

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
« HOUARI BOUMEDIENE »**

**DEPARTEMENT GENIE DES PROCEDES
SPECIALITE: GENIE DE L'ENVIRONNEMENT**



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de magister
en génie des procédés
Spécialité : Génie de l'environnement

Présenté par
Mme KACI Asma

Thème

**Contribution à l'élimination de la pollution marine par l'identification et
la quantification des contaminants au niveau du port d'Alger**

Soutenue publiquement, le 22 Janvier 2017 devant le Jury composé de :

| | | | |
|---------------------|---------------------------|---------|-----------------------|
| Mme MOGHRANI Houria | Maître de conférence A à | l'USTHB | Présidente |
| Mme SADAOUI Zahra | Professeur à | l'USTHB | Directrice de mémoire |
| Mme AMOKRANE Samira | Professeur à | l'USTHB | Examinatrice |
| Mme LAOUFI Nadia | Maître de conférences A à | l'USTHB | Examinatrice |

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout Puissant qui m'a donné la force morale et physique pour achever ce travail.

La réalisation d'une thèse est une longue épreuve pas toujours facile... Aussi, je tiens à dire un grand MERCI à toutes les personnes qui ont été à mes côtés pendant ces années et qui m'ont permis d'arriver au bout de ce travail.

Si la thèse est un exercice stimulant, elle l'est d'autant plus que l'esprit peut se dégager des aspects matériels. Je voudrais ici remercier les personnes qui m'ont aidé pour l'échantillonnage, sans leurs aides ce travail n'aurait pas eu lieu.

Les conditions de travail sont également un point essentiel au bon déroulement des travaux au laboratoire. Le laboratoire de l'ENSSMAL a joué un rôle important dans ce domaine. Je remercie tous le personnel du laboratoire commençant par Mr MATOUK, Mr MEKKI, Mr REFES et Mme EDDALIA qui m'ont aimablement aidée à effectuer les analyses dans les bonnes conditions. Ainsi qu'aux techniciens et ingénieurs de laboratoire.

Je remercie vivement Mme SADAoui Zahra pour avoir bien voulu diriger ce travail de thèse. Je lui exprime ma très profonde reconnaissance pour sa gentillesse et son aide, ses conseils ont été précieux et m'ont orienté tout au long de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude au maître de conférences Mme MOGHRANI Houria pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse de magister. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements s'adressent au Professeur Mme AMOKRANE Samira et au maître de conférences Mme LAOUFI Nadia, pour avoir bien voulu accepté de faire partie de ce jury. Qu'elles sachent que je suis très honorée par leur présence.

C'est un plaisir autant qu'un devoir d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, pour le bon déroulement de ma formation, ainsi qu'à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

Spécialement, à ma chère maman Nabila,

J'aimerai toujours te remercier pour tous ce que tu as faits jusqu'à ce jour là pour assurer mon éducation et ma formation. Je me rappelle vraiment de tous tes efforts avec moi dès mon jeune âge, tu as été très patiente, tu as passé de longues nuits et vécu des moments de stress pendant toutes mes années d'études.

Chère mère j'avoue vraiment que tu es pour moi la lumière qui guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, c'est grâce à toi que je dois toute ma réussite. Sans toi je n'aurai jamais pu terminer cette étude. J'espère que mon travail sera le témoignage de ma reconnaissance et mon respect le plus profond. Puisse Dieu t'accorder la santé et une longue vie

A mon cher PAPA Esseddik,

En témoignage de l'amour, affection et le soutien que tu m'as offerts depuis ma naissance. Pour toutes les peines et tous les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation, je n'ai été guidée jusqu'à présent que par le désir de t'honorer. Aucun mot ne saurait exprimer ma gratitude, mon amour et mon profond respect. Puisse Dieu, tout puissant, te prêter longue vie, santé et bonheur.

A MON CHER MARI : Ali Yasser,

Depuis le jour où je t'ai connu, ma vie est comblée de bonheur. Ta présence m'inspire la sérénité et la tranquillité de l'âme. Merci pour tes encouragements, tu as toujours su trouver les mots qui conviennent pour me remonter le moral dans les moments pénibles, grâce à toi j'ai pu surmonter toutes les difficultés. Aucun mot ne saurait t'exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour, la tendresse et la compréhension dont tu m'as toujours entouré. Cher mari j'aimerai biens que tu trouves dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissances les plus sincères car grâce à ton aide et à ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour... Que Dieu nous bénisse, protège notre amour et nous aide à réaliser tous nos rêves partagés.

A Mon Très Cher Petit Poussin Aymen,

C'est à toi mon adorable ange, ma joie, mon petit trésor que maman dédie ce travail pour te dire que tu resteras pour toujours le rayon du soleil qui égaye ma vie. Je t'aime mon bébé et je te souhaite tout le bonheur du monde. Ta présence dans ma vie

ma donner la force pour affronter toutes les difficultés. Sache que maman sera toujours à tes côtés.

A mon cher frère : Oussama

Je te dédie ce travail en témoignage de mon amour et mon affection. Que Dieu t'aide dans tes études et te procure du bonheur.

A mon cher petit frère : Hichem

Merci hichemo pour ta précieuse aide dans les moments de difficultés. Que Dieu t'aide dans tes études et te procure du bonheur.

A ma tante Assia et mes grandes mères MAMI et MAMATI,

Merci pour vos prières pour moi tout au long de mes années d'études, vous trouverez dans ce travail l'expression de mon amour pour vous.

ASMA

Résumé :

La pollution marine est l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin, ayant pour conséquence des effets néfastes. L'existence des ports dans le milieu marin est indispensable par leurs rôles primordiaux pour l'économie nationale et internationale. Le port d'Alger est l'un des plus importants ports en Algérie, donc il nous a paru intéressant d'évaluer son niveau de contamination, cela dans le cadre de la contribution à la réduction de la pollution par l'identification et la quantification des contaminants au niveau du port d'Alger.

Pour cela un échantillonnage pour le prélèvement d'eau de mer a été établi, suivi d'une analyse de paramètres physico-chimiques, la chlorophylle, les sels nutritifs, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des analyses bactériologiques comme indicateurs de pollution. Toutes ces analyses ont été effectuées en utilisant des techniques et des équipements adéquats spécialisés pour l'eau de mer.

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau de mer ont montré des teneurs importantes en silicate, phosphore et en hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Pour conclure et à l'issue des résultats obtenus, l'état du port d'Alger nécessite une prise en charge qui doit être rapidement mise en œuvre pour la protection de l'environnement et assurer le développement durable de la façade maritime de notre pays.

Mots clés : Port d'Alger, eau de mer, identification, quantification, paramètres physico-chimiques, hydrocarbures aromatiques polycycliques, bactériologique, contamination, pollution.

Abstract:

The marine pollution is the introduction by humans, directly or indirectly, of substances or energy into the marine environment, resulting in adverse effects. The existence of ports in the marine environment is essential for their primary roles for the national and international economy. Algiers port is one of the most important ports in Algeria, so it seemed to us interesting to evaluate the level of contamination, in order to contribute to reduce pollution by identifying and quantification contaminants.

For this reason a sampling was established and followed by an analysis of physical-chemical parameters, chlorophyll, nutrients, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and bacteriological analysis as pollution indicators. All these analyzes were performed using different techniques and adequate equipments specialized for the seawater.

The results of the tests showed significant levels of silicate, phosphorus and polycyclic aromatic hydrocarbons.

Finally, and following the results, the actual status of Algiers port requires a quick action plan to take in charge the treatment of this pollution to preserve the environment and ensure sustainable development of the coastline of our country.

Key words: Algiers Port, marine water, identification, quantification, physicochemical parameters, polyaromatic hydrocarbons, bacteriological, contamination, pollution.

التلوث البحري هو ادخال مواد او طاقة بطريقة مباشرة او غير مباشرة الى البيئة البحرية مما يؤدي الى اثار سلبية. وجود الموانئ في البيئة البحرية ضروري للاقتصاد الوطني و الدولي. يعتبر ميناء العاصمة من اهم الموانئ في الجزائر لذلك قمنا باختياره لمعرفة مستوى التلوث فيه والمساهمة في التقليل منها من خلال تحديد وقياس نوع كمية الملوثات.

وقمنا بأخذ عينات ماء البحر بهدف تحليلها فيزيائيا و كيميائيا و معرفة نسبة تركيز الكلوروفيل و الاملاح المغذية و الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات و التحليل البكتريولوجي كمؤشرات التلوث. تم تنفيذ كل هذه التحليلات باستخدام التقنيات و المعدات المتخصصة في مياه البحر.

اظهرت نتائج التحليل التي اجريت على مياه البحر مستويات عالية من سيليكات و الفسفور و الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات.

و منه نستخلص ان ميناء الجزائر يتطلب متابعة جدية للحفاظ على البيئة و ضمان التنمية المستدامة في سواحل الجزائر.

كلمات مفتاحية ميناء الجزائر مياه البحر, تحديد و قياس, دلالات فيزيوكيميائية, هيدروكربونات, بيكتريولوجية, التلوث

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des Tableaux

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I : La pollution marine | 3 |
| I.1. La définition de pollution marine..... | 4 |
| I.2. Les différents types de la pollution marine | 5 |
| I.3. Sources de la pollution marine | 6 |
| I.4. Les caractéristiques de la pollution marine..... | 7 |
| I.4.1. Les caractéristiques physico-chimiques..... | 7 |
| A. La température (T)..... | 7 |
| B. La salinité (S)..... | 7 |
| C. Le potentiel d'Hydrogène (pH)..... | 7 |
| D. La Conductivité | 8 |
| E. L'oxygène dissous (OD)..... | 8 |
| F. Les matières en suspension (MES) | 8 |
| G. La pollution organique | 9 |
| H. Les sels nutritifs..... | 9 |
| I. La chlorophylle | 12 |
| J. Les hydrocarbures totaux (HCT) | 13 |
| K. Les métaux lourds..... | 15 |
| I.4.2. Les paramètres microbiologiques | 18 |
| I.4.2.1. Germes indicateurs de contamination fécale..... | 18 |
| I.4.2.2. Les Coliformes totaux (CT) | 18 |
| I.4.2.3. Les coliformes fécaux ou thermotolérants (CF)..... | 18 |
| I.4.2.4. Les streptocoques fécaux (SF) | 19 |
| I.4.2.5. Les germes pathogènes | 19 |
| I.5. Conclusion | 21 |
| Chapitre II : Présentation de la zone d'étude..... | 22 |
| II.1. Situation géographique du port d'Alger | 23 |
| II.2. Historique du port d'Alger..... | 24 |
| II.3. Les installations du port d'Alger | 25 |
| II.4. Données météorologiques et hydrographiques | 29 |

| | |
|--|-----------|
| II.5. Couverture sédimentaire | 30 |
| II.6. Points de rejets au niveau du port d'Alger | 31 |
| Chapitre III : Matériels et méthodes | 33 |
| III.1. Introduction | 34 |
| III.2. Localisation des stations de prélèvement des échantillons..... | 34 |
| III.3. Conditions des moyens de prélèvement | 34 |
| III.4. Travaux effectués en mer | 35 |
| III.5. Travail réalisé au laboratoire | 35 |
| III.5.1. Mesures des paramètres physico-chimiques | 35 |
| III.5.1.1. La température, pH, Salinité, la conductivité et l'oxygène dissous..... | 35 |
| III.5.1.2. Mesure de la matière en suspension (MES) | 36 |
| III.5.1.3. La matière organique dans l'eau de mer (MOP) | 37 |
| III.5.1.4. Dosage de la chlorophylle <i>a</i> par spectrophotométrie | 38 |
| III.5.2. Analyse des paramètres chimiques | 38 |
| III.5.2.1. Dosage des sels nutritifs | 38 |
| III.5.2.2. Dosage des hydrocarbures polyaromatiques | 40 |
| III.5.3. Analyse microbiologique de l'eau de mer..... | 42 |
| III.5.3.1. Matériels utilisés..... | 43 |
| III.5.3.2. Mode opératoire | 43 |
| III.5.3.3. Dénombrement des Coliformes, Streptocoques fécaux et des staphylocoques | 44 |
| Chapitre IV : Résultats et discussion..... | 46 |
| IV.1. Introduction..... | 47 |
| IV.2. Les analyses d'eaux de mer..... | 47 |
| IV.2.1. Les paramètres physicochimiques..... | 47 |
| a. La température | 47 |
| b. La salinité | 48 |
| c. La conductivité | 49 |
| d. Potentiel d'hydrogène (pH) | 50 |
| e. Oxygène dissous | 51 |
| IV.2.2. Variation des paramètres particulières | 52 |
| a. Matière en suspension (MES)..... | 52 |
| b. Matière organique particulaire (MOP) | 52 |
| c. La chlorophylle..... | 53 |
| d. Les sels nutritifs..... | 54 |
| e. Les hydrocarbures dans l'eau de mer | 56 |

| | |
|---|-----------|
| IV.2.3. Les paramètres bactériologiques | 57 |
| a. Les Coliformes totaux | 57 |
| b. Les Coliformes thermotolérants « Fécaux »..... | 57 |
| c. Les Streptocoques Fécaux | 58 |
| d. Les Staphylocoques | 59 |
| IV.3. Huistorique sur les sédiments du port d'Alger | 59 |
| a. Teneurs des métaux lourds dans les sédiments du port d'Alger | 60 |
| b. Teneurs en hydrocarbures totaux dans les sédiments..... | 62 |
| Conclusion générale | 64 |
| Références bibliographiques | 67 |
| Annexes | |

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AIEA : Agence International de l'Atome et de l'Energie

ARN : Acide RiboNucléique

ASR : Anaérobies Sulfito-Réducteurs

ATP : Adénosine triphosphate

CEAEQ : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec

CF : Coliformes Fécaux

C.O.I (I.C.O) : Commission Océanographique Intergouvernementale.

MES : Matière En Suspension.

MOP : Matière Organique Particulaire.

MIP : Matière Inorganique Particulaire.

CT : Coliformes Totaux.

CF : Coliformes Fécaux.

SF : Streptocoques Fécaux.

DM: Dilution Mère

E. coli: Escherichia coli

EDS : Eau Distillée Stérile

EPAL : Entreprise Portuaire d'Alger

GSAMP: Group of Scientific Aspects of Marine environmental Protection

ISO: International Standard Organization

mL : mètre linéaire

LEM. : Laboratoire d'Etudes Maritimes.

METAP: Mediterranean Technical Assistance Program.

Liste des abréviations

NE : Nord Est

ONM : Office National de Météorologie.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PSU : Practical Salinity Unit

SF : Streptocoques Fécaux

Staph : Staphylocoques

SSE : Sud-Sud-Est

USNWS: United States Naval Weather Service.

WTW: Wissenschaftliche Technische Workstätten

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I- 1: Structure chimique de la chlorophylle | 13 |
| Figure II-2: Situation du port d'Alger | 23 |
| Figure II-3: Localisation de la zone d'étude | 24 |
| Figure II-4: Plan de masse du port d'Alger | 27 |
| Figure II-5: les rejets à l'intérieur du port d'Alger | 32 |
| Figure III-6: Stations de prélèvement des eaux de mer dans le port d'Alger | 34 |
| Figure III-7: Valise multi-paramètres utilisée pour la mesure des paramètres physico-chimiques | 36 |
| Figure III-8: Four à moufle | 38 |
| Figure III- 9: L'appareil SAN PLUS d'analyse des sels nutritifs | 40 |
| Figure III-10: Evaporateur rotatif | 41 |
| Figure III-11: Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV | 42 |
| Figure III-12: Dispositif de filtration sur membrane | 43 |
| Figure III-13: Représentation des colonies dénombrées lors de l'expérience | 45 |
| Figure IV-14: Variation de la température de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 48 |
| Figure IV-15 : Variation de la Salinité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 48 |
| Figure IV-16 : Variation de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 49 |
| Figure IV-17: Variation des valeurs de la salinité et de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger durant le mois de février | 50 |
| Figure IV-18: Variation des valeurs de la salinité et de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger durant le mois d'avril | 50 |
| Figure IV-19: Variation du pH de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 51 |
| Figure IV-20 : Variation d'oxygène dissous de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 51 |
| Figure IV-21: Variation des teneurs en MES et MOP de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger | 53 |
| Figure IV-22: Variation des teneurs en chlorophylle au niveau du port d'Alger | 53 |
| Figure IV-23: Variation des teneurs en nitrate au niveau du port d'Alger | 54 |
| Figure IV-24: Variation des teneurs en nitrite au niveau du port d'Alger | 55 |
| Figure IV-25: Variation des teneurs en orthophosphate au niveau du port d'Alger | 55 |
| Figure IV-26: Variation des teneurs en silicates au niveau du port d'Alger | 56 |
| Figure IV-27: Variation des teneurs en HAP au niveau du port d'Alger | 56 |
| Figure IV-28: Variations des concentrations moyennes des Coliformes totaux (CT) au niveau du port d'Alger | 57 |
| Figure IV-29: Variations des concentrations moyennes des Coliformes Fécaux (CF) au niveau du port d'Alger | 58 |
| Figure IV-30: Variations des concentrations moyennes des streptocoques fécaux (SF) au niveau du port d'Alger | 59 |
| Figure IV-31: Evolution des teneurs en mercure dans les sédiments du port d'Alger | 60 |
| Figure IV-32: Evolution des teneurs en plomb dans les sédiments du port d'Alger | 61 |
| Figure IV-33: Evolution des teneurs en zinc dans les sédiments du port d'Alger | 61 |
| Figure IV-34: Evolution des teneurs en Nickel dans les sédiments du port d'Alger | 62 |
| Figure IV-35: Evolution des teneurs en hydrocarbures totaux dans les sédiments du port d'Alger | 63 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I-1: Les sources de la pollution anthropogène marine | 14 |
| Tableau I-2: Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les recommandations Algériennes et normes françaises | 18 |
| Tableau II-3 : Affectation des quais (Site web EPAL) | 28 |
| Tableau III-4 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère | 42 |

Introduction générale

Introduction

Le littoral est un espace qui revêt des caractéristiques physiques, environnementales, socio-économiques, géostratégiques et patrimoniales très variées. Cet écosystème riche est aujourd'hui de plus en plus désiré, voire convoité et partagé. Sa richesse a engendré des activités multiples et a suscité des intérêts souvent contradictoires, et génère des conflits d'usage et des dysfonctionnements. L'organisation du littoral a largement été perturbée en raison des aménagements effectués, et qui ont affaibli, voire brisé l'équation de l'écosystème. Il en résulte une grande réflexion sur les enjeux liés à l'environnement littoral. Les zones littorales, particulièrement méditerranéennes, représentent à la fois un terrain essentiel d'activité humaine et économique, mais aussi un potentiel vital de ressources naturelles, renouvelables ou non. Le littoral méditerranéen, notamment en Algérie, est soumis à des pressions : enjeux financiers, risques climatiques, pollutions et préservation de l'eau. Depuis la fin des années 90, le littoral Algérien connaît des transformations profondes et brutales. Si toutes ne sont pas apparentes, un phénomène au moins est directement perçu par les populations qui y résident : celui de sa dégradation (**Bouroumi M.T, 2014**)

Dans le cadre de l'application des politiques de développement durable, l'Algérie a adopté la stratégie de construire de nouveaux ports de pêche, commercial et de plaisance ainsi que l'aménagement et le dragage des ports existants, cela pour maintenir ces ports dans les meilleures conditions et normes de qualité, leur permettant ainsi de garantir une économie stable, au niveau national et international.

Mais la mauvaise exploitation des ports entraîne une pollution marine par le déversement des rejets directement en mer sans traitement préalable qui constitue une menace pour la santé publique lors de la baignade ou lors de la consommation des produits de la mer contaminés.

Le port d'Alger n'échappe pas à ce fléau, car il est doté de plusieurs unités industrielles (NAFTAL, SONELGAZ, ...) qui évacuent leurs eaux usées et déchets hydrocarbonés parfois sans aucun traitement préalable vers les différents bassins du port. Ces rejets contribueront certainement à une très grande part du phénomène de pollution d'autant plus que le port est une zone semi fermée, ce qui empêche la dispersion des polluants.

Devant ce constat, il nous est apparu intéressant de faire un état des lieux et évaluer l'état de la pollution dans le port d'Alger. Pour cela des analyses physicochimiques, chimiques et bactériologiques des eaux de mer ont été réalisées à travers une campagne de prélèvement ayant lieu au mois d'avril de l'année 2016. Afin de compléter la caractérisation du milieu, une actualisation de l'historique sur l'état de la pollution des sédiments du port d'Alger a été illustrée afin de relever l'évolution des contaminants dans les sédiments depuis l'année 1999 jusqu'à 2016.

L'analyse des eaux de mer a été réalisée au sein de l'École Nationale des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL). En effet, Mr le directeur de l'école

ENSSMAL nous a autorisé l'accès aux laboratoires pour effectuer les analyses chimiques et biologiques. L'école est dotée de tous les équipements calibrés et spécialisés nécessaires pour les analyses d'eau de mer, les analyses sont :

- Physiques (T°, pH, salinité, conductivité, oxygène dissous) et chimiques (matière en suspension, matière organique, chlorophylle) ont été réalisées au sein du laboratoire de pollution marine à l'ENSSMAL, Delly Ibrahim.
- Microbiologiques (Coliformes totaux, coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et des staphylocoques) ont été réalisées au niveau du laboratoire de la microbiologie à l'ENSSMAL, Delly Ibrahim.
- Sels nutritifs (nitrate, nitrite, orthophosphate, silicate) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été réalisées au niveau de la station de recherche de Sidi Fredj.

Enfin, sur la base des données et des résultats recueillis nous finirons par conclure sur la caractérisation des charges polluantes au niveau des eaux de mer des différents quais du port d'Alger. Une synthèse de l'évolution de la pollution par les métaux lourds et hydrocarbures dans les sédiments au cours des années est également présentée, afin d'apporter des réponses aux questions posées et contribuer à la caractérisation de la pollution par l'identification et la quantification des contaminants au niveau du port d'Alger.

Le présent travail est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique portant sur les paramètres indicateurs de la pollution marine : les paramètres physiques, chimiques (polluants organiques et inorganiques) et bactériologiques, qui sont généralement présents dans les matrices eau et sédiment au niveau des ports.
- La description de la zone d'étude a été répertoriée dans le deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre porte sur les matériels et méthodes utilisés pour la caractérisation de la pollution marine. Ainsi, les méthodes de prélèvement, de conditionnement et d'analyse des échantillons sont bien décrites dans ce chapitre.
- Le quatrième chapitre est axé sur la présentation des résultats obtenus, leurs analyses et leurs discussions qui se rapporte à l'impact des différents polluants sur le milieu marin.

Enfin, une conclusion générale du travail clôture ce mémoire.

Chapitre I : La pollution marine

I.1. La définition de la pollution marine

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement marin est devenue un problème majeur, préoccupant de plus en plus la communauté internationale.

La pollution de la mer peut être chronique ou accidentelle suivant qu'elle résulte des déversements urbains et industriels ou du rejet de matières nocives par suite de naufrages, de retombées d'engins balistiques ou d'ouverture de conduits et containers immergés (**GESAMP, 1997 ; Salomon, 2003**).

Dans le premier cas, elle affecte essentiellement les proches abords de la côte, surtout les estuaires qui drainent tout l'arrière-pays et où s'installent fréquemment les industries grosses consommatrices d'eau; dans le deuxième, elle peut porter atteinte successivement à la vie marine en haute mer et dans la zone littorale. Dans tous les cas les espèces vivantes sont d'autant plus exposées qu'elles sont moins mobiles : végétaux, coquillages, crustacés, poissons plats, œufs et alevins risquent davantage que les espèces pélagiques (**A.B.R.M.C, 1984**).

La pollution peut avoir des effets directs ou indirects, à court ou à long terme, suivant la nature physique, chimique et bactérienne des rejets. Les produits rejetés ont une action directe s'ils sont toxiques en eux-mêmes (pesticides, détergents) ou s'ils rendent le milieu impropre à la vie, de l'organisme (colloïde se plaquant sur les branchies, boues changeant la consistance des fonds, nappe de pétrole empêchant la réoxygénation superficielle, matières organiques réduisant le taux d'oxygène dissous, eaux résiduaires modifiant la salinité, le pH...) (**Chebli L., 1980**). Indirectement, les substances polluantes peuvent rompre l'équilibre biologique en faisant disparaître sélectivement telle forme intermédiaire indispensable à la vie d'une espèce ou telle espèce de la chaîne alimentaire, tandis que les espèces d'ordinaire rares deviendront surabondantes et gênantes (**Cardot, 1999**).

