'examen de ces courbes permet de calculer les indices granulométriques et de définir les paramètres qui caractérisent la distribution granulométrique des sédiments.

#### ▪ La fraction fine (pourcentage des pérites)

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon, le pourcentage de cette fraction fine inférieure à 40  $\mu\text{m}$  :

$$P_p(\%) = ((P_i - P_f) / P_i) * 100$$

$P_p$  : pourcentage des pérites

$P_i$  : poids initial (g)

$P_f$  : poids final (g)

#### ▪ Les paramètres de position

- **La médiane  $Q_2$**  : elle correspond au diamètre du grain dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment.
- **Le 1<sup>er</sup> quartile ( $Q_{25}$ )** : Correspond au diamètre du grain représentant 25% en poids du sédiment. (Tableau 8)
- **Le 3<sup>ème</sup> quartile ( $Q_{75}$ )** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids du sédiment.



**Figure 9:** Le dispositif de tamisage des sédiments : Tamiseuse électrique.

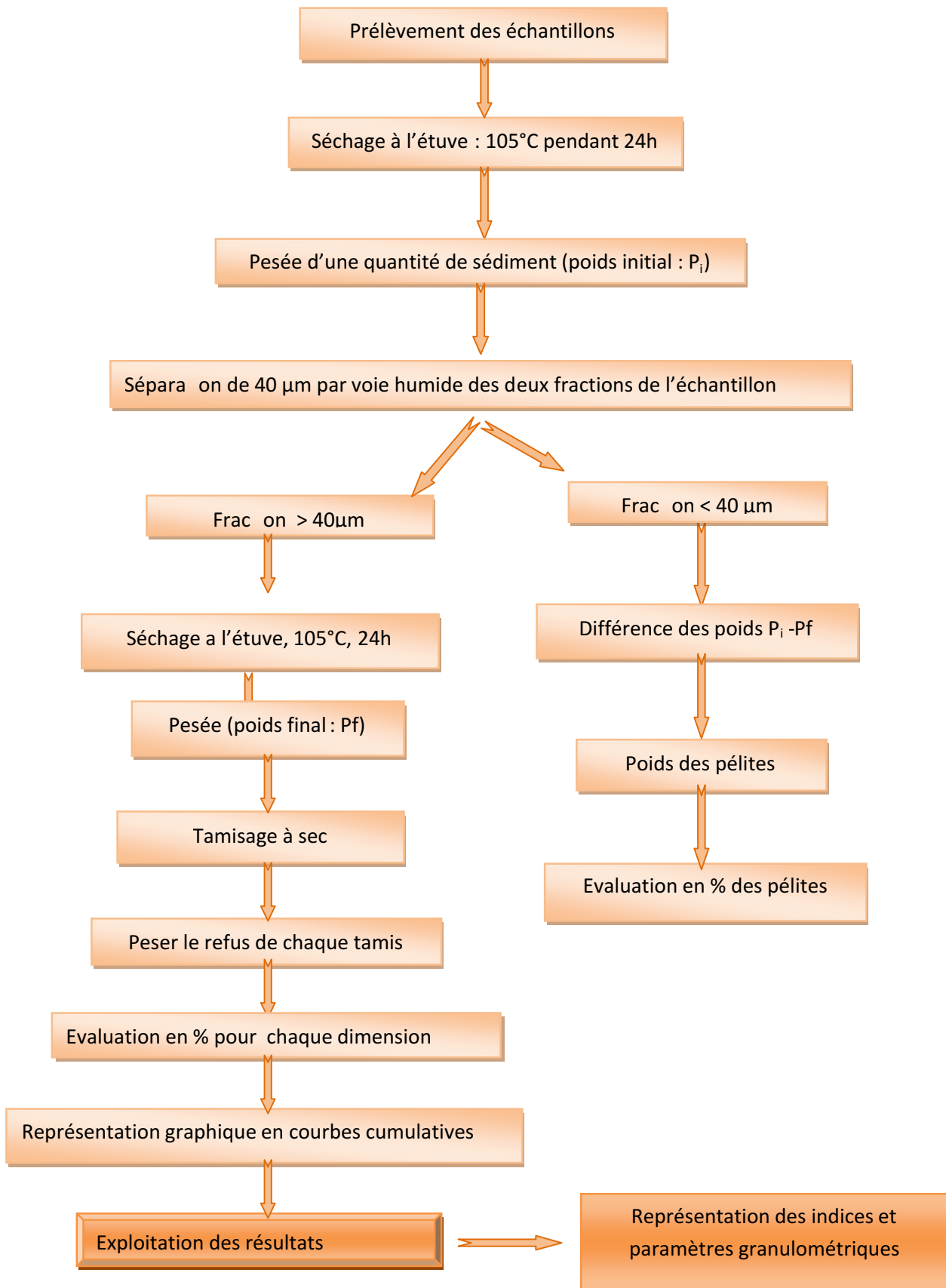
#### II.3.2.5. Matière organique dans le sédiment

La méthode de perte au feu (**Rodier, 1984**), permet de déterminer le taux de la matière organique dans les sédiments.

Sécher une quantité de sédiment dans des creusets en porcelaine à une température de 70°C pendant 24h puis peser (poids S1). Les creusets sont ensuite incinérés à 600°C pendant 2 heures dans un four à moufle, puis pesés (poids S2).

Le pourcentage de la matière organique dans le sédiment est calculé selon la formule suivante :

$$M.O (\%) = ((S1 - S2) / S1) * 100$$



**Figure 10:** Modalité d'analyse granulométrique

### II.3.3. Analyse microbiologique

L'objectif de l'analyse bactériologique de nos échantillons n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes mais de rechercher les pathogènes qui accompagnent les indicateurs de contamination fécale. Les germes test recherchés sont les coliformes totaux, fécaux, *E. coli*, streptocoques fécaux, les staphylocoques, les sulfitoréducteurs, les vibrions et les salmonelles, ainsi que des mycètes (levures et moisissures au niveau de la chair des oursins).

Dans notre étude, trois matrices ont fait l'objet de l'examen bactériologique : Eau de mer, sédiments et oursins.

#### II.3.3.1. Analyse bactériologique de l'eau de mer

##### II.3.3.1.1. Dénombrement des coliformes, des streptocoques fécaux et des staphylocoques

Dans notre étude nous avons opté pour la méthode de filtration sur membrane pour estimer la charge bactérienne dans la zone d'étude. C'est la méthode de concentration la plus utilisée au laboratoire, pour sa facilité et sa reproductibilité. Elle consiste en une filtration de l'eau sur des membranes de porosité 0,45µm susceptibles de retenir les bactéries avec un quadrillage en surface facilitant les dénombrements.

#### a) Matériel :

- Dispositif de filtration de marque « **Sartorius stedim** » (**figure 11**)
- Bec-Bunsen pour garder tout au long de la manipulation la zone de travail stérile ;
- Boîtes de Pétri avec les milieux de culture spécifiques pour chaque germe ;
- Membranes d'ester de cellulose, filtrantes, quadrillées et stériles (en emballage individuel) de porosité de 0.45µm et de 47 mm de diamètre susceptibles de retenir les bactéries ;
- Deux Incubateurs (Etuves) ;
- Pompe à vide ;
- Pincés stérilisés et Pipettes.



**Figure11:** Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.

#### b) Mode opératoire

- Stériliser le dispositif de filtration ;
- Mettre en place le dispositif ;
- Mettre le filtre sur la grille ;
- Filtrer un volume d'échantillon (100ml) ;
- Déposer le filtre sur le milieu de culture adapté pour chaque bactérie recherchée;
- Incuber les boîtes à la température adéquate.

La composition des milieux de culture et des réactifs utilisés est consignée en **annexe II**.

#### c) Dénombrement des Coliformes totaux et Coliformes thermotolérants «fécaux»

Cette méthode conduit à un dénombrement présomptif des coliformes totaux et des coliformes fécaux. Le nombre de colonies trouvées sera exprimé en Unité Formant Colonie dans 100 ml d'eau analysée (UFC/100ml). La flore bactérienne associée est généralement beaucoup moins abondante dans la boîte incubée à 44°C (**Figure 12**).

#### d) Dénombrement des Streptocoques fécaux

Deux tests sont effectués. Le premier est présomptif et réalisé sur le milieu de Slanetz et Bartley. Le second est confirmatif et réalisé sur gélose BEA (**Figure 13**).

### e) Dénombrement des Staphylocoques

Parmi les staphylocoques, c'est le *S.aureus* qui est dénombré sur milieu Chapman. Les colonies jaunes dorées suspectes sont dénombrées et ont fait l'objet d'une identification biochimique (**Figure14**).

#### II.3.3.1.2. Dénombrement des germes sulfitoréducteurs

Ces indicateurs de contamination fécale ancienne sont dénombrés sur gélose viande foie. Quelques bactéries anaérobies sulfito-réductrices ont été isolées et identifiées (**Figure15**).

#### II.3.3.1.3. La recherche des Salmonelles et les Vibrions

##### a) Recherche des salmonelles

Pour la recherche des salmonelles deux enrichissements successifs sur milieu SFB additionné de disques SFB ont été effectués. L'isolement est réalisé sur milieu SS (gélosé salmonelles-Shigelles). Les colonies suspectes (couleur rose ou rose à centre noir bien noire) ont fait l'objet d'une identification (coloration de Gram, test de la catalase, test de l'oxydase et tests biochimiques à l'aide de la galerie API 20 E), (**Figures 16 et 17**).

##### b) Recherche des vibrions

L'enrichissement des vibrions est effectué sur milieu Eau Peptonée Alcaline (EPA) 10 fois concentrée et l'isolement est réalisé sur gélose TCBS (Thiosulfate-Citrate-Bile-Saccharose).

Les colonies présumées vibrions ont été identifiées (coloration de Gram, test de la catalase, test de l'oxydase et tests biochimiques à l'aide de la galerie API 20 E), (**Figure 18 et 19**).

#### II.3.3.2. Dénombrement et recherche de la flore contenue dans les oursins

Notre étude consiste à l'analyse bactériologique des oursins afin de comparer les résultats avec ceux obtenus pour les eaux de surface dans lesquelles ils se trouvent naturellement. Les différentes étapes de préparation de la suspension mère et des dilutions sont illustrées dans la **figure 20**.

##### a) Recherche et dénombrement des coliformes

###### ➤ Ensemencement en profondeur

A partir des dilutions préparées, à l'aide d'une pipette Pasteur, mettre 20 gouttes de chaque dilution sur le fond d'une boîte de Pétri petite, répéter l'opération deux fois pour chaque dilution, Numéroter successivement, couler sur la gélose de désoxycholate 1‰ fondue puis refroidie à 45°C. Bien homogénéiser l'inoculum et la gélose en faisant des mouvements circulaires et de va et vient en forme de « 8 » et laisser solidifier. Incuber les boîtes pendant 24 - 48 heures à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les thermo tolérants.

###### ➤ Lecture :

Le dénombrement des coliformes se fait par comptage des colonies fluorescentes.

##### Evaluation du nombre de CT :

- Retenir les boîtes de deux dilutions successives donnant une numération comprise entre 15 et 150 colonies.

$$CT = \frac{\sum \text{du nbre des colonies des 2 boites retenues}}{1,1 \cdot d}$$

Avec :

**1,1** : constante

**d** : première dilution retenue

**Evaluation du nombre des CF :**

- Retenir les boîtes de deux dilutions successives donnant une numération comprise entre 15 et 150 colonies.
- Prendre de chaque boîte au minimum 3 colonies jaunes suspectes
- Faire le test de l'urée indole
  - Première lecture de la première dilution retenue:

$$a_1 = \frac{b}{A} \cdot C$$

b : nombre de colonies repiquées qui sont indole + et urée –

A : nombre de colonies repiquées (minimum 3)

C : nombre total de colonies par boîte retenue

- Première lecture de la deuxième dilution retenue:

$$a_2 = \frac{b}{A} \cdot C$$

Le nombre de coliformes fécaux dont *E.coli* est donné par la formule suivante :

$$CF(E.coli) = \frac{a_1 + a_2}{1,1 \cdot d}$$

d : dilution de la première boîte retenue pour  $a_1$

**b) Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux**➤ **Étalement en surface**

- Transférer à l'aide d'une pipette stérile, 2 gouttes de chaque dilution sur des boîtes de Pétri contenant le milieu Slanetz et Bartley;
- Étaler soigneusement l'inoculum le plus rapidement possible à la surface de la gélose à l'aide d'un râtelier stérile pour chaque boîte ;
- Incuber les boîtes couvercle en bas à 37°C pendant 24-48 heures.

➤ **Lecture**

Au bout de 24 à 48 h, les colonies apparaîtront comme dans le cas de l'analyse de l'eau, c'est-à-dire rouges-marrons, un isolement donc sera nécessaire sur milieu BEA, pour confirmer s'il s'agit de streptocoques fécaux. Une coloration de Gram, un test de la catalase et une identification biochimique à l'aide de galerie API 20 STREP

**c) Recherche et dénombrement des staphylocoques**

On procède de la même manière que précédemment en utilisant un milieu gélosé Baird Parker, après incuber à 37°C pendant 24-48 heures. Les colonies apparaîtront noires.

**d) Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs (ASR)**➤ **Mode opératoire**

- Prélever 1ml, à l'aide d'une pipette stérile, de chaque dilution dans un tube à essai vide ;
- Mettre les échantillons dans un bain marie à 80°C pendant 10 minutes pour éliminer toutes les formes végétatives;
- Refroidir immédiatement sous l'eau de robinet;

- Ajouter 15 ml de la gélose viande-foie additionnée des additifs sulfites de sodium et Alun de fer;
- Laisser solidifier puis incuber à 37°C pendant 24-48 heures.
  - **Lecture** : Dénombrer les colonies blanches entourées d'un halo noir. Exprimer les résultats par gramme de chair.

#### e) Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures (Figure 21)

##### ➤ Mode opératoire

A partir des dilutions préparées, Etaler 2 gouttes sur une boîte de Pétri contenant de la gélose Sabouraud, à l'aide d'un râteau stérile, puis mettre les boîtes dans un endroit propre à la température ambiante. La lecture se fait quotidiennement pendant 5 jours.

#### II.3.3.3. Recherche et numération des bactéries dans les sédiments (Figure 22)

Dans ce cas la technique utilisée est celle des tubes multiples basée sur l'ensemencement de plusieurs séries de tubes contenant des milieux de culture liquides, puis la détermination du nombre caractéristique (nombre de tubes positifs pour chaque dilution qui permettra l'établissement du nombre le plus probable, par le calcul ou la consultation de la table de Mc Grady (**Annexe II**).

En effet, prendre 25 g de sédiment à analyser et lui rajouter 225 ml d'eau distillée stérile dans un flacon stérile, bien homogénéiser le tout (dilution mère :  $10^{-1}$ ), prendre 10 ml à l'aide d'une pipette graduée stérile de DM pour la mettre dans un tube stérile ( $10^{-1}$ ), de même préparer d'autres dilutions :  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$ .

##### II.3.3.3.1. Numération des coliformes totaux et des coliformes fécaux

Après avoir agité ensemencer à partir de chaque dilution, 1 ml dans chaque tube contenant 10 ml du bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB) et une cloche de Durham, l'incubation se fait à 37°C pour les tubes destinés à dénombrer les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux pendant 48 h.

**Lecture** : Les tubes présentant un trouble avec production de gaz sont considérés comme positifs. Le résultat est donné en nombre de germes pour 100ml en se référant à la table NPP.

##### II.3.3.3.2. Numération des streptocoques fécaux

La numération des streptocoques fécaux s'effectue en deux étapes :

###### a) Test présomptif

Ensemencer une série de tubes contenant 10ml du milieu Rothe simple concentré, par 1ml de chaque dilution. L'incubation se fait à 37°C pendant 48 h.

Les tubes présentant un trouble accompagné d'un dépôt blanchâtre sont présumés de contenir des streptocoques fécaux, ils seront soumis à un test confirmatif.

###### b) Test confirmatif

Chaque tube positif est ensemencé sur le bouillon de Eva Litsky, l'incubation s'effectue pendant 48 h à 37°C. Les tubes présentant un trouble accompagné d'un dépôt formant une pastille violette, contiennent des streptocoques fécaux.

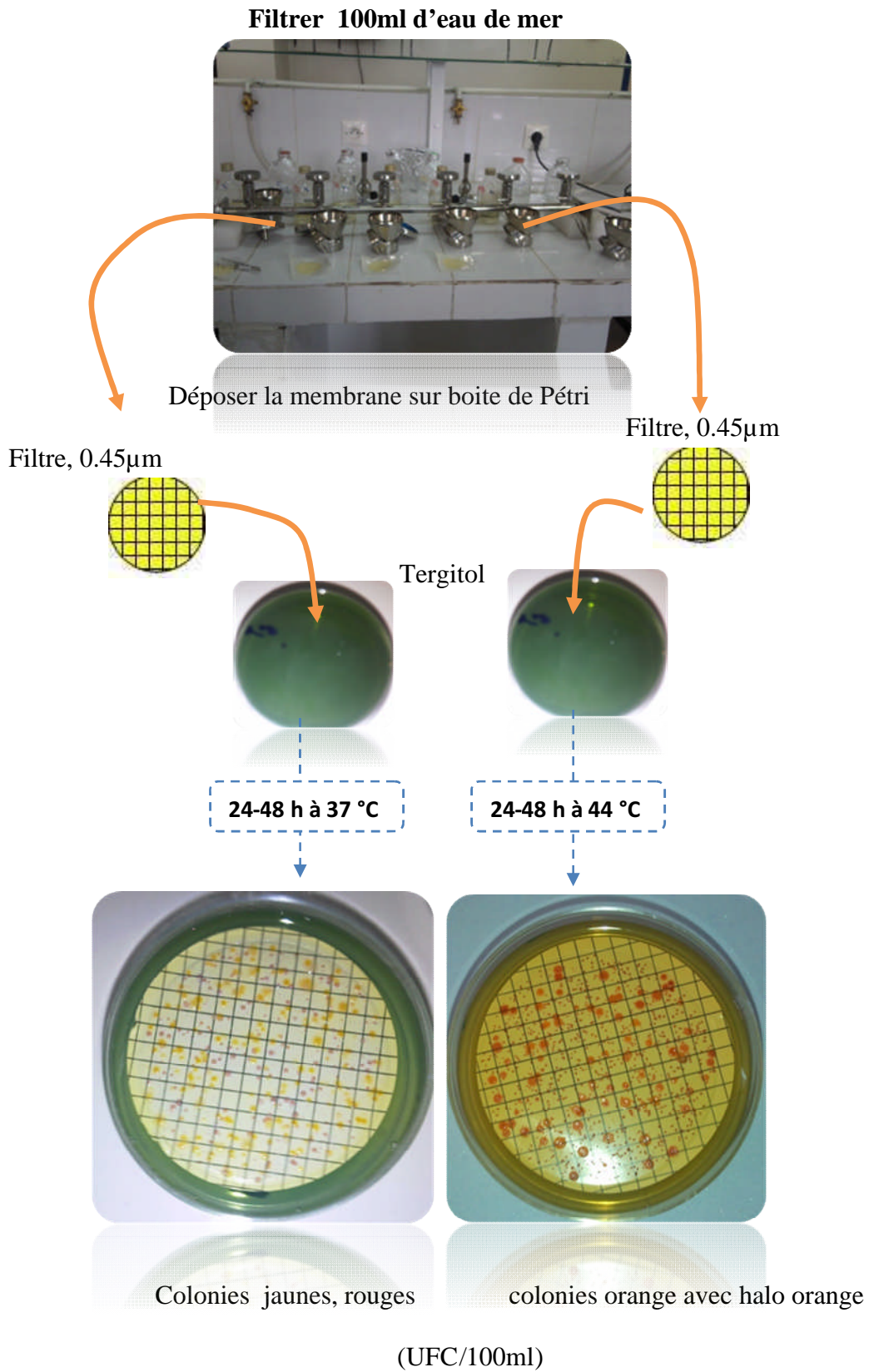
##### II.3.3.3.3. Dénombrement des anaérobies sulfitoréductrices (ASR)

Procéder de la même manière que pour le dénombrement des clostridium chez les oursins. (Voir II.3.2.2.)

##### II.3.3.3.4. recherches des salmonelles et des vibrions

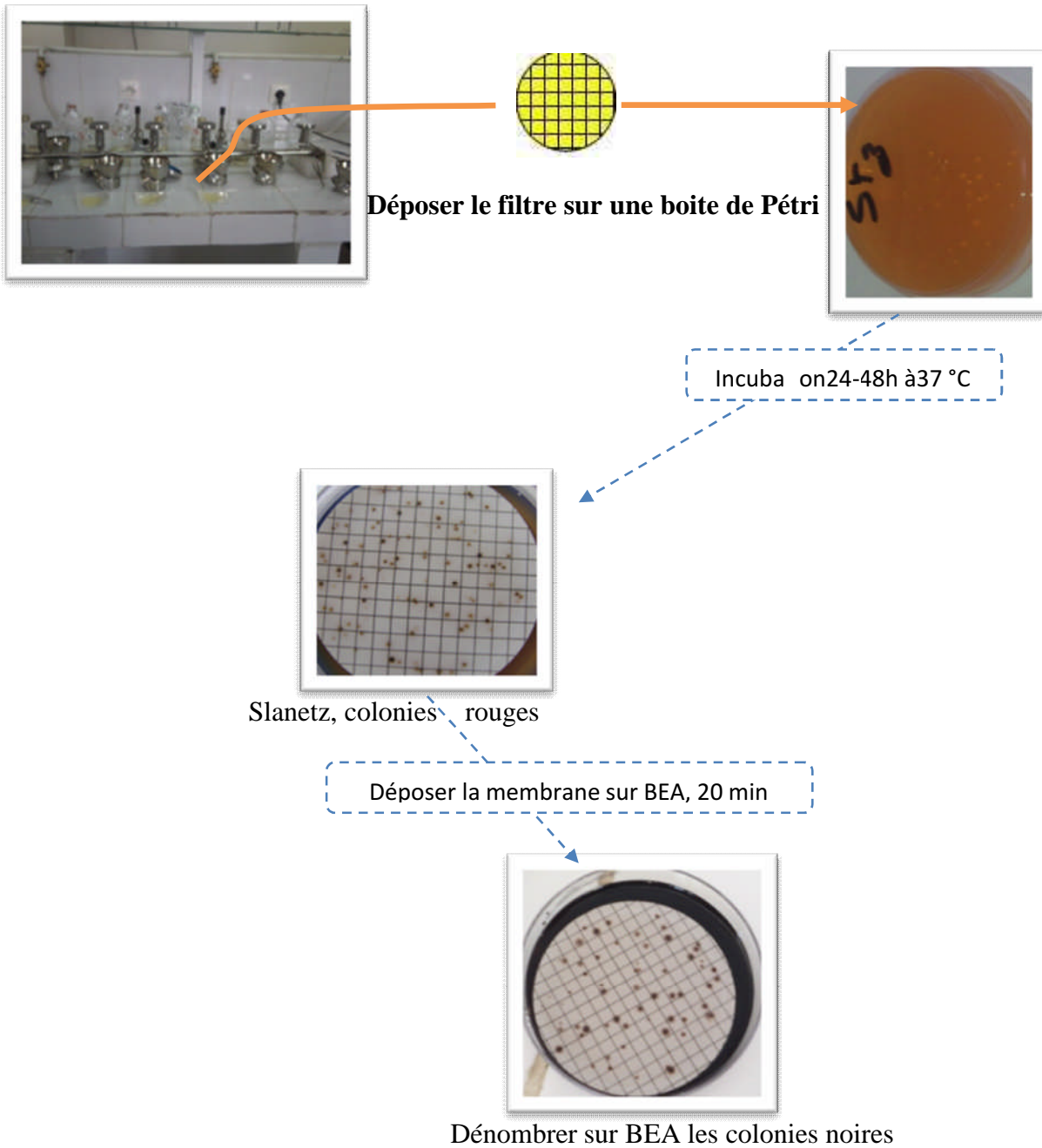
A partir des dilutions  $10^{-1}$  ensemencer 1ml dans un tube contenant 10ml de SFB et rajouter deux disques de l'additif SFB pour la recherche des salmonelles.

Pour la recherche des vibrions, ensemencer un autre tube contenant de 10 ml d'EPA par 1 ml de la dilution  $10^{-1}$ . La suite de la manipulation est analogue à celle effectuée pour l'eau. (Voir II.3.2.1.3.)