Ainsi la disparition des algues sur les frayères menace les espèces qui viennent s'y reproduire, la prolifération excessive des algues lorsque les gastéropodes ont été détruits par le pétrole gêne le développement des coquillages et plus généralement perturbe l'équilibre biologique normal.

Nuisance indirecte également, la contamination des eaux par des microorganismes pathogènes qui, en s'accumulant dans les mollusques bivalves, rendent leur consommation dangereuse pour l'homme (**Selmani et Taoutaou, 1995**)

Les effets des pollutions peuvent se manifester au point de rejet ou apparaître seulement à une certaine distance après une dilution ou une hydrolyse de substances responsables. Ils peuvent être immédiats ou être différés si les substances sont assez stables pour persister et s'accumuler jusqu'à atteindre un taux critique à un point quelconque de la chaîne alimentaire.

I.2. Les différents types de la pollution marine

L'influence des pollutions sur le milieu dépend de l'état physique et de la nature chimique des rejets aussi bien que de la topographie et de l'hydrologie locales (**Tayeb et Cherifi ,2000**)

Afin d'étudier plus commodément leurs effets, nous distinguerons trois (03) types de pollutions.

➤ **Pollution physique**

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau, ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales électriques et les nappes pétrolières et les radiations ionisantes

Les apports des eaux chaudes diminuent la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse (**Bellan et Perres, 1994**).

➤ **Pollution microbiologique**

C'est est une forme de pollution biologique, parmi ses agents à l'origine nous citons :

- Les microorganismes pathogènes tels que les bactéries et les virus : Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer.
- Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctonique est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates.

Cette pollution a des répercussions sur la qualité sanitaire des produits de la mer (conchyliculture, pisciculture...) et sur les différentes activités de la mer (tourisme par la qualité des eaux de baignade) (**Volkman et al., 1980**).

➤ **La pollution chimique**

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (**Kankou, 2004**).

On retrouve dans la mer et dans les sols des substances chimiques dangereuses pour l'environnement. Elles proviennent des rejets des stations d'épuration, de l'agriculture (dans les pesticides qui sont utilisés), de l'industrie, des transports...etc. Des pesticides, métaux et autres substances toxiques sont déversés chaque jour et menacent la chaîne alimentaire. En effet, les substances chimiques s'accumulent dans tous les organismes. Elles contaminent d'abord les espèces végétales, qui sont directement reliées à la terre et se nourrissent de ce qu'elle contient, puis les organismes qui se nourrissent de végétaux. Le phénomène remonte ainsi toute la chaîne alimentaire et finit par toucher les plus grands mammifères et l'homme. C'est ainsi que de nombreuses espèces animales et végétales sont fragilisées. Elles tombent malades et parfois meurent (**Tayeb Cherifi I., 2000**).

I.3. Les sources de pollution marine

Selon le mode de propagation des pollutions, ces dernières peuvent être classées en trois types: les pollutions accidentelles, pollutions diffuses et pollutions anthropiques. Ces différents types de pollution ont plusieurs sources, et qui peuvent être dues aux : **(Kankou, 2004)**

- **Les rejets d'effluents domestiques** : qui sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration, et sont caractérisées par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux (diversifiés), sels minéraux, détergents...etc. Les conséquences de cette pollution organique sont catastrophiques pour presque tous les organismes constituant les peuplements des milieux néritiques. La pollution domestique est caractérisée par la présence de produits dangereux dans nos éviers, nos baignoires ..., qui ne sont pas éliminés dans les stations d'épuration, puis ces produits s'attaquent aux algues et ensuite aux nombreux poissons. Cette pollution est surtout due aux matières organiques qui provoquent l'eutrophisation du milieu récepteur. L'ammoniaque des détergents et les phosphates des lessives sont autant de nutriments pour les algues, qui prolifèrent et deviennent des substances organiques supplémentaires à décamper. De même nature que les eaux domestiques, elles peuvent contenir en plus des métaux lourds et toxiques: plomb, zinc, hydrocarbures, mercure.
- **La pollution d'origine industrielle**: constitue la première grande source de pollution des eaux, résultantes de différentes industries, telles que : la production d'énergie, l'industrie chimique, métallurgique, électronique... et cela par l'utilisation des combustibles fossiles, des molécules minérales et organiques de synthèses.
- **La pollution pétrolière** : il existe deux types de rejets pétroliers : le premier, communément appelé : marée noire, est causée par les naufrages de pétroliers. Les effets de cette pollution sont très dévastants puisque chaque année nous retrouvons plusieurs millions de tonnes de pétrole dans la mer. Le deuxième type de rejet vient des hommes qui déversent plus de 120 millions de tonnes de pétrole par an. Le pétrole déversé en mer (les gisements offshore et les accidents surviennent pendant l'extraction et le transport des hydrocarbures) constitue une pollution importante et préoccupante à l'échelle globale.
- **La pollution d'origine pluviale** : les pluies acides détruisent des forêts mais aussi le milieu marin et le polluant. Lors de l'entretien des bateaux, le déversement des produits chimiques dont les peintures, les huiles de vidange, les solvants,... est nocif pour la mer car ils s'évaporeront et retomberont sous forme de pluie polluée.
- **La pollution d'origine agricole** : De nombreuses pollutions sont produites par l'agriculture. Les produits chimiques (pesticides, insecticides) sont utilisés pour tuer les insectes qui se nourrissent de ces plantations ou pour faire pousser les plantes plus vîtes. En utilisant le cycle de l'eau, ces engrais chimiques se rejoignent tous dans la mer et cela produit donc les mêmes effets que sur la terre. De nombreux poissons

meurent. Pour lutter contre ce type de pollution, les agriculteurs devraient utiliser des produits plus naturels et en plus petite quantité (Leroy, 1999).

I.4. Les caractéristiques de la pollution marine

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par les modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de la pollution consistera donc à mesurer, par des analyses, ces caractéristiques (au niveau du rejet, du milieu naturel ou du milieu pollué) (Gaujous, 1995).

I.4.1. Les caractéristiques physico-chimiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et qu'ils sont généralement utiles de connaître. Ces paramètres peuvent être mesurés en continu par des sondes installées dans des stations d'observation de la qualité des eaux (Gaujous, 1995).

a. La température (T)

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). Elle joue un rôle dans la solubilité des sels, la conductivité électrique du milieu et la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. (Rodier et al, 2005).

La température influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (préférences thermiques) (Aminot et Kérouel, 2004). D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air (Rodier et al, 2005).

b. 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 (Practical salinity unit), mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (Aminot et Chaussepied, 1983).

c. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est une grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité de milieu. (Le Pimpec et al, 2002). Le pH est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion H^+ (Aminot et Chaussepied, 1983).

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2 est fixé par la présence des carbonates : CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . Sa modification est due au changement des concentrations en CO_2 (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation, certains rejets industriels ou les apports d'eaux continentales) (Aminot et Chaussepied, 1983). La mesure du pH renseigne sur la qualité de l'eau : dans les eaux naturelles non soumises aux rejets, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du terrain (Le Pimpec et al, 2002).

d. La Conductivité

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant électrique. Cette aptitude dépend de la teneur de l'eau en sels dissous (salinité). Elle est l'inverse de sa résistivité électrique (**Le Pimpec et al, 2002**). La conductivité augmente si les sels dissous augmentent (**Le Pimpec et al, 2002**). Du fait de la proportionnalité des concentrations des différents ions, elle permet de déterminer la salinité avec une grande précision (**Aminot et Kérouel, 2004**). Elle varie en fonction de la température (**Rodier et al, 2005**). Elle permet donc une bonne appréciation des matières dissoutes, ce qui facilite la localisation d'une source de pollution (**Le Pimpec et al, 2002**).

e. 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 et 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**).

f. Les matières en suspension (MES)

D'après **Ivanoff (1972)**, en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origine minérale ou organique, vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne et en fin météoriques. Elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires. Les matières en suspension peuvent être un indice de pollution.

L'impact des MES sur l'eau se traduit par la diminution de la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique. D'autre part, elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Par le phénomène d'adsorption-désorption des MES pour les espèces chimiques, elles peuvent être considérées comme des transporteurs importants des polluants (**Lacaze, 1996**).

Dans les océans, la concentration des MES est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus grandes teneurs en MES sont au niveau des milieux côtiers et estuariens.

En général, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leur effet d'échanges d'ions ou d'absorption ; ainsi sur les éléments chimiques à l'état de trace sur les micro-organismes. La détermination des matières en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentaire, car le devenir de ces deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration.

g. La pollution organique

g.1. La matière organique (MO)

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques (disponibilité d'éléments nutritifs) contrôlent l'activité biologique des espèces trophiques primaires de l'environnement marin.

Les nutriments sont assimilés par le phytoplancton pendant la photosynthèse et produisent la matière organique considérée comme une source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires) et correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée (**Boulaïdid, 1987**).

La fraction endogène correspond à la matière organique produite par l'assimilation des nutriments par le phytoplancton lors de la photosynthèse. Cette matière organique qui est facilement dégradable sera source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires) (**Boulaïdid, 1987**). Reste la fraction exogène formée par les débris des animaux et des végétaux, qui possède une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La matière organique est intimement liée aux activités biologiques, soit comme résultat de la synthèse de la biomasse, soit comme source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires, phytoplancton). Dans les zones riches en matière organique, sa présence provoque au milieu un risque d'hypoxie, le risque étant plus grand quand cette matière organique est facilement dégradable par les bactéries (**Aminot et Kérouel, 2004**).

g.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène consommée par voie chimique dans les conditions de l'essai pour assurer la dégradation des matières réductrices. On admet que la DCO est une mesure représentative de la charge organique d'une eau (**Le Pimpec et al, 2002**). La DCO est fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités d'oxydation, etc. (**Rodier et al, 2005**). La mesure de la DCO est effectuée sur les eaux résiduaires (effluents, aval immédiat des rejets). Elle n'est pas applicable aux eaux naturelles ou faiblement polluées (manque de précision) (**Le Pimpec et al, 2002**). Plus une eau est chargée de matières organiques, plus la demande en oxygène cédée par voie chimique est importante (**Rejsek, 2002**). Elle est exprimée en mg/L (**Ramade, 2000**).

La détermination de la DCO dans l'eau de mer est perturbée par la présence de quantités importantes de chlorure de sodium, l'élimination des chlorures par le sulfate d'argent n'est pas satisfaisante et, de plus, très onéreuse. L'application de la méthode de mesure de DCO en milieu marin est à déconseiller. (**Rodier et al, 2005**).

h. Les sels nutritifs

Les éléments nutritifs qui limitent l'activité photosynthétique des organismes sont : l'azote, le phosphore et le silicium sous leur forme oxydée, d'où leur appellation « *éléments bio-limitants* » (**Copin-Montégut, 1996**).

Les sels nutritifs sont la base de la production primaire des eaux de surface en utilisant la lumière comme source d'énergie (c'est la photosynthèse), ainsi ils reflètent la richesse et la

fertilité des eaux marines. Ils sont utilisés comme des traceurs chimiques non conservatifs, ils forment un outil très important pour la caractérisation et l'identification des masses d'eaux et pour l'étude et la compréhension des différents phénomènes océaniques : circulation des eaux, productions primaire marines. Les variations de ses sels sont gouvernées par les facteurs physiques, chimiques et biologiques (**Jacques et Treguer, 1986**). Les nutriments peuvent être, comme la lumière, des facteurs limitant de la croissance algale, lorsqu'il y a une forte consommation. Ils peuvent aussi représenter des nuisances indirectes telles que l'eutrophisation en l'anoxie du milieu qui est engendrée par une perturbation du cycle des éléments nutritifs, à cause d'apports excessifs extérieurs au milieu (apports fluviaux, rejets urbains). (**Aminot et Kéroul, 2004**).

h.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.

h.1.1. 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 (**Bethoux et Copin-Montégut, 1988**).

h.1.2. 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**).

h.2. Différentes formes de sels nutritifs

h.2.1. L'Azote

L'azote est un élément de grande importance dans les écosystèmes marins. Il est un constituant majeur des organismes vivants et il est aussi considéré comme le nutriment

limitant la production primaire (**Luc-Henri, 2007**). Il existe sous trois formes essentielles selon le degré d'oxydation : Nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+), ainsi que l'urée ou les acides aminés. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (**Copin –Montégut, 1996**).

Le cycle de l'azote en milieu marin est caractérisé par une remarquable diversité. D'un côté les écosystèmes pélagiques sont définis par une faible concentration en azote bio-disponible pour les organismes vivants. D'autre part, les milieux côtiers et estuariens sont constamment enrichis en N_R par l'apport des rivières et des eaux souterraines (**Luc-Henri, 2007**).

h.2.1.1. Azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal provient des excréments animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations inférieures au $\mu\text{mole/L}$. En effet, il est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH_3) et l'ammonium (NH_4^+) dont des proportions relatives dépendant du pH, de la température et de la salinité du milieu. Ces deux espèces traduisent un équilibre acido-basique. A proximité des émissaires urbains, l'ammonium devient un bon traceur de pollution urbaine avec des concentrations pouvant atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. (**Lacaze, 1996**).

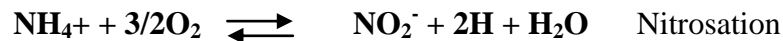
h.2.1.2. Nitrates (NO_3^-)

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*) (**Aubert et al., 1972**).

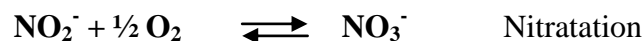
h.2.1.3. Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites 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 :

- L'oxydation de l'ammonium par la réaction de nitrosation qui est exothermique opérée par des bactéries (*Nitrosomonas*) :



- La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, opérée par les bactéries anaérobiques, selon la réaction suivante:



Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrate, leurs présence en mer est donc rare et faible en quantité (**Rejesk, 2002**). En effet, les concentrations des nitrites connaissent des variations saisonnières, entre 0.5 et 1 $\mu\text{moles/L}$ en hiver et peuvent atteindre des valeurs très faibles en été (0,01 $\mu\text{moles/L}$) suite au développement du phytoplancton (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

h.2.2. Les phosphates (PO_4^{3-})

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 PO_4^{3-} (10%), HPO_4^{2-} (90%) et H_2PO_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**).

h.2.3. La silice dissoute

L'élément nutritif silicium entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (Diatomées, Radiolaires...). A pH moyen de l'eau de mer (~8.2), les formes majoritaires dissoutes dans l'eau de mer étant à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique, $\text{Si}(\text{OH})_4$, 5 % $\text{Si}(\text{OH})_3^-$.

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. Les silicates sont régénérés à différentes vitesses et par différents processus et, à présent, il y a toujours une incertitude sur les facteurs qui contrôlent le budget marin des silicates (**Wade et al., 2006**).

i. La chlorophylle

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse (figure 01). 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*, *c1*, *c2* et *d* (**Aminot & Chausse-Pied, 1983**).

i.1. La chlorophylle a

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.

La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire. L'étude de la concentration en chlorophylle *a* du phytoplancton, prise en tant que marqueur de biomasse, est possible avec l'utilisation de la méthode fluorimétrique de (**Yenstch Menzel, 1963**) adapté par (**Holm-Hansen et Reimann, 1978**) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol.

i.2. Les phéopigments

Dans les milieux strictement marins, les phéopigments (groupes de pigments chlorophylliens) 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 phytoanctoniques, 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 absents dans les eaux côtières et sont toujours présents en eaux estuariennes turbides (**Aminot et Kérouel, 2004**).

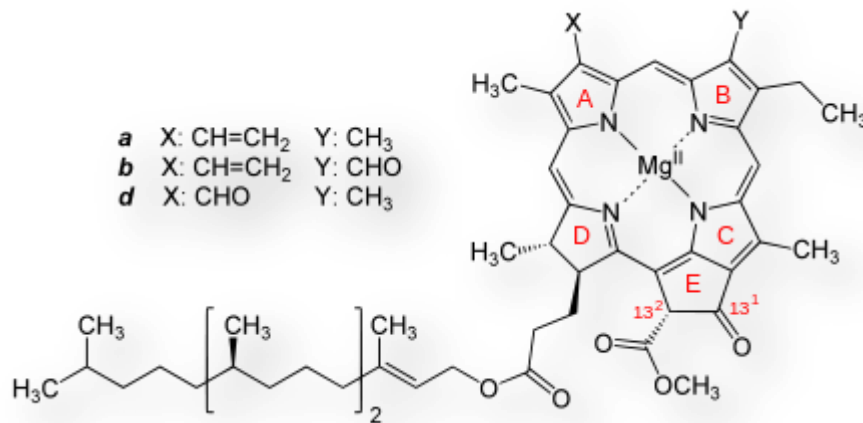


Figure 1: Structure chimique de la chlorophylle.

j. Les hydrocarbures totaux (HCT)

j.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, 1995**).

j.2. Les principales classes 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 (**Saliot, 1981**).

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 (**Boccard, 2008**) : les hydrocarbures aliphatiques ; les hydrocarbures naphténiques ; les hydrocarbures aromatiques ; les asphaltènes et les résines.

j.3.Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin

Du fait de la très faible solubilité des hydrocarbures dans l'eau et de leur densité qui est légèrement inférieure à l'unité, les hydrocarbures rejetés dans les océans s'étalent à la surface avant de subir une série de modifications suite à l'action de facteurs abiotiques et biologiques. L'action simultanée de ces différents facteurs aboutira à l'élimination de cette pollution (**Bertrand et Mille, 1989**).

Les principales sources des hydrocarbures en mer sont :

- **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,...) (**Westerholm et al., 1988**), véhiculés par les fleuves, les rivières, les lessivages ou par voie atmosphérique (**Sellali, 1996 ; Volkman et al., 1981**).

- **Sources anthropogènes**

Elles sont caractérisées par des apports liés à l'activité humaine. Les sources anthropogènes sont diverses et sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les sources de la pollution anthropogène marine. (**Sellali, 1996**).

| Apports | Sources |
|---|---|
| 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 ; - aérodrômes... |

j.4.Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

À la suite d'un déversement dans un milieu aquatique, sous l'influence de processus de transports horizontaux et verticaux, les hydrocarbures vont se propager dans le milieu. Ils seront également soumis à différents processus d'altération physique, chimique et biologique qui vont modifier leur composition chimique et leurs propriétés physiques ainsi que leur devenir dans le milieu. Il s'agit des processus d'évaporation, d'émulsification, de dispersion naturelle, de dissolution, de photooxydation, de sédimentation, d'interaction avec des particules fines et de biodégradation (**Fingas, 2013**). La plupart de ces processus ont lieu de façon simultanée et commencent dès le début du déversement. L'importance de chaque processus va dépendre de la composition chimique et des propriétés physiques des

hydrocarbures, ainsi que des conditions environnementales dans le milieu impacté (p. ex., température, vent, courant).

En eau libre, les hydrocarbures commencent à s'étaler à la surface de l'eau dès qu'ils sont déversés. La vitesse à laquelle se produit l'étalement dépend de la viscosité des hydrocarbures, du volume déversé et des conditions du milieu (température, vagues, courants...). Les caractéristiques de la nappe ainsi formée vont évoluer au cours de l'étalement dépendamment de son épaisseur et de sa fragmentation. À titre d'exemple, les hydrocarbures liquides ont tendance à s'étaler rapidement sous forme de nappe fine et continue, tandis que les hydrocarbures semi-solides ou très visqueux se fragmentent en plaques qui peuvent atteindre une épaisseur de plusieurs centimètres (ITOPF, 2012).

k. Les métaux lourds

k. 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 cm³. 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 (El Namr et al., 2006).

Dans l'eau de mer, les métaux peuvent se trouver à l'état ionique, dissous, de 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).

Les sédiments marins peuvent être un indicateur sensible pour la surveillance des tendances spatiales et temporelles des contaminants dans l'environnement marin (Larsen et Jensen, 1989 ; Kennish, 2001).

k. 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).

k. 2.1. Origine naturelle

On distingue :

- L'altération et le lessivage des roches terrestres contenant les métaux sous forme de trace ou concentrés en gisements économiques (Walker, 2001)
- Le volcanisme sous marin.
- Les sources hydrothermales sous marines.
- La dégradation de la matière organique (végétale, animale et fossile) contenant les métaux traces en concentrations 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.

k. 2.2. 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 et activités portuaires, entretien et réparation navale.

k.3. Répartition des métaux dans l'eau et les sédiments

Les métaux sont présents naturellement dans le milieu, provenant des processus d'altération des roches. Les activités anthropiques entraînent des pollutions métalliques en concentrant dans des zones précises, certaines espèces métalliques. Les métaux ne sont pas assimilables par un organisme vivant sous toutes leurs formes. La concentration en métal total dans un environnement ne peut donc pas permettre de prédire l'impact toxicologique et la bioaccumulation de ce métal dans les organismes (**Kennish, 2001**). La fraction bio disponible d'un micropolluant, représente l'ensemble des molécules présentes dans le milieu et susceptibles d'entrer en contact et/ou de contaminer les organismes. Il existe trois manières complémentaires d'estimer la biodisponibilité d'un polluant :

➤ **Méthode chimique**

La méthode chimique consiste à décrire les différentes formes chimiques sous lesquelles se trouve le contaminant dans le milieu (spéciation des métaux).

➤ **Méthode chimique et biologique**

La méthode chimique et biologique permet de mesurer la concentration en polluant accumulé dans un organisme exposé.

➤ **Méthode biologique**

La méthode biologique, mesure la réponse au sens large (toxique, enzymatique ou physiologique) d'un organisme à une exposition. La détermination de cette fraction de métal, présente en équilibre dans le système, va permettre d'évaluer l'accumulation potentielle de métaux pour les organismes (**Gagneux-Moreaux, 2006**)

En milieu aquatique, les métaux sont répartis dans 05 compartiments différents : l'eau de mer, les sédiments, l'eau interstitielle, la matière en suspension et le biotope. L'accumulation des métaux dans le biotope dépend de facteurs physico-chimiques ainsi que de facteurs biologiques. L'appartenance à une espèce et à un groupe zoologique donné, et par conséquent, le mode de vie, joue un rôle dominant dans l'accumulation métallique.

k.3.1. Sédiments et contaminants

Les sédiments plus que l'air ou l'eau, sont capables d'accumuler les polluants organiques et inorganiques. Les sources sont principalement agricoles, industrielles, minières ou urbaines.

Les polluants peuvent être immobilisés dans le sédiment ou bien transités vers les nappes phréatiques et les eaux superficielles (**Dali youcef, 2005**).

Le sédiment, compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes. Les dépôts sédimentaires littoraux se forment à l'interface des zones continentales et marines. Ils constituent les réservoirs ultimes pour de nombreux composés chimiques (**Chapman et al, 1998**).

k.3.1.1 Origine des sédiments

Les sédiments proviennent du dépôt des particules en suspension dans l'eau dérivant elles-mêmes de l'érosion des roches et des sols, de matériaux détritiques organiques et de la floculation d'éléments colloïdaux. Ces particules parviennent au milieu aquatique par les cours d'eau et par voie atmosphérique.

Ces éléments sont dits d'origine **allochtone** quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques externes comme l'eau ou le vent et d'origine **autochtone** quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates) et organiques (organismes planctoniques morts) (**Ramade, 1992**).

k.3.1.2 Granulométrie des sédiments

Les sédiments sont classés en fonction de la taille de leurs particules (**Bellair et Pomerol, 1977**)

-Les particules d'un diamètre supérieur à $63\mu\text{m}$ caractérisent les sédiments grossiers constitués de sable et de matériel inorganique silicaté. Les surfaces de contact des différentes particules sont peu importantes et donc sont peu associées aux contaminants

-Les particules d'une taille inférieure à $63\mu\text{m}$ sont constituées de minéraux argileux ayant un diamètre compris entre $0,2$ et $2\mu\text{m}$ et de silt ayant un diamètre compris entre $2\mu\text{m}$ et $63\mu\text{m}$. Les particules fines sont très cohésives, elles sont chargées négativement et leur surface de contact est importante : ces caractéristiques leur donnent un grand pouvoir adsorbant vis-à-vis des contaminants métalliques (**Geffard, 2001**).

k.3.1.3 Composition des sédiments

Le sédiment présente principalement 3 composantes :

- **Eau interstitielle** : correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires et représente une fraction importante du sédiment (**Forstner et al, 1980**).

- **Phase inorganique** : Elle est formée de minéraux provenant de l'érosion de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Composée principalement d'argiles, de carbonates et de silicates.

- **Phase organique** : Elle n'occupe qu'un faible volume du sédiment (quelques %) et régule la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants.

Les métaux cités dans le présent travail sont le nickel (Ni), le plomb (pb), le zinc (Zn) et le mercure (Hg).

k.3.2. Normes et indice de contamination

Pour la présente étude, les analyses des métaux lourds ont porté sur la comparaison des concentrations par rapport aux recommandations Algériennes et les normes françaises (tableau 2).

Tableau 2: Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les recommandations Algériennes et normes françaises ($\mu\text{g/g}$).

| Recommandations, normes/ métaux | Hg | Pb | Cd | Cu | Zn | Cr | Ni | Mn | Fe |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-------|
| Algériennes | 1.5 | 250 | 3 | 150 | 500 | 250 | 75 | | |
| Françaises | 0.2 | 22 | 0.6 | 26 | 80 | 90 | 45 | 400 | 20000 |

I.4.2. Les paramètres microbiologiques

I.4.2.1. Germes indicateurs de contamination fécale

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale. Elles peuvent être sensibles, c'est-à-dire qu'on les rencontre assez fréquemment, spécifiques, c'est-à-dire d'origine fécale stricte, résistantes, c'est-à-dire qu'elles subsistent longtemps dans le milieu extérieur (**Goujaus, 1995**).

I.4.2.1.1. Les Coliformes totaux (CT)

Ils regroupent un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae*. Selon (**ISO**) : le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatif, oxydase négatif, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose et le mannitol avec production de gaz en 48 heures, à des températures de 35 à 37°C. Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia* (**Rodier et al, 2005**). Ils sont présents en très grand nombre dans l'intestin et les selles de l'homme (**Goujaus, 1995**). De nombreux coliformes ne sont pas dangereux du point de vue sanitaire sauf en cas de prolifération extrêmement abondante ou de réceptivité particulière du consommateur. (**Guiraud, 1998**).

I.4.2.1.2. Les coliformes fécaux ou thermotolérants (CF)

Ils correspondent à des coliformes qui sont capables de se développer à 44°C (**Rodier et al, 2005**). Ils peuvent être associés dans un aliment contaminé à des entérobactéries pathogènes comme les *Salmonelle*, *Shigella*, les *Yersinia* et certains biotypes d'*E. Coli* (O157). Leur développement est possible sur de nombreux milieux entre -2 et 50°C et entre pH 4,4 et 9. (**Guiraud, 1998**). *E. coli* : c'est des colibacilles, lactose+, gazogènes, réalisant une fermentation acide mixte (**RM+**, **VP-**). (**Guiraud, 1998**). Elles produisent de l'indole à partir

de tryptophane, à 44°C (**Rodier et al., 2005**). Elles peuvent être responsables de maladies diarrhéiques ou de maladies extra-intestinales. Les *E. coli* n'existent normalement pas dans l'eau et le sol. Leur présence est le témoin d'une contamination fécale qui rend l'eau impropre à la consommation (**Wade, 2006**).

➤ **Intérêt hygiénique de la recherche des coliformes dans l'eau**

Les coliformes sont intéressants 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 des indicateurs fécaux de la première importance. Par ailleurs, leur résistance aux agents antiseptiques, et notamment au chlore et à ces dérivés, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes vis-à-vis desquelles ce type de traitement est instauré ; ils constituent donc des indicateurs d'efficacité de traitement. (**Rodier et al., 2005**).

I.4.2.1.3. 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**).

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.4.2.2. Les germes pathogènes

a. 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**).

b. 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**).

c. 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 (**Singleton et Sainsbury, 1984**).

d. Les Clostridium Sulfitoréducteurs

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.

e. Les champignons

Les moisissures et les levures sont des microorganismes eucaryotes hétérotrophes du groupe de champignons (**Guiraud, 1998**).

e.1. Les moisissures

Ce sont des champignons microscopiques filamenteux. Les cellules sont organisées en mycélium. Certaines sont des parasites des végétaux (plus rarement des animaux), d'autres sont saprophytes, se développant sur des déchets organiques et contaminant les produits alimentaires. Elles sont des aérobies, acidophiles ($3 < \text{pH} < 7$), mésophiles ($20^{\circ} \leq T \leq 30^{\circ} \text{C}$), osmophiles, halophiles. Certaines sont toxigènes et libèrent dans l'aliment des mycotoxines qui représentent un grave danger du point de vue sanitaire comme : *Aspergillus clavatus*.

e.2. Les levures

Ce sont des champignons microscopiques unicellulaires. Les cellules sont souvent rondes à ovales. Leur métabolisme est oxydatif ou mixte (oxydatif et fermentatif). Elles sont acidophiles ($3 < \text{pH} < 7,5$), mésophiles ($25-28^{\circ}\text{C}$). Parmi les levures pathogènes : *Candia albicans*, *Cryptococcus neoformans*..., mais elles ne causent pas de maladies ou d'intoxication alimentaire.

e.3. Les virus

Ce sont des microorganismes très petits, constitués d'une membrane protéique (capside) contenant un acide nucléique (ADN ou ARN). Ils ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante infestée (parasite absolu) (**Gaujous, 1995**).

Les virus sont des agents pathogènes des animaux et des végétaux. Certains sont transmissibles par les aliments. D'autres appelés bactériophages (virus de bactéries) fécaux peuvent être recherchés comme témoins de contamination fécale (résistants) (**Guiraud, 1998**). Les principaux virus pathogènes rencontrés dans l'eau sont des entérovirus (les hépatites A et B, *poliovirus*). D'autres virus, transmis par l'eau, sont responsables de gastro-entérites (*Coronavirus*, *Calicivirus*, *Astrovirus*), de diarrhées plus ou moins graves (*Rotavirus*). (**Gaujous, 1995**).

e.4. Les parasite

Ce sont des organismes vivants au dépendent d'un autre être vivant nommé « hôte ». L'hôte apporte au parasite un milieu favorable à sa survie. L'association parasite-hôte est plus au moins néfaste à l'hôte (**Wade, 2006**).

e.5. Les Protozoaires

Ce sont des êtres unicellulaires eucaryotes responsables de parasites chez l'homme. Ce sont les agents de l'amibiase, de la giardiase, du paludisme, de la cryptosporidiose...etc. Chez l'hôte, certains protozoaires sont intracellulaires comme paludisme, d'autres extracellulaires comme giardiase. Ces parasites ont un stade actif, forme de développement et de multiplication, stade kystique qui résiste à la dessiccation et à l'activité gastrique (**Schaechter, 1999**).

e.6. Les helminthes

Ce sont des êtres multicellulaires (métazoaires) plus nombreux que les protozoaires comme les nématodes intestinaux, trématodes, cestodes et insectes. Ils sont extracellulaires, kystes, parasitent le tube digestif (**Schaechter, 1999**).

Conclusion

L'étude des caractéristiques de l'état de pollution des eaux de mer nécessite une connaissance des teneurs en matière organique, chlorophylle, sels nutritifs et hydrocarbures aromatiques polycycliques ainsi que la contamination bactérienne. Les métaux lourds ont une grande affinité aux sédiments donc leur concentrations dans ces sédiments nous oriente sur le degré de pollution de la zone.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Situation géographique du port d'Alger

Ouvert sur la mer méditerranéenne, le port d'Alger est situé sur le littoral Ouest d'une longue baie en forme de croissant constituant, la baie d'Alger (figure 2). Le port, s'étend sur une surface globale de 126 hectares.

A l'ouest, les collines du Bouzaréah offrent une certaine protection contre les vents dangereux d'hiver provenant de l'ouest et du nord ouest.

Le port actuel est protégé par un grand brise-lame s'étendant parallèlement à la côte (jetées de l'Agha, du vieux port et de Mustapha) et par deux jetées secondaires, (la jetée kheir Eddine vers le nord, et la jetée Est) (figure 3). Ces ouvrages de protection renferment trois bassins ; le bassin du vieux port, le bassin de l'Agha et bassin de Mustapha, représentant une superficie du plan d'eau de l'ordre de 200 hectares.

Tous les quais principaux sont desservis par des voies ferrées. Il existe plusieurs accès routiers menant au port et deux accès maritimes : la passe nord et la passe sud, de profondeurs respectives de 12 m et 13 m. A l'ouest, le bassin du vieux port, dont la profondeur d'eau varie entre 10 et 11 m, est limité par le grand môle Bologhine, Le môle aux marchandises conventionnelles (le plus important), ainsi que deux môles plus petits (LEM, 2006). A l'est, le bassin de Mustapha est à des profondeurs d'eau à quai de 7 à 11 m et est limité par le môle de Skikda ainsi que le môle El-Hadjar. La passe de Mustapha est à une profondeur moyenne de 12 m. Le long du brise-lames est se trouvent également des postes d'amarrage pour pétroliers (LEM, 2006).

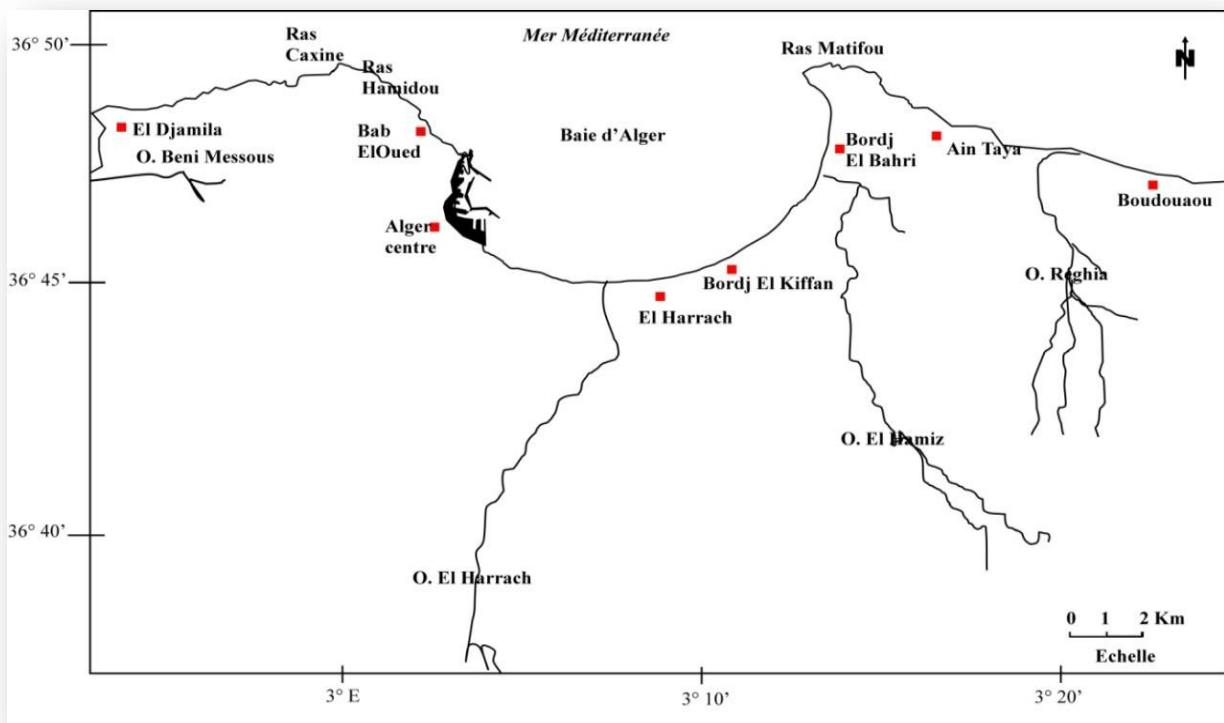


Figure 2 : Situation du port d'Alger



Figure 3 : Localisation de la zone d'étude (Google Earth).

II.2. Historique du port d'Alger

Le port d'Alger a trouvé son origine dans un mouillage naturel mal abrité, situé entre la côte et les îlots dénommés El-Djezaïr, d'où la capitale algérienne tire son nom d'Alger. Utilisé par les Phéniciens sous le nom d'Icosim devenue Icosium pour les Romains, le site d'Alger est resté sans grand changement entre le quatrième et le septième siècle.

Ces premiers navigateurs aimaient trouver dans cette anse enfoncée dans les terres un abri sûr contre les vents (Delvert, 1923 ; Pres et al. 1976). La première construction maritime du port remonte au 15^{ème} siècle à l'époque du Dey turc « Kheir-Eddine », construite en blocs naturels qui composent une partie de la jetée actuelle connue sous le nom de son auteur : « la jetée de Kheir-Eddine ». Le port avait une superficie de 3 hectares 50 ares avec une passe de 130 mètres de large au Sud.

Dés 1830, lors de l'invasion française, les services techniques français entreprirent l'amélioration du site portuaire ; il fut agrandi en trois phases d'aménagements (Amari, 1992)

- 1848 – 1870 : construction du bassin de l'ancien port ;
- 1870 – 1914 : construction du bassin de l'Agha ;
- 1914 – 1961 : construction du bassin de Mustapha.

La configuration du port de 1985 a évolué par les aménagements suivants :

- 1987 à 1988, comblement de la darse de Calvi (Darse 7) et réalisation d'un appontement en Duc d'Alber et de trois rampes Ro-Ro (équipement de chargement et de déchargement de marchandises horizontalement) ;
- 1992 à 1999, construction du terminal à conteneurs d'une superficie de 17,5 ha qui comprend :

- un bâtiment administratif,
- un hangar d'emportage et de dépotage ;
- un parc à engins ;
- un atelier de maintenance et un poste de contrôle.

La superficie de la darse 7 permet d'avoir une surface d'entrepôt plus importante pour l'importation et a réduit la superficie du plan d'eau du port de 184ha à 179ha.

II.3. Les installations du port d'Alger

Une multitude d'installations spécialisées sont implantées à l'intérieur de l'enceinte portuaire et exploitées essentiellement par des entreprises publiques telles que : OAIC, NAFTAL, NAFTEC, COGRAL, ONAB, SONELGAZ, ERENAV, MEDITRAM, ENTMV, etc. On énumère du Nord au Sud (EPAL : <http://www.portalger.com.dz/installations>)

✓ Terminal à conteneurs

Réceptionné en 1998, le Terminal à Conteneurs s'étend sur une surface de **30,3 hectares**. Il dispose de trois (**03**) postes à quai de **300 ml** avec un tirant d'eau de **9,00 à 11,00** mètres. Il dispose de

- 01 centre empotage et dépotage 4.800 m² ;
- 01 atelier de maintenance 2.000 m² ;
- 01 parc à engins 1.000 m² ;
- 01 bâtiment administratif 2.400 m² ;
- 01 poste de contrôle.

Le Terminal à conteneurs du port d'Alger est exploité par la compagnie émiratie DPWORLD depuis 2009 sous le régime de la concession.

✓ La gare Maritime

C'est une installation, située au quai N° 11, qui occupe une surface de 30 000 m² destinée au traitement des car-ferries. Un bâtiment R+1, comprenant au RDC un préau pour l'embarquement des auto-passagers et à l'étage un préau de 10000 m² pour le débarquement des auto-passagers ainsi que des salles pour les passagers piétons situées à l'étage.

✓ Les installations de réparation navale

Il existe deux formes de Radoub (la grande forme & la petite forme) destinées à la réparation navale et exploitées par l'ERENAV qui dispose d'un ensemble d'ateliers au niveau du quai N° 16. Ces deux ouvrages font face au quai N° 13 qui est exploité par la marine nationale au même titre que le quai 14 et 15. Il existe des cales de halage au niveau :

- de la darse de l'amirauté relevant de la marine nationale entre le môle de la santé et le môle de pêche (pour les pêcheurs)
- au niveau de la capitainerie (pour les chalutiers)

✓ **Centrale électrique**

Il existe une Centrale électrique à l'arrière du quai 26 dont l'exploitation relève de la Sonelgaz. Cette installation qui fournit de l'énergie électrique à la capitale s'étend sur une superficie de 22 400 m.²

✓ **Parc à blocs**

Cette installation, destinée pour les travaux d'entretien des infrastructures du port d'Alger, est exploitée par l'entreprise Meditram. Situé au quai N° 26, le parc à blocs s'étend sur une superficie de 20 000 m² et dispose d'un quai de travaux pour l'accostage des pontons et des chalands.

✓ **Office de la signalisation maritime (ONSM)**

Chargé de baliser la côte algérienne par des moyens visuels, sonores et radioélectriques, l'ONSM possède au niveau du quai 26 des ateliers et un poste à quai pour ses engins.

✓ **Unités d'hydrocarbures**

Il existe 03 unités de bitume implantées à l'intérieur du port et reliées par des pipes aux quais de réception N° 26 et 36

- 1 unité de bitume de Naftal située à l'arrière du quai 26 d'une capacité de stockage de 7000 tonnes.
- 1 unité de bitume d'ETRHB Haddad située à l'arrière du quai 26 d'une capacité de stockage de 3700 tonnes.
- 1 unité de bitume d'ETRHB Haddad située au quai 36 d'une capacité de stockage de 7850 tonnes.

Il existe une unité de fuel et Gasoil exploité par Naftal Marine située à l'arrière du quai 26, reliée par des pipes au quai 26 pour la réception des hydrocarbures. L'avitaillement des navires en hydrocarbures de soutage est assuré par des barges flottantes.

✓ **Huileries**

L'entreprise des corps gras COGRAL exploite actuellement 03 unités de production situées à l'arrière des quais 32 et 36. Ces trois unités occupent une superficie totale de 6,5 ha. Elles sont reliées au quai N° 36 par des conduites de réception d'huiles alimentaires brutes.

✓ **Silo à céréales vertical**

Situé au quai 35/1, le silo à céréales qui est exploité par l'OAIC, est d'une capacité de stockage de 30 000 tonnes et équipé de 02 portiques à pompes suceuses pour le déchargement des céréaliers .Il occupent une surface totale de 8500 m².

✓ **Quai pétrolier**

Il existe 3 postes d'accostages pour les pétroliers au niveau du quai N° 37 destinés au chargement et au déchargement des navires pétroliers. Une nappe de 6 pipes relie ce quai à la raffinerie d'Alger située à Baraki.

✓ **Surfaces d'entreposage**

Le port d'Alger dispose de surfaces d'entreposage de marchandises (terre plein). Ces surfaces réparties essentiellement le long des quais d'accostage et destinées à l'entreposage des marchandises déchargées des navires. La capacité d'entreposage totale (en magasins et terrepleins) est équivalente à 270 000 m².

✓ **Administrations et services publics**

Outres les principales installations suscitées et surfaces d'entreposage, le port met à la disposition des administrations publiques telles que la douane nationale, la police, la marine nationale, la protection civile ... etc, des bâtiments à usage de bureaux et autres qui abritent leurs services dont les activités sont liées au trafic portuaire. Ces derniers sont répartis sur les différents quais comme suit (tableau 3).

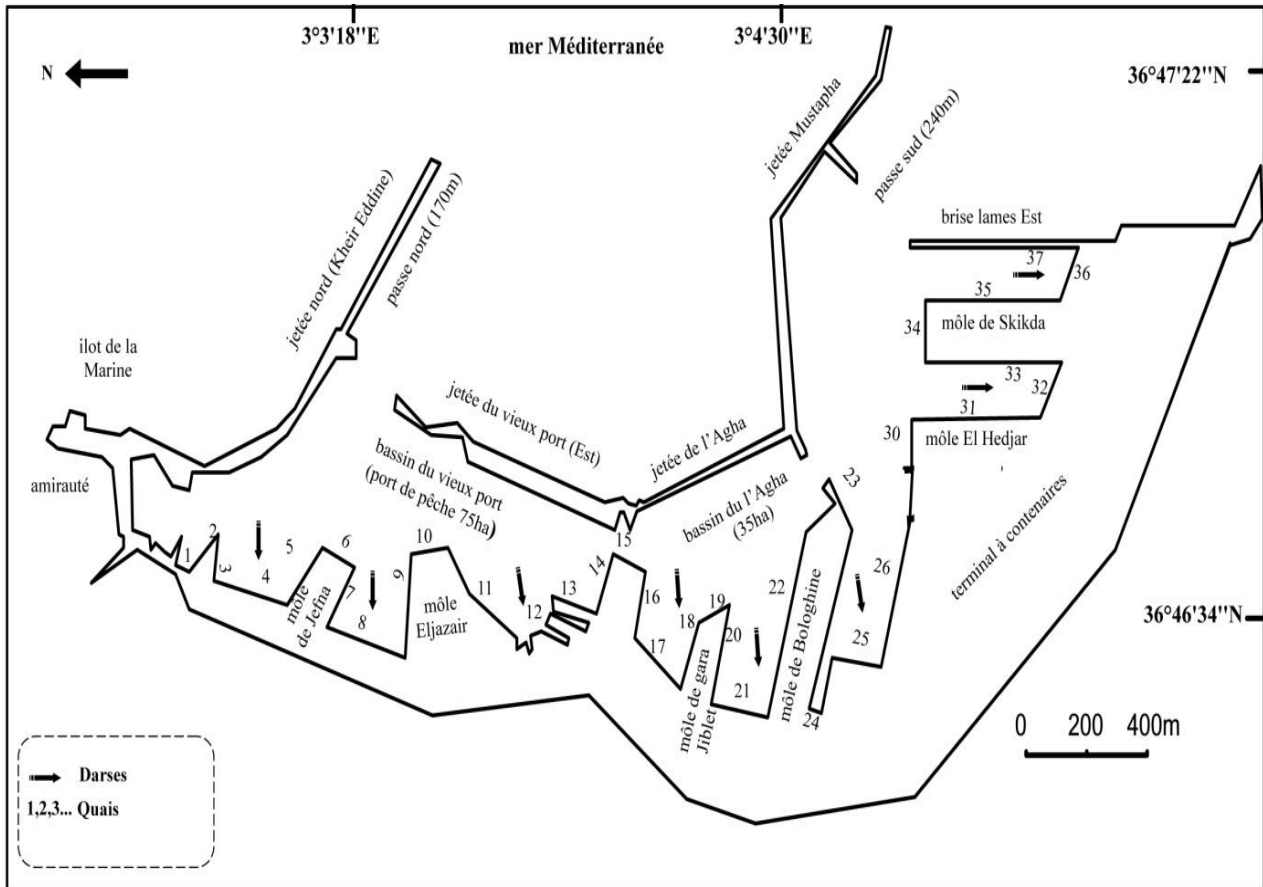


Figure 4 : Plan de masse du port d'Alger (LEM, 1999)

**Tableau 3 : Affectation des quais (Site web EPAL
:http://www.portalger.com.dz/informations-specifiques/affectation-des quais)**

| Désignation | (mètre linéaire, ml) | Tirant d'eau initial(m) | Nombre de postes | Affectation | Nature de l'activité |
|-------------|----------------------|-------------------------|------------------|--------------|----------------------|
| 01 | 140,00 | 02,70 | 01 | Pêche | Pêche |
| 02 | 38,00 | 05,90 | 01 | Pêche | Pêche |
| 03 | 121,00 | 03,75 | 01 | Pêche | Pêche |
| 04 | 278,00 | 06,00 | 01 | Pêche | Pêche |
| 05 | 174,00 | 06,50 | 01 | Divers | Commerciale |
| 06 | 137,00 | 09,60 | 01 | Divers | Commerciale |
| 07 | 185,00 | 06,80 | 01 | Divers | Commerciale |
| 08 | 262,50 | 08,00 | 02 | Divers | Commerciale |
| 09 | 288,00 | 09,20 | 02 | Divers | Commerciale |
| 10 | 125,00 | 10,00 | 01 | Divers | Commerciale |
| 11 | 300,00 | 09,00 | 02 | Passagers | Passagers |
| 12 | 140,00 | 08,00 | 01 | Remorquage | Servitude |
| 13 | 166,80 | 09,20 | 01 | Répar.Navale | Servitude |
| 14 | 175,00 | 10,00 | 01 | Répar.Navale | Servitude |
| 15 | 124,00 | 07,30 | 01 | Répar.Navale | Servitude |
| 16 | 216,00 | 08,30 | 02 | Répar.Navale | Servitude |
| 17 | 221,50 | 07,30 | 01 | Divers | Commerciale |
| 18 | 276,00 | 07,30 | 02 | CTC/Divers | Commerciale |
| 19 | 110,00 | 06,30 | 01 | CTC/Divers | Commerciale |
| 20 | 300,00 | 08,00 | 02 | Divers | Commerciale |
| 21 | 190,00 | 06,50 | 01 | Divers | Commerciale |
| 22 | 555,80 | 08,40 | 03 | Divers | Commerciale |
| 22 PC | 145,00 | 08,80 | 01 | CTC | Commerciale |
| 23 | 360,00 | 07,00 | 03 | Divers | Commerciale |
| 23 PC | 145,00 | 09,00 | 01 | Divers | Commerciale |
| 24/25 | 207,00 | 06,00 | 02 | Divers | Commerciale |
| 26 | 398,00 | 06,00 | 02 | Grain/Fuel | Commerciale |
| 30 | 337,00 | 10,50 | 02 | CTC | Commerciale |
| 31 | 459,70 | 09,50 | 03 | CTC/Bitume | Commerciale |
| 32 | 173,00 | 07,00 | 01 | Divers/Fuel | Commerciale |
| 33 | 435,00 | 09,00 | 03 | CTC | Commerciale |
| 34 | 171,00 | 09,50 | 01 | CTC | Commerciale |
| 35 | 475,00 | 09,00 | 03 | Céréales | Commerciale |
| 36 | 170,00 | 07,00 | 01 | Divers | Commerciale |
| 37 | 610,00 | 10,30 | 03 | P.Pétroliers | Commerciale |

II.4. Données météorologiques et hydrographiques

L'étude des données météorologiques et hydrographiques est importante pour la caractérisation du milieu marin, c'est un outil nécessaire qui aide énormément à la prévision de l'évolution de la pollution c'est-à-dire le tracé de la propagation des polluants dans la mer, la connaissance des données contribue à éviter les accidents maritime qui causent les déversements des produits dangereux.