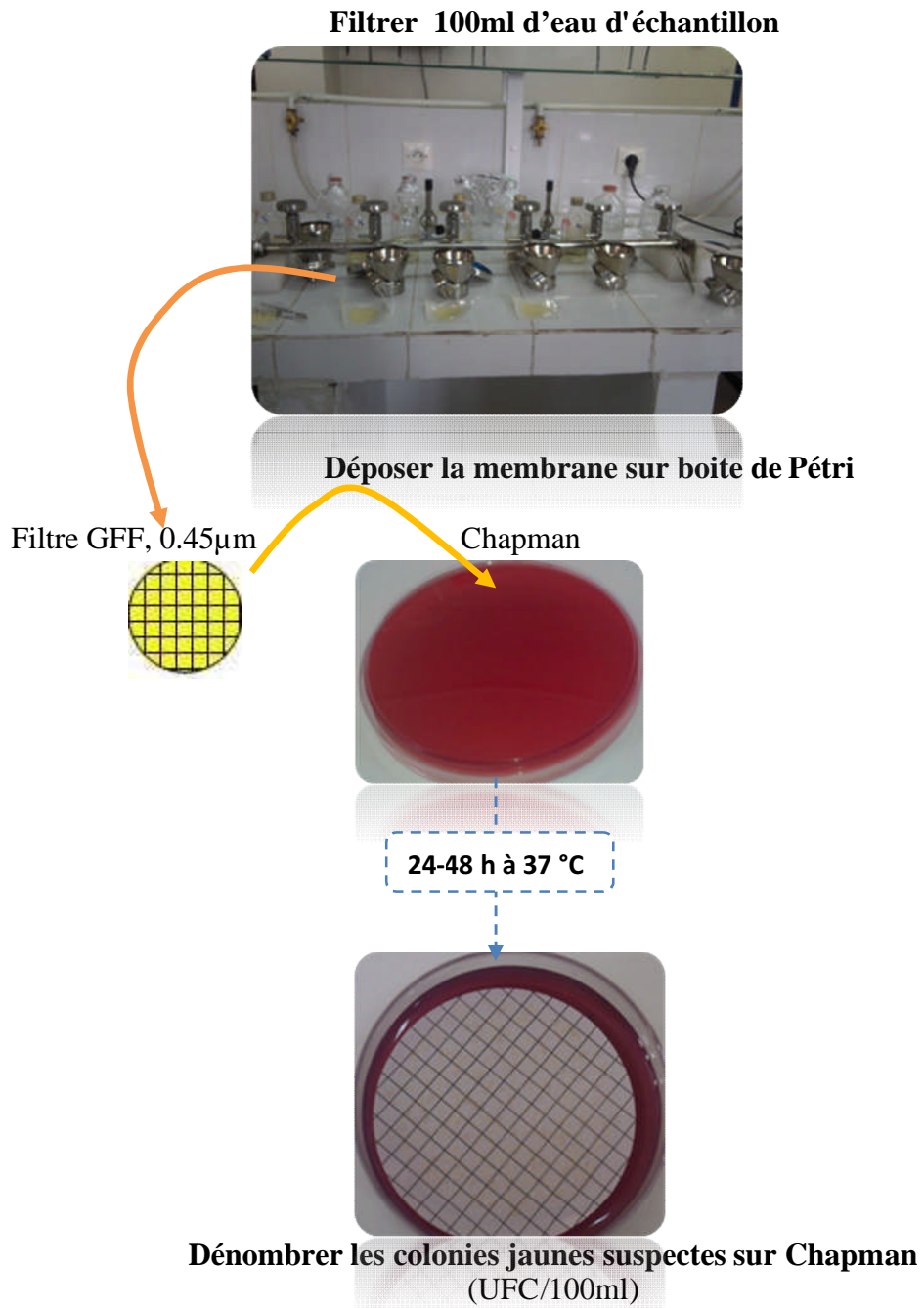


**Figure 12:** Technique de dénombrement des coliformes.

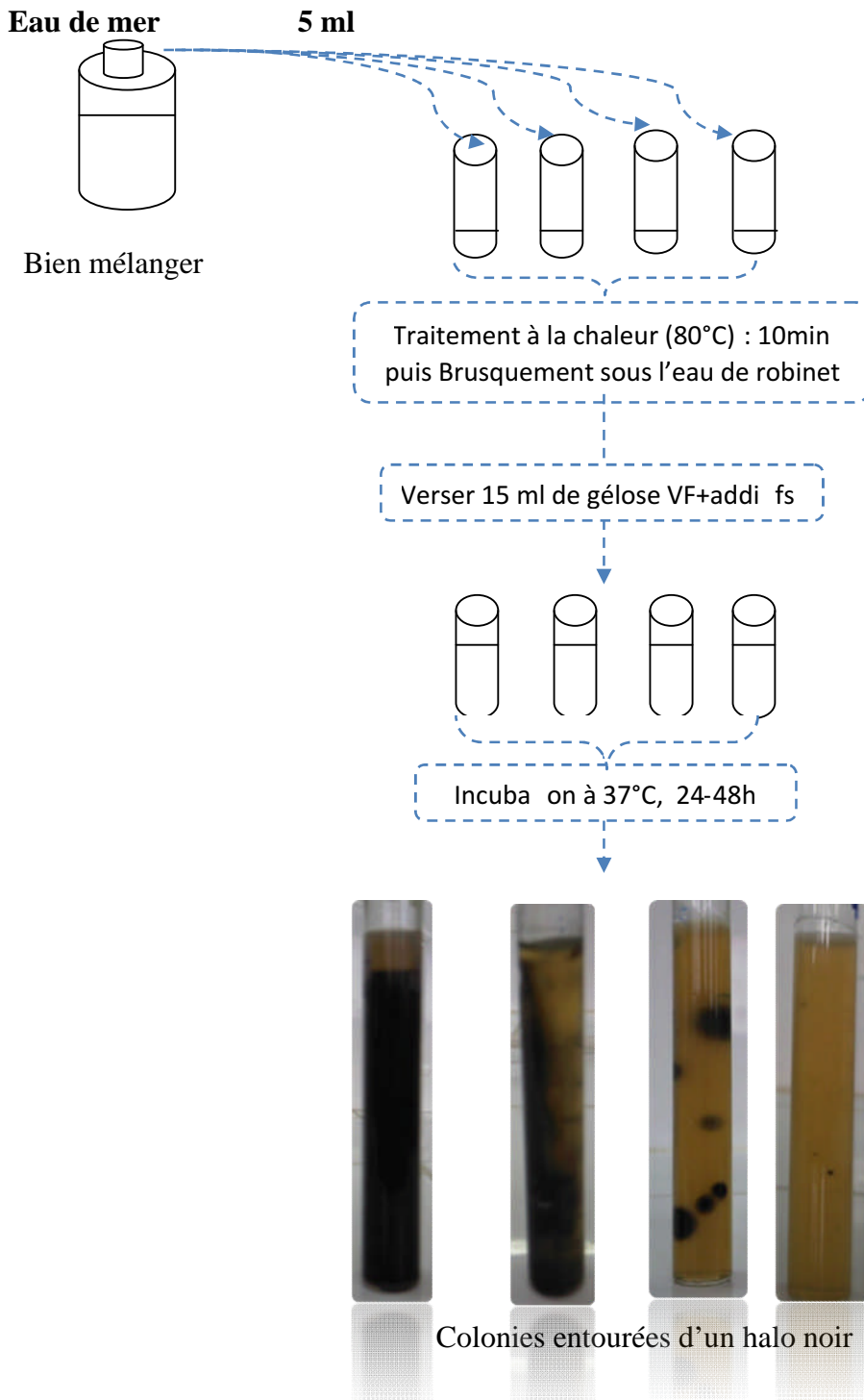
**Filtration de 100ml d'échantillon**



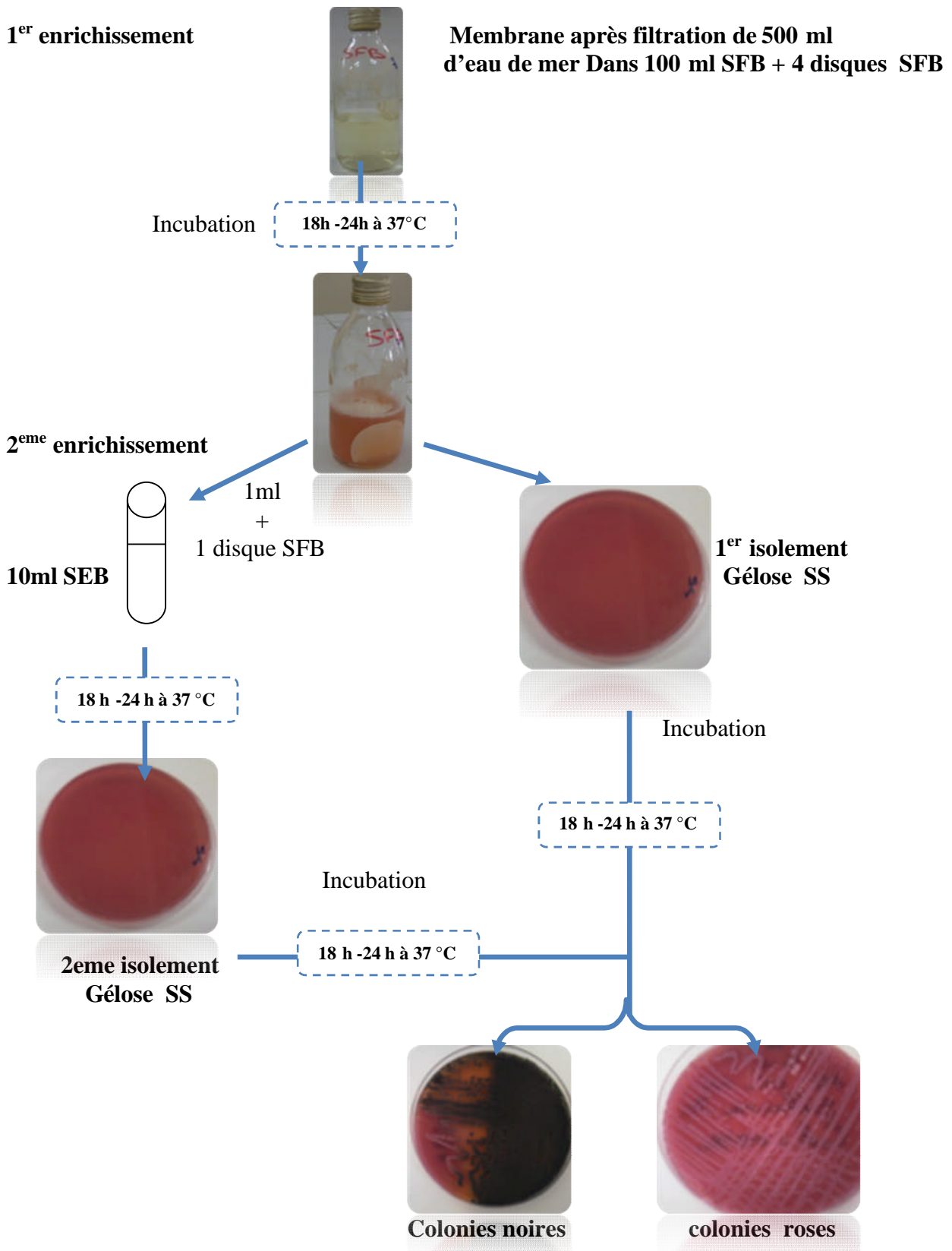
**Figure 13:** Technique de dénombrement des streptocoques fécaux.



**Figure 14:** Technique de dénombrement des staphylocoques.



**Figure 15:** Technique de recherche des bactéries sulfiteoréductrices.



**Figure 16:** Technique de recherche des salmonelles.

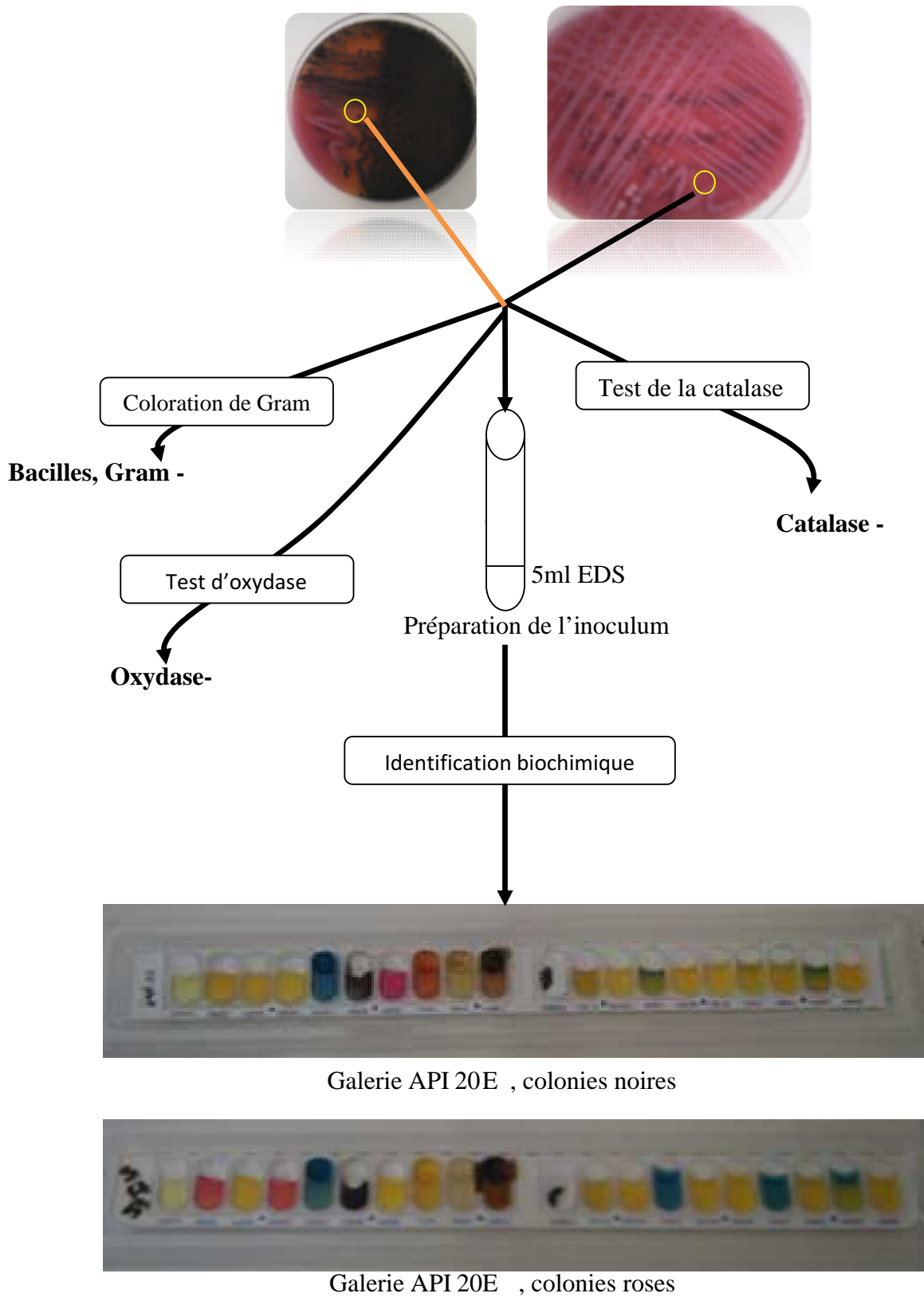


Figure 17: Technique d'identification des salmonelles.

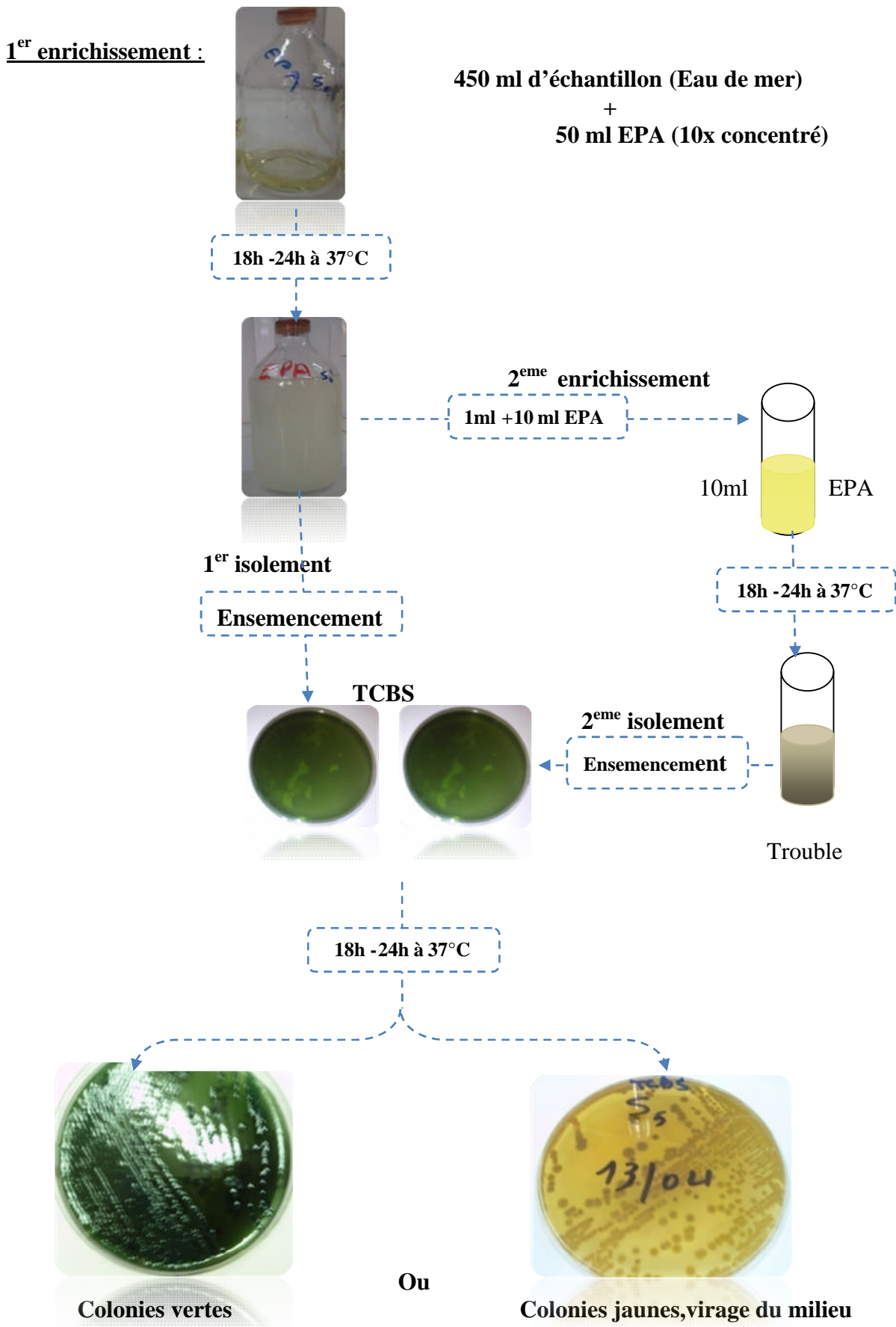


Figure18: Technique de recherche des vibrions.

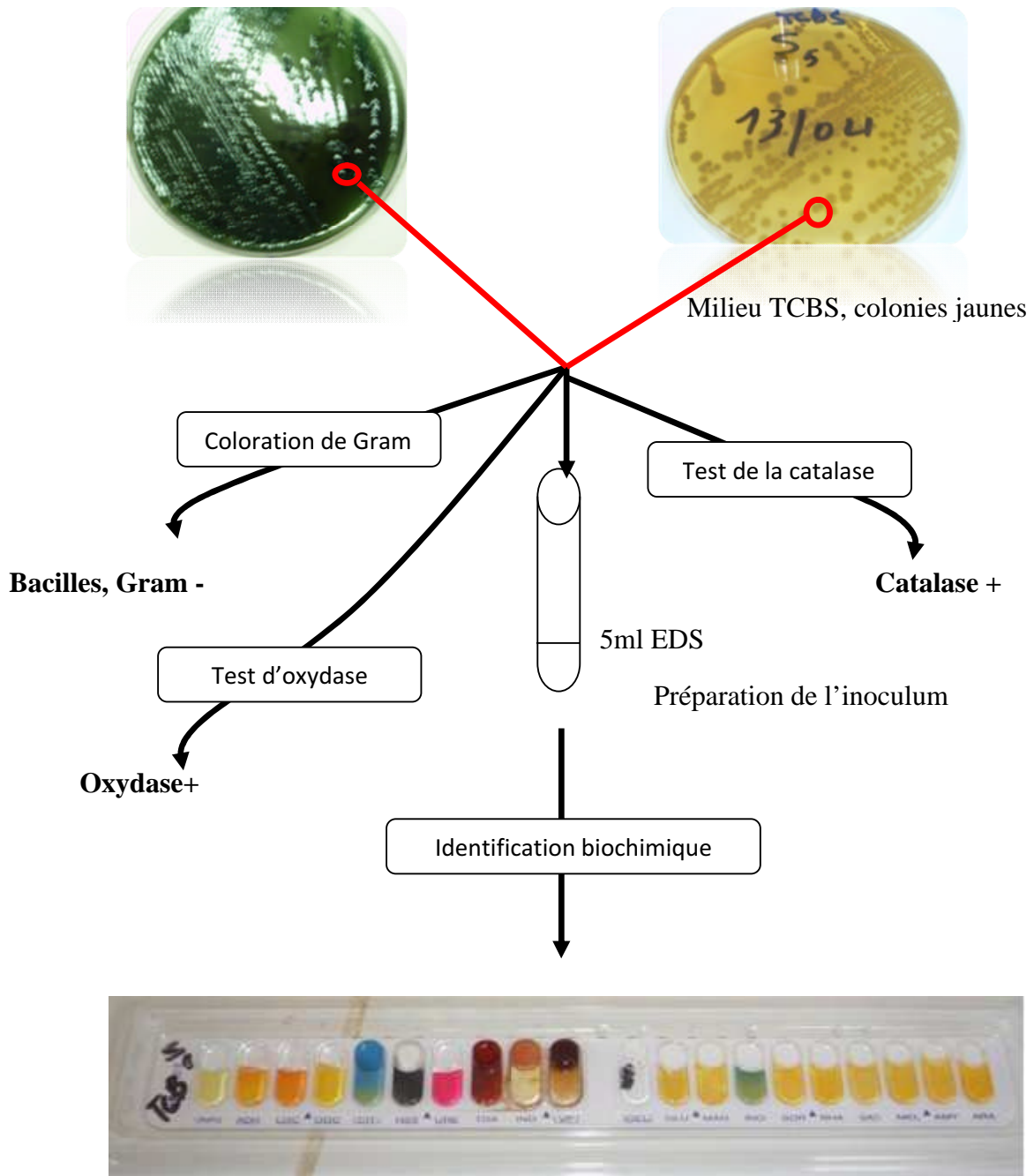


Figure 19: Technique d'identification des vibrions.

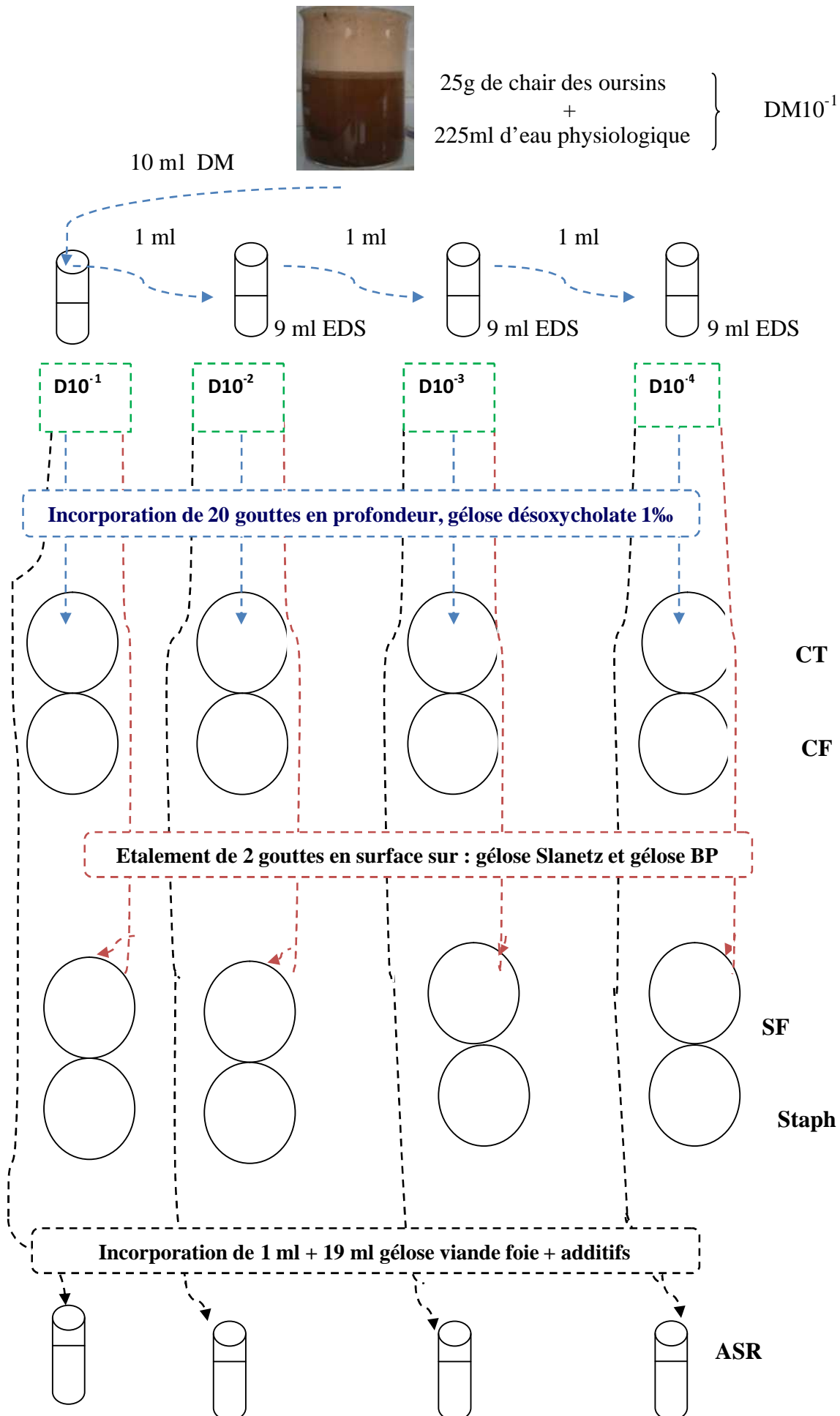
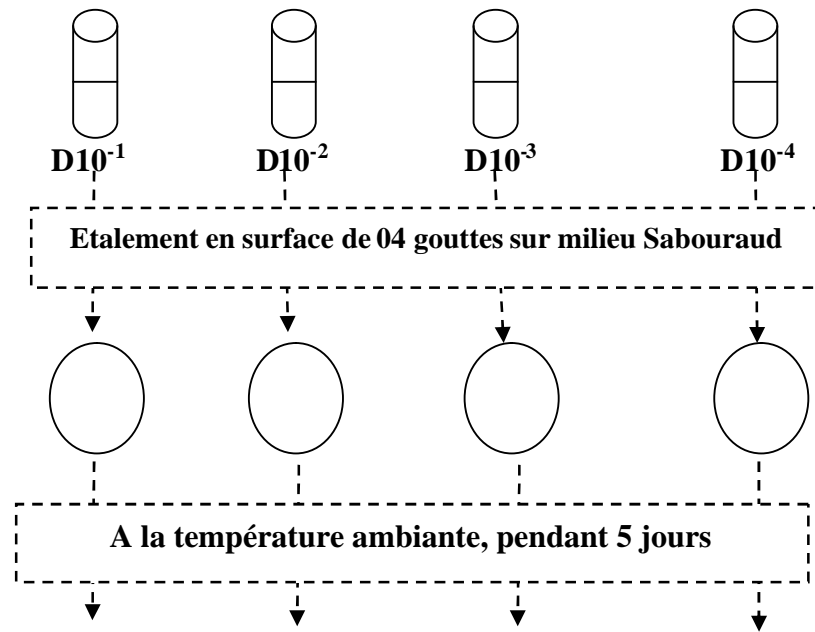
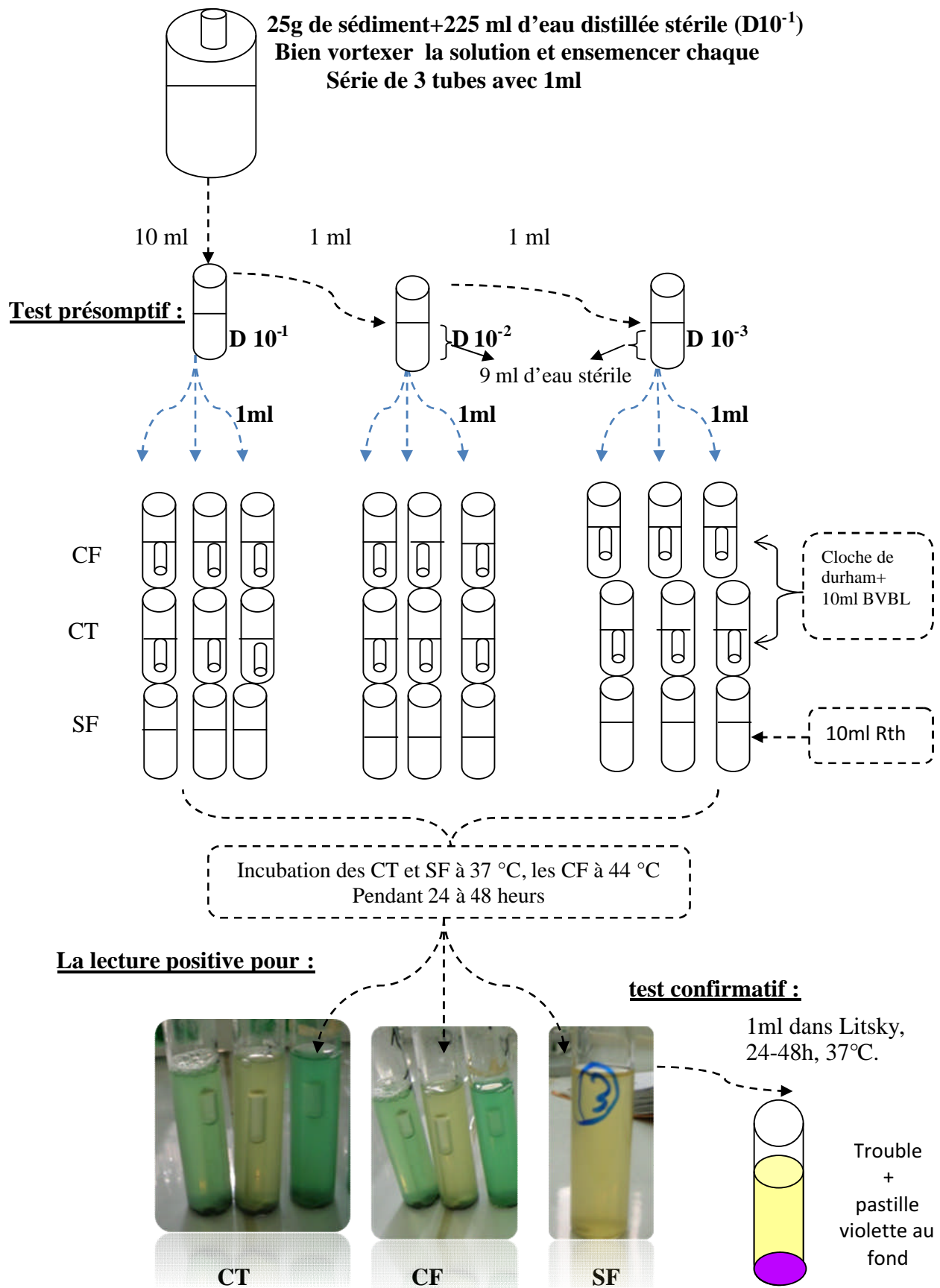


Figure 20: Recherche et dénombrement des bactéries dans les oursins.