II.4.1. Les vents

Des observations effectuées entre janvier 1976 et novembre 1981 au Cap Caxine à l'Ouest d'Alger, ont permis de préciser le régime et la vitesse des vents dans la région.

Les vents du secteur NE (N60°) sont les plus fréquents avec près de 30 % des observations. Ces vents sont mieux marqués en été. Leur vitesse se répartit entre 1 et 30 nœuds, toutefois pour près de 20 % de ces observations la vitesse est de 6 à 10 nœuds (**LEM, 2006**)

II.4.2. Pluviométrie

Les précipitations sur la région varient de 600 à 1000 mm et tombent en 80 jours en moyenne. Elles sont très irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle. On observe une croissance rapide de la pluviosité de septembre à décembre puis une décroissance plus lente jusqu'en juin et enfin des pluies quasiment nulles en juillet et en août. Les précipitations se répartissent essentiellement (50%) au cours des mois de novembre, décembre et janvier (**LEM, 2006**).

II.4.3. La température

Nous distinguons deux périodes dans le cycle saisonnier annuel. La première, chaude, s'étale de Mai à Octobre avec un maximum en Août (39,2°C). La seconde, relativement froide, couvre les autres mois de l'année avec un minimum en Février (3°C). La différence des températures moyennes entre ces deux périodes est de 15,5°C (**LEM, 2006**)

II.4.4. Les houles

Les houles dépendent exclusivement des vents car ils sont générateurs de vagues et de courants superficiels (**Guilcher, 1972**). L'énergie déployée par la houle remanie et déplace les sédiments, d'où son rôle morphologique (**Moulin et al., 1978**).

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisant leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments (**Millot, 1989**).

Des données de houles provenant de cinq sources différentes ont été analysées. Les écarts entre les résultats obtenus à partir de ces différentes sources restent dans les limites admissibles. De ses résultats, il ressort qu'il y a une période hivernale avec prédominance au large des houles de secteurs NE à E, les houles de secteur N étant régulièrement réparties tout au long de l'année. Les tempêtes les plus fréquentes proviennent néanmoins du secteur N,

mais celles de NE, plus rares sont plus destructrices, la direction la plus défavorable étant N30°. L'occurrence de telles tempêtes peut être située entre décembre et mars et, occasionnellement jusqu'en juin. Dans le secteur Rais Hamidou- Alger, la dérive générale et la dérive littorale sont parallèles et orientées vers l'Est. Les houles d'été atteignent la zone Alger-Rais Hamidou de manière frontale. Ce secteur se trouve donc fortement attaqué par ces houles ce qui pourrait expliquer l'absence quasi-totale de plages (LEM, 2006)

II.4.5. Les courants

Le courant général des eaux Atlantiques venant de Gibraltar vers l'Est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0.5 à 1 m/s au large de la côte Algérienne. Les principaux courants marins de la zone maritime Algérienne sont des courants allant vers l'Est en passant par le détroit de Gibraltar. D'une manière générale, leur vitesse est comprise entre 1/4 et 3/4 nœuds. Il existe des contres courants latéraux allant vers l'ouest qui sont en général, faibles au port d'Alger. Au niveau de la baie, les courants et les oscillations de très longues périodes, ne pourraient pas poser de problèmes à la navigation et à l'exploitation du port. Cependant, il en est tout autre pour les oscillations de moyennes périodes ou sèches (1 à 3 m) qui risqueraient de créer des gênes sérieuses à l'exploitation. Il ressort, entre autres de cette analyse que ce type de seiches se manifeste généralement au port à l'occasion de l'arrivée des houles de tempêtes de secteur N à NE (LEM, 2006).

II.4.6. Les vagues

Des vagues de plus de 0,5 m de hauteur ont été observées dans 58,4 % des cas, parmi lesquels 17,2 % étaient des vagues de plus de 2 m. La périodicité des hautes vagues était fondamentalement d'environ 7 secondes et une mer relativement houleuse a pu être observée. D'autre part, en fonction de la direction des vents, les vagues sont en majorité orientées dans les directions ouest et Nord-Est.

Le pourcentage de vagues de plus de 0,5 m de hauteur déferlant à l'embouchure du port d'Alger en provenance de direction de Nord à Est est de 6,1% ; on n'observe que peu de vagues de plus de 1,0 m de hauteur (1%). Ces vagues proviennent majoritairement de directions Nord à Nord –Est, les vagues provenant du Nord –Est étant un peu plus fréquentes que les autres (LEM, 2006).

II.5. Couverture sédimentaire

Dans la baie d'Alger, la couverture sédimentaire récente est constituée de phases organogène et terrigène. La phase organogène est représentée par des coquilles, des constructions de type corraligène et des tests d'organismes benthiques ou planctoniques. De manière générale les vases de la baie sont très pauvres en organismes benthiques (quelques unités/m³) ; l'apport planctonique est par contre important (20 à 35% de coccolithes des dépôts au larges d'Alger). En général, les teneurs en carbonates biogènes sont faibles (20%), ce qui rend cette phase secondaire dans la sédimentation du plateau Algérois. Toutefois, des teneurs beaucoup plus élevées (20 à 50%) sont observées au niveau des bordures de la pointe Pescade, à Tamentfoust, Cap Matifou et des fonds rocheux (banc de Matifou, îles et îlots Sandja, Pointe

Pescade). Sur ces fonds rocheux, se développent des algues calcaires bryozoaires, polypiers, gastéropodes et lamellibranches. Les débris de cette biocénose s'accumulent sur place, formant ainsi des faciès de sables et graviers calcaires plus au moins envasés. La phase terrigène est représentée par des sablons gris ou noirs. La teneur en quartz et en feldspaths est faible, de l'ordre de 6%. Ces sablons sont essentiellement constitués (86% en moyenne) de débris de roches tels que micaschistes et gneiss avec biotite et chlorite. On note de très rares minéraux comme l'épate, le zircon et les fragments de pyroxènes (**Maouche, 1987**).

L'essentiel de la fraction terrigène sableuse des sédiments de la baie d'Alger provient de la désagrégation et la dispersion vers le large des formations métamorphiques littorales sous l'effet des houles du Nord-Ouest, particulièrement fortes dans cette zone. Du point de vue sédimentaire, la baie d'Alger semble représenter une zone de transition qui sépare deux zones, caractérisées à l'Est des abords du Cap-Matifou par une sédimentation siliceuse et à l'Ouest par une sédimentation carbonatée.

II.6. Points de rejets au niveau du port d'Alger

Les canalisations d'eaux usées et autres, au niveau du port d'Alger étaient, avant la réalisation du terminal à conteneurs, au nombre de vingt cinq (25) réparties comme suit (**LEM, 2000**) :

- Trois (03) rejets au niveau du quai n°4 ;
- Deux (02) rejets au niveau du quai n°8 ;
- Deux (02) rejets au niveau du quai n°12 ;
- Deux (02) rejets au niveau du quai n°17 ;
- Trois (03) rejets au niveau du quai n° 21 ;
- Deux (02) rejets au niveau du quai n ° 24 ;
- Un (01) rejet au niveau du quai n °25 ;
- Un (01) rejet un niveau du quai n°26 ;
- Une (01) prise d'eau de mer au niveau du quai n°27 de la centrale électrique (SONELGAZ) ;
- Trois (03) rejets au niveau du quai n°28 ;
- Quatre (04) rejets au niveau du quai n°32 concernant les huiles, savonneries et eaux usées ;
- Un (01) rejet E.N.C.G. au quai n°36 ;

Il y'a également huit (08) rejets d'origine domestiques situés au niveau de la darse de l'amirauté.

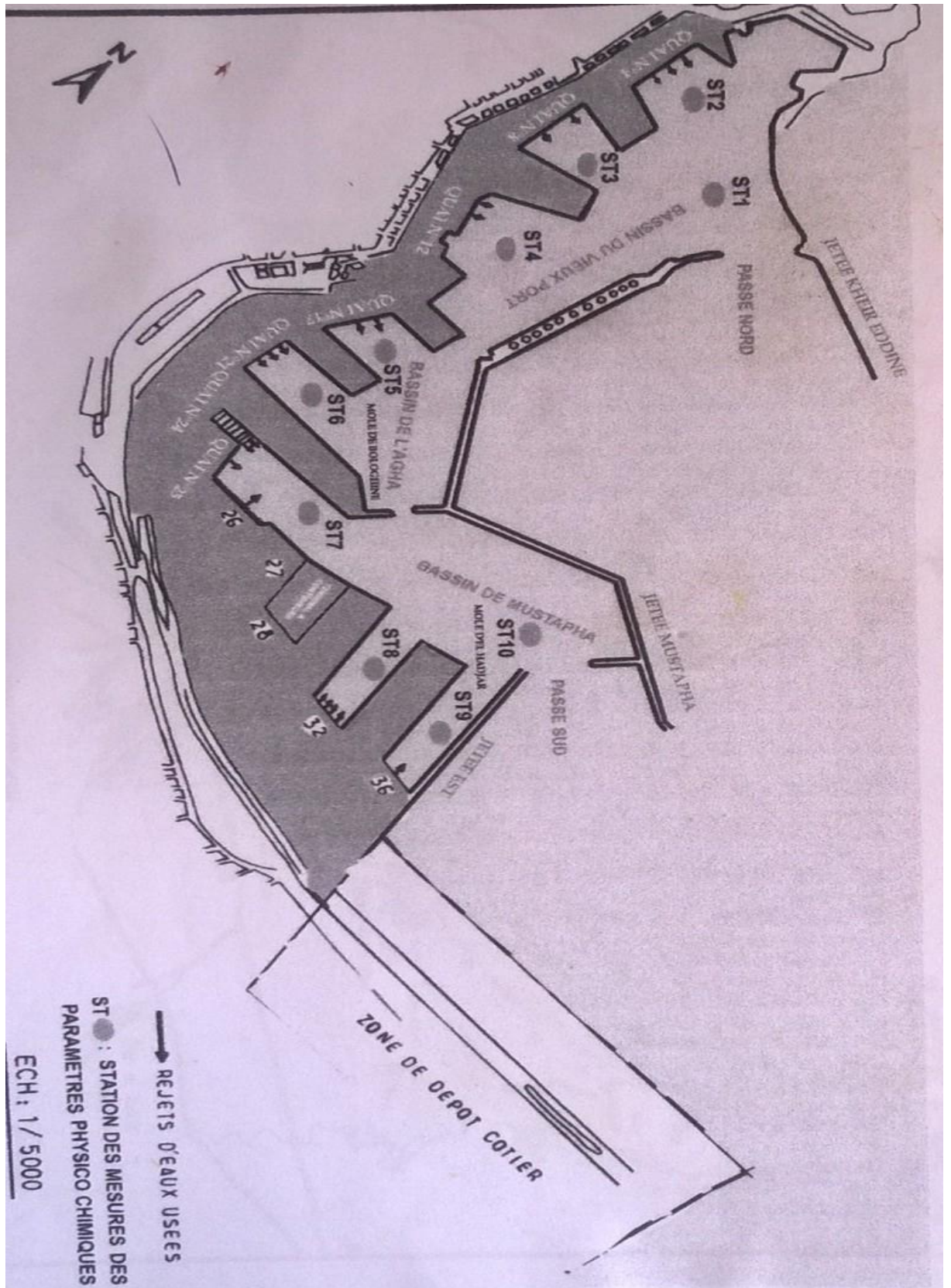


Figure 5 : les rejets à l'intérieur du port d'Alger, (LEMI, 1999).

Chapitre III : Matériels et méthodes

II.1. Introduction

Quatre stations d'échantillonnage ont été réparties dans l'enceinte du port d'Alger pour réaliser les prélèvements d'eau de mer. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de mer ont été effectuées au niveau de l'Ecole Nationale des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSMAL).

Pour plus de détail sur l'état de la pollution du port d'Alger, nous avons jugé intéressant d'évaluer la qualité chimique des sédiments. Cependant, le manque de matériels adéquats aux prélèvements et à l'analyse des sédiments, nous a orienté vers une actualisation de l'historique sur l'état de pollution des sédiments du port d'Alger afin de relever l'évolution des contaminants dans les sédiments depuis l'année 1999 jusqu'à 2016. Les résultats ont été obtenus par d'autres chercheurs (**Bachouche, mars 2010 ; Koroghili, Juillet 2010; LEM, 1999 ; LEM, 2016**).

III.2. Localisation des stations de prélèvement des échantillons

Afin de définir le degré de pollution de l'eau de mer dans le port d'Alger, quatre **(04) stations** de prélèvements ont été réparties au niveau de l'enceinte du port (figure 6). Afin de suivre l'évolution de la pollution au cours du temps, les prélèvements ont été effectués durant les mois de février et d'avril 2016.



Figure 6 : Stations de prélèvement des eaux de mer dans le port d'Alger (**Google Earth**).

III.3. Conditions des moyens de prélèvement

Afin de minimiser les risques de contamination, un prétraitement rigoureux a été procédé pour les moyens de collecte (flacons) et du dispositif de filtration des échantillons d'eau de mer.

III.3.1. Le flaconnage

Le choix des flacons dépend de l'élément à analyser, du mode et la durée de conservation. Avant tout usage les flacons sont rincés à l'eau acidulée (5% d'HCl) puis à l'eau distillée plusieurs fois.

Pour l'analyse physico-chimique, des bouteilles en polyéthylène de 500 mL ont été utilisées. Lors du prélèvement, chaque flacon est rincé deux fois avec l'eau de l'échantillon avant son remplissage.

Pour l'analyse microbiologique, des flacons en verre de 500 mL ont été utilisés. Ces flacons peuvent être préalablement stérilisés à la chaleur humide dans un autoclave pendant 20 min à 120°C ou à la chaleur sèche dans une étuve à 180°C pendant 1h.

III.3.2. Les filtres

Les filtres destinés à recueillir la matière en suspension et le dosage de la chlorophylle sont macérés dans l'eau acidulée (5% d'HCl) puis sont rincés à l'eau distillée et séchés dans une étuve à 70°C pendant deux heures. Ces filtres sont soumis au refroidissement dans un dessiccateur pour être ensuite pesés (GF/C) et conservés à l'abri de la poussière dans des boîtes individuelles numérotées (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

III.4. Travaux effectués en mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués à la main, à l'aide d'une corde rigide, à une profondeur de 15 à 30 cm sous la surface de l'eau. Les échantillons recueillis ont subi des analyses bactériologiques et physico-chimiques (la matière en suspension(M.E.S), la matière organique particulière (MOP), les sels nutritifs et la chlorophylle).

Pour l'analyse des hydrocarbures totaux, les prélèvements d'eau de mer à la surface sont réalisés grâce à un dispositif d'échantillonnage constitué d'une bouteille en verre teintée d'une capacité de 2.5 litres et d'un support lesté. Pour éviter tout risque de contamination des échantillons par les rejets du bateau, les prélèvements sont effectués à l'avant. Les bouteilles sont refermées avec des bouchons en Téflon et pour plus de sécurité avec du papier aluminium.

Pour chaque échantillon d'eau, il faut ajouter «in situ» 50 ml de l'hexane et agiter pendant 3 minutes. L'échantillon est conservé au frais et à l'abri de la lumière. Les bouteilles sont étiquetées et déposées directement dans une glacière (température de 4°C et à l'abri de la lumière) pour leur transport, sauf pour les flacons destinés aux mesures de (T°, pH, oxygène dissous, conductivité et salinité) (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

III.5. Travail réalisé au laboratoire

III.5.1. Mesures des paramètres physico-chimiques

III.5.1.1. La température, pH, Salinité, la conductivité et l'oxygène dissous

La température de l'eau, le pH, la conductivité, la salinité et l'oxygène dissous ont été mesurés une fois les échantillons sont arrivés au laboratoire en utilisant une valise multi

paramètres (figure 7) (multiparameter HANNA, HI 9829), qui a été calibré pour effectuer les mesures sur l'eau de mer. Les valeurs sont affichées directement sur l'appareil.



Figure 7 : Valise multi-paramètres utilisée pour la mesure des paramètres physico-chimiques

II.5.1.2. Mesure de la matière en suspension (MES)

Du fait de son impact sur la transparence de l'eau, sur la production primaire phyto-planctonique et sur les échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques, ce paramètre est important à déterminer lors des études des milieux aquatiques (**Rodier et al., 1984**).

- **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 de la sensibilité de la balance (**Aminot et Chaussepied ,1983** et **Rodier et al., 2005**).

- **Appareillage**

L'appareillage nécessaire pour effectuer les mesures des concentrations en MES comprend :

- un dispositif de filtration sous vide de marque **Diaphragm vaccum pump** modèle: GM-0.5.
- des membranes filtrantes de type **Whatman** GF/C de porosité 0,45 µm.
- une balance **KERN ABJ-NM /ABS-N** de de précision 10⁻⁴.
- une étuve de marque **MEMMERT**
- éprouvette graduée de 250 mL et des pinces.

- **Mode opératoire (annexe II)**

En résumé, le mode opératoire consiste en :

- la préparation des filtres;
- la filtration de l'échantillon (250 mL);
- le calcul et l'expression des résultats:

$$[\text{MES}] \text{ (mg/L)} = (\text{P2} - \text{P1})/\text{V}$$

Où :

- ✓ [M.E.S] : Concentration de la matière en suspension (mg/L)
- ✓ P₁ : masse du filtre sec avant filtration (mg).
- ✓ P₂ : masse du filtre sec après filtration (mg).
- ✓ V : Volume d'eau filtrée (litre).

III.5.1.3. La matière organique dans l'eau de mer (MOP)

Le milieu marin contient naturellement des composés organiques provenant essentiellement des organismes vivants et de leurs produits d'élimination et de dégradation. La matière organique particulaire et la matière inorganique particulaire (MIP) constituent la concentration des eaux en matières en suspension, la détermination de la MOP est définie par le niveau de pollution organique favorisant un accroissement de la production primaire (Rodier et al., 2005).

- **Principe**

Cette mesure consiste à calciner les filtres déjà utilisés pour la mesure de la concentration des matières en suspension. La teneur en matière inorganique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusets avant et après calcination, ainsi la différence de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire.

- **Matériel utilisé**

- Four à moufle de MIHM-VOGT 76131 (fig. 8).
- Creusets en porcelaine.
- Balance de précision de type KERN ABJ-NM /ABS-N de précision 10⁻⁴g.

- **Mode opératoire**

Les filtres issus de la mesure de la concentration en MES, sont conservés afin de déterminer la charge des eaux en MOP dans un dessiccateur, dans le but d'éviter qu'ils absorbent l'humidité de l'air. Les filtres sont alors pesés avec précision dans des creusets (P₃). Ensuite les creusets avec filtres sont passés au four à moufle à 600°C pendant 2 heures. Les creusets et filtres sont à nouveau pesés (P₄). La différence de ces deux poids obtenus P₄ et P₃ nous permet d'accéder au poids de la matière organique brûlée.

- **Calculs et expression des résultats**

$$[\text{M.I.P}](\text{mg/L}) = (\text{P}_4 - \text{P}_3) \times 1000$$

- ✓ M.I.P : Matière inorganique particulaire;
- ✓ P₃ : masse du creuset avec le filtre avant calcination;
- ✓ P₄ : masse du creuset avec le filtre après calcination.

La concentration de la matière organique particulaire MOP est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{M.O.P}](\text{mg/L}) = \text{MES} - \text{MIP}$$



Figure 8 : Four à moufle.

III.5.1.4. Dosage de la chlorophylle *a* par spectrophotométrie

- **Principe de la méthode**

La méthode consiste à filtrer un volume d'eau de mer à travers un filtre. Le filtre sera ensuite immergé dans un solvant (méthanol) qui assurera l'extraction des pigments chlorophylliens, puis, on mesure l'absorbance $\lambda=665\text{nm}$ avant et après acidification de l'extrait (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Le mode opératoire est bien détaillé en annexe II.

Calcul de la concentration par la formule de **Lorenzen (1967)** (**Aminot et Chaussepied, 1983**):

$$[\text{Chlorophylle } a] \text{ (mg/m}^3\text{)} = (26,7 * (A_{na665} - A_{a665}) * v) / V * l$$

$$[\text{Phéopigments}] \text{ (mg/m}^3\text{)} = (26,7 * (1,5 * A_{a665} - A_{na665}) * v) / V * l$$

- ✓ **V** : volume d'eau filtré (L).
- ✓ **v** : volume de solvant d'extraction (L).
- ✓ **l** : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (m).
- ✓ **A_{na665}** : absorbance corrigée (n.a: non acidifiée).
- ✓ **A_{a665}** : absorbance corrigée (a: acidifiée).
- ✓ **26,7** et **1,5** : constantes.

III.5.2. Analyse des paramètres chimiques

III.5.2.1. Dosage des sels nutritifs

- **Méthode d'analyse**

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} et SiO_2) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé, sur l'appareil « **Auto Analyser San Plus** » (**fig. 9**) S.F.A.S troisième génération 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 II**.

- **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° , 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 qui 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 :

$$A = Ln (I_0 / I) = \epsilon.L.C$$

Avec:

- I_0, 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.

- **Principe de dosage de l'azote nitreux (NO_2^-)**

La méthode décrite, fondée sur la réaction de Griess, a été appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et Robinson (1952). Les ions nitrites 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 qui absorbe à la longueur d'onde de 543 nm (Zwolsman et al., 1996)

- **Principe de dosage des nitrates (NO_3^-)**

La méthode retenue est celle fondée sur le dosage des ions NO_2^- obtenus par réduction quantitative des ions NO_3^- . En réalité on mesure la somme des concentrations des ions NO_3^- et NO_2^- . Par déduction de la concentration en nitrite, déterminée 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).

- **Principe de dosage du phosphore (PO_4^{3-})**

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 (Wood et al., 1967).

- **Principe de dosage des silicates (SiO_2)**

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 affecté par la salinité proposée par Smith et Milne (1981) (Aminot et Kérouel, 2004). Sa mesure est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique par la réaction des silicates avec le molybdate 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.



Figure 9 : L'appareil SAN PLUS d'analyse des sels nutritifs

III.5.2.2. Dosage des hydrocarbures polyaromatiques

III.5.2.2.1. Prétraitement des échantillons

Avant d'être analysés, les hydrocarbures doivent subir un prétraitement qui consiste en :

- **Extraction**

La procédure d'extraction est celle décrite par Roussel, (1983). C'est une extraction liquide-liquide réalisée par l'hexane. Ce dernier est un solvant organique plus léger que l'eau, au moment de l'agitation il permet la dispersion du solvant dans l'eau de mer et la formation d'une phase organique non miscible, piégeant ainsi les hydrocarbures présents dans l'eau. En ajoutant 50 ml de l'hexane, on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter de 2L, pendant une durée de 20 mn environ. A la fin de chaque agitation, on laisse l'eau de mer se décanter pour un quart d'heure.

Après décantation, la phase organique supérieure de l'ampoule est récupérée dans un erlenmeyer à col rodé où l'on ajoute du sodium anhydre (Na_2SO_4) afin d'éliminer toute trace d'eau (Smail et Mazouz, 1996).

- **Concentration**

C'est une étape particulièrement délicate du protocole expérimental. C'est au cours de celle-ci que les risques de pertes des hydrocarbures par évaporation sont les plus grands. Au-delà de 200 μL les pertes deviennent significatives (Lacaze., 1980). Le protocole de la COI, (1984) souligne bien ce risque et recommande de ne pas dépasser cette limite (200 μL). Néanmoins, d'autres auteurs ne donnent pas une grande importance à ces risques puisque la concentration à sec est une étape de la procédure analytique (Balci, 1994).

La concentration de l'extrait d'eau de mer est réalisée dans le but d'éliminer le solvant d'extraction à l'aide d'un évaporateur rotatif (LABOROTA 4000-efficient Heidolph) (figure 10). Pour éviter l'évaporation des hydrocarbures aromatiques à point d'ébullition bas, on concentre nos échantillons jusqu'à un volume de 15 mL. Pour minimiser cette perte, on maintient le bain marie à une température de 60°C et la pression d'aspiration est maintenue à 1,5 bars. Il subit ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 mL.



Figure 10: évaporateur rotatif.

III.5.2.2.2 Appareillage analytique

Les hydrocarbures polyaromatiques sont analysés avec un spectrofluorimètre HITACHI modèle 650-10 *high sensitivity*, équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1,5 nm à 20nm et un balayage allant de 220 à 830 nm. L'appareil contient des cellules en quartz de 1 centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces. Un volume minimal de 0,5 mL d'échantillon est suffisant à l'analyse.

Etalonnage de l'appareil

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence. Celui préconisé est le chrysène ou 1,2 benzophenanthrène ($C_{18}H_{12}$). La gamme étalon se compose de 2 mg de chrysène dissous dans 10 mL d'hexane. Cette préparation est la solution mère ou solution initiale. Un volume de 1 ml est prélevé de cette dernière et dilué dans 25 ml d'eau distillée afin d'obtenir une solution intermédiaire de 8 $\mu\text{g}/\text{ml}$. A partir de cette seconde solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles ou gamme étalon présentées dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.

| Code standard | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|--|-----|-----|-----|-----|------|
| Concentration en $\mu\text{g}/\text{ml}$ | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.00 |

Les fioles contenant les solutions standards sont placées dans un bac à ultrasons pendant deux minutes dans le but de faire dissoudre le chrysène dans de l'hexane.

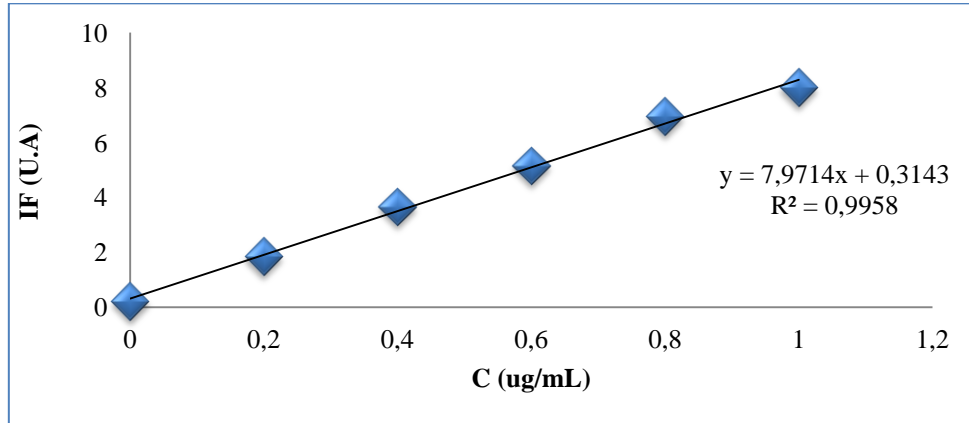


Figure 11: Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV.

Les concentrations des hydrocarbures polycycliques aromatiques sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage présentée dans la fig. 11.

L'intensité de fluorescence (**IF**) est proportionnelle à la concentration [**C**] de l'échantillon dans la gamme étalon de réponse linéaire du spectrofluorimètre déterminée par la courbe d'étalonnage.

Elle permet d'établir le tracé d'une droite d'étalonnage à partir des données de lecture correspondant.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$\mathbf{IF} = \mathbf{a} \mathbf{C} + \mathbf{b}$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

C : concentration en hydrocarbures polycycliques aromatiques HPA (en µg/ml)

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

- **Calcul des concentrations en hydrocarbures polycycliques aromatiques**

Les concentrations finales en HPA dans l'eau sont calculées comme suit :

$$[\mathbf{HPA}] = ([\mathbf{C}]_{\mathbf{éch}} - [\mathbf{C}]_{\mathbf{blanc}}) \mathbf{f} \times (\mathbf{v}/\mathbf{V})$$

[HPA]: concentration des HPA dans l'échantillon d'eau de mer (µg/L) en équivalent Chrysène.

[C] éch : concentration des HPA dans l'extrait « courbe d'étalonnage » (µg/L).

[C] blanc : concentration du blanc (µg/L).

v : volume de l'extrait pour l'eau : (v = 5 mL).

V : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (2,5 L).

f : facteur de dilution.

II.5.3. Analyse microbiologique de l'eau de mer

Les germes recherchés sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux, ces germes sont peu ou pas pathogène, ils sont révélateur de contamination fécale et entraînent par leur abondance la présomption de contamination plus dangereuse (**Figarella et al. ,2001**).

Les germes supplémentaires dénombrés sont les indicateurs de proximité ou d'une contamination fécale ancienne : les staphylocoques et les streptocoques fécaux.

La méthode utilisée est la filtration sur membrane pour estimer la charge bactérienne contenue dans l'eau de mer. C'est la méthode de concentration la plus utilisée au laboratoire, pour sa facilité et sa reproductibilité (**Singleton et Sainsbury, 1984**).

Elle consiste à recueillir, sur une membrane stérile un volume donné de produits à analyser (eau usée, eau de consommation, eau de mer). La membrane est ensuite déposée sur un milieu nutritif convenable ; après incubation, les colonies sont dénombrées et identifiées (**Champiat et Larpent, 1994**).

III.5.3.1. Matériels utilisés

- Dispositif de filtration de marque « **Sartorius stedim** » (figure 12).
- Deux bec-Bunsen de manière à ménager une zone de travail stérile et pouvoir stériliser le matériel ;
- Boîtes de Pétri avec les milieux de culture spécifiques pour chaque germe ;
- Membranes d'ester de cellulose, filtrantes, de marque MILLIPORE, quadrillées et stériles (en emballage individuel) de porosité de $0.45\mu\text{m}$ et de 47 mm de diamètre susceptibles de retenir les bactéries ;
- Deux Incubateurs (l'un réglé à 37°C et l'autre à 44°C), pompe à vide, pinces stérilisées et pipettes.



Figure 12: Dispositif de filtration sur membrane.

III.5.3.2. Mode opératoire

- Stériliser le dispositif de filtration ;
- Mettre en place le dispositif ;
- Poser la membrane stérile sur la grille ;
- filtrer un volume d'échantillon (100mL) ;
- Déposer le filtre sur le milieu de culture adéquat pour chaque bactérie recherché, sans faire de bulles d'air et sans la retourner;
- Inscrire sur la boîte de Pétri, le numéro de l'échantillon et la date ;
- Placer les boîtes de Pétri en position inverse et les Incuber à une température adéquate ;

- Flamber l'ensemble godet-base pour une autre manipulation.

La composition des milieux de culture utilisés est consignée en **annexe III**.

III.5.3.3. Dénombrement des Coliformes, Streptocoques fécaux et des staphylocoques

- **Dénombrement des Coliformes totaux et Coliformes thermo-tolérants «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). C'est une estimation statistique du nombre de germes dans un milieu liquide (**Joy et Raynaud, 2003**). La flore bactérienne associée est généralement beaucoup moins abondante dans la boîte incubée à 44°C (figure 13).

- **Dénombrement des Streptocoques fécaux**

On transfère à l'aide d'une pipette stérile, deux gouttes (100µL) de chaque dilution sur des petites boîtes de Pétri contenant le milieu Slanetz et Bartley (**Kamoun, 1977**). On étale soigneusement l'inoculum à l'aide d'un râteau stérile pour chaque boîte et on procède à l'incubation des boîtes à une température de 37°C pendant 24-48 heures.

Après incubation, des colonies apparaîtront comme dans le cas de l'analyse de l'eau, ayant une coloration rouge bordeaux, un test confirmatif sur bouillon Evalitsky sera nécessaire pour confirmer s'il s'agit de streptocoques fécaux (figure 13).

- **Dénombrement des Staphylocoques**

Parmi les staphylocoques, c'est le *S.aureus* qui est dénombré sur milieu Chapman. Des colonies jaunes dorées suspectes sont dénombrées et ont fait l'objet d'une identification biochimique (figure 13).



Figure 13 : Représentation des colonies dénombrées lors de l'expérience.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Nous étudierons les paramètres physico-chimiques (T° , salinité, pH, oxygène dissous et conductivité) des échantillons d'eau de mer prélevés au niveau de quatre stations à l'enceinte du port d'Alger réalisés durant les mois de février et Avril 2016.

Pour les analyses chimiques de l'eau de mer, nous avons procédé à la détermination des matières en suspension et de la matière organique et également le dosage des sels nutritifs et de la chlorophylle. Pour la caractérisation microbiologique de l'eau de mer un dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale a été effectué par la technique de filtration sur membrane. Nous avons également recherché la présence des staphylocoques et sulfitoréducteurs.

En ce qui concerne les sédiments du port d'Alger, nous avons actualisé l'historique des contaminants (les métaux lourds et les hydrocarbures) dans les sédiments sur la base des données et des résultats d'autres auteurs (**Bachouche, mars 2010 ; Koroghili, Juillet 2010; LEM, 1999 ; LEM, 2016**) pour suivre l'évolution de la pollution au cours des années 1999 - 2016.

IV.2. Résultats des analyses d'eaux de mer

IV.2.1. Les paramètres physicochimiques

Les mesures des paramètres physico-chimiques (température, salinité, conductivité, pH et oxygène dissous) ont été effectuées au niveau de quatre (04) stations durant deux campagnes : février et avril.

a. La température

D'après les résultats illustrés dans la figure 14, nous remarquons que durant la première campagne de prélèvements réalisés le mois de février, les valeurs des températures varient entre 15°C et $15,33^{\circ}\text{C}$ avec une moyenne de $15,14^{\circ}\text{C}$. Concernant la deuxième campagne de prélèvements qui ont été réalisés le mois d'avril, relativement à la première campagne, nous constatons une légère variation des températures avec une moyenne de $15,61^{\circ}\text{C}$.

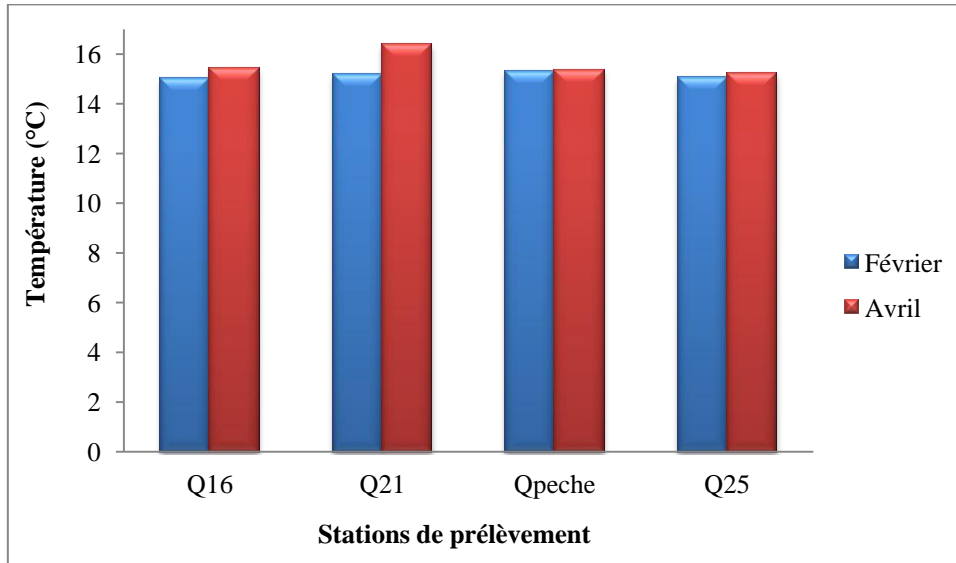


Figure 14 : Variation de la température de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger. (Année 2016)

Les températures enregistrées s'intègrent dans l'intervalle de températures qui caractérisent la mer méditerranéenne en ces saisons. En général, les températures d'eau de mer sont liées à la température de la couche superficielle qui est soumise à l'influence directe des conditions météorologique.

b. La salinité

Comme il est indiqué dans la figure 15, les valeurs de la salinité de l'eau de mer du port d'Alger fluctuent entre 35,4 et 35,9 PSU en février et entre 36 et 36,5 PSU en avril. Les moyennes de salinité sont 35,6 et 36,2 PSU en février et avril respectivement

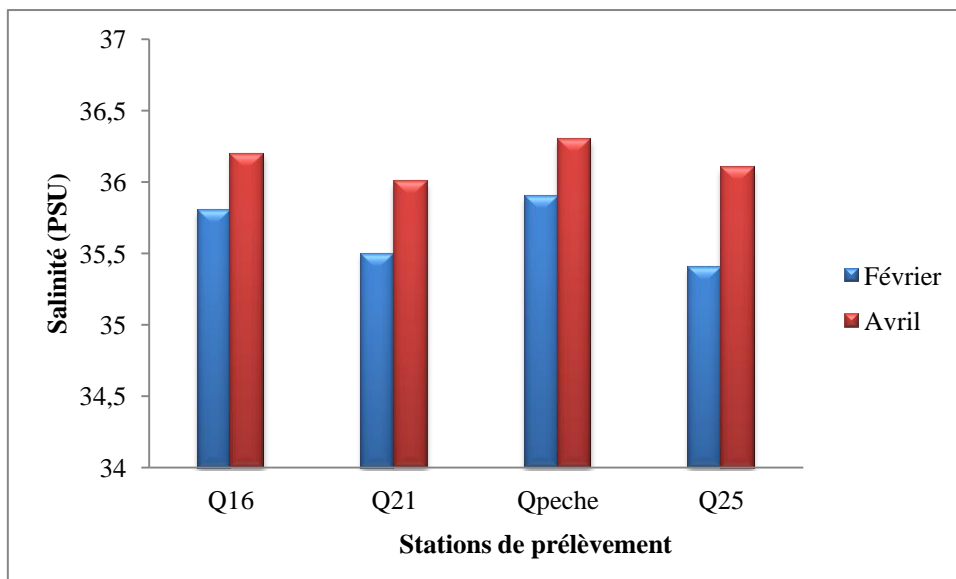


Figure 15 : Variation de la Salinité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger. (Année 2016)

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 Chaussied, 1983).

Les valeurs basses de la salinité de l'eau de mer au niveau du port d'Alger durant le mois de février (fig. 15) par rapport celle de la côte méditerranée peuvent être expliquées par les apports des eaux de pluies (durant cette saison) et des eaux usées (urbaines et l'eau provenant de la vidange des bateaux et du déballastage) déversées directement dans les quais. Ce qui entraîne une dilution de l'eau de mer du fait de la nature fermée du port. Par ailleurs, la faible évaporation des eaux stagnantes du port durant la période d'échantillonnage, surtout en février, mois durant lequel nous avons constatée de fortes précipitations pluviales, peut être également responsable de la baisse de la salinité.

c. La conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. D'après les résultats de la fig. 16, nous notons une variation de la conductivité de l'eau de mer entre 44,1 et 44,8 mS/cm durant le mois de février avec une moyenne de 44,45 mS/cm et entre 47,78 et 49,25 mS/cm durant le mois d'avril avec une moyenne de 48,51 mS/cm.

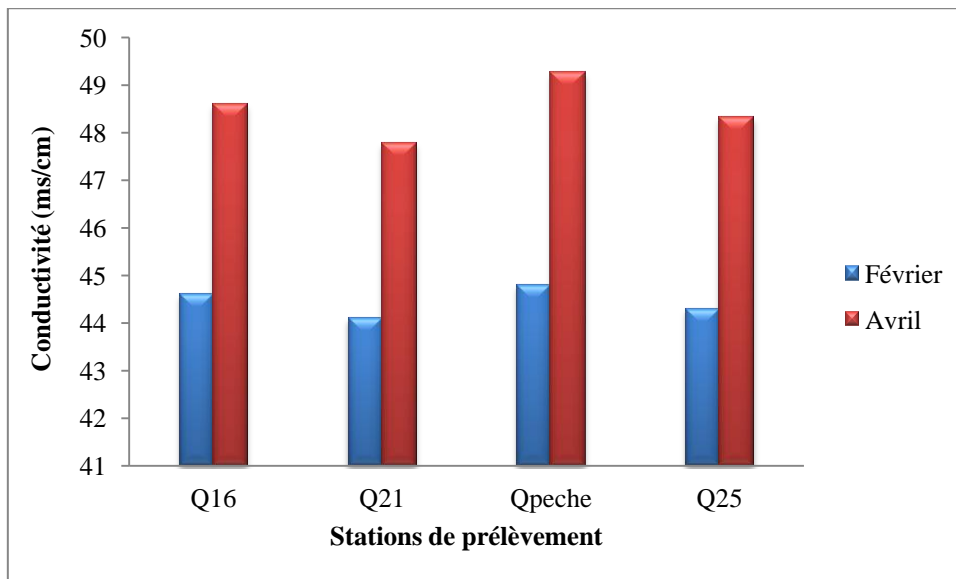


Figure 16 : Variation de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger (Année 2016).

Par ailleurs, nous remarquons sur les figures 17 et 18 que les conductivités et les salinités relevées dans les différents quais du port sont proportionnelles durant les deux périodes de prélèvements.

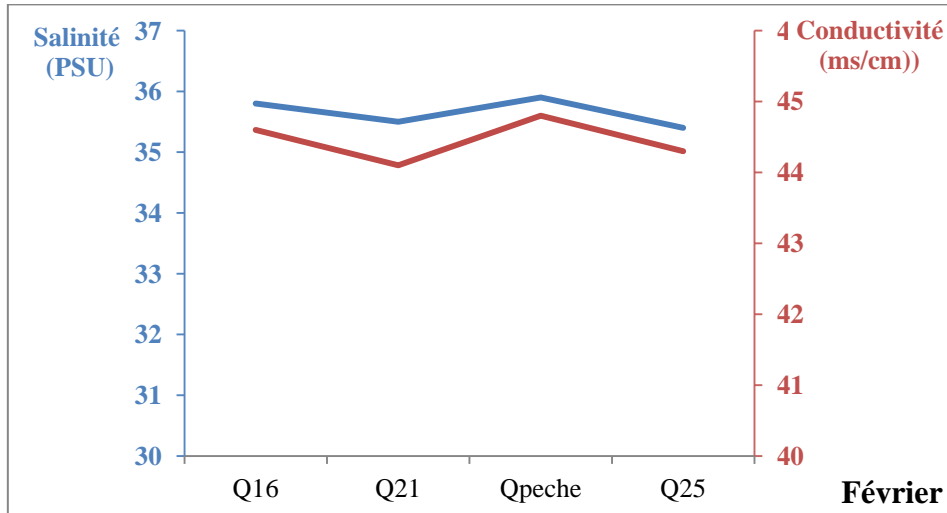


Figure 17: Variation des valeurs de la salinité et de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger durant le mois de février (Année 2016).

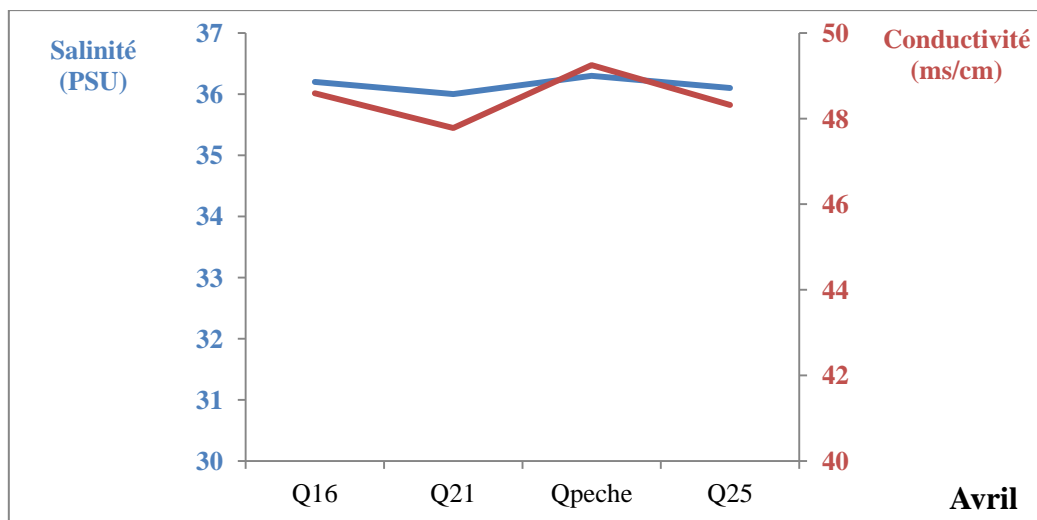


Figure 18 : Variation des valeurs de la salinité et de la conductivité de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger durant le mois d'avril (Année 2016).

d. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du pH durant la campagne de février sont comprises entre une valeur maximale de 7,78 et une valeur minimale de 7,45 avec une moyenne de 7,61. En ce qui concerne le mois d'avril les valeurs du pH varient entre 8.05 et 8.25, la moyenne est de 8.15 (fig.19).

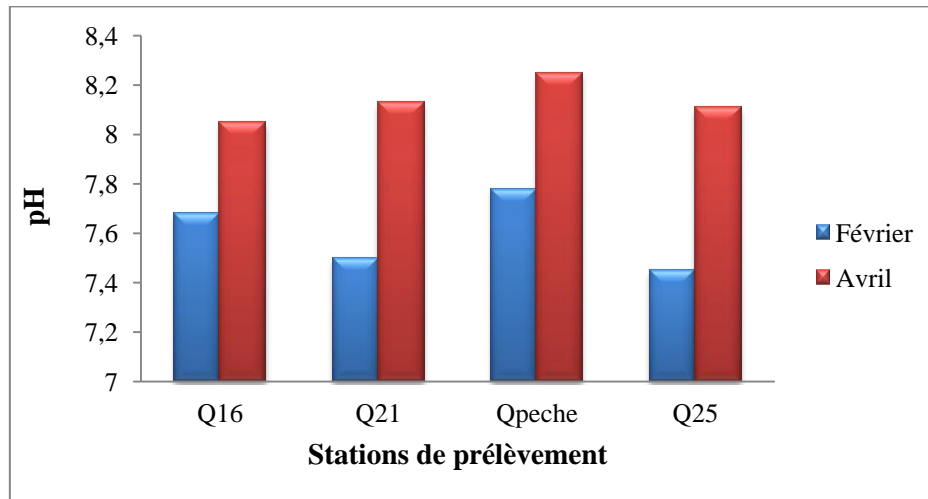


Figure 19 : Variation du pH de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger (Année 2016).

Les valeurs moyennes du pH (7,61 et 8,15) en particulier celles relevées durant le mois de février, sont inférieures à celle de l'eau de mer qui est de 8,3 (Aminot et Kérrouel, 2004), mais elles restent conformes aux recommandations Algériennes (6 à 8).