À partir de la solution mère précédente on prépare 3 dilutions



**Figure 21 :** Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures.



**Figure 22:** Dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode des NPP dans les sédiments.

### II.3.3.4. Techniques de caractérisation et d'identification de quelques bactéries

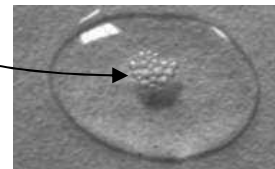
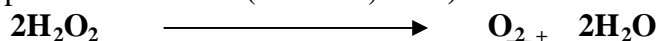
C'est un test qui permet la distinction entre deux groupes bactériens, les Gram + et les Gram -. Le mécanisme de cette coloration est connu. Le violet de gentiane se fixe sur des composants cytoplasmiques et après un temps de coloration, toutes les bactéries sont violettes. Chez les bactéries à Gram négatif, la paroi, riche en lipides, laisse passer l'alcool (ou le mélange alcool + acétone) qui décolore le cytoplasme alors que, chez les bactéries à Gram positif, la paroi constitue une barrière imperméable à l'alcool et le cytoplasme demeure coloré en violet.

#### a- Protocole de la coloration de Gram

Un frottis fixé à la chaleur et coloré pendant une minute avec une solution de violet de gentiane, le frottis coloré est rincé rapidement avec une solution iodo-ioduré de Lugol, et il y est maintenu pendant une minute. Le frottis est ensuite décoloré avec l'alcool à 95 % pendant quelques secondes jusqu'à élimination de l'excès du colorant puis rincé immédiatement avec l'eau du robinet. Le frottis est ensuite traité avec un colorant qui est une solution de Fushine, rincé rapidement au robinet et séché. Après ce traitement, les cellules Gram négatif apparaissent roses et les cellules Gram positif apparaissent sous une couleur violette (Singleton et Sainsbury, 1984)

#### b- Test de la catalase

Cette enzyme catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) qui est produit par certaines réactions cellulaires et est très toxiques, donc c'est l'une des enzymes chargée d'éponger l'eau oxygénée par la dismutation (Pelmont, 1993). La réaction catalysée est la suivante :

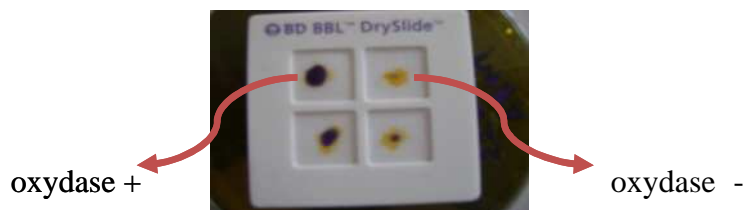


Le test de la catalase consiste essentiellement à ajouter du peroxyde d'hydrogène à des bactéries : la présence de catalase donne lieu à l'apparition de bulles d'oxygène.

#### c- Test d'oxydase

Ce test est réalisé à l'aide d'une plaque de marque « BD BBL DrySlide » contenant quatre petits carrés pré-imprégné par un réactif et destiné chacun à tester une colonie bactérienne.

- Ecraser, avec une effilure d'une pipette Pasteur, une colonie de germe à étudier sur le petit carré. S'il y a apparition d'une tache violette au bout de 30 secondes, on pourra conclure que la bactérie est et qu'elle possède la cytochrome oxydase, dans le cas contraire la bactérie est oxydase - .



#### d- Identification par la méthode des galeries API

Les galeries Api utilisent 20 tests : Etude de la fermentation de divers glucides, recherche directe d'un enzyme. Chaque microtubule contient un substrat différent sur lequel le micro-organisme considéré va réagir. Ils sont remplis d'une suspension bactérienne calibrée. Différentes galeries API ont été utilisées pour l'identification des différents germes à titre d'exemple : API 20 STREP pour les streptocoques, API20 STAPH pour les staphylocoques, API20 A pour les anaérobies et API 20 E pour les entérobactéries dont les coliformes et salmonelles et qui peut être utilisée pour l'identification des non entérobactéries (Vibrio, Pseudomonas). Le mode opératoire détaillé est consigné en annexe II.

Résultats  
et  
discussion

### III. Résultats et discussion

Dans le cadre de notre étude, la fréquence d'échantillonnage de l'eau de mer a été fixée à 04 pour une période allant du mois de mars au mois de mai.

Pour l'analyse de l'eau, Onze stations ont été choisies dont neuf sont au niveau du port et deux au niveau de la plage Est (l'une près de la côte et l'autre au large).

En ce qui concerne les sédiments, nous avons optés pour huit stations pour le dosage des métaux lourds et sept pour le dosage des hydrocarbures totaux. Quant aux oursins, nous les avons prélevés au niveau de la passe d'entrée.

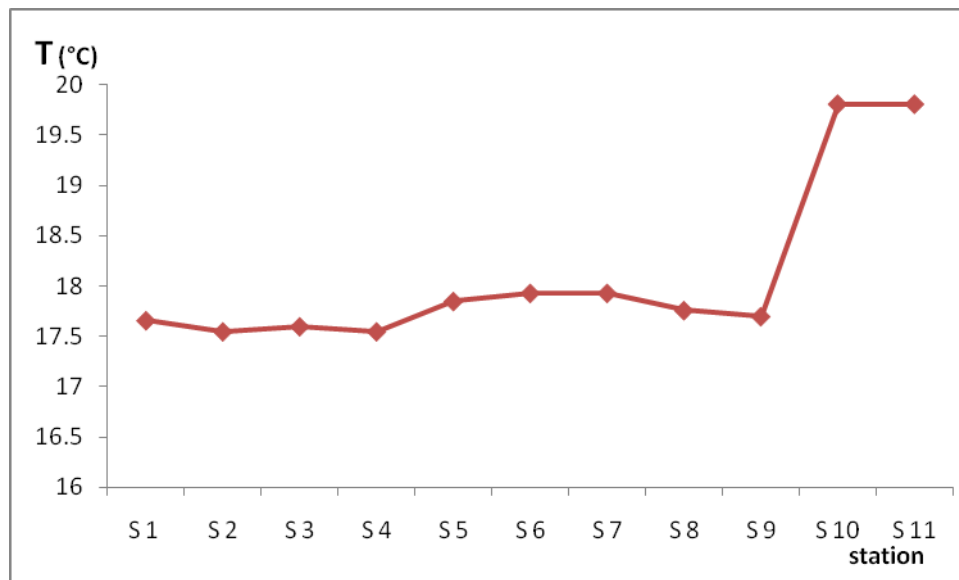
Les échantillons ont fait l'objet des analyses physico-chimiques et bactériologiques (eau, sédiments et oursins), et les taux obtenus ont été comparés aux normes Algériennes en vigueur (annexe III)

#### III. 1.Variation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du port de Sidi Fredj et de la plage Est

##### III. 1.1.Variation des paramètres physico-chimiques

##### III. 1.1.1.La Température

La température a été prise à 30cm de la surface de l'eau. Durant toute la période d'étude, la température moyenne fluctue entre 17.55 – 19.8 °C selon les stations avec une moyenne de 18.1°C et un écart type de 0.84°C. **Figure 23**



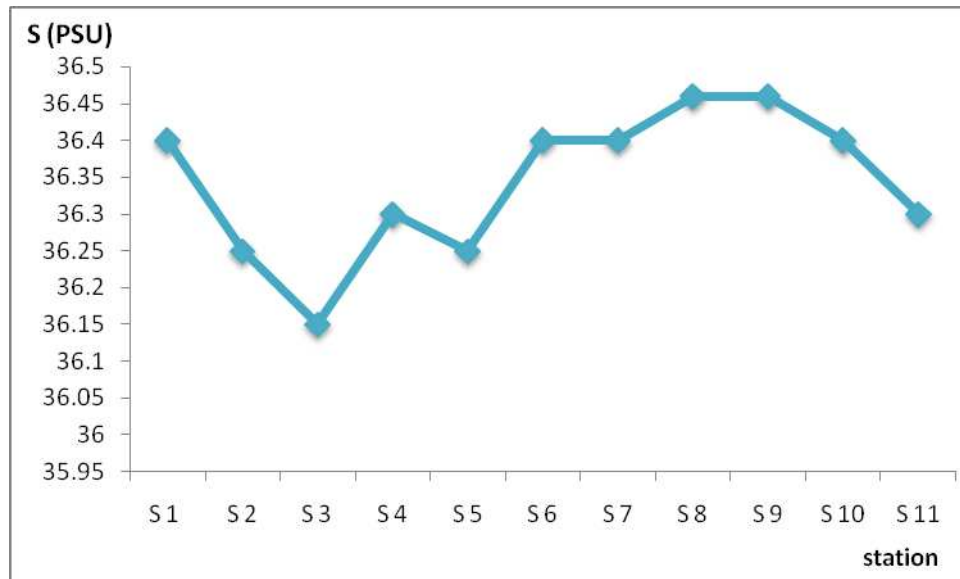
**Figure 23:** Variation des moyennes de la température en fonction des stations.

Les valeurs minimales mesurées sont aux niveaux des stations du port, par contre les maximales sont enregistrées aux niveaux des deux stations de la plage. IL convient de noter que les mesures de températures des eaux de la plage Est se sont déroulées durant le mois de Mai uniquement.

D'une manière générale, les valeurs obtenues sont influencées par celles de l'air. Elles sont saisonnières et restent inférieures aux normes algériennes (inférieures à 30°C), (Jora ,2006).

### III. 1.1.2. La Salinité

Les résultats obtenus indiquent que les valeurs moyennes de la salinité ne fluctuent très légèrement entre 36.15 PSU (S3) et 36.47 PSU avec une moyenne de 36.34 PSU.



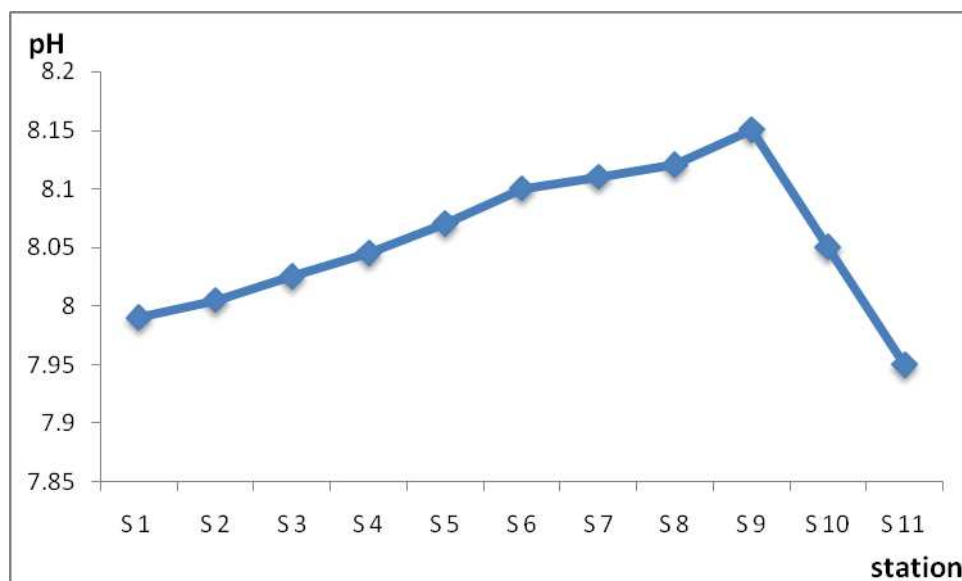
**Figure 24 :** Variation des moyennes de la salinité en fonction des stations.

On remarque aussi que les valeurs de la salinité sont relativement homogènes et proches de celles de la plage.

En Méditerranée, la salinité est voisine de 38 à 39 PSU au large, mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (**Aminot et Chaussapied, 1983**).

### III. 1.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Les valeurs du pH sont comprises entre 7,95 et 8,15. La moyenne est de 8,05. Elles restent dans les limites fixées par la législation algérienne pour les eaux de mer (6 à 8). (**JORA, 2006**).



**Figure 24 :** Variation des valeurs moyennes du pH en fonction des stations.

### III. 1.1.4.L'Oxygène dissous

L'eau saturée d'air, à 20°C et sous la pression normale contient 9.1 mg/l d'oxygène (Rodier, 1996). Les teneurs en oxygène dissous varient entre 4.3 et 7.5 mg/l avec une moyenne de 5.38 mg/l et un écart type de 1.15 mg/l.

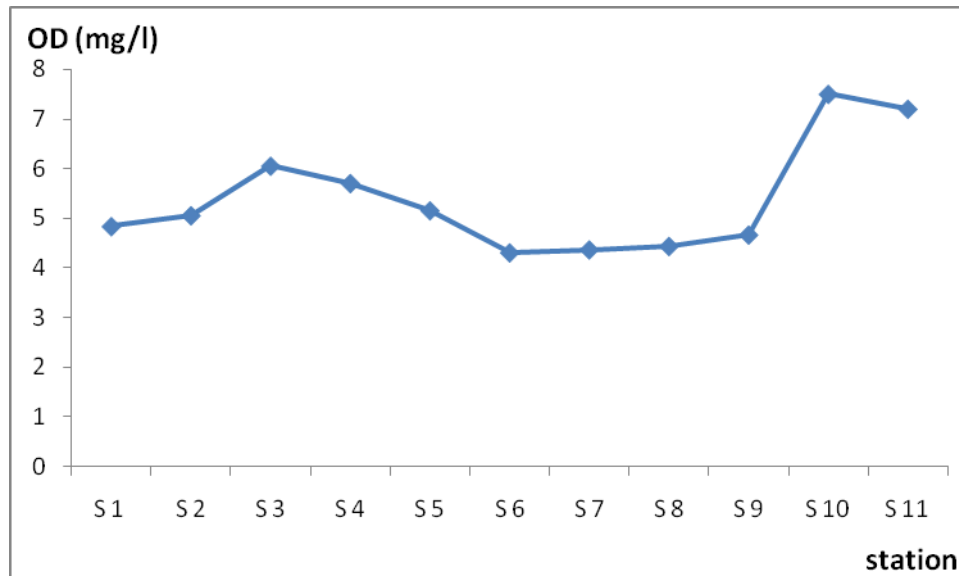


Figure 26: Variation des moyennes de L'oxygène dissous en fonction des stations.

La teneur minimale en oxygène dissous enregistrée est de 4.3 mg/l (station6) .Cette faibles concentration indique une intense consommation d'oxygène par le processus de reminéralisations de la matière organique en provenance des eaux de ruissellement, des eaux usées des entretiens des bateaux et de l'ancienne conduite d'égout qui est fermée actuellement.

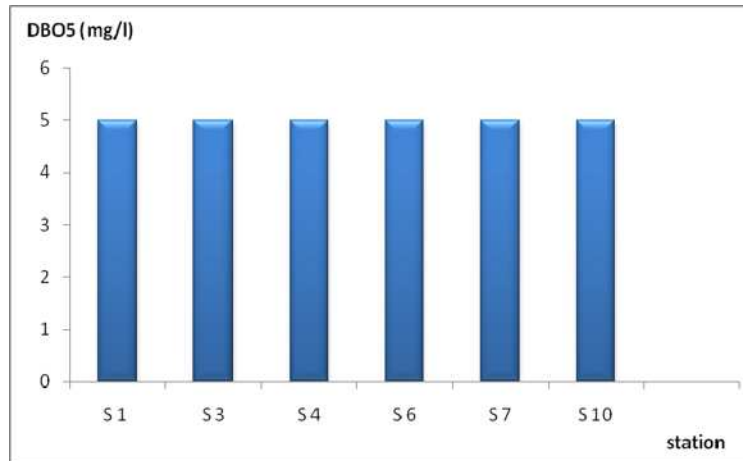
La plus forte teneur en oxygène dissous se trouve au niveau de la station 10 qui est de l'ordre de 7.5 mg/l. à ces endroits, les eaux sont relativement bien oxygénées. Ces eaux sont en contact permanent avec celles de la baie et ce qui permet leur renouvellement continu.

Les concentrations de l'oxygène dissous à l'intérieur du port montrent que les eaux des bassins ne sont pas suffisamment aérées, ce qui peut être expliqué par :

- La morphologie du port (bassins semi fermés et à faibles profondeur).
- La forte charge en matières en suspension, le faible hydrodynamisme (endroit calme), peuvent diminuer la dissolution de l'oxygène dans l'eau.
- Les films formés par les hydrocarbures (essence, fuel, huiles,...) à la surface de l'eau ralentissent ou peuvent même entraver la ré-oxygénation de l'eau par l'atmosphère. (Aminot et Kérouel, 2004).

### III. 1.1.5. La DBO<sub>5</sub>

L'objectif de ce test est de déterminer le degré de la pollution organique et de son oxydation par voie biologique dans l'eau de mer. Malheureusement, faute de moyens et de temps, seules quelques stations ont fait l'objet de cette analyse.

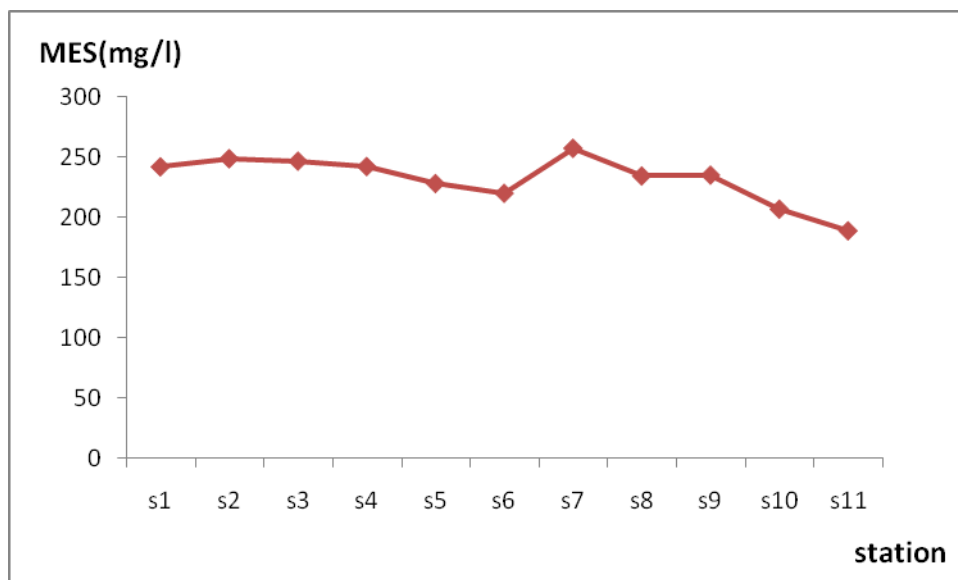


**Figure 27 :** Variation de la (DBO<sub>5</sub>) en fonction des stations.

Les résultats obtenus montrent que la DBO<sub>5</sub> ne dépasse pas 5 mg/ml. Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> enregistrées sont faibles, ceci peut être expliqué en partie par le faible taux de la matière organique enregistré dans ce site.

### III. 1.1.6. Les matières en suspension (MES)

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



**Figure 28 :** Variation des moyennes de la (mes) en fonction des stations.

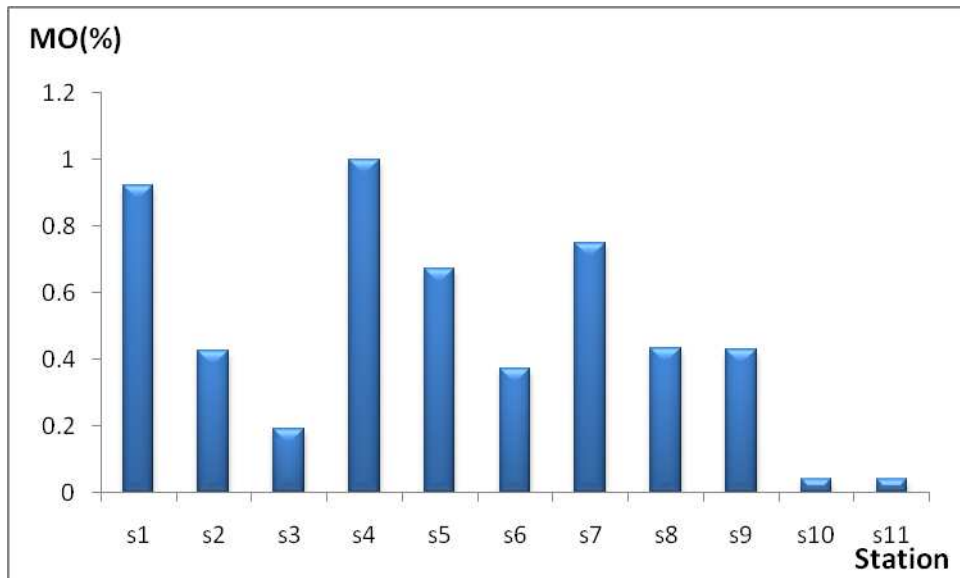
Les teneurs moyennes en matière en suspension au niveau du port varient entre 189 et 257.66 mg/l avec une moyenne de 232.08mg/l et un écart type de 20.07 mg/l.

La plus grande valeur (257.66 mg/l) est enregistrée au niveau de la station 7.

Ces taux sont importants à l'intérieur du port et deviennent faibles à partir de la passe vers l'extérieur. Ceci est dû à la faible profondeur des bassins, la nature du fond (sable fin), l'agitation causée par la circulation des bateaux qui favorisent la remise en suspension des sédiments superficiels.

### III. 1.1.7. La matière organique (MO)

Théoriquement, les ports étant le réceptacle de nombreux déchets générés par l'activité humaine, les teneurs en matières organiques sont assez élevées par rapport à celles mesurées en milieu marin.



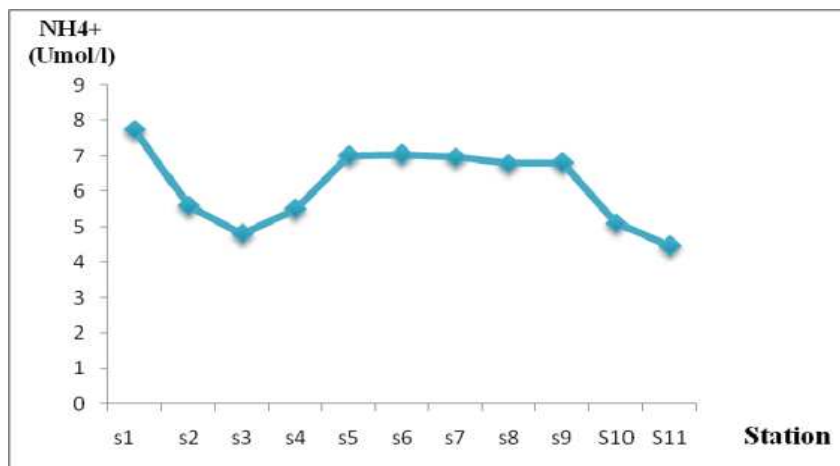
**Figure 29 :** Variation des moyennes des taux de matières organiques en fonction des stations.