Ces valeurs moyennes du pH sont plus ou moins homogènes sur l'ensemble des stations. Cependant ces faibles valeurs sont dues aux rejets d'eaux usées et à une acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique et également au renouvellement des eaux qui est assez long.

e. Oxygène dissous (mg/L)

Sur la figure 20, nous notons que les teneurs en oxygène dissous dans les eaux du port d'Alger durant la campagne de février varient entre 4,06 mg/L (valeur minimale), et 5,01 (mg/L) (teneur maximale), avec une moyenne de 4,53 mg/L. En avril (deuxième campagne), les valeurs d'oxygène dissous fluctuent entre 3,23 et 3,6 mg/L, la moyenne est de 3,41 mg/L.

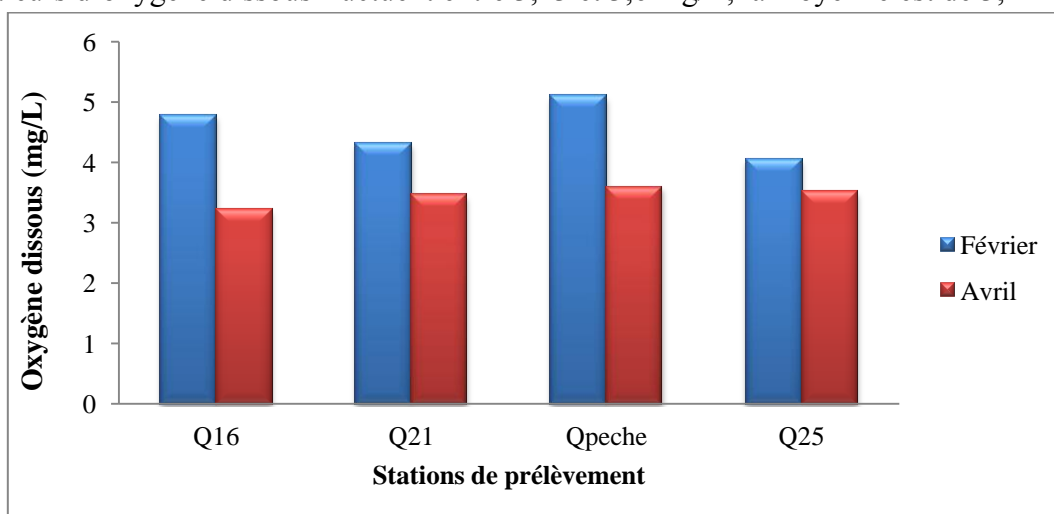


Figure 20 : Variation d'oxygène dissous de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger (Année 2016)

L'eau saturée d'air, à 20°C et sous la pression normale contient 9.1 mg/L d'oxygène (**Rodier, 1996**). Les faibles teneurs en oxygène dissous enregistrées au niveau des différents quais du port d'Alger indiquent une intense consommation d'oxygène qui est en relation avec le métabolisme bactérien, qui utilise cet élément pour dégrader la matière organique abondante au niveau de ces stations. La matière organique provient des eaux de ruissellement, des eaux usées urbaines et celle déversée suite à l'entretiens des bateaux.

IV.2.2. Variation des paramètres particuliers

Les analyses des paramètres particuliers dans l'eau de mer (matières en suspension, matière organique particulière, chlorophylle, hydrocarbures polycyclique aromatiques et sels nutritifs) ont été réalisés au niveau de quatre (04) stations durant une seule campagne celle d'avril au niveau du port d'Alger.

a. Matière en suspension (MES)

Les normes nationales (**Décret exécutif 06-141 du 19 avril 2006 / JORADP / 23-04-2006**) et internationales (**OMS/PNUE, 1995**) fixent comme valeur limite pour les MES, dans les effluents liquides (ménagers, industriels et agricoles), une concentration de 35 mg/L.

Les valeurs des MES au niveau du port d'Alger varient dans l'intervalle [60,4 et 80 (mg/L)] avec une moyenne de 70,2 mg/L (figure 21).

La sédimentation des MES et leur transport dépendent de l'état de la mer (courants et agitation des eaux) et du diamètre des particules. Les teneurs élevées sont dues probablement à la circulation continue des bateaux qui agitent et remettent en suspension les sédiments décantés.

b. Matière organique particulière (MOP)

La matière organique particulière est d'origine continentale, elle se présente soit sous forme de débris figurés soit sous forme d'un complexe argilo-humique ainsi que sous forme d'une biomasse bactérienne (**Cauwet, 1985**). Dans les zones côtières qui sont soumises à des rejets, cette fraction devient plus importante (**Aminot et Chaussepied, 1983**). D'après la figure 21, les variations de la matière organique dans l'eau de mer suivent celles des MES. Les valeurs enregistrées varient entre 49,6 mg/L et 76,7 mg/L avec une moyenne de 63,15 mg/L et une forte teneur au niveau du quai 16 qui est dédié à la réparation navale. Ce résultats est en parfait accord avec les teneurs en oxygène dissous obtenus.

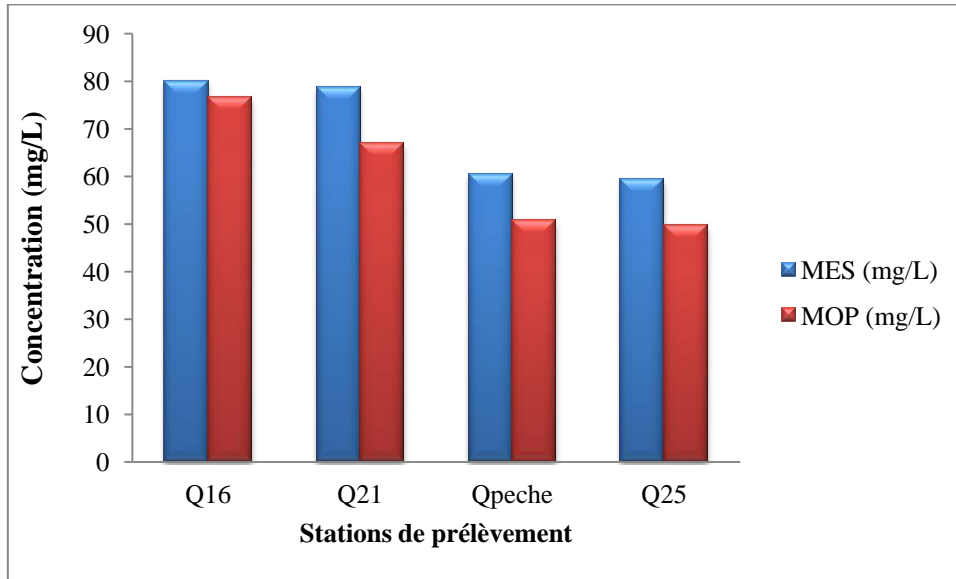


Figure 21: Variation des teneurs en MES et MOP de l'eau de mer des différents quais du port d'Alger (Année 2016).

c. La chlorophylle

Les valeurs de la chlorophylle varient entre 0,01 µg/L et 0,09 µg/L dans les eaux de mer des différents quais du port d'Alger (fig. 22), avec une moyenne de 0,05 µg/L

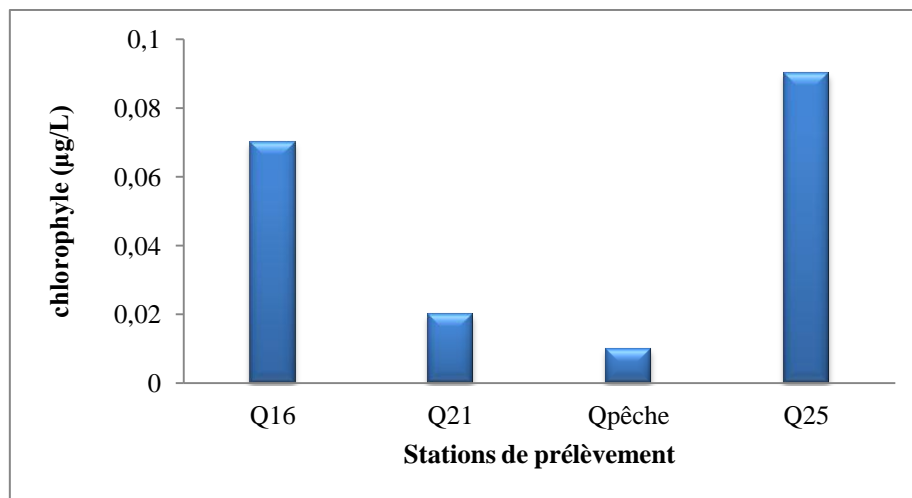


Figure 22: Variation des teneurs en chlorophylle au niveau du port d'Alger (Année 2016).

Toutes les stations présentent des teneurs très faibles en chlorophylle 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.

d. Les sels nutritifs

d.1. Les nitrates (NO_3^-)

La figure 23 illustre les teneurs en nitrates enregistrées dans l'eau de mer au niveau des quatre quais du port d'Alger. Nous notons une valeur minimale 0,33 $\mu\text{mol/L}$ au niveau des eaux du quai 16 et une valeur maximale 0,72 $\mu\text{mol/L}$ au niveau du quai 25 avec une moyenne de 0,52 $\mu\text{mol/L}$.

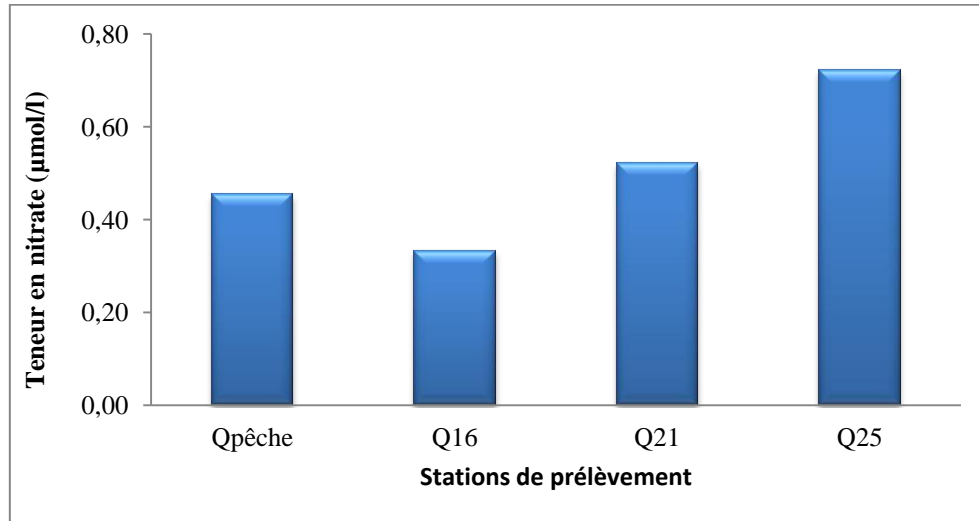


Figure 23 : Variation des teneurs en nitrate au niveau du port d'Alger (Année 2016).

Dans l'ensemble, ces teneurs en nitrates sont faibles et peuvent s'expliquer par la faible salinité de l'eau de mer.

d.2. Les nitrites (NO_2^-)

Les concentrations des nitrites connaissent des variations saisonnières, qui varient en hiver entre 0,5 et 1 $\mu\text{mol/L}$ et atteignent des valeurs très faibles en été ($< 0,01 \mu\text{mol/l}$) suite au développement du phytoplancton (Aminot et Chaussepied, 1983). Les valeurs des nitrites enregistrées dans les différents quais (fig. 24) varient entre [0,09 - 0,12] $\mu\text{mol/L}$ avec une moyenne de 0,10 $\mu\text{mol/L}$.

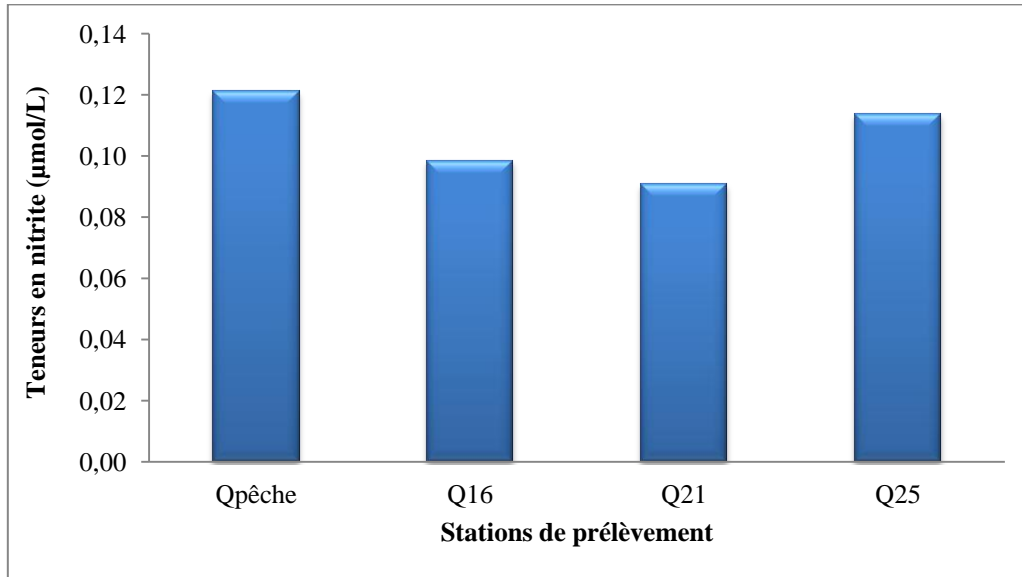


Figure 24 : Variation des teneurs en nitrite au niveau du port d'Alger (Année 2016).

Ces teneurs dans les différentes stations du port d'Alger sont faibles et relativement homogènes c'est peut être dû au fait que cet ion est un élément intermédiaire dans la réaction de dénitrification.

d.3. Les orthophosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates peuvent provenir des détergents utilisés lors de l'entretien des bateaux de plaisances et des eaux de ruissèlement. Les valeurs enregistrées lors des analyses d'eau de mer sont homogènes et faibles dans toutes les stations de prélèvement. Elles sont comprises entre un minimum de 0,87 µmol/L au niveau du quai 25 et un maximum de 1,19 µmol/L au niveau du quai de pêche avec une moyenne de 1,01 µmol/L (fig. 26).

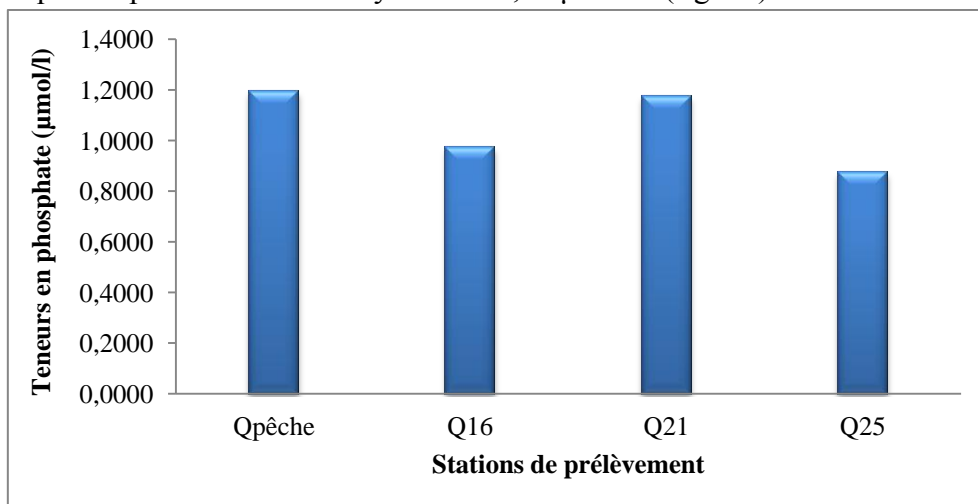


Figure 25 : Variation des teneurs en orthophosphate au niveau du port d'Alger (Année 2016).

d.4. Les silicates (SiO_2)

Les teneurs en silice varient entre 3,28 à 4,87 µmol/L, avec une moyenne de 4,07 µmol/L (figure 26). Les concentrations semblent être élevées à l'intérieur du port. Cette richesse en

silice dissoute peut être en relation avec les apports côtiers et celui des rejets qui se trouve à l'intérieur du port et/ou encore avec la dissolution des acides siliciques et la diffusion à partir des sédiments marins (Houma *et al.*, 2009).

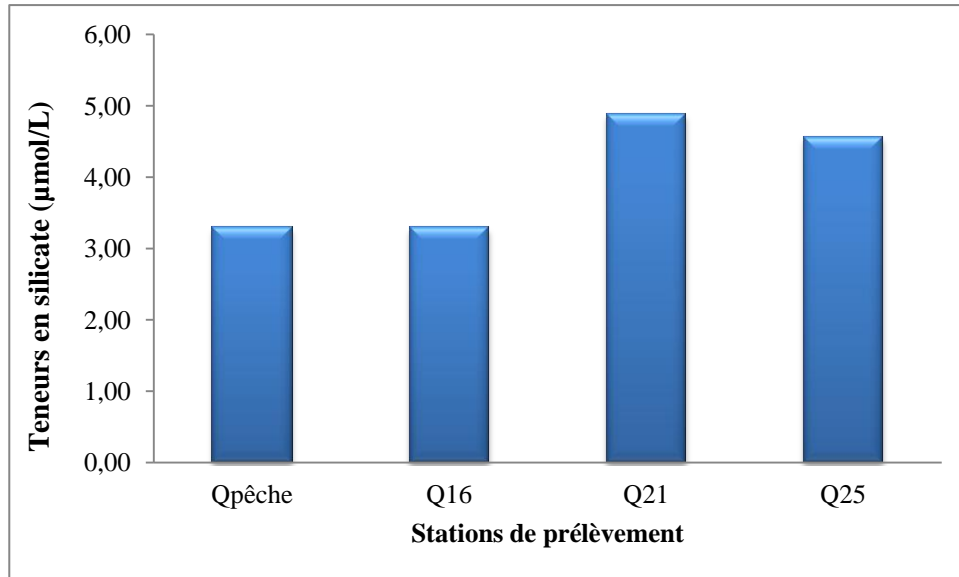


Figure 26 : Variation des teneurs en silicates au niveau du port d'Alger. (Année 2016)

e. Les hydrocarbures dans l'eau de mer

Selon Bodennec (Fattal, 2008), les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin. En effet, d'après (Halmann, 1996), les HAP sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles.

Les concentrations des HAP dans les eaux de mer du port d'Alger varient entre une valeur minimale de 21,53 µg/L et une valeur maximale de 47,78 µg/L avec une moyenne de 34,65 µg/L (fig 27).

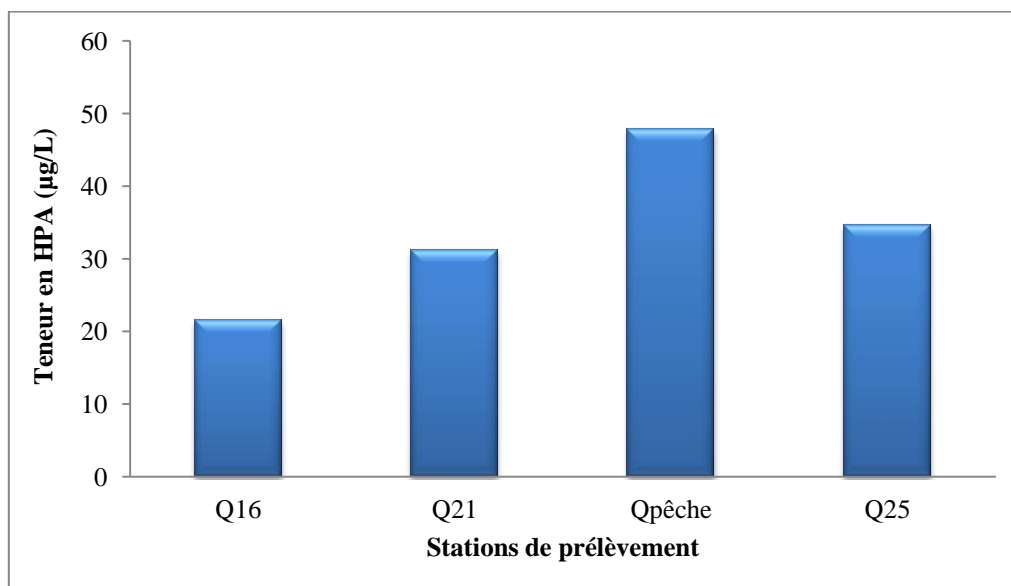


Figure 27 : Variation des teneurs en HAP au niveau du port d'Alger. (Année 2016)

Ainsi les teneurs élevées en HAP enregistrées au niveau du port traduisent probablement une pollution localisée due à un déballastage récent ou bien à des activités maritimes diverses tels que le nettoyage de soute, les rejets ou déversement d'huiles usées...etc.

La variation des concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port. Les eaux de déballastage, selon la taille des pétroliers, représentent 25% à 33% de la capacité utile. (Berne et al., 1991).

IV.2.3. Les paramètres bactériologiques

a. Les Coliformes totaux

La charge moyenne en coliformes totaux dans les trois stations est représentée dans la figure 28, à l'exception de celle correspondant à la station du quai numéro 25 (Q25) qui n'a pas pu être comptabilisée.

La concentration moyenne en CT dans ces stations est inférieure à la valeur guide (500 CT/100 mL) (JORA, 1993), sauf pour Q25 qui présente des colonies confluentes et indénombrables et cela malgré la série de dilution effectuée. Ces résultats montrent que les concentrations dépassent largement le nombre impératif fixé par l'OMS en 1995 (10000 CT/100ml). Il est à signaler que cette station est située à proximité des rejets.

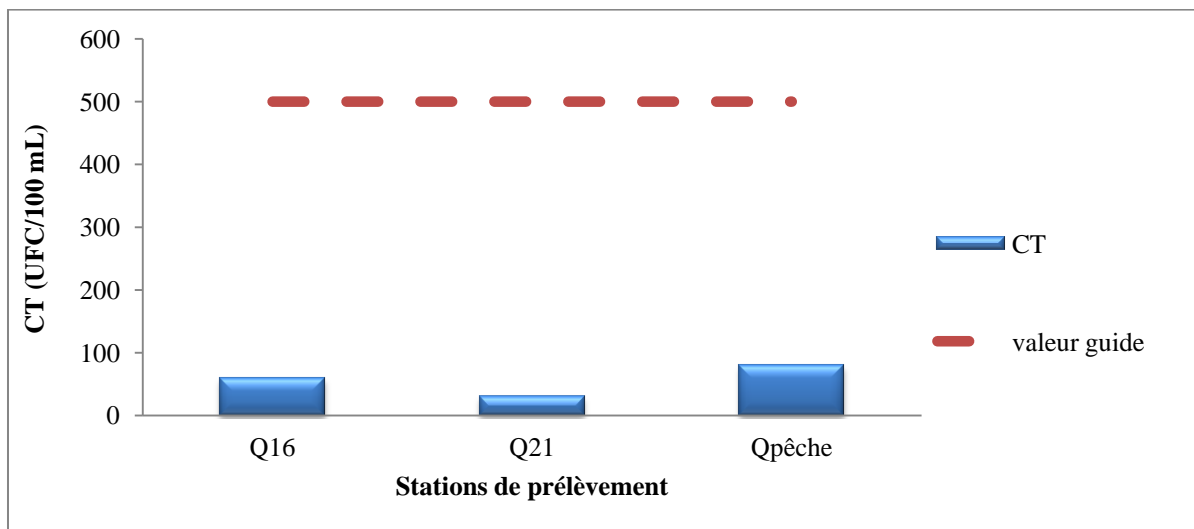


Figure 28 : Variations des concentrations moyennes des Coliformes totaux (CT) au niveau du port d'Alger (Année 2016).

b. Les Coliformes thermotolérants « Fécaux »

La figure ci-dessous représente la charge moyenne des coliformes fécaux dans chaque station, sauf pour la station du quai numéro 25 (Q25) qui n'a pas pu être comptabilisée.