Cependant, dans le port de Sidi Fredj la moyenne des teneurs en matière organique est de 0.47 % avec un écart type de 0.32 %. Le taux le plus élevé est relevé au niveau de S4 avec une valeur de 1 %.

### III. 1.1.8. Les Sels nutritifs

#### III. 1.1.8 .1.L'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal provient essentiellement de la dégradation des protéines et des acides aminés par les bactéries ainsi que des excréments animales.



**Figure 30 :** Variation des moyennes des concentrations d' NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en fonction des stations.

Les teneurs en ammonium varient entre 4.79 à 7.75  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 6.16  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 1.09  $\mu\text{mol/l}$ .

Les eaux du port et de la plage Est présentent de fortes valeurs en ammonium, cela peut être expliqué par les eaux pluviales et les ruissellements ainsi que par les activités portuaires et des rejets des bateaux de plaisances.

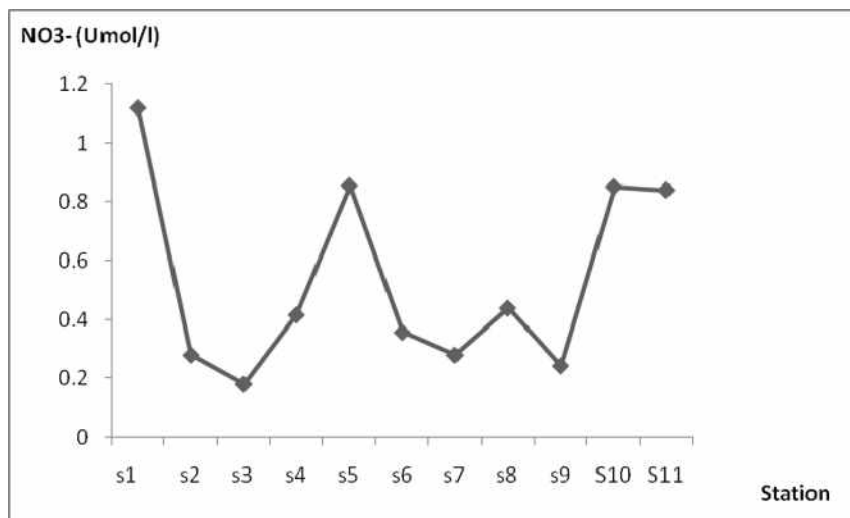
Les plus fortes valeurs (6.79 à 7.75  $\mu\text{mol/l}$ ) sont enregistrées aux niveaux de S1, S5, S6, S7, S8 et S9.

Les stations 3, 10 et 11 présentent des concentrations relativement inférieures aux autres stations à cause du phénomène de dilution, la station 3 présente une communication avec la mer et les stations 10 et 11 se situent en dehors du port (plage Est).

### III. 1.1.8.2. Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

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

Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites.



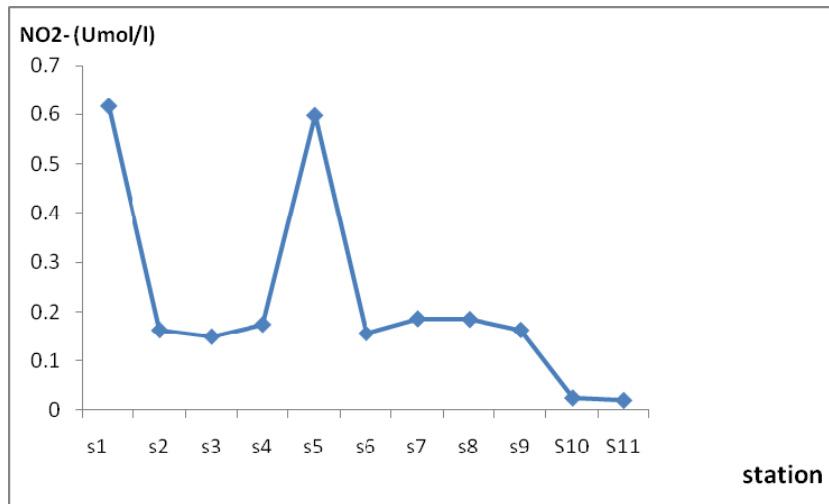
**Figure 31** : Variation des concentrations moyennes des  $\text{NO}_3^-$  en fonction des stations.

Les teneurs en nitrates varient entre 0.18 à 1.12  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 0.53  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 0.32  $\mu\text{mol/l}$ .

Les faibles concentrations aux niveaux de S3 et S9 sont peut être dues à une forte activité photosynthétique et à une faible régénération bactérienne.

### III. 1.1.8.3. Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites proviennent d'une oxydation de l'ammonium (nitrosation) et de la réduction des nitrates (dénitrification).



**Figure 32 :** Variation des moyennes de concentration des  $\text{NO}_2^-$  en fonction des stations.

Les teneurs en nitrites varient entre 0.019 à 0.61  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 0.22  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 0.19  $\mu\text{mol/l}$ .

Les faibles valeurs en nitrites peuvent être expliquées par le fait que cet ion est un élément intermédiaire dans la réaction de dénitrification.

Les valeurs les plus élevées sont attribuées soit à l'apport de substances organiques ou non organiques par les rejets directs d'eaux pluviales dans le bassin du port (auxquelles se mêlent quelquefois des eaux usées parasites), soit à la formation des nitrites à partir de la dégradation de la matière organique et l'oxydation de l'ammonium.

#### III. 1.1.8.4. Les orthophosphates

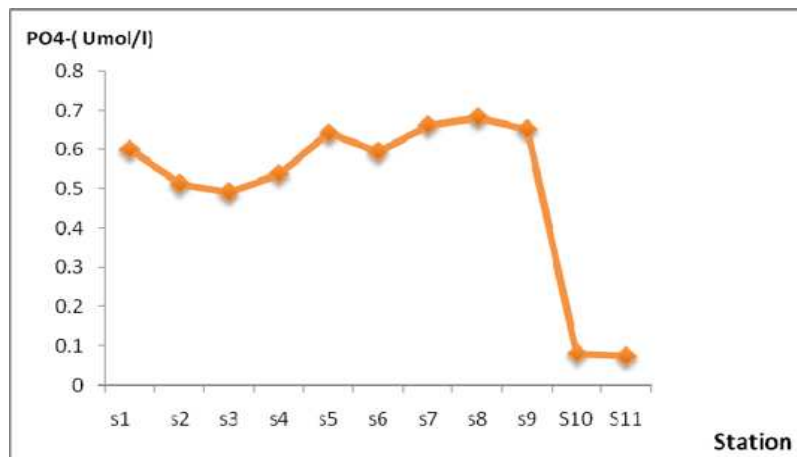
Les teneurs en phosphates enregistrées varient entre 0.074 à 0.68  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 0.5  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 0.21  $\mu\text{mol/l}$ . (**Figure 33**)

Les phosphates peuvent provenir des détergents utilisés lors de l'entretien des bateaux de plaisances et des eaux de ruissèlement.

Les valeurs la plus élevées sont enregistrées au niveau du port. Elles sont dues aux travaux d'entretien des bateaux, qu'il s'agisse de leur entretien courant (lavage avec des détergents anioniques) ou périodique (entretien et peintures des coques sur les aires de carénage, petites et grosses réparations).

Ce qui reflète typiquement la situation en méditerranée où 4/5<sup>ème</sup> des concentrations en orthophosphates sont issues des rejets telluriques (**Bethoux, 1980**).

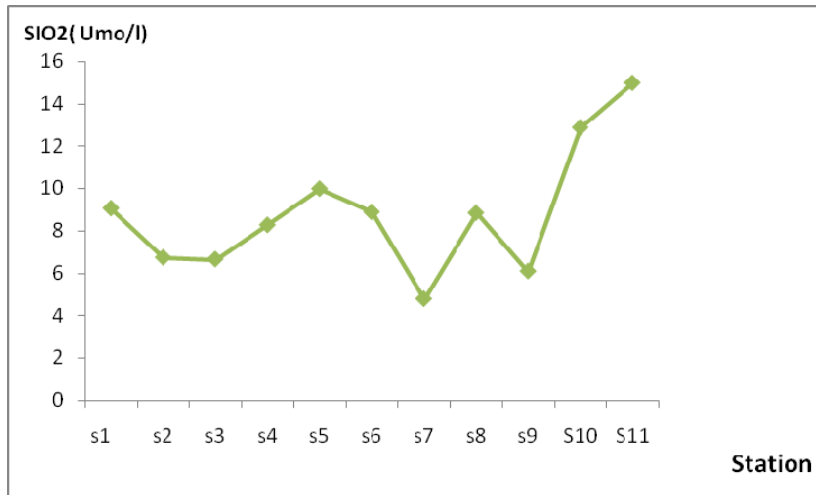
Les faibles teneurs sont enregistrées dans les stations 10 et 11 de la plage.



**Figure 33 :** Variation des moyennes de concentration des  $\text{PO}_4^-$  en fonction des stations.

### III. 1.1.8.5. Les silicates

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 testés siliciques. Il rentre aussi dans la composition du sable.



**Figure 34 :** Variation des moyennes de concentration des  $\text{SiO}_2$  en fonction des stations.

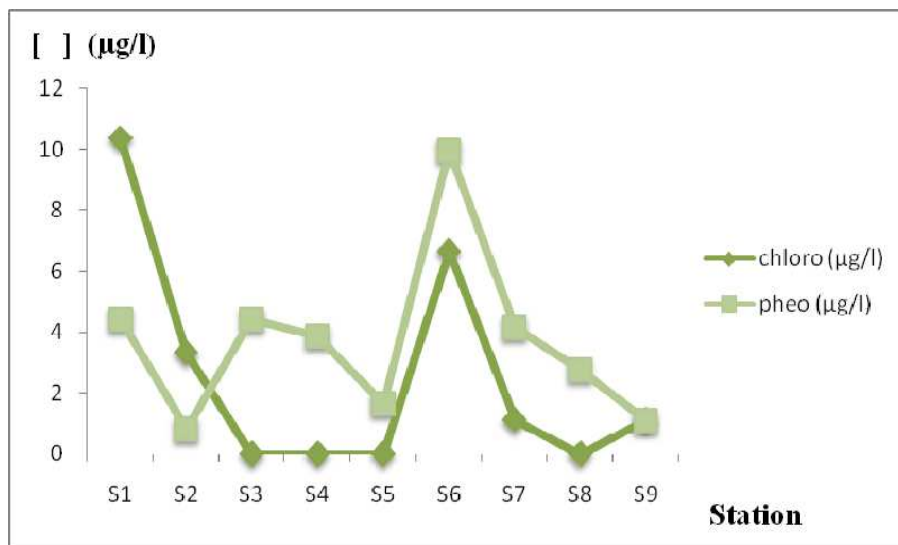
Les teneurs en silice varient entre 4.76 à 14.98  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne de 8.82  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type de 2.98  $\mu\text{mol/l}$ . **Figure 34**

Les plus fortes concentrations sont enregistrées au niveau de la plage. Alors que celles du port sont relativement homogènes.

### III. 1.1.9. La chlorophylle *a* et les phéopigments

Les courbes des concentrations moyennes de la chlorophylle et des phéopigments ont la même tendance, leurs variations sont influencées par des facteurs climatiques ( $T^\circ$ , ensoleillement.) et physicochimiques (turbidité, sels nutritifs.)

Les concentrations en chlorophylle *a* varient entre 0 et 10.34  $\mu\text{g/l}$  avec une moyenne de 2.50  $\mu\text{g/l}$ . (**Figure35**)



**Figure35 :** Variations des moyennes de concentration de la chlorophylle *a* et les phéopigments en fonction des stations.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées aux niveaux de S1 et S6, ceci est peut être du aux fortes concentrations en ammonium et nitrates qui sont utilisées par le phytoplancton pendant sa croissance.

Le reste des stations présente des teneurs faibles voire nulles et cela peut être expliqué par la forte charge en (MES) qui empêche la pénétration de la lumière et donc limite la photosynthèse. Les films formés par les hydrocarbures à la surface de l'eau ralentissent et peuvent même empêcher la ré-oxygénation de l'eau par l'atmosphère. Il en résulte que l'autoépuration des eaux, ainsi que la vie et le développement de la flore et de la faune aquatique, peuvent être gravement compromises.

En revanche, les phéopigments résultent du broutage et de la dégradation des cellules et ne sont donc pas physiologiquement actifs. Les concentrations en phéopigments varient entre 0.83 et 9.97  $\mu\text{g/l}$  avec une moyenne de 3.69  $\mu\text{g/l}$ . Elles varient proportionnellement à la chlorophylle.

Cela suggère qu'il y'aurait un équilibre entre la flore phytoplanctonique vivante et jeunes et les cellules vieillis qui seront dégradées et broutées par le zooplancton.

### III. 1.1.10. Etude comparative des paramètres physico-chimiques des eaux 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 1 :** Résultats moyennes des paramètres physicochimiques enregistrés au niveau du port de Sidi Fredj.

	T (°C)	OD (mg/l)	MES (mg/l)	pH	S (psu)
<b>P.Sidi Fredj (OUKAZI ,1992)</b>	24,58	8,08	16,24	8,10	35,46
<b>(AMRANI – FERHAT,1994)</b>	25,73	8,26	25,54	7,78	36,18
<b>Notre etude,(2010)</b>	18,1	5,38	232,06	8,05	36,34

Au regard du 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 juillet à septembre pour Oukazi , juin pour Amrani-Ferhat et mars 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 autres travaux 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.

Pour les matières en suspension, les valeurs enregistrées dans notre étude sont nettement plus élevées, la turbidité dans les bassins du port devient de plus en plus importante.

Quant aux pH et la salinité très peu de variations sont notées.

Le tableau qui suit représente les moyennes de différentes formes de sels nutritifs mesurés au niveau du port de Sidi Fredj, du port de Marseille, ainsi que du port d'Annaba.

**Tableau 2:** Teneurs moyennes des eaux des ports de Sidi Fredj ,Marseille et d'Annaba en sels nutritifs.

Paramètres	P.Sidi Fredj	P.Marseille	P.Annaba	P.Sidi Fredj
NO <sup>3-</sup> (µmole/l)	1.39	1.78	726.48	0.53
NO <sup>2</sup> (µmole/l)	0.39	0.14	2.97	0.22
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µmole/l)	1.26	0.2	202.2	0.50
References	(AMRANI – FERHAT,1994)	(Tethys ,1982)	(ZITOUNI ,2000)	présente etude,2010

D'après ces données, on constate que les teneurs des eaux du port de Sidi Fredj en sels nutritifs ont nettement diminué de puis 1994, cela peut s'expliquer par le fait que les eaux usées ne sont plus rejetées directement, un collecteur a été installé. Elles sont aussi nettement inférieures à celles enregistrées au niveau du port d'Annaba où on note des taux alarmants.

### III. 1.2. Evaluation des paramètres bactériologiques des eaux

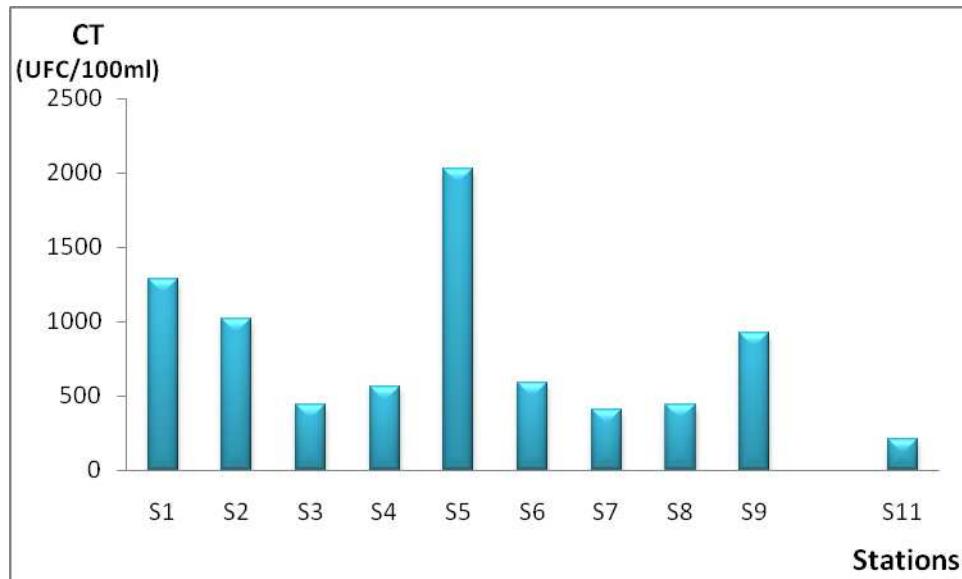
La colimétrie des eaux, pour les neuf stations du port et deux autres au niveau de la plage Est de Sidi Fred, a été effectuée ainsi que la recherche des germes pathogènes tels que les staphylocoques, les vibrions, et les salmonelles et les sulfitoréducteurs.

Un tableau présentant les valeurs des concentrations moyennes des germes recherchés est consigné en annexe III.

#### III. 1.2.1.Résultats de recherche et de dénombrement des germes indicateurs de la pollution

##### III. 1.2.1.1.Les Coliformes Totaux

L'histogramme ci-dessous, nous révèle que toutes les valeurs moyennes en coliformes totaux sont inférieures aux normes impératives (10000CT/100ml), à l'exception de la station S<sub>10</sub> dont les boîtes présentées des colonies confluentes et indénombrables. C'est certainement dû à la remise en suspension des particules du fond, lié au déferlement des vagues (station proche de la côte).



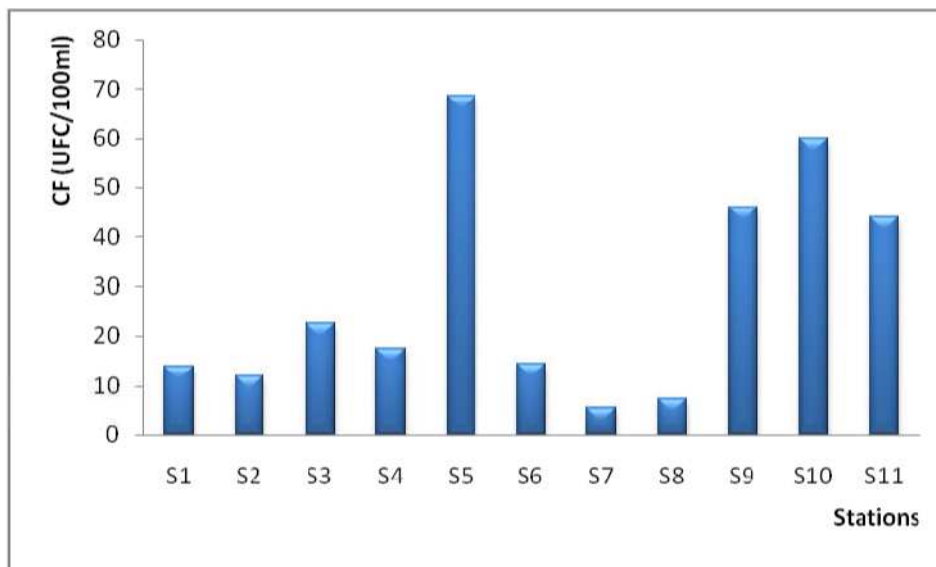
**Figure 36 :** Variations des concentrations moyennes des coliformes totaux (CT) en fonction des stations.

Pour les stations S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>9</sub> les concentrations moyennes en CT sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites (500 et 10000 CT/100 ml). (JORA, 1993)

Néanmoins, c'est au niveau de S<sub>5</sub> que nous enregistrons la plus grande valeur, nous pensons que ceux sont des taux résiduels dus aux eaux usées rejetées auparavant par l'égout implanté au niveau de ce bassin mais celui-ci est actuellement fermé.

### III .1.2.1.2. Les Coliformes thermotolérants « Fécaux »

Dans cette étude, nous avons ciblées les coliformes d'origine fécale dont *E.coli* car c'est l'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien.

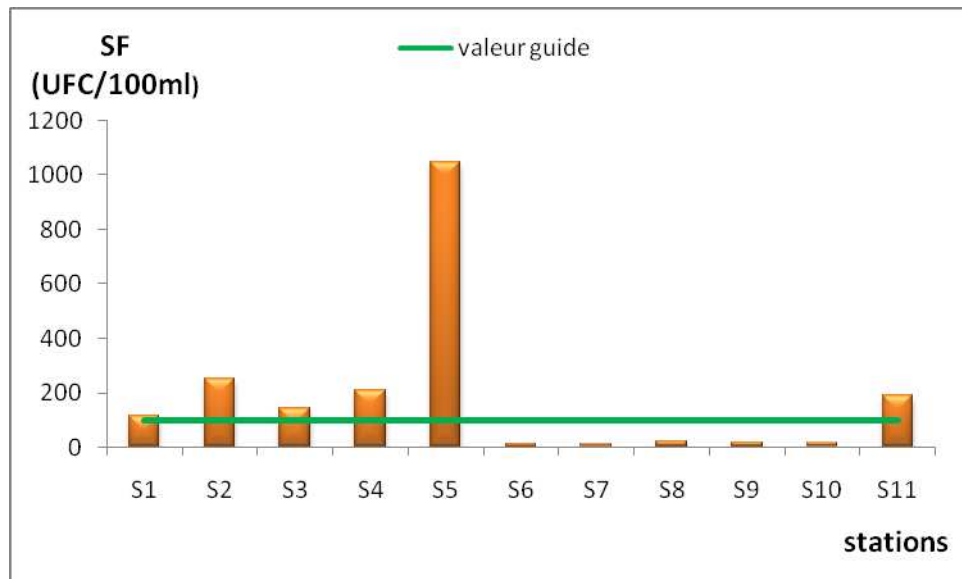


**Figure 37 :** Variations des concentrations moyennes des coliformes fécaux (CF) en fonction des stations.

La figure 37 montre que la concentration en (CF) la plus élevée est constatée au niveau de la station S<sub>5</sub> (le point le plus proche de l'ancien émissaire), néanmoins, toutes les valeurs sont largement au dessous, des normes impératives : 2000CF/100ml, et même des normes guides : 100CF/100ml (**JORA, 1993** et **OMS, 1995**).

### III .1.2.1.3. Les Streptocoques Fécaux

Les streptocoques sont d'excellents indicateurs de pollution fécale, et ce sont les germes qui survivent le plus dans les eaux de mer et cela grâce à leurs caractéristiques physiologiques qui leur confèrent une meilleure adaptation par rapport aux autres germes indicateurs (**PNUE/OMS, 1977**).



**Figure 38** : Variations des concentrations moyennes des streptocoques fécaux (SF) en fonction des stations.

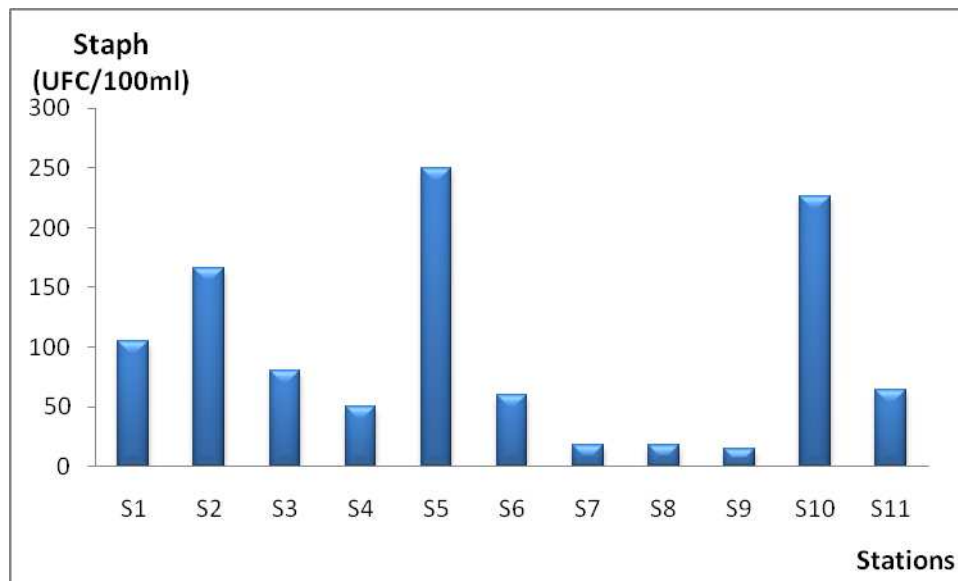
A la vue des résultats, on remarque que la majorité des stations présentent des concentrations moyennes en streptocoques fécaux plus élevées que les normes de salubrité qui sont de 100SF/100ml. (**JORA, 1993**)

Les concentrations en SF au niveau de la Station S<sub>5</sub> sont dix fois plus élevées que la valeur guide.

En revanche, les stations S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub> et S<sub>9</sub> présentent de faibles teneurs, car ces bassins sont moins confinés et présentent des échanges avec l'eau de la plage.

### III .1.2.1.4. Les Staphylocoques

L'eau de mer héberge à l'état naturel de nombreux microcoques, dont certains sont halophiles préférentiels ou même stricts. Ils ne peuvent en aucune façon être confondus avec les espèces pathogènes majeures qui sont les staphylocoques authentiques dont le *S. aureus* (**Brisou et Denis, 1980**). Ils ne sont pas recherchés systématiquement dans l'eau de mer mais ce sont de bons indicateurs de proximité. En effet, leur présence en grand nombre à côté des coliformes et streptocoques fécaux, rend probable celle des germes pathogènes dont l'isolement est souvent difficile.



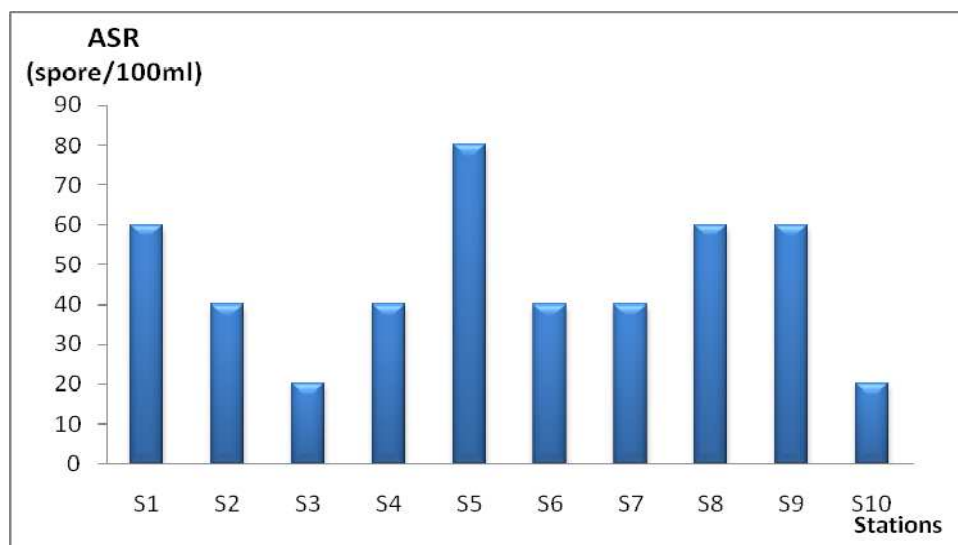
**Figure 39 :** Variations des concentrations moyennes des staphylocoques (Staph) en fonction des stations.