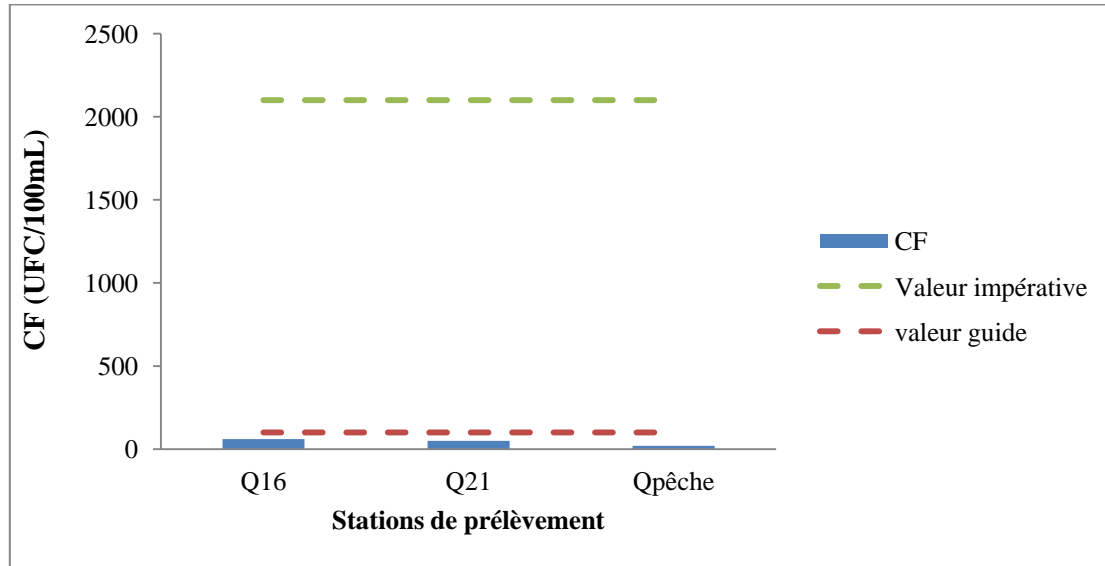


Figure 29 : Variations des concentrations moyennes des Coliformes Fécaux (CF) au niveau du port d'Alger (Année 2016)

Les valeurs moyennes varient entre 20 CF/100 mL au niveau de la station du quai de pêche (Qpêche) et 60 CF/100 mL au niveau de la station du quai numéro 16 (Q16), Ces taux ne dépassent pas la valeur impérative (2000 CF/100 mL) et même la valeur guide (100 CF/100 mL) (JORA, 1993 et OMS, 1995). Comme pour les coliformes totaux, La station Q25 présente toujours des colonies confluentes et indénombrables et cela malgré la série des dilutions effectuées.

c. Les Streptocoques Fécaux

Les streptocoques fécaux sont de bons témoins d'une contamination fécale et d'un manque d'hygiène, ils résistent dans le milieu marin et cela grâce à leurs caractéristiques physiologiques qui leur confèrent une meilleure adaptation par rapport aux autres germes indicateurs. (Alzieu *et al.*, 1999; Gauthier *et al.*, 1998 et WHO, 2003).

D'après la figure 30. la teneur des eaux de mer en streptocoques fécaux au niveau de différents quais du port d'Alger est inférieure à la valeur guide (100 UFC/100 mL) (JORA, 1993).

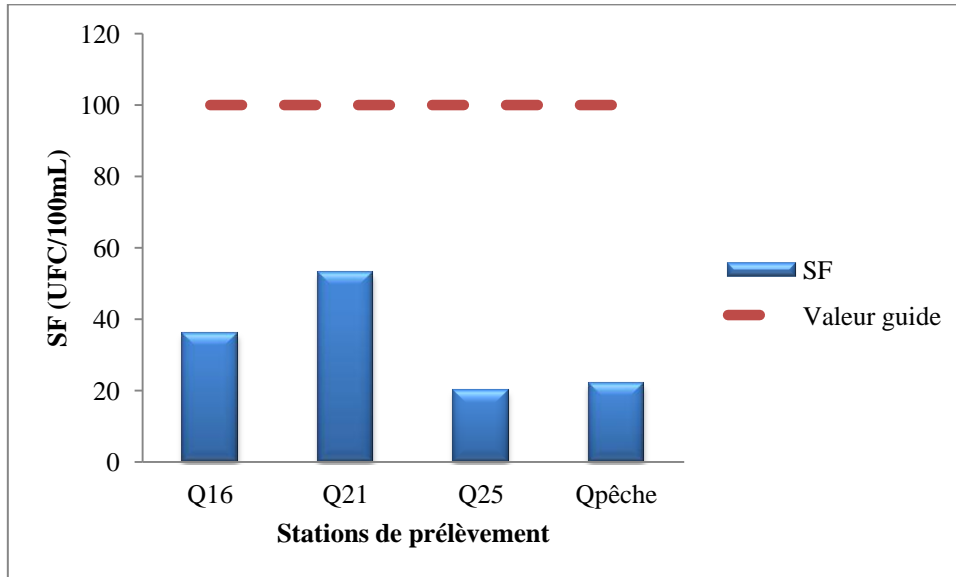


Figure 30: Variations des concentrations moyennes des streptocoques fécaux (SF) au niveau du port d'Alger (Année 2016).

d. 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 (**Brisou et Denis, 1980**). Ils ne sont pas recherchés systématiquement dans l'eau de mer. 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.

Pour toutes les stations des prélèvements effectués, les boîtesensemencées sur milieu Chapman, présentent des colonies confluentes et indénombrables et cela malgré la dilution des échantillons d'eau de mer, ce qui reflète la richesse de l'environnement marin en micro-organismes notamment en Staphylocoques.

IV.3. Résultats des analyses des sédiments du port d'Alger

Les polluants (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures) ont une forte affinité avec les sédiments, en conséquence, ils s'accumulent dans les sédiments du fond des estuaires et des zones côtières. Donc il nous a paru intéressant d'évaluer les teneurs de polluants dans les sédiments du port d'Alger mais par manque de matériels adéquats pour les prélèvements et l'analyse des sédiments marins, nous nous sommes contentées de présenter un historique sur l'évolution des teneurs en métaux lourds au cours des années. Les données ont été récoltées à partir des travaux de recherches dans le cadre des thèses précédentes (**Bachouche, mars 2010 ; Koroghili, Juillet 2010**) et des études d'impacts sur l'environnement du Laboratoire d'études maritime (LEM, années 1999-2016).

a. Teneurs des métaux lourds dans les sédiments du port d'Alger

Les figures 31, 32, 33 et 34 indiquent l'évolution des concentrations en Mercure, Plomb, Zinc et Nickel dans les différents quais du port d'Alger depuis l'année 1999 jusqu'à l'année 2016. Nous constatons une nette diminution des concentrations de ces métaux lourds durant l'année 2016 comparativement aux années précédentes. Cette baisse des teneurs en métaux lourds peut être attribuée à l'instauration des lois de plus en plus stricte et l'installation des stations d'épuration des eaux (STEP) donc moins de rejets contaminés par les métaux lourds dans le bassin du port.

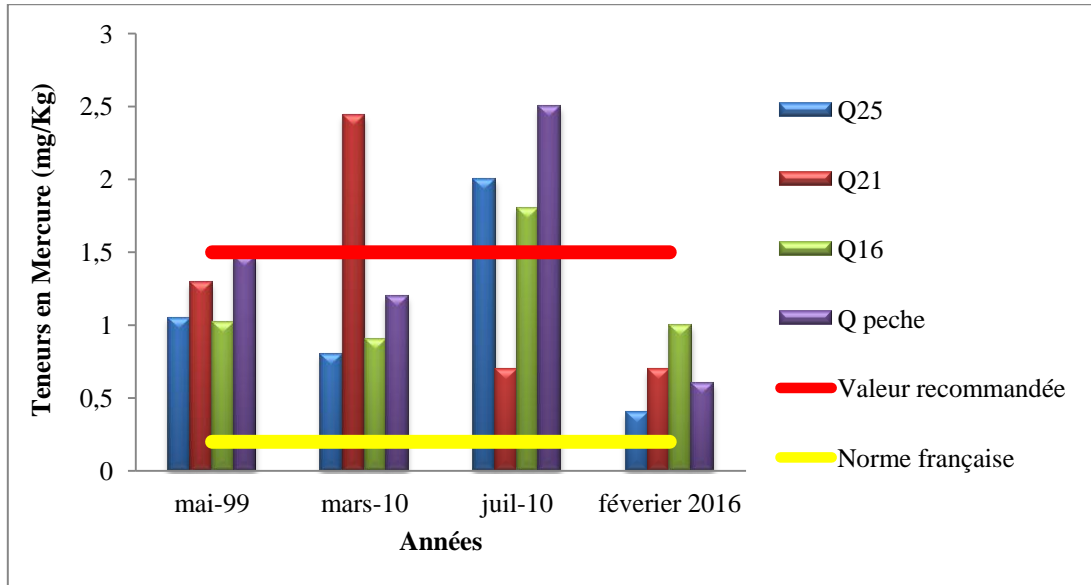


Figure 31 : Evolution des teneurs en mercure dans les sédiments du port d'Alger. (Année 2016)

D'après la figure 31, les concentrations en mercure depuis l'année 1999 sont comprises dans la tranche de valeurs 0,4 et 2,5 mg/kg de poids sec avec une moyenne de 1,54 mg/kg. La teneur moyenne pour l'ensemble des sédiments analysés pour l'année 2010, reste proche de la valeur seuil (1.50 mg/Kg) recommandée. Les activités portuaires et industrielles dans le port d'Alger sont probablement responsables des pics des concentrations en mercure (**Alzieu et al., 1999; Kim et al., 2009 ; Ringot, 1982**). A noter également que dans le port d'Alger, environ 71 potiches de mercure de 35 kg chacune gisent près de la darse n°4 (**Rapport interministériel, 1987 ; METAP, 1993**). La présence de nombreux rejets urbains de la ville d'Alger, les vidange, le nettoyage, la peinture et la soudure des bateaux et navires et leur déballastage constituent des sources de pollution de mercure (**Boening, 2000**). Les fortes valeurs de ce métal, sont observées près des points de rejets.

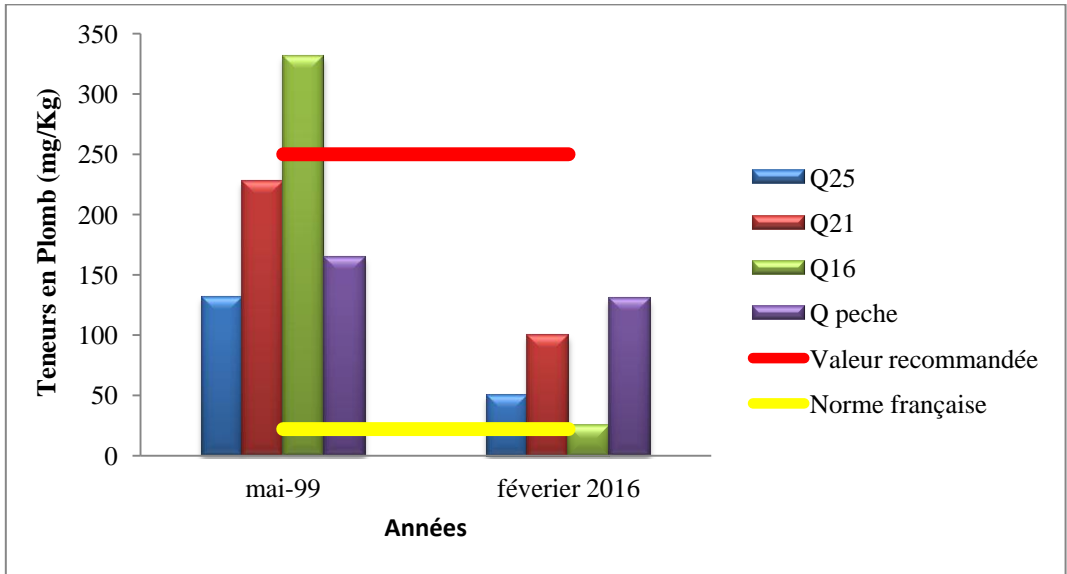


Figure 32 : Evolution des teneurs en plomb dans les sédiments du port d’Alger (Année 2016).

En général, dans le port d’Alger, les teneurs en plomb présentent des valeurs largement inférieures aux recommandations Algériennes (250 mg/kg) excepté les sédiments prélevés en 1999 au niveau du quai 16. En effet, d’après la figure 32, les concentrations en plomb fluctuent entre 25 et 331 mg/kg. La moyenne de cette distribution est de 144,92 mg/kg.

Par ailleurs, les concentrations de zinc varient fortement au cours du temps dans les sédiments prélevés dans les différents quais du port d’Alger. En effet, les teneurs en Zinc varient entre 20 et 600 mg/kg avec une moyenne de 301,12 mg/kg (figure 33). Des concentrations supérieures au seuil des recommandations algériennes (500 mg/kg) ont été retenues adurant l’année 2010 (mars) au niveau des quais 21 et 25.

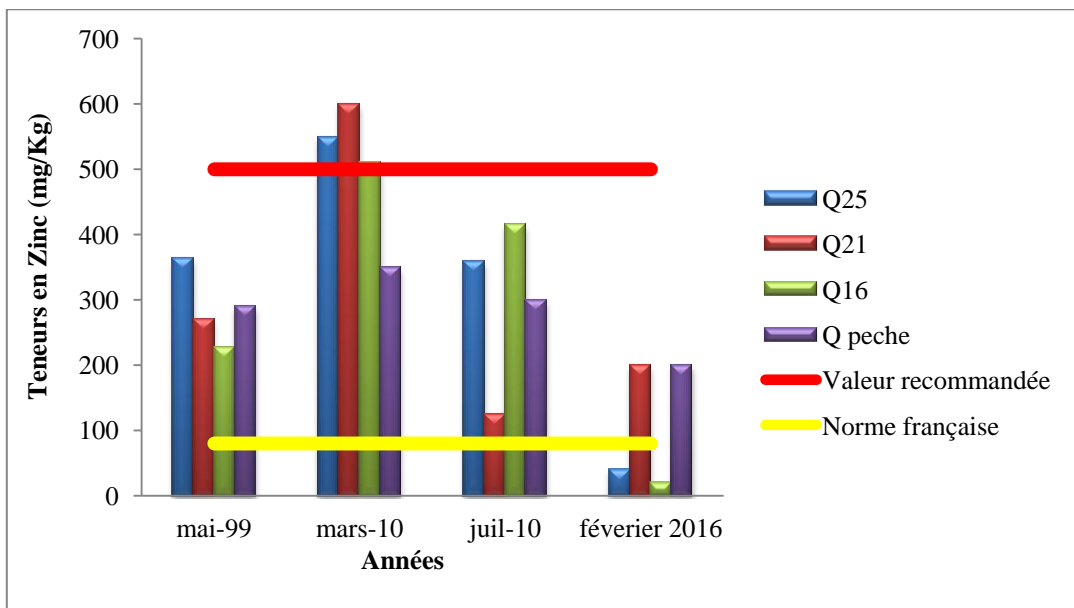


Figure 33 : Evolution des teneurs en zinc dans les sédiments du port d’Alger. (Année 2016)

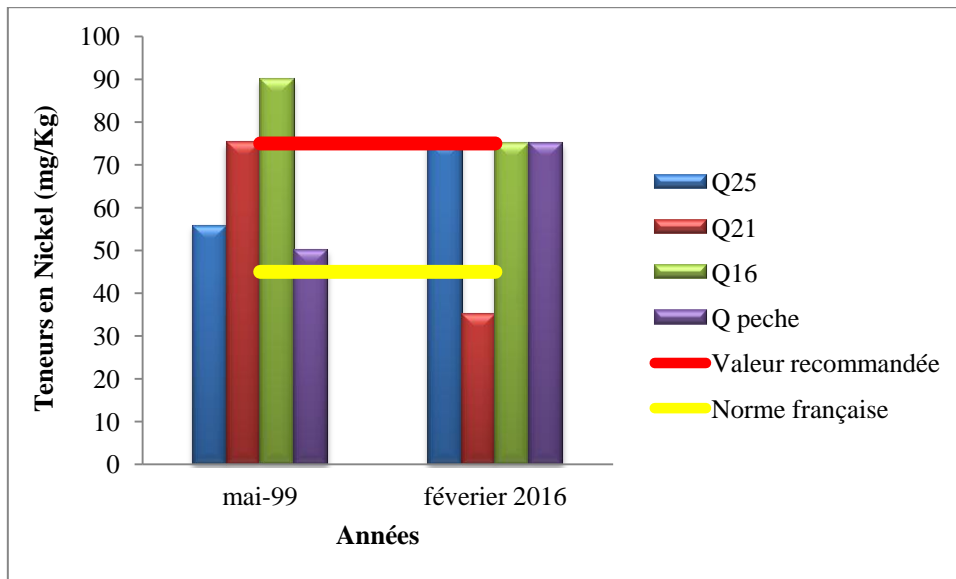


Figure 34 : Evolution des teneurs en Nickel dans les sédiments du port d'Alger. (Année 2016)

Les teneurs en Nickel présentent des valeurs proches aux recommandations Algériennes (75mg/kg) excepté les sédiments prélevés en 1999 au niveau du quai 16. D'après la figure 34, les concentrations en nickel fluctuent entre 35 et 90 mg/kg. La moyenne de cette distribution est de 66,39 mg/kg.

En général, Les teneurs en Ni ont connu un abaissement de l'année 1999 jusqu'à 2016, les teneurs actuelles restent en dessous de la concentration fixée par les recommandations Algérienne mais supérieurs à la norme française (45 mg/kg).

b. Teneurs en hydrocarbures totaux dans les sédiments

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.

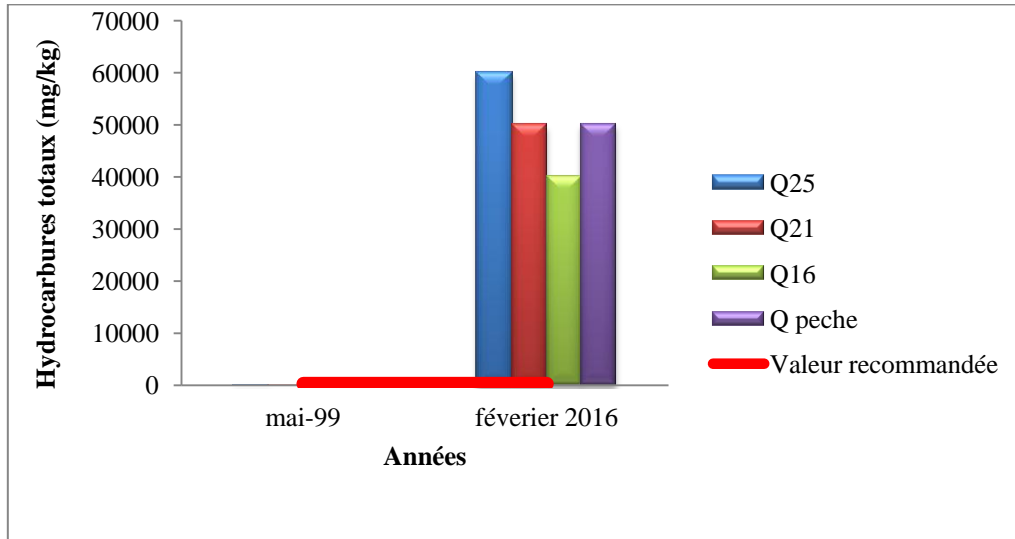


Figure 35: Evolution des teneurs en hydrocarbures totaux dans les sédiments du port d'Alger. (Année 2016)

Il est clair d'après les résultats présentés dans la figure 35, que la pollution des sédiments par les hydrocarbures totaux au cours de l'année 1999 est négligeable devant celle relevée durant l'année 2016. Les concentrations en 1999 étaient comprises entre 41 mg/kg de et 144,64 mg/kg avec une moyenne de 78,78 mg/kg. Les teneurs en hydrocarbures totaux dans les sédiments prélevés dans les quatre quais durant l'année 2016, sont largement supérieures à la norme (300 mg/kg). Ces données viennent confirmer le degré de pollution des sédiments de la baie d'Alger.

En effet, les sédiments de la baie d'Alger sont fortement pollués par les hydrocarbures. Cette pollution est concentrée dans la partie centrale de la baie, elle traduit les influences anthropiques et semble dépendre également des conditions hydrodynamiques et des transits sédimentaires qui régissent la baie.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de notre étude est l'évaluation de l'état de la pollution dans le port d'Alger. A cet effet, deux matrices ont été étudiées. Il s'agit des eaux de surfaces et les sédiments qui ont été utilisés comme indicateurs de pollution.

L'analyse des paramètres physico-chimiques sur les 04 stations de prélèvement d'eau de mer, a permis de signaler les constatations suivantes :

- Les températures mesurées au cours des deux périodes sont des températures normales saisonnières.
- Les valeurs du potentiel d'hydrogène, de l'oxygène dissous et de la salinité sont faibles par rapport à celles de la méditerranée, ceci est expliqué par les apports continentaux des différents rejets qui se déversent dans la zone.
- La charge moyenne en MES dans le port d'Alger reste en général supérieure à la norme (35 mg/L). Les variations de la matière organique dans l'eau de mer suivent celles des MES.
- Le dosage de la chlorophylle montre que, tous les échantillons analysés ont un risque d'eutrophisation à cause de déversement des eaux riches en sels nutritifs en plus des conditions climatiques favorables (T°, ensoleillement..) coïncidant avec la période de floraison algale.
- Les concentrations des hydrocarbures totaux montrent que les quartes stations sont le siège d'une pollution significative.
- Les eaux de mer du port d'Alger ont révélé des faibles teneurs en nitrite et nitrate par contre des fortes concentrations en silicate et phosphore ceci est dû aux apports côtiers, des détergents utilisés lors de l'entretien des bateaux de plaisances, les eaux de ruissèlement et les rejets qui se trouve à l'intérieur du port

Les analyses bactériologiques portées sur les germes microbiens dits « témoins de contamination fécale » dans les eaux font ressortir que :

- Les taux en coliformes totaux, fécaux et les streptocoques sont inférieurs à la valeur impérative dans l'ensemble des stations, les concentrations moyennes des staphylocoques restent élevées.

Une appréciation de la qualité bactériologique de ces stations montre qu'elles possèdent une charge bactériologique assez importante d'origine fécale. Elles restent tout de même dangereuses par leur faculté de sporuler et de produire de toxines. Cependant, il ne faut pas oublier qu'il s'agit bien d'un port, c'est notre site d'étude et dans cette zone il est tout de même très probable d'enregistrer ces types de pollution. Un port est un endroit semi-fermé, sollicité par de nombreuses personnes qui utilisent des produits chimiques (peinture,...), des huiles, des hydrocarbures, en plus des rejets directs des eaux usées dans les bassins du port donc il ne faut pas s'attendre à une zone propre qui ne contient pas de pollution.

Bien qu'il n'existe pas de normes Algériennes concernant les sédiments, les teneurs en métaux lourds ont été comme même comparés aux recommandations Algériennes et aux normes françaises.

En effet, les sédiments du port d'Alger ne semblent pas être contaminés par les métaux lourds testés (Hg, Pb, Zn et Ni) si on se réfère aux recommandations Algériennes. Cependant, si nous considérons les normes françaises, les sédiments du port d'Alger sont contaminés par le Nickel, le plomb et le mercure car les concentrations dépassent largement la norme fixée.

Les concentrations en hydrocarbures polycycliques aromatiques sont aussi très fortes, elles dépassent les teneurs fixées par la norme française ainsi que les recommandations Algériennes. Ce qui est inquiétant car ce port souffre d'une pollution par les hydrocarbures causée probablement par les vidanges anarchiques de cales de certains navires.

A l'issue des informations recueillies, l'état du port d'Alger nécessite une prise en charge qui doit être rapidement mise en œuvre pour assurer le développement durable de la façade maritime de notre pays et cela en mettant en place des stations d'épurations équipées par des techniques développées en contrôlant le déballastage et vidange des bateaux au niveau du port, en évaluant les risques sanitaires de façon plus précise incluant une politique d'Hygiène, sécurité et environnement. Il est nécessaire de limiter les rejets d'hydrocarbures à l'intérieur du port et intégrer une surveillance permanente.

Pour limiter les dommages engendrés par les hydrocarbures, on peut s'inspirer de quelques solutions proposées dans les pays développés :

- la possibilité de d'aspirer directement les eaux résiduelles des fonds de cale des bateaux et les eaux usées sur l'aire d'avitaillement. Elles sont ensuite traitées dans un séparateur avant d'être rejetées dans le milieu.
- S'engager dans une démarche « Ports Propres », mettre à la disposition de chaque aire de carénage une mini-déchetterie pour la collecte des déchets nautiques : batteries, huiles de vidange, toxiques liquides et solides, anodes sacrificielles,... Cela permet d'éviter les dépôts intempestifs dans le port ou sur les rives.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A.B.R.M.C (Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse), 1984. La pollution de la Saône : état de dégradation, influence des principaux apports, définition des priorités d'action. *Rapport ABRMC*, Lyon, 162 p.