On constate que les concentrations moyennes en staphylocoques sont élevées aux niveaux des stations S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> et S<sub>5</sub>, points situés au niveau des bassins loin de la passe d'entrée, ainsi qu'au niveau de la station S<sub>10</sub> dont les apports sont terrigènes. Les autres stations présentent des concentrations assez faibles.

#### III .1.2.1.5. Les Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR)

Ce groupe renferme des anaérobies sporigènes, dont le plus caractéristique est *Clostridium perfringens*. Il est normalement présent dans les fèces, mais en bien moins grand nombre qu'*E. Coli*. Toutefois, ils ne sont pas d'origine exclusivement fécale et leur présence dans l'environnement peut avoir d'autres raisons (Emmanuel, 2003).

Les résultats du dénombrement des sulfitoréducteurs montrent des valeurs fluctuant d'une station à une autre, la plus grande valeur est enregistrée au niveau de la station S<sub>5</sub>, rappelons que celle-ci se situe près d'un ancien rejet d'eaux usées, les plus faibles concentrations sont observées au niveau des stations S<sub>3</sub> et S<sub>11</sub>.



**Figure 40 :** Variations des concentrations moyennes des anaérobies sulfitoréductrices (ASR) en fonction des stations.

Selon la figure ci-dessus, on remarque aussi que la valeur moyenne en ASR de la station S<sub>10</sub> n'apparaît pas car les colonies étaient trop confluentes pour être dénombrées.

### III .1.2.1.6. Etude comparative des paramètres bactériologiques des eaux du port de Sidi Fredj avec les données antérieures

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

**Tableau 3** : tableau comparatif des résultats moyens d'analyse bactériologique

Référence	Nb CT moyen/100ml	Nb CF moyen/100ml	Nb de SF moyen/100ml	Période de prélèvement
LAABABSA N. (1991)	129 693	129 693	64 870	Hiver
OUKAZI H. (1992)	6 985 250	6 385 250	1 263 575	Eté
Notre étude (2010)	747,5	29	150,5	Printemps

Après la comparaison des trois études, il semblerait que la période de prélèvement joue un rôle prépondérant dans le dénombrement des germes. En effet, les teneurs en bactéries indicatrices de pollution relatives à l'année 1992 sont nettement plus élevées par rapport à celles de 1991. La température a donc une grande influence sur la prolifération bactérienne.

La différence entre les résultats de la présente étude et ceux des années 1991 et 1992 est due à la grande fréquentation du complexe, d'où l'augmentation du débit de l'émissaire qui se jetait directement dans le bassin intérieur du port et, par conséquent, il y a augmentation de la pollution bactérienne, notamment celle d'origine fécale, démontrée par le rapport (CF/SF)>4.

### III .1.2.2. Résultats d'identification des germes pathogènes

A l'aide des différents tests d'identification précités, nous avons identifié un certain nombre de bactéries plus ou moins pathogènes, dont les plus importants, ainsi que les étapes suivies pour leur identification, sont résumés comme suit :

#### III .1.2.2.1. Les Entérobactéries

##### III .1.2.2.1.1. Les Salmonelles

Après plusieurs repiquages des colonies suspectées sur milieu SS, à partir des cultures pures, nous avons procédé à l'identification des espèces.

- La coloration de Gram : bacille Gram (-)
- Le test d'oxydase : Oxydase (-)
- le test de la catalase : Catalase (-)

Identification biochimique à l'aide de la galerie API 20E. Deux espèces différentes ont été identifiées à partir des colonies roses à centre noir:

*Salmonella Arizonae* au niveau de la station S9

*Salmonella spp* au niveau des stations S4 et S6

### III .1.2.2.1.2. Les Vibrionacées :

Une seule espèce appartenant au genre *Vibrio* (*Vibrio metschnikoveii*) a été identifiée, et cela au niveau des stations S1 et S6. Cette identification a été réalisée en suivant 4 étapes:

- Isolement d'une colonie jaune sur milieu TCBS.
- Coloration de gram : bacilles incurvés Gram –
- Le test de l'oxydase : Oxydase (+).
- Identification biochimique à l'aide des galeries API 20E.

C'est une espèce est généralement non pathogène, faisant partie de la flore autochtone.

En revanche, une autre espèce a été isolée sur TCBS, autrefois incluse dans la même famille, elle entre maintenant dans une nouvelle, celle des *Aeromonadaceae*, il s'agit de *Aeromonas hydrophila*. cette dernière est par contre pathogène et provoque des gastroentérites (Centre national français de référence des vibrions et du choléra, 2003).

- **Les tableaux 4 et 5** résument les profils biochimiques de quelques bactéries isolées et identifiées des eaux du port et de la plage de SidiFredj.

**Tableau 4** : Profils morphologique et biochimique de quelques bactéries identifiées (Cocci, Gram+).

Genres	Streptococcus	Staphylococcus
<b>Caractères</b>		
<b>Aspect des cellules</b>	Cocci, chaînettes	Coques en amas
<b>Gram</b>	+	+
<b>Catalase</b>	-	+
<b>Production de gaz</b>	-	+
<b>Coagulase</b>	-	+
<b>Esculinase</b>	+	/
<b>espèce</b>	<i>S. faecalis</i> <i>S. faecium</i>	<i>S. aureus</i>

**Tableau 5:** Profils morphologique et biochimique de quelques entérobactéries identifiées (Bacilles, Gram-).

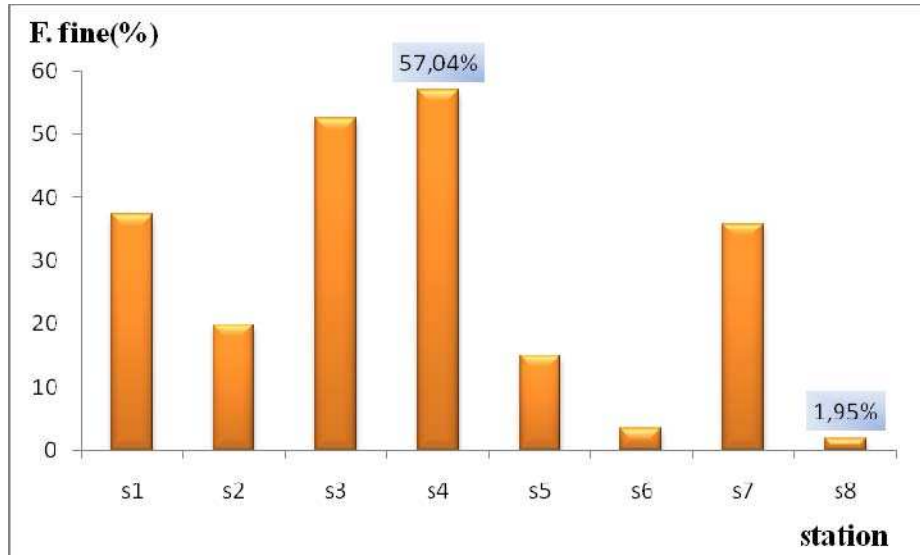
Famille	Entérobactéries				
		Coliformes			
Aspect des cellules	Bacilles	Bacilles	Bacilles	Bacilles	Bacilles
Gram	-	-	-	-	-
Catalase	-	-	V	-	-
Production de gaz	+	-	+	+	+
Oxydase	-	-	-	-	-
ONPG	+	+	+	+	+
LDC	+	-	-	-	+
ODC	+	+	-	+	-
ADH	-	-	+	+	-
Uréase	-	-	-	-	-
Indole	+	-	-	-	-
VP	-	-	-	+	+
TDA	-	-	-	-	-
H2S	-	+	+	-	-
CIT	-	+	+	+	+
Espèces	<i>E. coli</i>	<i>Citrobacter braakii</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>

### III. 1.3. Résultats des analyses des sédiments du port de Sidi Fredj

#### III. 1.3.1. Analyse granulométrique des sédiments

##### III. 1.3.1.1. La fraction fine (pélites)

Les résultats de l'analyse de la fraction pélitique dans la zone d'étude sont mentionnés dans le **tableau14 (annexeIII)**.

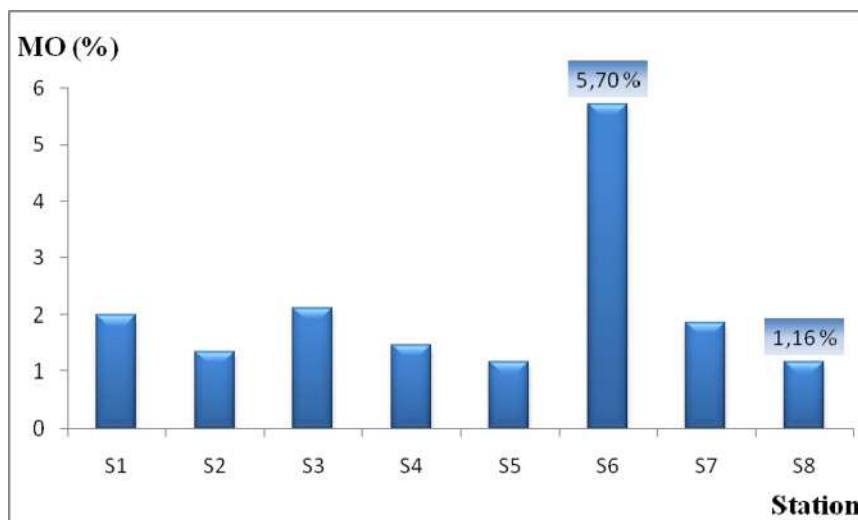


**Figure 41:** Variation du taux des pelites en fonction des stations.

Le pourcentage des pélites s'échelonne entre un minimum de 1,95 % (S<sub>8</sub>) et un maximum de 57,04 % (S<sub>4</sub>) comme le montre la figure N°...., nous remarquons que les taux sont assez élevés à l'intérieur du port. Ce taux élevé est dû au faible gradient de courant à l'intérieur des bassins donc à la stagnation des eaux.

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

##### III. 1.3.1.2. La matière organique dans le sédiment



**Figure 42:** Variation du taux de matières organiques dans les sédiments en fonction des stations.

Les valeurs de la matière organique dans le port de Sidi Fredj varient entre un minimum de 1,16 % et maximum de 5,70 %. (**Figure 42**).

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 station S6. Ce taux élevé est dû au faible gradient de courant à l'intérieur des bassins de ce port donc à la stagnation des eaux qui favorise la décantation des matières en suspension.

### III. 1.3.1.3. Courbes cumulatives

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans les 8 stations dont, sont représentés dans le **tableau 16 (annexe III)**.

Nous remarquons que toutes les courbes représentant les 9 stations sont relativement en pente ce qui implique que le sédiment est dans l'ensemble bien classé et ce qui est tout à fait normal, vu que c'est une zone portuaire donc une zone calme. **Figure 43,.....50**.

#### - Courbes unimodales :

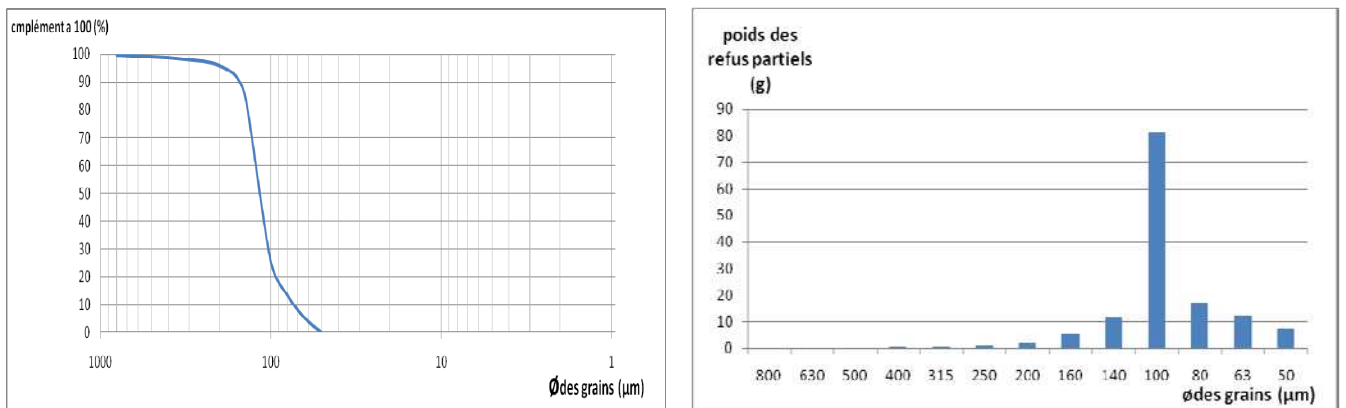
Indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

#### - Courbes bimodales :

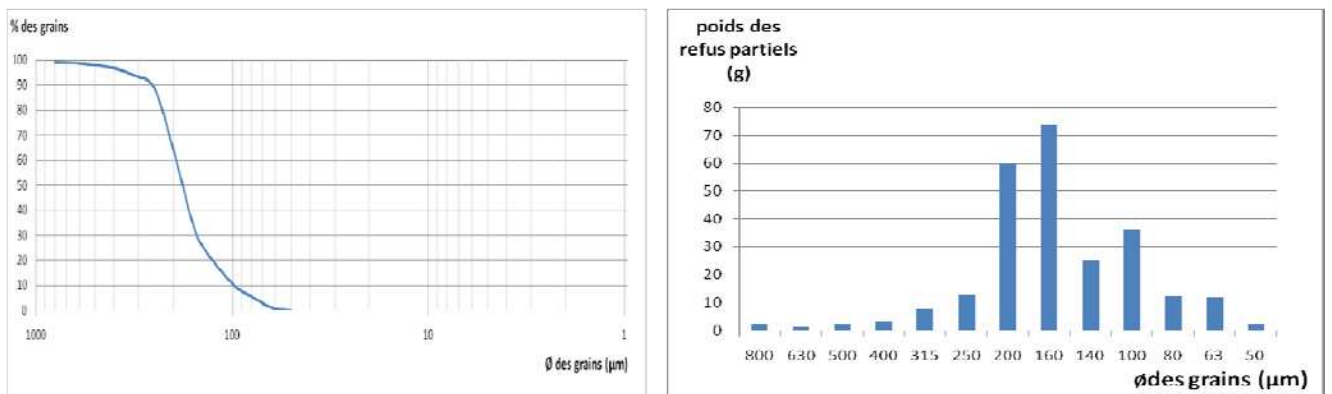
Indique la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

#### - Courbes plurimodales :

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaire au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier.



**Figure 43:** Courbe cumulative et histogramme unimodal pour la station 1.



**Figure 44 :** Courbe cumulative et histogramme bimodal pour la station 2.

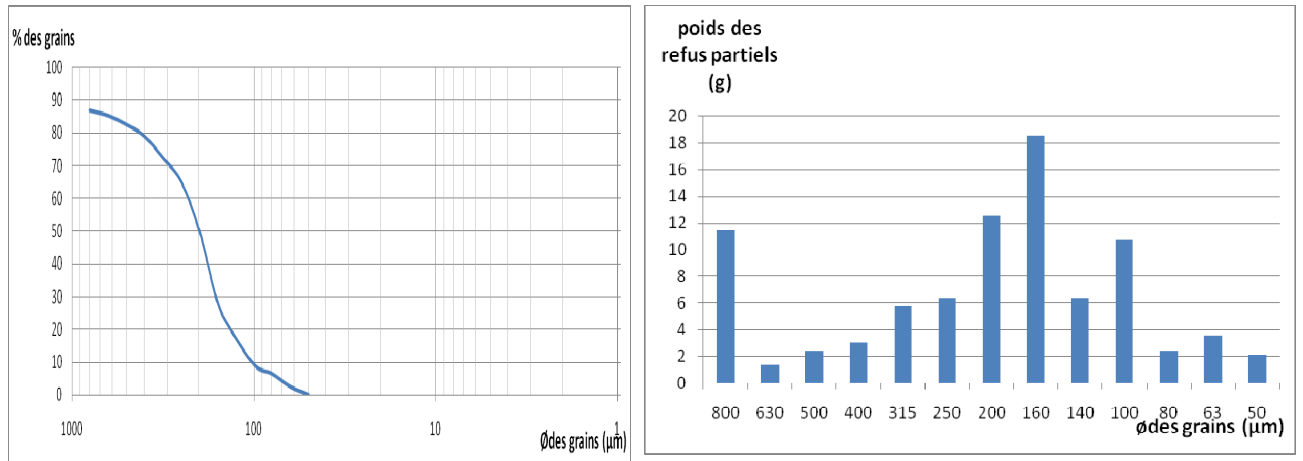


Figure 45: Courbe cumulative et histogramme plurimodales pour la station 3.

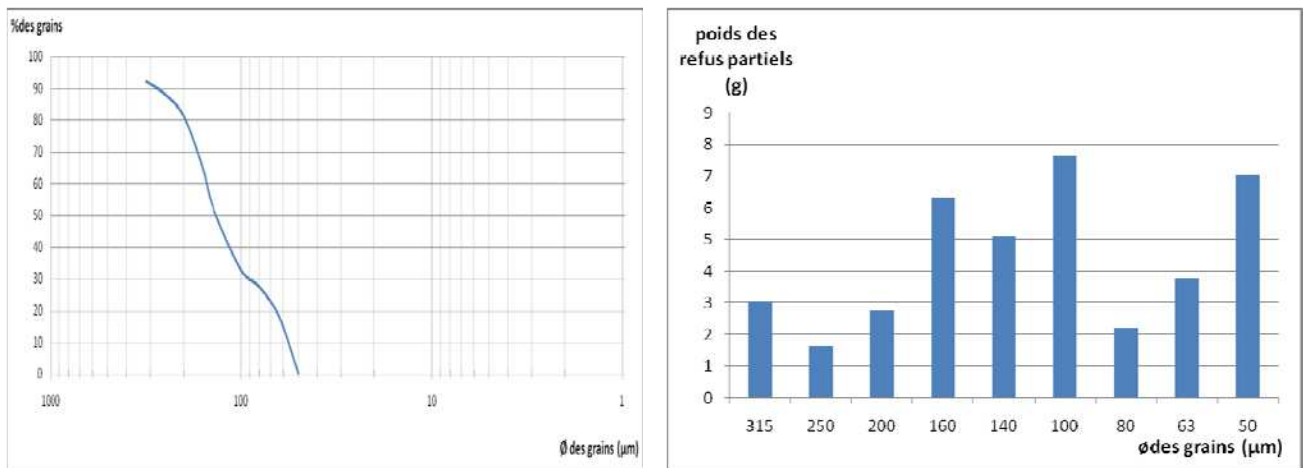


Figure 46: Courbe cumulative et histogrammes plurimodales pour la station 4.

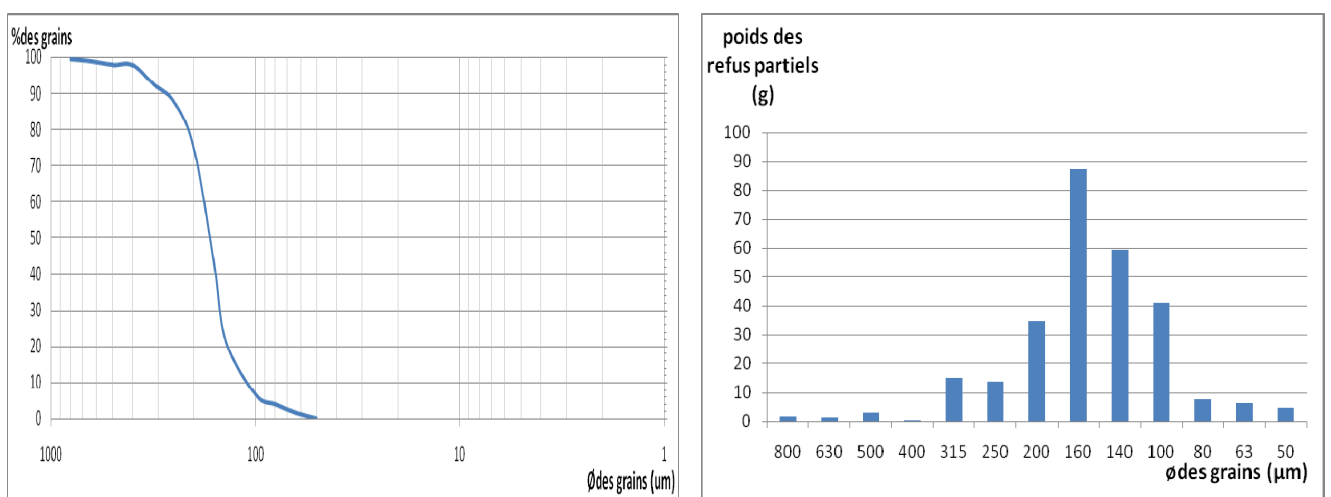


Figure 47: Courbe cumulative et histogramme unimodales pour la station 5.

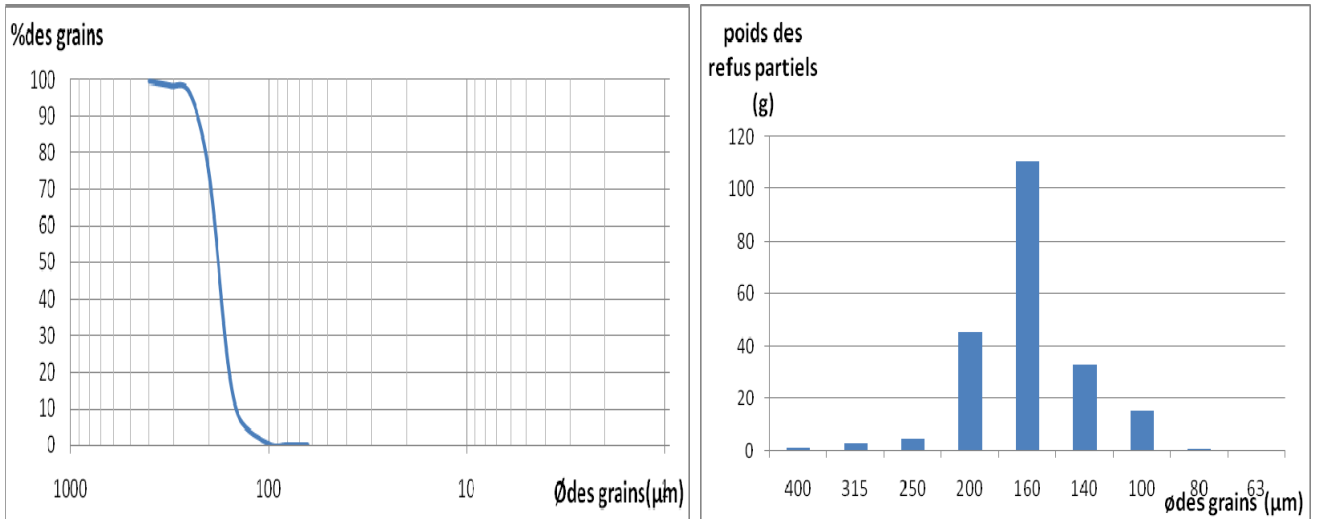


Figure 48: Courbe cumulative et histogramme unimodale pour la station 6.

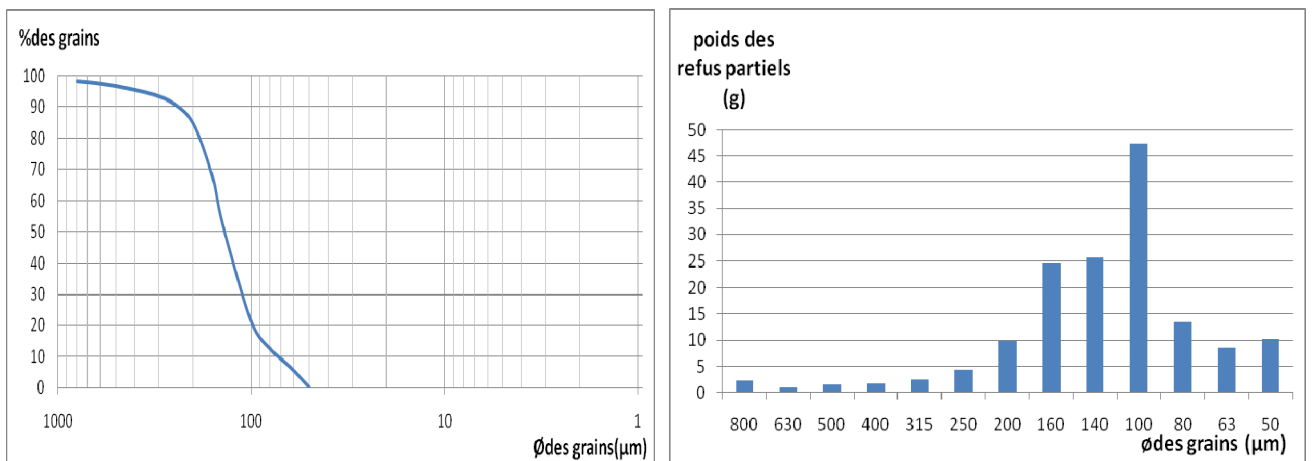


Figure 49 : Courbe cumulative et histogrammes unimodale pour la station 7.

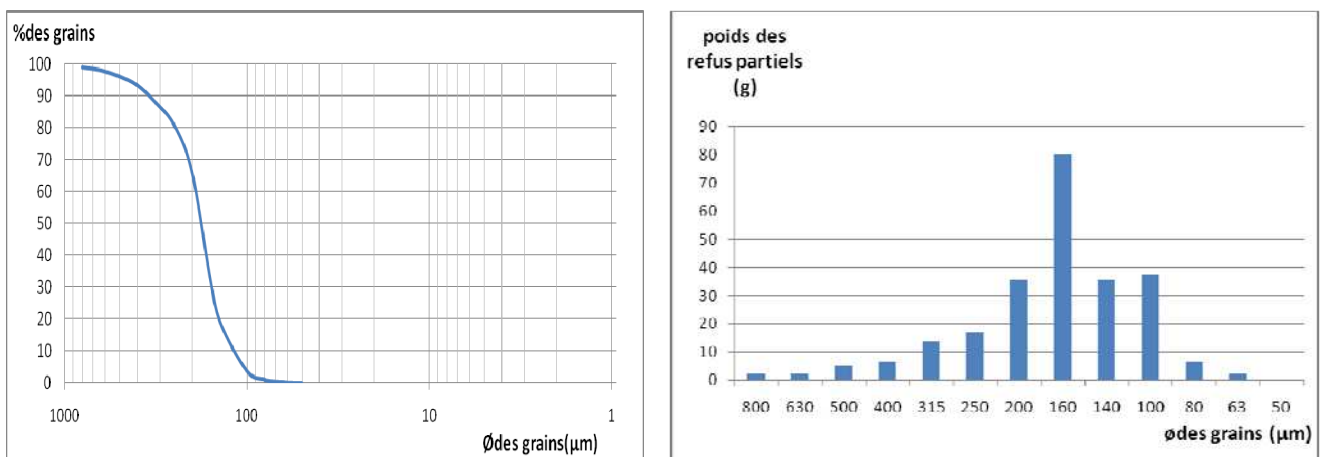


Figure 50 : Courbe cumulative et histogrammes unimodale pour la station 8.

### Aspect général des courbes granulométriques

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

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

L'examen des ces courbes, permet de calculer les indices granulométrique, et de déterminer les paramètres qui permettent de caractériser la distribution granulométrique des sédiments.

**Le 1<sup>er</sup> quartile Q<sub>25</sub>** : Les valeurs du Q<sub>25</sub> varient entre 76 µm (S4) et 160 µm (S6), d'après la classification de **Folk et Ward (1957)**, on trouve du sable fin,

**Le 3<sup>ème</sup> quartile Q<sub>75</sub>** : Les valeurs du Q<sub>75</sub> varient entre 134 µm (S7) et 225µm (S8), d'après la classification de **Folk (1956)**, on trouve du sable moyen, il y a donc prédominance du sable moyen.

**Le 2<sup>ème</sup> quartile Q<sub>50</sub>** : Les valeurs du Q<sub>50</sub> varient entre 110µm (S1) et 200 µm (S3), d'après la classification de **Folk (1956)**, on trouve du sable moyen.

D'une manière générale les sédiments son homogène et les valeurs des quartiles varient entre 76 et 225 µm donc la majeur partie du sédiment est du sable moyen.

### III. 1.3.2. Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj

**Tableau 6** : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises (**Alzieu et al., 1999**) (µg/gde MS).

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

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

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

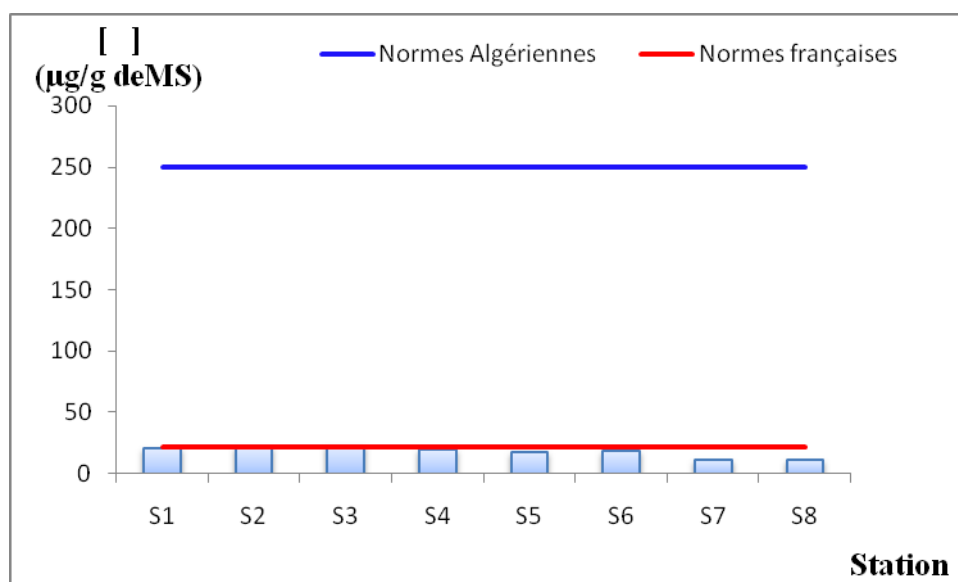
$$IC = \frac{\text{Concentration observée}}{\text{Concentration normale}}$$

**Tableau 7:** Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC,1984).

IC	Observations	
IC < 3	zone normale	Immersion autorisée
3 < IC < 10	zone polluée	Immersion sous conditions
10 < IC	zone a risque	Immersion interdite

### III. 1.3.2.1. Le Plomb (Pb)

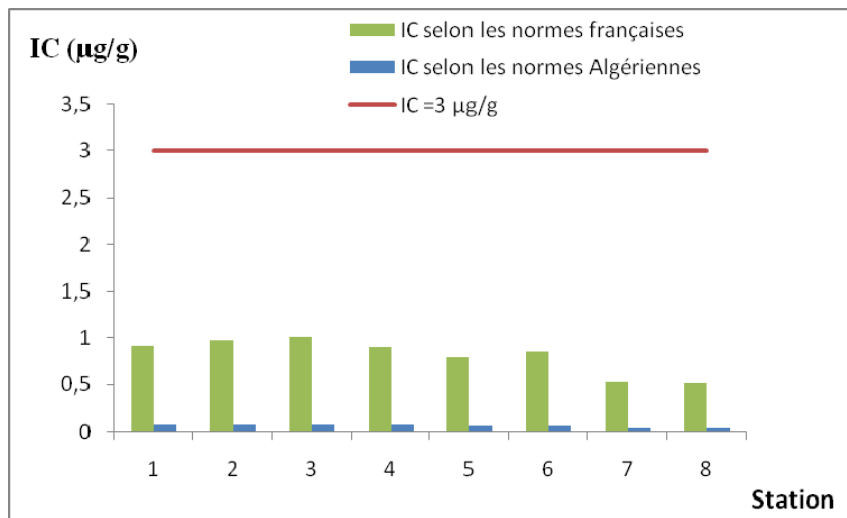
Le Pb se trouve dans le sédiment principalement sous forme de carbonates PbCO<sub>3</sub> (40 à 80 %) ou de chlorures PbCl<sub>2</sub> (1 à 40 %) et PbCl (2 à 19 %). Il présente une forte affinité pour la matière particulaire. La fraction adsorbée sur les particules en suspension augmente avec le pH et diminue lorsque la chlorinité augmente.



**Figure 51.** Variation des concentrations du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

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 avec un écart type de 4.17 µg/g.

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),

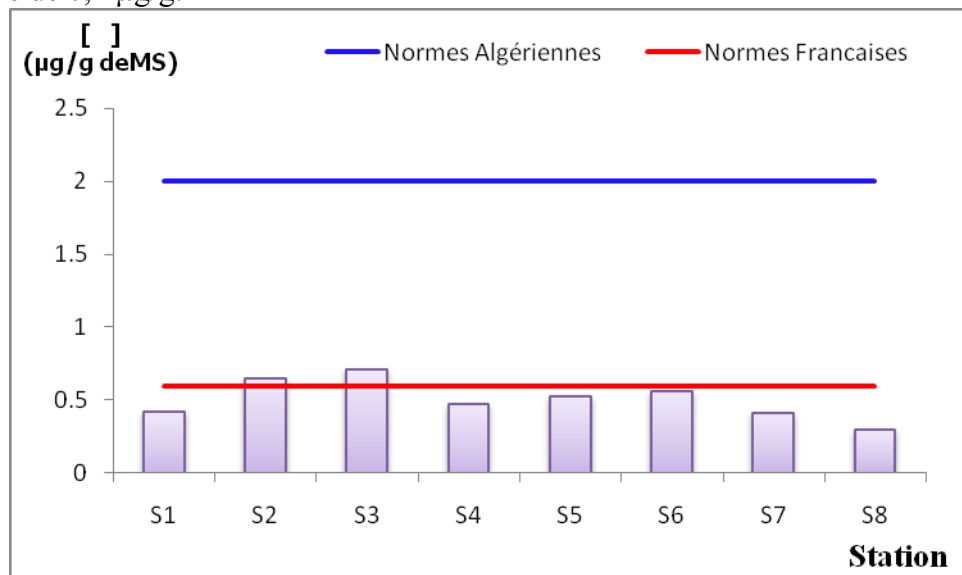


**Figure 52 :** Indice de contamination (IC) par le plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj .

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.

### III. 1.3.2.2. Le Cadmium (Cd)

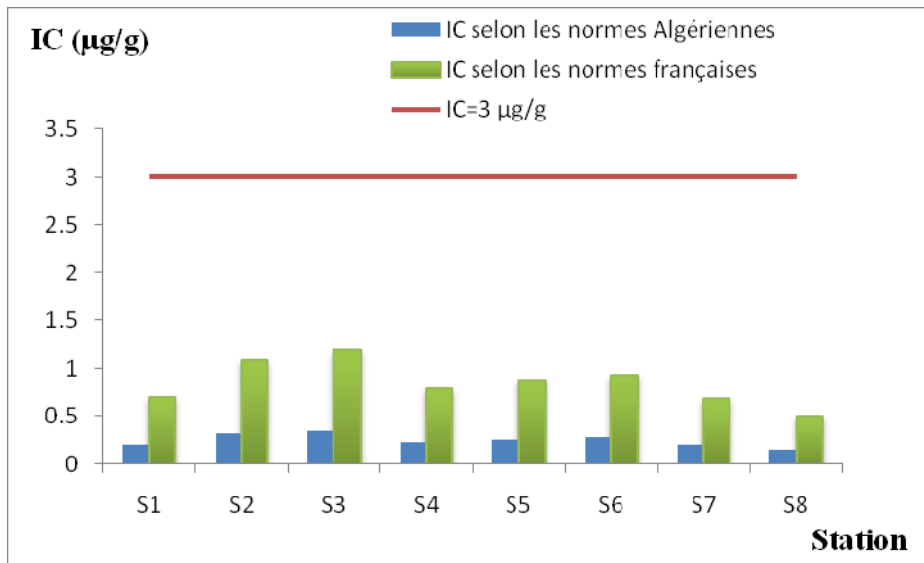
Le Cadmium (Cd) est principalement utilisé pour la fabrication des batteries, mais son introduction dans le sédiment peut résulter de l'activité minière, des eaux de lavage des routes et des déchets d'hydrocarbures. Ses niveaux de présence dépendent non seulement de la contamination, mais aussi de certains 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 53 :** Variation des concentrations du Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

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.

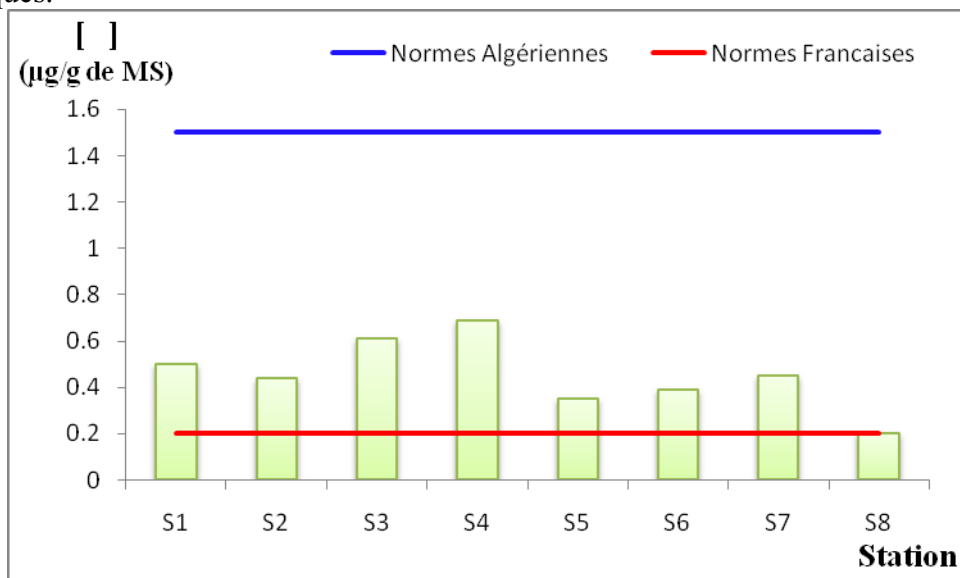


**Figure 54 :** Indice de contamination (IC) par le Cadmium dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj

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

### III. 1.3.2.3. 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 zéro, 1 ou 2 et former des liaisons covalentes stables en donnant ainsi des dérivés alkylés ou phénylés très toxiques.

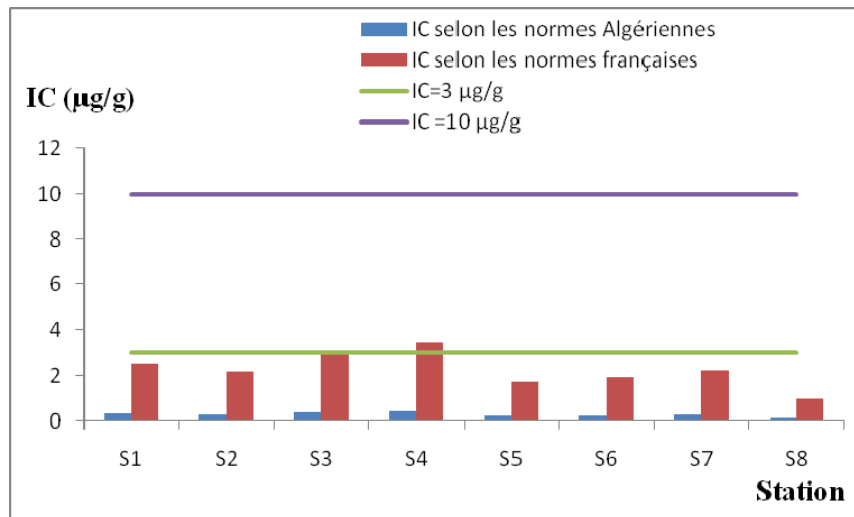


**Figure 55 :** Variation des concentrations du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

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

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

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.



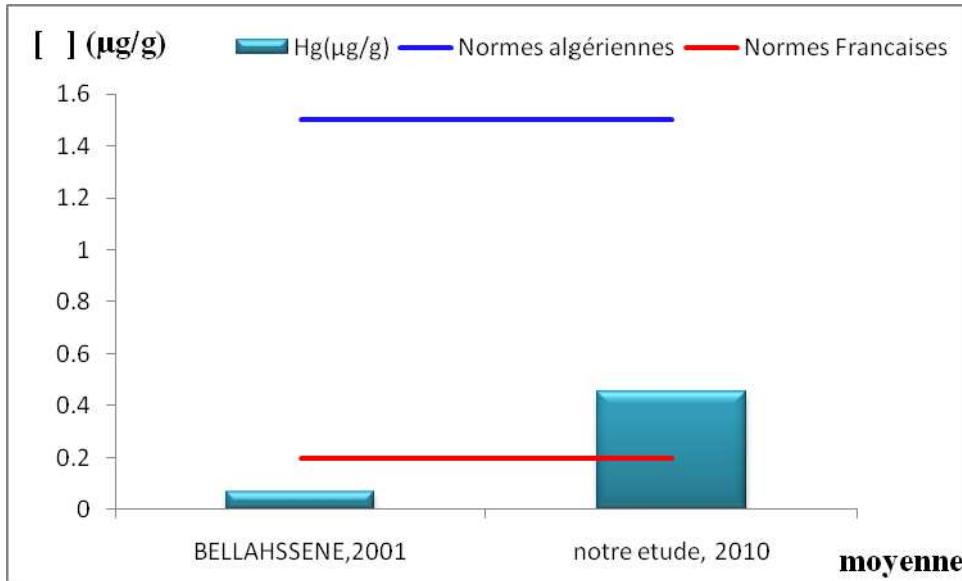
**Figure 56:** Indice de contamination (IC) par le mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

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.

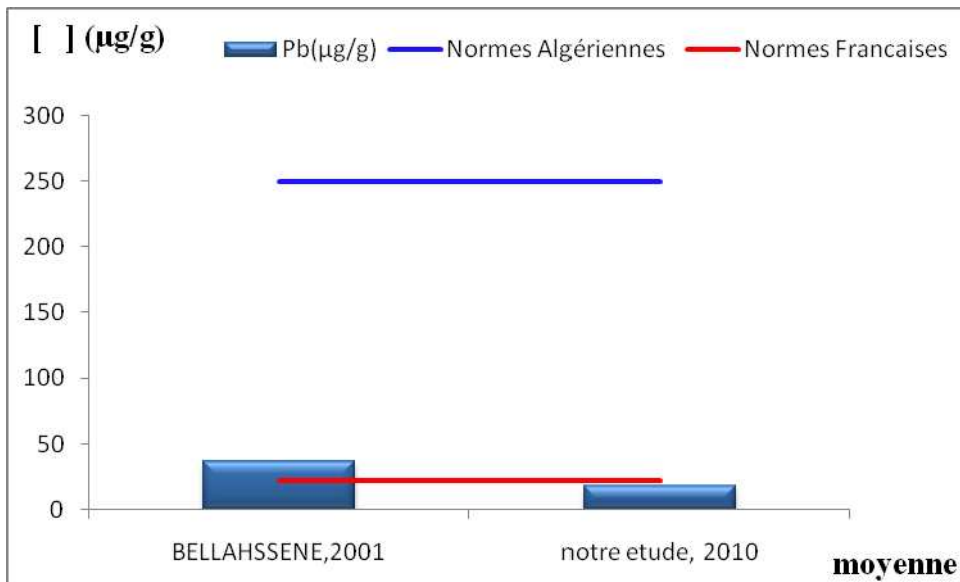
On arrive à la même conclusion, en ce qui concerne les IC de l'ensemble des stations qui restent en dessous de trois, exception faite pour la station (4), l'indice se trouve entre 3 et 10 indiquant une zone polluée, donc Immersion sous conditions.

**III. 1.3.2.4. Etude comparative**

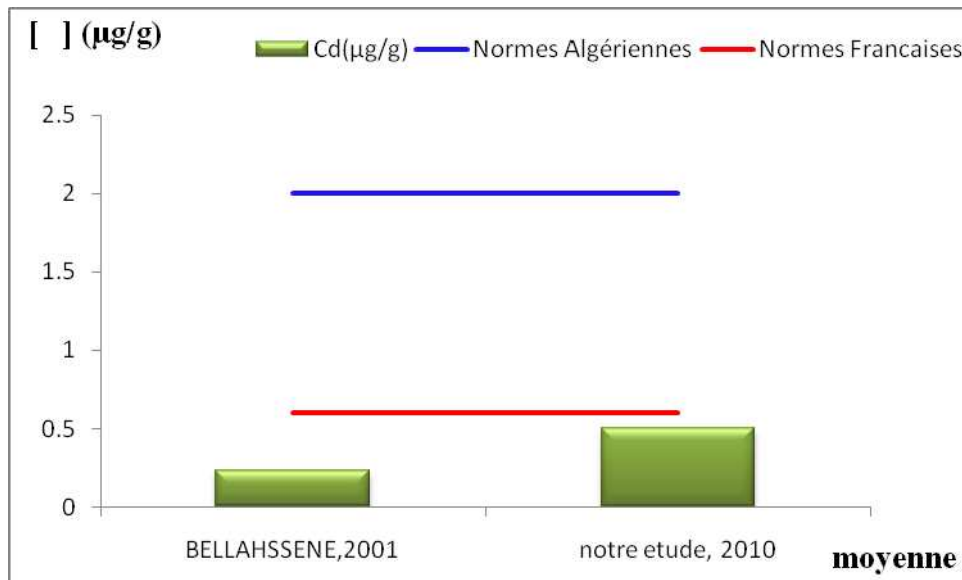
Les concentrations moyennes en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj de la présente étude comparées à celles de BELLAHSENE, 2001 sur le même port. **Figure 57, 58 et 59.**



**Figure 57 :** Concentration moyenne du mercure dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.



**Figure 58 :** Concentration moyenne du plomb dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.



**Figure 59 :** Concentration moyenne du Cd dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

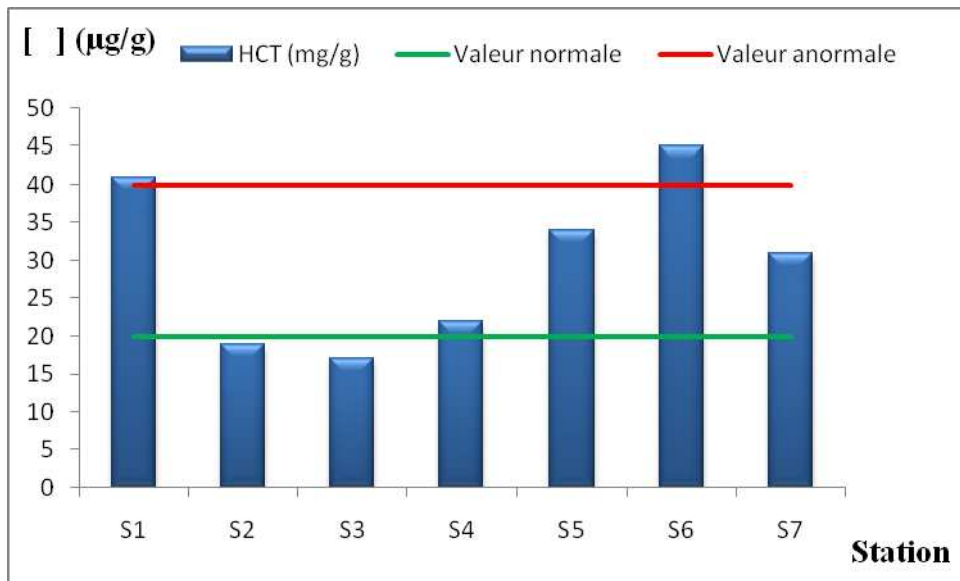
D'après l'analyse des moyennes des concentrations des différents métaux étudiés nous constatons que pour:

- **Le mercure:** une forte valeur enregistrée durant la présente étude rapport à celle de **Bellahsene, 2001** et dépasse la norme française (0.2 µg/g). Mais dans les deux études, les valeurs restent largement inférieures à la norme algérienne (1.5 µg/g).
- **Le plomb :** les deux valeurs enregistrées sont largement inférieures à la norme Algérienne (250 µg/g). Cependant, la concentration enregistrée durant l'étude de **Bellahsene, 2001** est légèrement supérieure à la norme française (22 µg/g).
- **Le cadmium :** les deux taux enregistrés sont largement inférieurs à la norme Algérienne (2 µg/g), la concentration relevée durant notre étude est un peu plus élevée à celle de **Bellahsene, 2001**, mais elles restent inférieures à la norme française (µg/g).

- ✓ 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 al., 1999**). L'immersion des produits de dragage peut donc s'effectuer normalement.

### III. 1.3.3. Concentration des hydrocarbures totaux dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

L'analyse des hydrocarbures totaux ne définit pas la nature des hydrocarbures mesurés dans le sédiment, et par conséquent ne différencie pas la part revenant aux hydrocarbures biogènes présents naturellement dans le sédiment, de celle correspondant aux hydrocarbures d'origine pétrolière. Le taux d'hydrocarbures biogènes est variable selon la nature du sédiment, faible ou nul dans un sédiment grossier et sableux, significatif dans une vase.



**Figure 60 :** Variation des concentrations des hydrocarbures totaux dans le sédiment superficiel du port de Sidi Fredj.

Les concentrations en hydrocarbures totaux sont comprises entre un minimum de 17  $\mu\text{g/g}$  de MS (station 3) et un maximum de 45  $\mu\text{g/g}$  de MS (stations 6) avec une moyenne de 29.85  $\mu\text{g/g}$  et un écart type de 10.93  $\mu\text{g/g}$  de MS.

A l'exception des deux stations 1 et 6 où les valeurs sont relativement supérieures à la norme (40  $\mu\text{g/g}$ ), le reste des stations présente des valeurs considérées comme normales (5 et 20  $\mu\text{g/g}$  de MS).

### III. 1.3.4. Evaluation des paramètres bactériologiques des sédiments

La très grande majorité des études sur le dragage s'est intéressée à l'aspect chimique de la pollution mais très peu ont abordé l'aspect bactériologique.

Cependant, les ports reçoivent des eaux usées d'origine urbaine. Ces rejets, contiennent un grand nombre de bactéries, dont certaines, d'origine fécale, sont pathogènes pour l'homme et peuvent lui être transmises au cours de baignades ou lors de la consommation de coquillages.

À leur arrivée en mer, une partie des microorganismes des eaux usées est diluée dans la colonne d'eau tandis qu'une autre partie, fixée aux particules, se dépose dans les zones vaseuses.

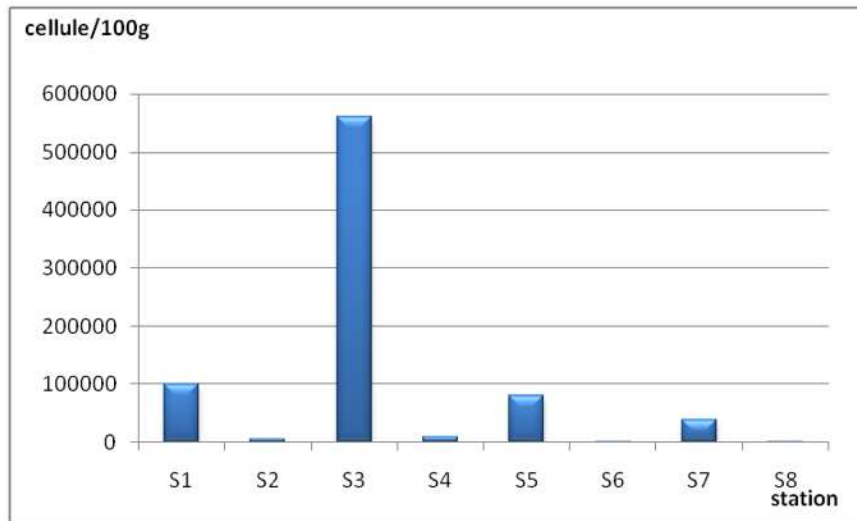
Les sédiments fins accumulés abritent ainsi une flore importante d'origine entérique cohabite avec la flore microbienne autochtone. L'évaluation de l'impact microbiologique du dragage passe tout d'abord par la connaissance de la charge bactérienne du sédiment et des mécanismes qui régissent l'activité et la survie des bactéries dans cet écosystème (Alzieu, 1999).

Huit stations ont été choisies pour l'analyse bactériologique des sédiments, six se situent dans les différents bassins du port, et deux autres à l'extérieur l'une au niveau de la passe et l'autre au large de la plage Est.

### III. 1.3.4.1. Résultat de recherche et estimation des germes indicateurs de la pollution

#### III. 1.3.4.1.1. Les coliformes totaux, fécaux et les streptocoques fécaux

L'évaluation de la qualité bactériologique des sédiments a été réalisée par la méthode de fermentation en tubes multiples nommée aussi la méthode du nombre le plus probable (NPP).

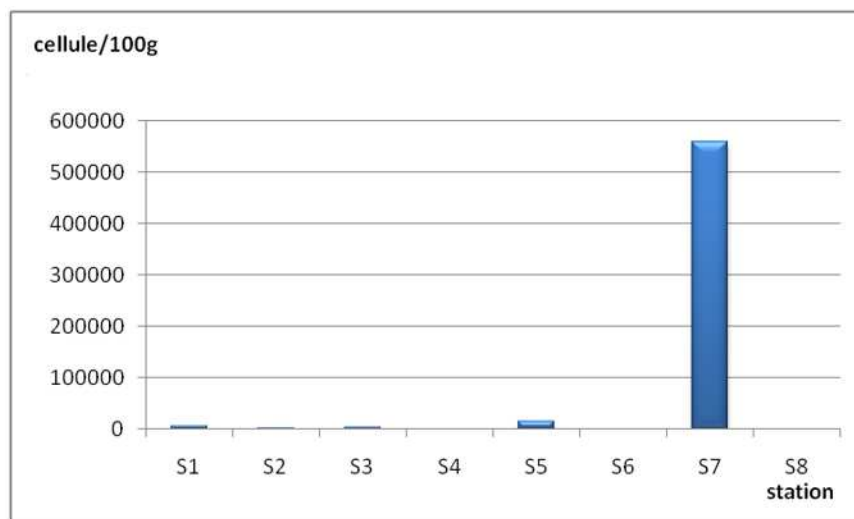


**Figure 61 :** Variation des concentrations des coliformes totaux (CT) dans le sédiment en fonction des stations.

D'après l'histogramme, il existe une variation des valeurs de coliformes totaux en fonction des stations, la plus grande valeur est enregistrée au niveau de la station S3, la plus faible au niveau des stations S6 et S8.

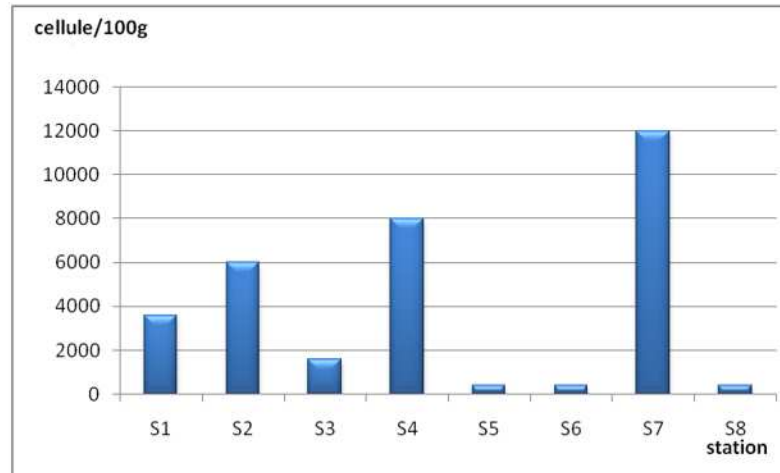
La station S3 (point de prélèvement des sédiments) correspond à la station S5 (point de prélèvement des eaux de surface) où on a enregistré les taux les plus élevés en coliformes totaux.

Il semblerait qu'une bonne partie des coliformes s'est adsorbées sur les sédiments fins. Il est actuellement admis que les concentrations bactériennes au niveau des sédiments pouvaient être 100 à 1000 fois plus élevées que celles des eaux de surface. (**Irvine et Pettibone, 1993; Martinez-Manzanares et al., 1992; Melnick, 1984; in Alzieu et al., 1999**).



**Figure 62 :** Variations des concentrations des coliformes fécaux (CF) dans le sédiment en fonction des stations.

Au niveau des stations S6 et, S8 les taux en coliformes fécaux sont identiques et les plus faibles 400 (CF/100ml), les autres stations présentent aussi des teneurs assez faibles, à l'exception de la station S7 où on a enregistré un taux de 560 000 (CF/100ml) , cela pourrait s'expliquer par le fait que les courants ramènent le sable chargé de germes, il faut rappeler aussi que cette station (la passe d'entrée du port) présente la plus faible profondeur, environ 1 mètre.

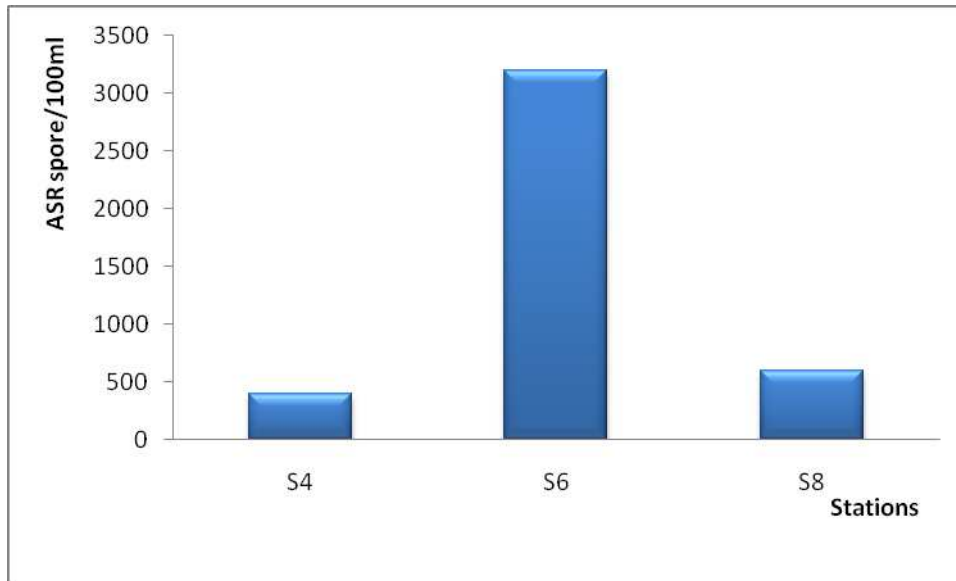


**Figure 63 :** Variation des concentrations des streptocoques fécaux (SF) dans les sédiments en fonction des stations.

Les mêmes observations sont rapportés en ce qui concerne les streptocoques fécaux, la concentration la plus élevée est aussi au niveau de la station S7, malgré la nature des sédiments qui est plus grossière que celles des stations S1, S2, S3, S4, S5 et S6.

### III. 1.3.4.2. Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs (ASR) au niveau des sédiments

Sur les sédiments des huit stations analysés, seuls trois (S4, S6, S8) ont pu être dénombrées au bout de dix huit heures d'incubation. Le reste des tubes étaient complètement noires, colonies trop nombreuses pour être dénombrées et ceci malgré la série de dilution effectuée. Cela revient à la nature des sédiments prélevés (ceux du port) qui est de type vase-argile, lieu propice au développement de germes anaérobies, c'est le cas des ASR.



**Figure 64 :** Variations des concentrations des anaérobies sulfitoréductrices (ASR) en fonction des stations.

La texture du sédiment, c'est-à-dire la présence de sable, vase ou argile, la teneur en matière organique, la température, et la compétition de flore ont une influence sur la quantité et la qualité de la contamination microbienne du sédiment (Auer et Niehaus, 1993 ; Davies *et al.*, 1995 ; Crump *et al.*, 1998 ; Hoi *et al.*, 1998 ; Le Guyader *et al.*, 1991 ; in Alzieu *et al.*, 1999).

### III. 1.3.5. Profils biochimiques de quelques bactéries identifiées grâce à la galerie biochimique API 20E

#### Station: S9



Milieu SS, colonies roses *Salmonella. Arizonae*

#### Station: S6



Milieu Hektoen, colonies oranges *Citobacter braakii*

**Station: S7**

Milieu Endo agar, colonies métalliques *E.Coli.*

**Station: S1**

Milieu TCBS, colonies jaunes *Vibrio metschnikoveii*

**Station: S6**

Milieu Endo agar, colonies métalliques *Salmonella. spp*

**Station: S4**

Milieu SS, colonies noires. *Salmonella. Spp*

**Station: S6**

Milieu TCBS, colonies jaunes. *Vibrio metschnikoveii*

**Station: S4**

Milieu SS, colonies roses.

*Salmonella. spp (sediment)***Station: S1**

Milieu Endo agar, colonies roses

*Shigella spp (sédiment)***Station: S1**

Milieu Endo agar, colonies rose

*Enterobacter cloacae (eau et sédiment)***III. 1.3.6. Evaluation des paramètres bactériologiques des oursins**

Les bivalves filtrent des volumes d'eau importants. Ils ingèrent le phytoplancton, base essentielle de leur nourriture mais concentrent également dans leur tractus digestif et leurs tissus, les polluants chimiques et les microorganismes présents dans le milieu environnant. Ils présentent une plus grande sensibilité analytique, c'est pourquoi ils sont considérés comme de très bon bio- indicateurs de pollution des eaux littorales

Etant donné qu'il n'y avait pas de moules au niveau du port, nous avons utilisé les oursins comme indicateur de pollution bien qu'ils soient beaucoup moins sensibles que les moules. Le contrôle de la qualité bactériologique des oursins a été réalisé conformément aux normes en vigueur et méthodes recommandées par Afnor NF V 08-600 d'octobre 2000 et Afnor NF V 08-106 de janvier 2002. Les germes recherchés sont:

- ✓ Coliformes totaux et fécaux,
- ✓ Streptocoques fécaux
- ✓ Staphylocoques
- ✓ Anaérobies sulfite-réducteurs (ASR)
- ✓ Levures et moisissures
- ✓ Salmonelles

Les taux moyens des germes recherchés sont consignés dans le tableau ci-après.

**Tableau 8** : Qualité bactériologique des oursins.

Germes recherché	Concentration moyenne/ 100g de chair +liquide du système aquifère	Normes: Arrêté modifié du 02/07/1996 – RCE du 08/03/2001
Coliformes totaux	1554.45	-
Coliformes fécaux ( <i>E.coli</i> )	90.90	<300 CF/100 g), Ou <230 <i>E. Coli</i> /100g
Streptocoques fécaux	1000	-
Staphylocoques	1000	-
ASR	20000	-
Levures et Moisissures	3000	-
Salmonelles	01	Absence de <i>Salmonella</i> / 25g de chair

Au regard du tableau 8, les oursins récoltés au niveau de la passe d'entrée du port sont très contaminés et bien sûr impropre à la consommation. Il est vrai que les concentrations moyennes en *E.coli* /100g sont inférieures aux normes (<230 *E. coli*/100g) mais les taux élevés enregistrés pour les autres germes (SF, STAPH, levures et moisissures et les ASR) les rendent suspects.

De plus, la présence d'une salmonelle dans 25g de chair confirme la contamination du milieu.

Par ailleurs, le site de prélèvement des oursins est proche de la station S8 de prélèvement des eaux de surface.les concentration enregistrées en *E.coli* au niveau de la chair sont 10 fois plus élevées que celles des eaux environnantes.

Ces résultats corroborent avec ceux rapportés par le bureau d'étude de conchylicultures de la DPMA (2008) qui a noté que des facteurs de concentration de 10 à 30 pour *Escherichia coli* ont été enregistrés dans la chair des moules. Ces taux sont utilisés dans les modèles prédictifs de dispersion des rejets polluants afin d'évaluer leurs impacts sur la contamination des zones littorales et conchylicoles.

# Conclusion

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a pour objectif l'évaluation de la qualité des sédiments du port de plaisance de Sidi Fredj afin d'apprécier le risque potentiel que peut présenter leur immersion après dragage.

A cet effet, trois matrices ont été étudiées. Il s'agit des eaux de surfaces, des sédiments et des oursins qui ont été utilisés comme indicateurs de pollution.

Pour l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau, Onze stations ont été choisies dont neuf sont au niveau du port et deux au niveau de la plage Est (l'une près de la côte et l'autre au large). Les résultats obtenus sont comparés aux normes exigées pour les eaux de baignade. Cette comparaison n'est qu'indicative dans la mesure où les eaux portuaires n'ont pas vocation à être utilisées pour la baignade, mais elle permet de situer globalement la qualité des eaux portuaires.

Il en ressort que les paramètres physico-chimiques des eaux de surface restent inférieurs aux normes algériennes en vigueur, à l'exception de l'oxygène dissous et les matières en suspension.

Les faibles concentrations de l'oxygène dissous (4.3 mg/l) à l'intérieur du port montrent que les eaux des bassins ne sont pas suffisamment aérées. Ceci est peut être du à la morphologie du port (bassins semi fermés), à la forte charge en matières en suspension et au faible hydrodynamisme.

Les teneurs élevées en MES (232.08mg/l) sont dus à la faible profondeur des bassins, la nature du fond (sable fin) et l'agitation causée par la circulation des bateaux qui favorisent la remise en suspension des sédiments superficiels. Les faibles taux de la matière organique ( $\leq 1\%$ ) laissent supposées que ces MES sont essentiellement de nature inorganique.

Les analyses bactériologiques portées sur les germes microbiens dits « témoins de contamination fécale » dans les eaux et les oursins font ressortir que les concentrations bactériennes décroissent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'ancien égout du port (station S5) qui est actuellement fermé.

Bien que les taux en coliformes totaux et fécaux soient inférieurs à la valeur impérative dans l'ensemble des stations, les concentrations moyennes en streptocoques fécaux, staphylocoques dont *S.aureus* et sulfitoréducteurs restent élevées. Elles sont d'autant plus élevées dans les oursins à cause des phénomènes de bioaccumulation que dans les eaux avoisinantes.

Par ailleurs, la présence des espèces bactériennes typiques des eaux usées telles que *E.coli*, *Proteus mirabilis*, *Enterobacter cloacea*, *Pseudomonas aerugenosa*, *Citrobacter freundii* et autres, rend ces eaux suspectes. A cela s'ajoute l'identification des espèces potentiellement pathogènes comme *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella Arizonae*, *Shigella spp* et *Costridium perfringens*.

Les mêmes observations sont faites en ce qui concerne la qualité physico-chimique et bactériologique des sédiments.

En effet, les sédiments superficiels du port de Sidi Fredj ne semblent pas contaminés par les métaux lourds testés (Pb, Hg et, Cd) si on se réfère aux normes algériennes. Les concentrations en hydrocarbures totaux sont aussi normales à l'exception des deux stations 1 et 6 où les valeurs sont relativement supérieures à la norme (40 $\mu$ g/g). Les différences observées dans ces deux dernières stations pourraient s'expliquer par les fuites de carburant des bateaux détériorés observés au niveau de la station S1 ou lors des opérations d'avitaillement des navires (stations-service au niveau de S6).

En ce qui concerne la qualité bactériologique des sédiments, il semblerait qu'une bonne partie des coliformes s'est adsorbée sur les sédiments fins. Il est actuellement admis que les concentrations bactériennes au niveau des sédiments pouvaient être 100 à 1000 fois plus élevées que celles des eaux de surface. Néanmoins, les concentrations en ces indicateurs de pollutions ne sont pas très élevées.

En revanche, l'anaérobiose, qui sévit dans les bassins, a favorisé le développement des bactéries anaérobies sulfitoréductrices et rend les sédiments un véritable milieu de culture. La présence de ces germes est indicatrice d'une contamination d'origine fécale ancienne.

A l'issue des informations recueillies, les sédiments du port ne semblent contaminés par les hydrocarbures totaux et les métaux lourds testés. Selon la réglementation algérienne et les accords d'Oslo, l'immersion des produits de dragage du port peut s'effectuer normalement.

Il faudra à l'avenir valider ces résultats provisoires par des évaluations de risques sanitaires plus précises incluant la détermination d'autres indicateurs biologiques de pollution notamment les parasites comme *Cryptosporidium spp.* et le benthos tels que *Capitella capitata* et *Cardium exigum...*

L'évaluation nécessitera également l'analyse des autres métaux tels que le zinc, le cuivre, l'étain qui constituent une source de pollution non négligeable en provenance des équipements des bateaux.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

**Added A., 1981.** Etude géochimique et sédimentologique de sédiments marins du delta du Rhône .Thèse de Doctorat 3ème cycle en Géologie Appliquée (géochimie sédimentologique), Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 263p.

**Agence de l'EAU RMC., 1997.** Impact de la plaisance sur la qualité des eaux du littoral méditerranéen ; Section1 : le port, 45-118

**A.I.E.A., 1998.** Programme préliminaire pour MEDPOL sur l'analyse des métaux traces dans les échantillons biologiques et les sédiments. IAEA-MEL, Laboratoire sur l'Etude de l'Environnement Marin, Monaco, 53 p.

**A.I.E.A., 2001.** The performance study for MEDPOL: determination of trace elements and methylmercury in estuarine sediment sample, 64 p.

**Alzieu C., Abarnou, A., Bassoullet P., Boutier B., Chiffolleau J.F., Crenn I., Derrien A., Erard-Le Denn E., Gourmelon M., Guiliaud J. F., Jacinto R. S., Le Cann P., Le Guyader F., Le Hir P., L'Yavanc J., Mauvais J. L., Massin J. M., Ménard D., Monbet Y., Pommeuy M., et Quiniou F., 1999.** Dragages et environnement marin : état des connaissances . Ed. Ifremer, Plouzané, France, 223 p.

**Aminot A. et Chaussepied M., 1983.** Manuel des analyses chimique en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France, 396 p.

**Aminot A. et Kérouel R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses. Ed. Ifremer, France, 336 p.

**Amrani S. et Ferhat R., 1994.** Caracteristiques physico-chimiques et bacteriologiques de l'eau dans une port de plaisance (Sidi Fredj) I.S.M.A.L., 78 p

**Aubert M., Aubert J., et Gauthier M., 1972.** Le milieu marin et les matières organiques. Revue internationale d'océanographie médicale. Tome 28 : 181-188.

**Aubert, M., Revillon, P., Breittmayer, J.P., Geuthier, M., et Flatau, G., 1983.** Métaux lourds en Méditerranée. Tome1, CERBOM, Nice, France, 153 p.

**Audigie C., Dupont. G., et Zonszain F., 1985.** Principes des méthodes d'analyse biochimique. Ed. Doin, Tome1, 190 p.

**Bekari M., 2010.**Outils d'aménagement des ports :gestion globale des sediments marins. Mémoire d'ingénieur. Université d'Artois– Ecole des Mines de Douai, 54 p.

**Belkessa R., 2005.** Les ports algériens : ensablement, pollution par les métaux lourds et sites de dépôt des sédiments. Thèse de Doctorat, Constantine, Faculté des Sciences de la Terre, 416 p.

**Bellahcene Y., 2002.** Le port de Sidi Fredj: Dragage et site de dépôt des matériaux. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'études universitaires appliqués, I.S.M.A.L., 52 p.

**Béthoux, J.-P., 1980.**

**Bethoux J. P., 1980.** Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budget and of observed salinities. *Oceanol. Acta*, 3, 79–88.

**Bethoux J.P et Copin-Montégut G., 1988,** Phosphorus and Nitrogen in the Mediterranean sea: specificities and forecasting. *Oceanologica, Acta*, N° spécial. 75-78 p.

**Bourgeois C. M., 1990.** Microbiologie alimentaire : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. (Tome I). Ed. Technique & documentation, Lavoisier, Paris. 422 p.

**Brisou J.F., Denis F.A., 1980.** Technique de surveillance de l'environnement maritime. Ed. Masson, 206 p.

**Casas S., 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat en océanologie biologique, environnement marin. Université du Sud Toulon, France, 363 p.

**Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2005.a.** Recherche et dénombrement des coliformes totaux : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 - col 1.0, Rév. 2, Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 20 p.

**Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2005.b.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec. Ec. 1.0, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p.

**Chamley H., 1987.** La sédimentologie. Ed DUNOD, Paris, 175 p.

**Charlou J. L., et Joanny M., 1993.** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'EXploitation des Océans, Paris, 395 p.

**Copin-Montégut G., 1996.** Chimie de l'eau de mer. Collection «synthèse». Institut Océanographique de Paris : 290-292.

**Cossa D. Martin J. M., Takayanaigi K., et Sqnjuan J., 1997.** The distribution and cycling of mercury in the western Mediterranean. *Deep-sea Res*, II, n°44 : 21-740.

**Cossa D., Elbaz-Poulichet F., Gnassia-Barell, M., et Romeo M., 1993.** Le plomb en milieu marin. *Biogéochimie et écotoxicologie*, Ed. Ifremer, France. 75 p.

**De Groot A . J., Zschuppel K. H., et Salomons W., 1982.** Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. *Hydrobiologia*, 689-695.

**Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture Sous-Direction de l'Aquaculture., 2008.** Rapport et note d'information du Bureau de la conchyliculture. Suivi sanitaire des coquillages - Synthèse réglementaire DPMA/SDA/O2008-9601.9p

**Direction des pêches maritimes et del'aquaculture française, 2008.** Circulaire.

**El Namr A., Azza K., et El Sikaily A., 2006.** Distribution and statistical analysis of leachable and total heavy metals in the sediments of the Suez gulf. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 118 p.

**Emmanuel E., 2003.** Thèse de doctorat : Evaluation des risques sanitaires et ecotoxicologiques lies aux effluents hospitaliers. N° d'ordre : 04 ISAL 004. L.S.E. ENTPE ; LAEPSI INSA de Lyon. 260 p.

**Fernandez J. M ., 1984.**Utilisation de quelques éléments métalliques pour la reconstitution des mécanismes sédimentaires en Méditerranée occidental : apport du traitement statistique. Thèse de Doctorat de 3ème cycle en Océanologie, Université de Perpignan, 233p.

**FOLK, R.L., 1965.** Petrology of Sedimentary Rocks, University of Texas, Austin, Texas.

**Folk R. L., Ward W. C., 1957.** Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. J. Sediment. Petrol. 27 : 3-26.

**Galaf F et Ghannam S. 2003.** Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire de troisième cycle. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II Rabat, 101 p.

**Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire .Ed. Technique & Document, Paris, 220 p.

**Gérard J. T., Berdell R. F. et, Christine L. C., 2003.** Introduction à la microbiologie. Ed. ERPI, Québec, Canada, 945 p.

**Guy J., 2006.** Ecologie du plancton. Ed. Technique & documentation. Lavoisier, Paris, 283 p.

**Hart T. et Shears P., 1999.** Atlas de poche de microbiologie. Ed. Flammarion, Paris, 313 p.

**Institut Pasteur de Paris., 1978.** Milieux et réactifs de laboratoire Pasteur. 1<sup>ère</sup> édition, 573p.

**Jacques G. et Treguer P., 1986.** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie . Ed. Masson, Paris, France, 243 p.

**Journal officiel de la république algérienne,1993.** Principaux critères de qualité des eaux de baignade. Extrait de l'annexe 1 du décret n° 93-164 du 10 juillet 1993

**Journal officiel de la république algérienne., 2006.** Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels N°26 : 24Rabie Elaouel 427 23avril 2006

**Leclerc H., Gaillard J.L. et, Simonet M., 1995.** Microbiologie générale: La bactérie et le monde bactérien. Ed. Doin, 535 p.

**Leclerc H., Gaillard J.L., Simonet M., 1995.** Microbiologie générale: La bactérie et le monde bactérien. Ed. Doin, 535p.

**Lefebvre Y. et al. , 1993.** Circuits eau de mer traitements et matériaux. Ed. TECHNIP, Chambre syndicale de la recherche et de la production du gaz naturel, Comité des techniciens, 393 p.

**Marchand M. et Kantin R., 1997.** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. OCEANIS, n°4 Vol 23 : 597-629.

**Miquel G., 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 346 p.

**Murphy J. et Riley J. P., 1962.** A modified single method for determination of natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Acta, 12 : 162-170.

**OMS (Organisation Mondiale de Santé), 1995.** Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicole. Partie V. Contrôle de qualité. V67.

**Oukazi H., 1993.** Le port de plaisance de Sidi Fredj, approche critique à travers son fonctionnement et impact immédiat sur l'environnement. Mémoire d'ingénieur, ISMAL., 221 p.

**PNUE/FAO/OMS,1989.** Evaluation de l'état de la pollution de la mer méditerranée par le Cadmium et les composés de Cadmium. MAP Technical Reports series, UNEP, Athènes N° 34, 175 p.

**PNUE/OMS, 1977.** Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 168 p.

**Ramade F., 1992.** Précis d'écotoxicologie. Ed. Masson, Paris, 300 p.

**Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. EDISCIENCE international, Paris, 690 p.

**Rejesk F., 2002.** Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed. CRDP, Aquitaine, France, 360 p.

**Rodier J., Beiffe H., Bournaud M., Broutin J. P., Geoffay C. H., Kovacsik G., Laporte J., Patee E., Plissier M., Rodi L., et Vial J., 1984.** L'analyse de l'eau de mer : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7<sup>ème</sup> édition. Ed. DUNOD, Paris, 1367 p.

**Rodier J., C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., et Rodi L., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. 8<sup>e</sup> édition. Ed. DUNOD, Paris, 1383 p.

**Sellali B., 1996.** La pollution par les hydrocarbures pétroliers en méditerranée Sud-Occidentale : contamination de l'eau et des sédiments superficiels des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse de magistère. I.S.M.A.L., Alger, 118 p.

**Singleton P. et Sainsbury D., 1984.** Bactériologies. Ed. MASSON, 158 p.

**Taieb Errahmani D., 2009.** Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, 79 p.

Lesannexes

## Les Annexes

### ➡ Annexe I

#### Mode opératoire pour la mesure des (MES)

##### Principe de la méthode de mesure

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur des membranes filtrantes afin de retenir les particules de taille supérieure à  $0.45\mu\text{m}$  la membrane est séchée et pesée avant et après filtration.

La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant.

##### Echantillonnage:

L'eau est prélevée dans des flacons de 225ml en verre stérilisée au préalable à l'étuve à  $120^{\circ}\text{C}$  pendant 15 minutes

##### Préparation du matériel

Les filtres utilisés sont des GE/C Wattman, ils sont manipulés avec des pinces non oxydables.

Les filtres pesés sont placés à plat dans des boîtes individuelles avec couvercle.

Les boîtes sont numérotées

On pèse chaque filtre: ce poids est noté  $P_1$ .

##### Filtration:

- Homogénéiser l'échantillon: on doit agiter le flacon de prélèvement par plusieurs retournements successifs pour homogénéiser les particules en suspension et éviter la décantation.
- Mesurer le volume à filtrer ( $V = 100 \text{ ml}$ ).
- Placer un filtre bien centré dans le dispositif de filtration.
- Verser l'échantillon sur le filtre et appliquer le vide sans créer de dépression pour filtrer progressivement tout le volume mesuré.
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec et verser alors 5 à 10 ml d'eau distillée sur le filtre et aspirer à nouveau.
- Retirer l'entonnoir de filtration et, sous aspiration, rincer avec soin la couronne du filtre à l'aide d'une pissette d'eau distillée.
- Supprimer l'aspiration et remettre chaque filtre dans la boîte correspondante.

##### Séchage et pesée des filtres

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans le couvercle à l'étuve à  $70^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures.
- Laisser refroidir au dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée,
- Peser chaque filtre : ce poids est noté  $P_2$ .

##### Calcul et expressions des résultats

La concentration des matières en suspension (MES) est donnée par l'expression suivante:

$$[\text{M.E.S}](\text{mg/l}) = (P_1 - P_2) / V$$

$P_1$  = poids du filtre avant filtration (en mg),

$P_2$  = poids du filtre après filtration (en mg),

$V$  = volume filtré (en l).

## Dosage des sels nutritifs

### Dosage de l'ammonium

#### I. Réactifs

##### a. Solution tampon

###### Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et de sodium

$C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$  .....33 g.

Citrate de sodium  $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$  .....24 g.

Acide sulfurique  $H_2SO_4$  (1N).....x ml.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

Brij 35 (30 %).....2 ml.

###### Préparation

Dissoudre le tartrate de potassium et de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajouter le citrate de sodium et dissoudre. Ajuster le pH à 5 avec la solution d'acide sulfurique. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le Brij 35 et mélanger.

###### Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

##### b. Solution de phénol

###### Produits chimiques exigés :

Phénol  $C_6H_5OH$ .....6g.

Hydroxyde de sodium  $NaOH$ .....40 g.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

###### Préparation

Dissoudre le phénol dans  $\pm 50$  ml d'eau distillée. Ajouter l'hydroxyde de sodium. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 semaine.

##### c. Solution d'hypochlorite de sodium

###### Produits chimiques exigés :

Solution d'hypochlorite de sodium  $NaClO$

(13 % de chlore actif).....200 ml.

Eau distillée  $H_2O$ .....800 ml.

###### Préparation

Diluer la solution d'hypochlorite de sodium dans  $\pm 700$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

##### d. Solution de nitroprussiate de sodium

###### Produits chimiques exigés :

Nitroprussiate de sodium  $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$ .....0,5 g.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

###### Préparation

Dissoudre le nitroprussiate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :**

Conserver dans une bouteille à couleur sombre.  
La solution est stable pendant 1 semaine.  
Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

**e. Liquide de rinçage :**

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O.

**II. Préparation des solutions étalons****a. Solution mère de 100 ppm N (\*)****Produits chimiques exigés :**

Chlorure d'ammonium NH<sub>4</sub>Cl.....0,3819 g.  
Eau distillée H<sub>2</sub>O..... 1000 ml.

**Préparation**

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

**b. Solution fille de 10 ppm N**

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Dosage des nitrites + nitrates :****I. Réactifs :****a. Solution tampon :**

Chlorure d'ammonium NH<sub>4</sub>Cl .....50 g.  
Solution d'ammonium NH<sub>4</sub>OH (25%).....±1 ml.  
Hydroxyde de sodium NaOH.....5g.  
Eau distillée H<sub>2</sub>O..... 1000 ml.  
Bridj 35 (30%).....3 ml.

**Préparation :**

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le ph 8,2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

**b. Réactifs colorants :****Produits chimiques exigés :**

Acide o-phosphorique H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (85%).....50 ml.  
Sulfanilamide C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S.....10 g.  
α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C<sub>12</sub>H<sub>16</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>2</sub>.....0,5g.  
Eau distillée H<sub>2</sub>O..... 850 ml.

**Préparation :**

Diluer l'acide o-phosphorique  $H_3PO_4$  dans  $\pm 750$  ml d'eau distillée. Ajouter le Sulfanilamide  $C_6H_8N_2O_2S$  et le  $\alpha$ -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride  $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$  et dissoudre. Ajouter 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

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

**c. Liquide de rinçage :**

Eau fraîchement distillée  $H_2O$  (régénérée chaque semaine).

**II. Préparation des solution étalons :****a. Solution mère de 100 ppm N (\*) :****Produits chimiques exigés :**

Nitrate de sodium  $NaNO_3$ .....0,6068g.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

**Préparation :**

Dissoudre le nitrate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à  $4^\circ C$  quand la solution n'est pas utilisée.

**b. Solution fille de 10 ppm N :**

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standard chaque jour.

(\*) : les concentration des solution étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $N-NO_3^-$  ou de  $N-NO_2^-$  puis en  $\mu\text{moles/l}$  de  $NO_3^-$  ou de  $NO_2^-$ .

**III. Préparation de la colonne réductrice :****a. Solution d'acide chlorhydrique (4N) :****Produits chimiques exigés :**

Acide chlorhydrique  $HCl$  (32%).....400 ml.

Eau distillée  $H_2O$ .....600 ml.

**Préparation :** diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

**b. Cadmium :****Produits chimiques exigés :**

Granule de cadmium taille 0,3-1 mm (tamisé).....2,5g.

**Procédure de remplissage :**

- 1- Les granules de cadmium sont mélangées avec  $\pm 30$  ml de la solution d'acide chlorhydrique (4N).
- 2- Agiter pendant une minute.
- 3- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes.
- 4- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée.

- 5- Sécher les granules de cadmium.
- 6- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne de deux côtés.
- 7- Remplir jusqu'à  $\pm 5$  mm du sommet.
- 8- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne.
- 9- Remplir la colonne, à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif a préparé précédemment).
- 10- Placer la colonne dans le système.

**Note :** Eviter que l'air entre dans la colonne.

Les granules de cadmium activés peuvent être stockés sec, dans une bouteille bien fermée.

### **Dosage des orthophosphates :**

#### **I. Réactifs**

##### **a. Solution de molybdate d'ammonium :**

#### **Produits chimiques exigés :**

Tartrate de potassium et d'antimoine

$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$ .....230 mg.

Acide sulfurique  $H_2SO_4$  (97%).....69,4 ml.

Molybdate d'ammonium  $(NH_4^+)6Mo_7O_{24} \cdot H_2O$ .....6g.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

#### **Préparation :**

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée.

Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

#### **Note :**

Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml. Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10 % pour 10 ppb P.

Le pH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à  $4^\circ C$  quand la solution n'est pas utilisée.

##### **b. Solution d'acide ascorbique**

#### **Produits chimiques exigés :**

Acide ascorbique  $C_6H_8O_6$ .....6g.

Acétone  $C_3H_6O$ .....60 ml.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

#### **Préparation**

Dissoudre l'acide ascorbique dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

**c. Liquide de rinçage**

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O (régénérée chaque semaine).

**II. Préparation des solutions étalons**

**a. Solution mère de 100 ppm P (\*)**

**Produits chimiques exigés :**

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.....0,4394 g.

Eau distillée H<sub>2</sub>O.....1000 ml.

**Préparation**

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans ± 800 ml d'eau distillée.

Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

**2-2- Solution fille de 10 ppm P**

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de PO<sub>4</sub>-.

**Dosage des silicates**

**I. Réactifs**

**a. Solution d'acide sulfurique**

**Produits chimiques exigés :**

Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (97 %).....10 ml.

Eau distillée H<sub>2</sub>O.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

**Préparation**

Diluer l'acide sulfurique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

**Note :**

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

**b. Solution de molybdate d'ammonium**

**Produits chimiques exigés :**

Molybdate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O.....20g.

Eau distillée H<sub>2</sub>O.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

### **Préparation**

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

#### **Note :**

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 jour. Ne pas utiliser de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

### **c. Solution d'acide oxalique**

#### **Produits chimiques exigés :**

Acide oxalique  $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ .....44g.  
Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

### **Préparation**

Dissoudre l'acide oxalique dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

#### **Note :**

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

### **d. Liquide de rinçage**

Eau fraîchement distillée  $H_2O$ .

#### **Note :**

Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

## **II. Préparation des solutions étalons**

### **a. Solution mère de 100 ppm Si (\*)**

#### **Produits chimiques exigés :**

Métasilicate de sodium  $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ .....1,0119 g.  
Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

### **Préparation**

Dissoudre le métasilicate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

### **b. Solution fille de 10 ppm Si**

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm Si dans 100 ml d'eau distillée.

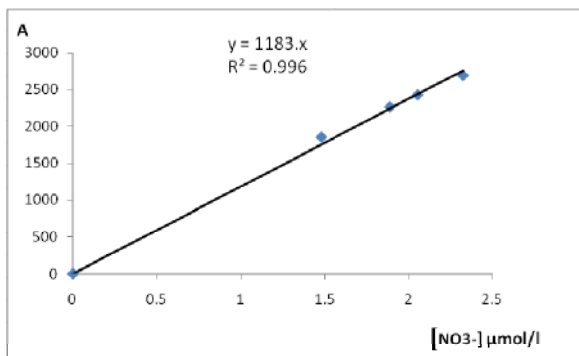
**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $SiO_4^-$ .

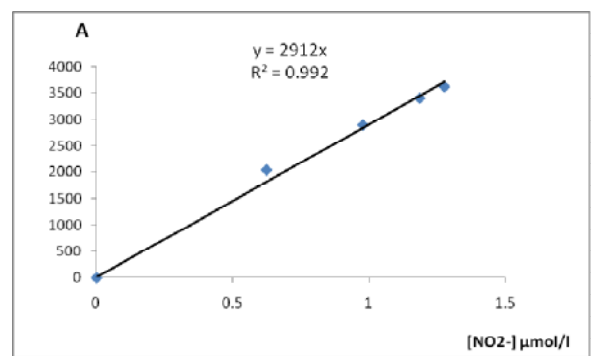


Figure 65 : Auto-analyser SAN Plus Système de marque SKALAR, 1998.

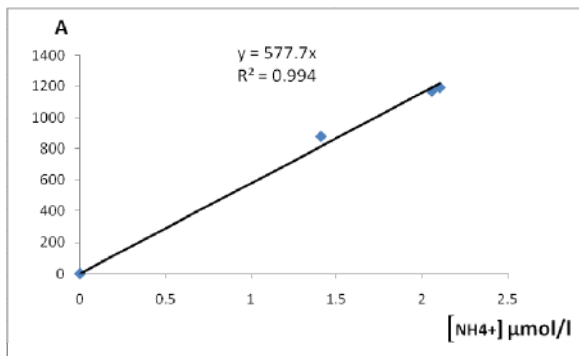
❖ Les courbes d'étalonnage



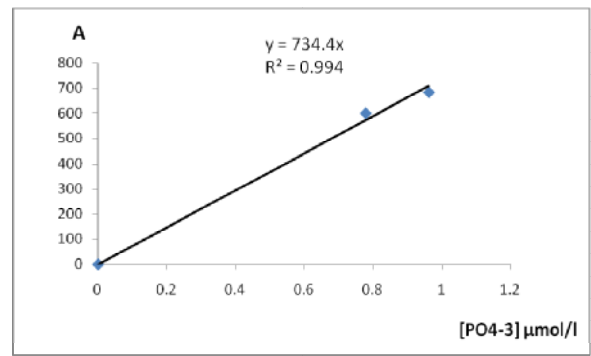
Courbe d'étalonnage pour les nitrates



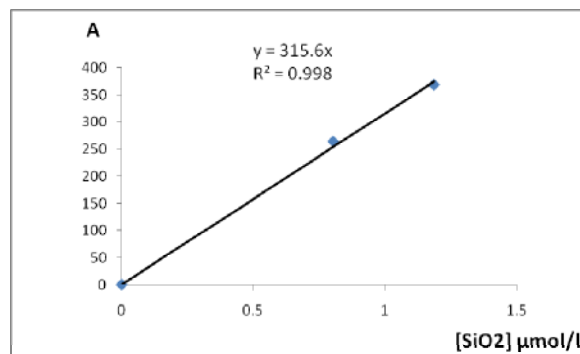
Courbe d'étalonnage pour les nitrites



Courbe d'étalonnage pour l'ammonium



Courbe d'étalonnage pour le phosphate



Courbe d'étalonnage pour la silice

## ➡ Annexe II

### La composition des milieux de culture utilisés

#### ◆ Milieu de Baird Parker

Composition	Quantité (g/L)
Hydrolysate tryptique de caséine	10
Extrait de viande de bœuf	5
Extrait de levure	1
Pyruvate de sodium	10
Chlorure de lithium	5
Glycocolle	12
Agar	20

PH : 6,8, autoclaver à 120 C° pendant 15 minutes.

#### ◆ Bouillon au Sélénite de sodium :

Composition	Quantité (g/L)
Peptone bactériologique	5
Phosphate de sodium	10
Lactose	4

- Stériliser au bain –Marie bouillant ou à la vapeur pendant 10 minutes.
- Ne pas autoclaver

#### ◆ Gélose Chapman

Composition	Quantité (g/l)
Extrait de viande de bœuf	1
Peptone de caséine et de viande	10
Chlorure de sodium	75
D Mannitol	10
Agar	15
Rouge de phénol	0,025

- PH : 7,5
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 121°C.

#### ◆ Milieu de Slanetz et Bartley

Composition chimique	Quantité (g/l)
Tryptone	20
Extrait de levure	5
Glucose	2
Monohydrophosphate de potassium (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	4
Azide de sodium	0,4
Chlorure de triphényltétrazolium (TTC)	0,05
Agar	10

- PH : 7,2±0,2
- Ne pas autoclave, ne pas refondre.

◆ **Gélose viande-foie**

Composition	Quantité (g/L)
Base viande-foie	30
Glucose	2
Amidon	2
Sulfite de sodium	1
Citrate de fer ammoniacal	0,5
Agar	11

- pH : 7,6±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 121°C pendant 15 minutes.

◆ **Eau peptonée salée alcaline (EPA)**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	40
NaCl	60

- pH : 8,6
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 121°C.

◆ **Gélose thiosulfate-citrate-bile-saccharose (TCBS)**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	10
Extrait de levure	5
Citrate de sodium	10
Chlorure de sodium	10
Thiosulfate de sodium	10
Bile de bœuf	8
Citrate de fer	1
Saccharose	20
Bleu de bromothymol	0,04
Bleu de thymol	0,04
Agar	14

- PH: 8,6 ±0,2.
- Stérilisation à l'autoclave : 121°C pendant 15 minutes.

◆ **Bile-Esculine-Azide (BEA)**

Composition	Quantité (g/l)
Tryptone	17
Peptone	3
Extrait de levure	5
Bile de boeuf déshydratée	10
Chlorure de sodium	5
Esculine	1
Citrate de fer et d'ammonium	0,5
Azoture de sodium ou azide de sodium	0,15
Agar	15

- pH : 7,1±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 120°C.

◆ **Gélose lactosée au TTC et au Tergitol**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	10
Extrait de levure	6
Extrait de viande	5
Lactose	20
Bleu de bromothymol	0,05
Agar	12,75

- pH : 7,2±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 115±1°C.

◆ **Gélose Salmonelles-Shigelles (SS) :**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	5
Extrait de viande de bœuf	5
Sels biliaires	4,2
Citrate de sodium	10
Citrate de fer	2
Lactose	10
Rouge neutre	0,025
Vert brillant	0,3 (mg)
Thiosulfate de sodium	8,5
Agar	12

- pH : 7,3±0,2 à 25°C.
- Ne pas autoclaver.

◆ **Bouillon au sélénite de sodium (SFB) :**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone de viande	5
Lactose	4
Sélénite de sodium	4
Phosphate dipotassique	3,5
Phosphate monopotassique	6,5

- pH : 7,0±0,2 à 25°C.
- Ne pas autoclaver.

♦ **Gélose Hektoen :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone de viande	12
Extrait de levure	3
Sels biliaires	9
Lactose	12
Saccharose	12
Salicine	2
Chlorure de sodium	5
Hyposulfite de sodium	5
Citrate de fer ammoniacal	1,5
Bleu de bromothymol	0,064
Fuchsine acide	0,04
Agar	13,5

- pH : 7,6
- Ne pas autoclaver.

♦ **Bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB)**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	10
Lactose	10
Bile	20
Vert brillant	0,013

- pH : 7,4.
- Autoclaver à 121°C pendant 15minutes.

♦ **Gélose au désoxycholate 1‰**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone bactériologique	10
Chlorure de sodium	5
Phosphate dipotassique	2
Lactose	10
Citrate ferrique	1
Citrate de sodium	1
Désoxycholate de sodium	1
Rouge neutre	0,03
Agar	15

- pH= 7,3 (environ)
- Ne pas autoclaver.

◆ **Milieu de Litsky**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	20
Glucose	5
Chlorure de sodium	5
Phosphate bipotassique	2,7
Phosphate monopotassique	2,7
Azothydrate de sodium	0,3
Ethyl violet	0,0005

- pH final = 6,8-7
- Autoclaver à 115°C pendant 20 minutes.

◆ **Milieu de Rothe**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	20
Glucose	5
Chlorure de sodium	5
Phosphate bipotassique	2,7
Phosphate monopotassique	2,7
Azothydrate de sodium	0,2

- pH final = 6,8-7
- Autoclaver à 115°C pendant 20 minutes.

◆ **Gélose de Sabouraud**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone Chapoteaut	10
Glucose mssé	20
Agar	15

- pH final = 6-6,3
- Autoclaver à 120°C pendant 20 minutes .

◆ **Milieu Endo**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone bactériologique	10
Phosphate de potassium	3,5
Sulfite de sodium	2,5
lactose	10
Agar	10

- pH = 7,5
- Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.

**Tableau 9** : Nombre le plus probable (NPP) dans le cas du système a trois tubes (Brisou et Denis.1980)

**Table de Mc Grady**

Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.1	201	1.4	302	6.5
001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	0.7	221	3.0	321	15.0
102	1.1	222	3.5	322	20.0
110	0.7	223	4.0	323	30.0
111	1.1	230	3.0	330	25.0
120	1.1	231	3.5	331	45.0
121	1.5	232	4.0	332	110.0
130	1.6	300	2.5	333	140.0
200	0.9	301	4.0		

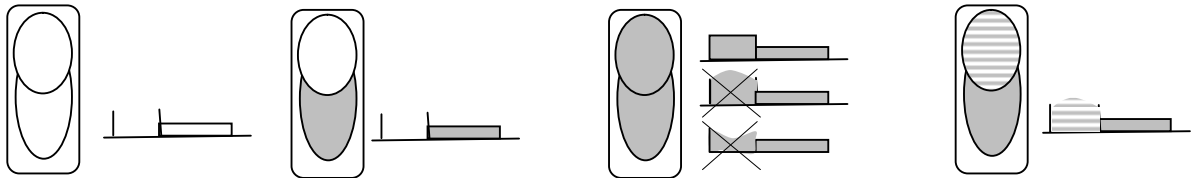
❖ **Méthode d'Identification par galeries API**

➤ Préparation de la galerie

- mettre de l'eau distillée sur le fond de la boîte (partie alvéolée), toutes les alvéoles doivent être remplies, éliminer l'excès d'eau en renversant la boîte au dessus de l'évier.
- Placer la galerie sur le fond de la boîte elle doit être manipulée avec la pince.
- Recouvrir la boîte avec son couvercle.

- Incrire nom, référence souche, date et température d'incubation sur la languette latérale de la boîte.
- Préparation de l'inoculum
  - Réalisez une suspension de la souche à étudier. La suspension doit avoir une densité suffisante
- Inoculation de la galerie
  - remplir les cupules de suspension en évitant les bulles d'air.

Mode de remplissage :



Cupule vide	Cupules simples ex : GEL  Remplir la partie inférieure	Cupules encadrées ex : <u>CIT</u> ; <u>VP</u>  Remplir la cupule en entier	Cupules soulignées ex : <u>H<sub>2</sub>S</u>  Remplir la partie inférieure puis compléter avec de l'huile de vaseline
-------------	---	---	---

- Incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures pour : Api 20 E, Api Staph et Api 20 Strep

- Lecture et Identification de la souche en utilisant le catalogue

Annexe III

Tableau 10 : Résultats des paramètres physico-chimiques

station	T (°C)	S (psu)	Conductivité (µs/cm)	pH	OD(%)	OD (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)
S 1	17.66	36.4	52.5	7.99	51	4.83	5
S 2	17.55	36.25	50.85	8.005	54	5.05	-
S 3	17.6	36.15	50.9	8.025	63.5	6.05	5
S 4	17.55	36.3	50.95	8.045	59.5	5.7	5
S 5	17.85	36.25	50.65	8.07	55	5.15	-
S 6	17.93	36.4	52.46	8.1	44	4.3	5
S 7	17.93	36.4	52.63	8.11	45	4.366	5
S 8	17.76	36.46	52.5	8.12	46.66	4.43	-
S 9	17.7	36.46	52.5	8.15	48.66	4.66	-
S 10	19.8	36.4	55.2	8.05	105	7.5	5
S 11	19.8	36.3	44.9	7.95	111	7.2	-

Tableau11 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement d'eau de mer.

station	Ø	λ
S1	36°45'51.64"N	2°50'54.23"E
S2	36°45'51.32"N	2°50'51.98"E
S3	36°45'51.11"N	2°50'50.54"E
S4	36°45'50.74"N	2°50'49.28"E
S5	36°45'49.81"N	2°50'47.33"E
S6	36°45'48.00"N	2°50'50.06"E
S7	36°45'46.47"N	2°50'50.91"E
S8	36°45'48.89"N	2°50'55.40"E
S9	36°45'48.26"N	2°50'56.78"E
S10	36°45'43.54"N	2°51'0.77"E
S11	36°45'45.82"N	2°51'3.18"E

Tableau 12 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse des hydrocarbures

	Ø	λ
S1	36°45'51.64"N	2°50'54.23"E
S2	36°45'51.11"N	2°50'50.54"E
S3	36°45'49.88"N	2°50'49.56"E
S4	36°45'48.00"N	2°50'50.06"E
S5	36°45'48.26"N	2°50'56.78"E
S6	36°45'49.22"N	2°50'53.34"E
S7	36°45'43.54"N	2°51'0.77"E

**Tableau 13 :** Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'analyse bactériologiques, des métaux lourds et granulométriques.

	Ø	λ
S1	36°45'51.64"N	2°50'54.23"E
S2	36°45'51.11"N	2°50'50.54"E
S3	36°45'49.88"N	2°50'49.56"E
S4	36°45'48.00"N	2°50'50.06"E
S5	36°45'46.47"N	2°50'50.91"E
S6	36°45'48.26"N	2°50'56.78"E
S7	36°45'49.22"N	2°50'53.34"E
S8	36°45'43.54"N	2°51'0.77"E

**Tableau 14 :** Les concentrations moyennes des paramètres bactériologiques dans l'eau enregistrées au niveau des stations

Station	CT UFC/100ml	CF UFC/100ml	Strep UFC/100ml	Staphes UFC/100ml	Clostrid Spore/5ml	Clostr spore/100ml
S1	1285	14	113	105	3	60
S2	1016	12	249.5	166.5	2	40
S3	442.5	22.5	143	80	1	20
S4	560.5	17.5	208	50	2	40
S5	2029.5	68.5	1047	250	4	80
S6	589.32	14.5	13.5	60.33	2	40
S7	403.33	5.5	10	18.5	2	40
S8	443	7.5	22	18	3	60
S9	921.16	46	17.5	15	3	60
S10	indé	0	14	226	ind	20
S11	210	44	188	64	1	-

**Tableau 15 :** Taux de pélites pour chaque station (%) dans le port de Sidi Fredj.

station	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
F.fine %	37,41	19,91	52,6	57,04	14,99	3,4	35,89	1,95

**Tableau 16 :** Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles ( $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{75}$ ) au niveau de la zone d'étude.

Station	$Q_1$ :25% (mm)	$D_{50}$ :50% (mm)	$Q_3$ :75% (mm)
S1	0,1	0,117	0,134
S2	0,14	0,18	0,219
S3	0,15	0,2	0,34
S4	0,076	0,136	0,181
S5	0,126	0,168	0,2
S6	0,164	0,18	0,2
S7	0,105	0,138	0,175
S8	0,15	0,178	0,225

### Normes de salubrité

**Tableau 17 :** Principaux critères de qualité des eaux de baignade (**Extrait de l'annexe 1 du décret n° 93-164 du 10 juillet 1993**)

Paramètres microbiologiques	Unités	Valeurs guide	Valeur impérative
Coliformes totaux	/100ml	500	10 000
Escherichia coli / 100 ml	/100ml	100	2 000
Streptocoques fécaux/ 100 ml	/100ml	100	-
Salmonelles	ll	-	0
Vibron cholérique	/450ml	-	0
<b>Paramètres Physicochimiques</b>			
Coloration	mg/l	-	Pas de changement anormal de la couleur (0)
Huiles minérales	mg/l	0,3	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
pH	-	-	6-8
Oxygène dissous	% saturation en O <sub>2</sub>	-	80 - 120
Transparence	Mètre	2	-
Autres substances	-	-	Ne doit pas contenir des substances capables de nuire la santé des baigneurs

**-Valeurs guide :** caractérise une bonne qualité pour la baignade.

**- Valeurs limites :** constitue la limite supérieure au-delà de laquelle l'eau est considérée de mauvaise qualité (baignade interdite).

- Les eaux dont les concentrations sont comprises entre les valeurs guides et valeurs limites sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

**Tableau 18 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (journal officiel de la république algérienne N°26 : 24Rabie Elaouel 427 23avril 2006)**

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	30
pH	-	6 ,5à 8,5	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35	40
Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
Phosphore total	mg/l	10	15
DCO	mg/l	120	130
DBO5	mg/l	35	40
Aluminium	mg/l	3	5
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005	0,01
Cyanures	mg/l	0,1	0,15
Fluor et composés	mg/l	15	20
Indice de phénols	mg/l	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
Huiles et graisses	mg/l	20	30
Cadmium	mg/l	0,2	0,25
Cuivre total	mg/l	0,5	1
Mercure total	mg/l	0,01	0,05
Plomb total	mg/l	0,5	0,75
Chrome total	mg/l	0,5	0,75
Etain total	mg/l	2	2,5
Manganèse	mg/l	1	1,5
Nickel total	mg/l	0,5	0,75
Zinc total	mg/l	3	5
Fer	mg/l	3	5
Composés organochlorés	mg/l	5	7