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.

Alomary A., et Belhadj S., 2007. Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICPOES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure. *Environ Monit Assess* (2007) 135:265–280.

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., Pommepey M., et Quiniou F., 1999. Dragages et environnement marin : état des connaissances . Ed. Ifremer, Plouzané, France, 223 p.

Amari M., 1992. Port d'Alger, rapport de synthèse. Edité par la société algérienne d'expertise et des travaux subaquatiques – SARL ETS, 161 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.

Assou A., 1982. Contribution à l'étude des polluants métalliques chez les moules *Perna-Perna* (L) dans la région d'Alger. *Mémoire de magistère en océanographie biologique, université d'Aix-Marseille II*, 138 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 pp.

Aubert, M., Revillon, P., Breitmayer, 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.

Bachouche S., 2010. Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres granulométrique, biologique et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. *Thèse de magister en pollution marine et écotoxicologie*, 127p.

Balci A., 1994. Hydrocarbons contamination of surface sediment of Candarli Bay Eastern Aegean. *Chimica Acta Turcica*.22, pp. 157-160.

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, 416p.

Bellan G., Perres J.M ; 1994. La pollution des mers. Que-sais-je. Éd. Presses Universitaires de France, 13p.

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.

Bliefert C., Perraud R., 2001. Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchets. Éd. Paris, 477p.

Bocard C., 2008. Marine oil spills and soils contaminated by hydrocarbons: Environmental Stakes and Treatment of pollutions. *Edts TECHNIP*. 285 p.

Bodennec .G, Pignet .P, Caprais .J.C., 1983. Suivi chimique de la pollution pétrolière dans les eaux et les sédiments. *Ed. C.N.E.X.O.*, Paris, 108 p.

Boening DW. 2000 Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40, 1335–1351.

Bouchez M., Blanchet D., Haeseler F. et Vandecasteele J.P., 1996. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement – Propriétés, origines, devenir. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. Vol. 51, N° 3.

Boulahdid M., 1987. Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer : Etude du mélange des masses d'eaux et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. *Thèse de Doctorat en géochimie fondamentale*. Ed, France. 266p.

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.

Mohamed Tewfik Bouroumi., 2014. Le littoral Algérien entre dégradation et protection du patrimoine, cas de la commune côtière d'Ain El Türck. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Département d'Architecture, pp 2-3.

Boust, D., 1981. Les métaux traces dans l'estuaire de la seine et ses abords. *Thèse de doctorat de 3ème cycle en géologie, université de Caen*, 187 p.

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

Burns K.A. and Saliot A, (1986). Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean sea: A mass Balance. *Marine Chemistry*, 20, Elsevier Science Publishers B.V, pp.141-157.

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

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

Cardot Claude., 1999. Les traitements des eaux : Procédés physico-chimiques et biologiques. Ed. Ellipses. 250p.

Cauwet G., 1985. Dynamique de la matière organique dans les milieux marins et polyhalins son rôle dans les processus géochimiques aux interfaces. *Thèse de doctorat, mention océanologie*. 389P

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

Champiat D et Larpent J.P., 1994. Biologie des eaux méthodes et techniques. Ed. Masson, Paris. 374p.

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.

Chebli L., 1980. La pollution en méditerranée : Aspects juridiques des problèmes actuels, office des publications Universitaires, Alger, 234p.

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.

Dahlmann G., et Lange., 1981. Investigations of the distribution of petroleum hydrocarbons in the German Bight by means of fluorescence spectroscopy. *Dtsch. Hydrogr. Z.* 34 (5), pp. 150-161.

Décret exécutif 06-141 du 19 avril 2006 / JORADP / 23-04-2006.

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

Dellarras C., 2007. Microbiologie pratique pour laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire. Ed Médicales internationales. Lavoisier, paris. 476p.

Delvert C., 1923. Le port d'Alger. *Les grands ports français*, Dunod, Paris, 157 p.

Dojlido J.R. et Best G.A., 1993. Chemistry of water and water pollution. First edition. Ellis Horwood, England, 108p.

Dujmov J., et Sucevic P., 1990. Application of synchronous fluorescence spectroscopy for the aromatic hydrocarbons in sediments of the middle Adriatic., *Chemistry and Ecology*, n°. 44, pp. 189-195.

Ehrhardt M., et Petrick G., 1989. Relative concentrations of dissolved /dispersed fossil fuel residues in mediterranean surface waters as measured by UV fluorescence. *Mar. Pollution. Bull.* 20 (11), pp. 560 – 565.

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* (2006) 118: 89–112p.

Fattal P., 2008. Pollution des côtes par les hydrocarbures, *Editions Presses Universitaires de Rennes (PUR)*, collection Espace et Territoires. 400 p. ISBN: 9782753505667

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

FINGAS M, 2013. The Basics of Oil Spill Cleanup. CRC Press, États-Unis.

Figarella J., Leyral G., Terret M., 2001. Microbiologie générale et appliquée. Ed. Jacques Lanore. 285p.

Fitzgerald W. F., Clarkson T. W., 1991. "Mercury and monomethylmercury: Present and future concerns." *Environ. Health Perspectives* 96: 159-166.

Forstner U., et Salomons W., 1980 .Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: assessment of sources and intensities. *Environmental Technology Letters*, vol.I, 494-505p.

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

GESAMP .,1997. IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/Unep. Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution. Report of the Thirty-third session, Working group on the evaluation of the hazards of harmful substances carried by ships, EHS/Feb 97, International Maritime Organization, London.

Gonzalez J. L., Chiffolleau J. F., Miramand P., Thouvenin B., 1999. Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Programme scientifique Seine Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France: 31p.

Guilcher., 1972. Précis d'hydrologie marine et continentale. Ed *MASSON*. Paris. 200p

Guiraud JP., 1998. Microbiologie alimentaire. Ed. Dunod. 652p.

Halmann M.M., 1996. Photodegradation of waters pollutants. (*CRC Press, Eds.*),301p.

Hamon M., Pellerin F., Guernet M., et Mahuzier G., 2002. Chimie analytique: méthodes spectrales et analyse organique. Ed. *Masson*.2ème édition. Tome 3. 266p.

Hill I.R., Matthiessen P., Heimbach F. (eds), 1993. Guidance document on sediment toxicity tests and bioassays for freshwater and marine environments. SETAC-Europe Workshop on sediment toxicity assessment, 8-10 November 1993, *Renesse (NL)*, 105 p.

Holm-Hansen O; et Rieman B., 1978. Chlorophyll a determination: improvements imethodology. *Oikos*, 30, pp 438-447.

Houma F, Belkessa R, Kouider A, 2009 : Corrélation des indicateurs de la pollution aquatiques et des données satellites .Applications à la baie d'Oran. Les applications de la télédétection en sciences de la mer, journée d'étude 16.04.2008. ISMAL/ASAL.

ITOPF. 2012. Aerial Observation of Marine Oil Spills – Technical Information Paper No.1. International Tanker Owners Pollution Federation Limited, Londres, Royaume-Uni.

Ivanoff A., 1972. Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Edt Librairie Vuibert*. Tome I. 208p.

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

John P.H., et Soutar I., 1976. Identification of crude oils by synchronous excitation spectrofluorimetry. *Anal. Chem.*48, pp. 520 – 524.

Joy B et Reynaud A., 2003. Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Ed. Techniques et Documentation, Paris. 356p.

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.Techniques et Documentation. Paris .356 p.

Kamoun P., 1977. Appareils et méthodes en Biochimie. 2ème édition. 236p.

Kankou M., 2004. Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de *Docteur de*

l'Université de Limoges, France, 159 P.

Kennish, M. J., 2001. Practical Handbook of Marine Science, 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton. 896 p

Kim P.G., Park M.E., Sung K.Y., 2009. Distribution of heavy metals in marine sediments at the ocean waste disposal site in the Yellow Sea, South Korea. *Geosciences Journal* Vol. 13, No. 1, p. 15.

KOROGHLI Akila, Juillet 2010. Thèse magister : Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger. pp 82-95.

L.E.M., 1999. Laboratoire d'Etude Maritime. Etude d'impact sur l'environnement du dragage du port d'Alger. 8-11 p.

LEM., 2006. Laboratoire d'Etude Maritime. Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger.

Lacaze J-C., 1996. La pollution des mers. *Edition: DOMINOS Flammarion, France, 128 P.*

Lacaze J.C., 1980. La pollution pétrolière en milieu marin. *Edt Masson.* 118-119 p.

Lacaze J-C., 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte. *Edition : Ellipses,* 191 p.

Larsen, B., & Jensen, A. (1989). Evaluation of the sensitivity on sediment monitoring stations in pollution monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 20, 556–560.

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

Leclerc, H., Mossel, D. A., Edberg, S. C., and Struijk, C. B. (2001). “Advance in the bacteriology of the coliform group: Their suitability as markers of microbial safety,” *Annual Review of Microbiology* 55, 201-234.

Leclaire .L., 1972 : La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro – Balear (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoires naturelles, nouvelle série. Tome XXIV. *Ed. Du muséum :* 319 p.

Le Pimpec P., Linénard A., Bonnard R., Lafont M., Cazin B., Bossard Ph., Hubert B et Bray M., 2002. Guide pratique de l'agent préleveur : chargé de la police des milieux aquatiques. Ed Maurice Merlin. 159p.

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.

Leroy J-B., 1999. La pollution des eaux. *Edition : le point des connaissances actuelles, France, 126 P.*

Leug Tack Kit D, 1971. Etude du milieu pollué : le Vieux port de Marseille, influence des conditions physiques et chimiques sur la physionomie du peuplement de qui. *Téthys*, 3, (4), 767-825.

Lloyd J.B., 1971. The nature and evidential value of the luminescence of automobile engine oils and related materials. Part I: synchronous excitation of fluorescence emission. *Journal of Forensic science Society*, **11**, pp. 83-94.

Luc-Henri B., 2007. Le cycle de l'azote en milieu marin. Extrait d'un Séminaire littéraire (CHIM 6013). A-102 (Rémi-Rossignol).

M.E.T.A.P., (1993) – Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport n°2, Ministère des transports, Direction des ports, Algérie, 60p.

M.E.T.A.P., (1993) – Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport intermédiaire n°3, Ministère des transports, Direction des ports, Algérie, 67p.

Maouche S., 1987. Mécanisme hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologiste, géochimique et traitement statistiques. *Thèse de Doctorat en Océanologie, Université de Perpignan*, 214p.

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

Mille G., Guiliano M., et Dou H., 1983. Etude par spectroscopie de fluorescence UV des variations saisonnière du contenu en hydrocarbures aromatiques polycycliques de sédiments côtiers superficiels méditerranéens (Côte Bleue, Bouches – du Rhône). *Vie Marine*, **5**. Pp ; 57 – 62.

Millot, C. 1993. La circulation générale en Méditerranée occidentale. Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb. 9-11 novembre 1992, INOC. 29-30.

Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement, Ministère de la santé et des solidarités, 2006. Qualité des eaux de baignade en mer dans les Alpes-Maritimes. 21 p.

Misic C., Covazzi Harriague A.(2009). Organic matter characterisation and turnover in the sediment and seawater of a tourist harbour. *Marine Environmental Research* 68 : 227–235.

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.

Moore J.W., Ramamoorthy S., 1984. Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Springer-Verlag Edit., 268 p.

Moulin .J et Clause .R., 1978. Météo –Vent –Nuage–Tempêtes. *Edition maritime d'autre mer*. 150 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.

NAS/NRC., 1989. Recommended dietary allowances, National Academy of Science/National Research Council, Washington.

Nolwenn Corvaisien., 2000. Polluants et pollution. Ed. Limoge ,OIE. 61p.

O.M.S.,1979. Plan d'action pour la méditerranée, principes et directives applicables au diversement de déchets dans le milieu marin, 9 p.

O.N.M., 2003. Office National de la Météorologie. Relève météorologique 1993- 2004.

OECD WHO (2003). Assessing microbial safety of drinking water, improving approaches and methods. *London: IWA.* (296 pp).

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.

PNUE., 1995. Etat des milieux marins et du littoral de la région méditerranéen UNEP (OCA)/MED IG.5/INFR. Athènes. 111p.

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.

Peres J.M., Fontaine M.Bellan G., Ramade F., Acicellin J., Lelourd M., Michel P., Gauthier , Soudan F., Bellan O., Satini, (1976) . la pollution des eaux marines. *Ed. Gauthier-Villars*, 231p.

Phillips, D. J. H., & Rainbow, P. S. (1993). Biomonitoring of aquatic trace contaminants. London: Chapman and Hall.

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

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

Rapport du groupe interministériel, sécurité du port d'Alger. Décembre 1987.

Rebzani-Zahaf C., 2003. Les peuplements macrobenthiques des milieux portuaires de la côte algérienne (Alger, Bejaia et Skikda). Evolution spatio-temporelle. Impact de la pollution. *Thèse d'Etat*, ISN/USTHB, Alger. 199 p. et annexes.

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

Rezzoug S., 2000. Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds dans la matière en suspension et le sédiment marin superficiel des golfes de Béjaïa et de Skikda. *Mémoire de Magister en Océanologie Biologique, ISMAL, 244p.*

Riambault P et Boudjellal B., 1997. Dosage de la chlorophylle par fluorométrie : Recueil des données de la campagne MINOS (Méditerranéens Investigation Oligotrophe Systems). Master (MAST III). Ed. Thierry Moutin et Patrick Riambault. INSU, CNRS, GDR 869 (PSOO). Ifremer. 96p.

Ringot J.L, 1982. Etude de la répartition et l'origine de contamination des sédiments de la baie de Cannes – La Napoule par les métaux lourds, VIES

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. 7ème édition. Ed. Dunod, Paris. 1367 p.

Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. 8ème édition. Ed. Dunod, Paris. 385-401p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P., Champsaur H et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelle, eaux résiduaires et l'eau de mer. 8ème Ed. Dunod, paris. 1383p.

Saliot A., Bouloubasi I., et Lipiatou, E., 1992. Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. Hydroécol.

Salomon. J.N., 2003. Danger pollutions !. Collection « Scieteren », Presse Universitaire de Bordeaux, France, 170 P.

Schaechter., 1999. Microbiologie et pathologie infectieuse. Ed. Bruxelles : De Boeck. 973p.

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

Skalar analytical., 1998. Manuel San Plus Analyser: SA 1050(Random Access Auto Sampler). Breda(Netherlands). 23P.

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. ISMAL. Alger. 118p.*

Selmani S., et Taoutaou S., 1995. *Synthèse hydro-sédimentaire de la baie d'Alger, aménagement et protection du littoral*, mémoire d'Ingénieur d'état en géologie marine- I.S.T. /U.S.T.H.B.

Smail M. B., et Mazouz M., 1996. Etude de la pollution marine par les hydrocarbures sur le site côtier de Tamentfoust. *Mémoire d'ingénieur d'état USTHB.* 180 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.

- Tayeb Cherifi I., 2000.** Evaluation de l'impact des rejets liquides de l'Entreprise Nationale des Corps Gras D'Alger sur l'environnement et recommandations. Mémoire *d'ingénieur*, *Inst..Sci. Terre, Uni.Sci. Technol.H. Boumédienne*, Alger, 74 p.
- Trousselier M., Bonnefont J.-L., Courties C., Derrien A., Dupray E., Gauthier M., Gourmelon M., Joux F., Lebaron P., Martin Y., Pommepuy M., 1998.** Responses of enteric bacteria to environmental stresses in seawater. *Oceanol. Acta*, 21, 965-981.
- U.N.E.P/I.A.E.,1985 a.** Determination of total chromium in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. (Draft) *Reference methods for marine pollution studies*, UNEP, N°31,13p.
- U.N.E.P/I.A.E.A.,1985 b.** Determination of total copper in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. (Draft) *Reference methods for marine pollution studies*, UNEP, N°33,13p.
- U.N.E.P/I.A.E.A., 1986 a.** Determination of total manganese in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. (Draft) *Reference methods for marine pollution studies*, UNEP, N°38,10p.
- U.N.E.P/I.A.E.A.,1986 b.,** Determination of total zinc in marine sediment by flameless atomic absorption spectrometry. (Draft) *Reference methods for marine pollution studies*, UNEP, N°39, 10p.
- U.S. Congress, Office Of Technology Assesment, 1991.** Bioremediation of Oil Spills – Background Paper, OTA-BP-70 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office).
- Ünlü S., Topçuoğlu S., Alpar B., Kirbaşoğlu C., et Yilmaz, Y., 2008.** Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environ Monit Assess* (2008) 144:169– 178.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2001a).** “Developing a strategy for waterborne microbial disease discussion draft,” Washington, DC. www.epa.gov/waterscience/criteria/microbialdraft.pdf
- Viers J, Dupréa B, Gaillardet J (2009)** Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database. *Sci Total Environ* 407:853–868.
- Volkman J.K., Farrington J.W., Gagosian R.P., and Wakeham S.G., 1981.** Microbial composition of coastal marine sediments from the Peru upwelling region. *Advances in Organic Geochemistry*, 228-240.
- Volkman J.K., Johns R.B., Gillan F.T., Perry G.J., and Bavor H.J.JR., 1980.** Microbial lipids of an intertidal sediment-I. Fatty acids and hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochemica Acta* 44, 1133-1143.
- Wade, T.J., Calderon, R.L., Sams, E., Beach, M., Brenner, K.P., Williams, A.H., Dufour, A.P., 2006.** Rapidly measured indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. *Environ. Health Perspect* 114, 24–28.
- Walker, C.H. (2001).** Organic Pollutants: An Ecotoxicological. Perspective. London: Taylor and Francis. 316p,

Westerholm R.N., Alsberg T.E., Frommelin A.B. and Strandell M.E.,(1988). Effect of fuel polycyclic aromatic contents on the emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagenic substances from a gasoline-fueled automobile. *Environ. Sci. Technol.*, Vol.22, N°8, pp.925-930 (1988).

WHO. World Health Organisation, Geneva, Switzerland (2003). Guidelines for safe recreational water environments, volume 1: *Coastal and freshwaters*: 292 pp.

Wood E. P. K., Amstrong F. A. J. et Richard F. A., 1967. Determination of nitrate in seawater by cadmium-cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Assc. U.K.*, 47: 23-31.

Yentsch C.S., et Menzel D.W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep Sea Res.*, 10: 221-231.

Zwolsman, J. J. G., van Eck, G. T. M., & Burger, G. (1996). Spatial and temporal distribution of trace metals in sediments from the Scheldt Estuary, south-west Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, 55–79.

Annexes

Tableau AN.1. Infrastructures du port d'Alger (Belkessa, 2005).

| Bassins | Superficie | Profondeur (M) |
|----------------|---------------------|-----------------------|
| Vieux port | 74 ha | 7-20m |
| Agha | 35 ha | 6.5-15m |
| Mustapha | 75 ha | 7.11m |
| jetées | Longueur (m) | Total |
| Khereddine | 1290m | 4000m |
| Mustapha | 700m | |
| Vieux port | 900m | |
| Agha | 600m | |
| Butavano | 600m | |
| môles | Postes | Quais (m) |
| 08 môles | 37 | 9655 |

Tableau AN.2: Sources et nature de la pollution industrielle du port d'Alger (Rapport interministériel, 1987).

| Unités industrielles | Origines des principaux effluents | Nature de la pollution | Traitement des rejets | Milieu récepteur |
|-----------------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------------|
| ERENAV | Réparation à flots des navires (soudures,...) | Rejets de Zinc, ... | Aucun | Vieux Port |
| Centrale thermique SONELGAZ | Production de l'énergie électrique de la ville d'Alger (120 Mégawatt) Eaux de refroidissement | Entreposage non conforme des fûts de PVC. Mauvais entretien du système de refroidissement des transformateurs | Neutralisation (FeSO ₄) | Agha |
| NADTAL | Barges de stationnement des pétroliers, Bacs de stockage de fuel, raffinerie | -dégradation avancée de la Plate forme en béton, -fuite de fuel des bacs et des canalisations, -émanation de fumée des cheminées des chaudières | - | Vieux Port et Mustapha |
| SOLOROWA | Production de goudron à base se | Absence de contrôle | - | Mustapha |

Annexe I

| | | | | |
|---|--|--|---------|----------|
| | bitume | de chaudière par un organisme agréé | | |
| ENCG UP 1 -raffinerie -savonnerie | Production de : -l'huile raffinée -savon de ménage | Rejet d'huile, de graisse, d'acide de soude et de différents sels Acide gras | Partiel | Mustapha |
| ENCG UP 5 | Production de : -savon -acide gras -glycérine | Acide gras, traces de glycérine | Partiel | Mustapha |
| Usine flottante | Condensation de ciment | Pollution atmosphérique | Aucun | Mustapha |
| OIAC | Condensation de céréales | Rejets organiques | Aucun | Mustapha |
| SONATRACH | Station d'hydrocarbure | Huiles Hydrocarbures | - | Mustapha |
| NAFETC | Station de déballastage | Huiles Hydrocarbures | - | Mustapha |

A.II. Les protocoles d'analyses

A.II.1. Mode opératoire pour la mesure des (MES)

1/ 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 0.45µm. La membrane est séchée et pesée avant et après filtration. La différence de masse permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant. (Aminot et Chaussepied ,1983).

2/ Matériel utilisé

- Dispositif de filtration sous vide de marque Sartorius.
- Des membranes filtrantes Whattman (Ø=0.45µm).
- Une étuve de marque NEMMERT
- Balance de précision de marque PionnerTM (au 1/10000 g).
- Eprouvette graduée de 250 ml, pinces non oxydables et des boîtes avec couvercles.
- Dessiccateur.

3/ Mode opératoire

Il consiste en trois étapes

a) Préparation des filtres au laboratoire

- Les filtres GF/C sont mis dans l'eau acidulée (HCl à 5%), rincés abondamment à l'eau distillée, puis séchés à l'étuve pendant 24 heures à 70 °C ;
- Placer chaque filtre dans une boîte à filtre préalablement étiquetée, et placer dans un dessiccateur pour refroidir ;
- Peser le filtre pour avoir P1 mg ;
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la poussière.

b) Filtration de l'eau de mer

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration ;
- Mesurer aussitôt le volume à filtrer (VF= 250 ml) ;
- Placer un filtre et le centrer dans le dispositif de filtration ;
- Verser l'échantillon sur le filtre et appliquer le vide et 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;
- Remettre chaque filtre dans sa boîte numérotée ;
- Mettre les boîtes à sécher immédiatement.

c) Séchage et pesée des filtres

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans le couvercle, dans une étuve exempte de poussières à 105°C pendant 2 h ;
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée ;
- Peser chaque filtre P2 mg.

4/ Calculs et expression des résultats

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

$$[\text{MES}] \text{ (mg/L) } = (\text{P2} - \text{P1})/\text{V}$$

[M.E.S] : Concentration de la matière en suspension (mg/L)

P1 : masse du filtre sec avant filtration (mg).

P2 : masse du filtre sec après filtration (mg).

V : Volume d'eau filtrée (litre).

A.II.2. L'analyse de la matière organique particulaire

1/ Principe de la méthode de mesure

Cette mesure consiste à calciner les filtres déjà utilisés pour la mesure de la concentration des matières en suspension. La teneur en matière inorganique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusets avant et après calcination, ainsi la différence de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire.

2/ Calculs et expression des résultats

Le calcul de la concentration en MOP et MIP s'est fait avec les formules suivantes

$$[\text{M.O.P}](\text{mg/L}) = \text{MES} - \text{MIP}$$

$$[\text{M.I.P}](\text{mg/L}) = (\text{P4} - \text{P3}) \times 1000$$

- **M.I.P** : Matière inorganique particulaire;
- **P3** : masse du creuset avec le filtre avant calcination;
- **P4** : masse du creuset avec le filtre après calcination

A.II.3. Dosage de la chlorophylle dans l'eau de mer

1/ Principe de la méthode de mesure

- Dans ce type d'analyse, le travail se fait à l'obscurité.
- Les échantillons d'eau de mer prélevés sont filtrés sur un filtre en fibre de verre Whatman.
- Le filtre est plié sur quatre et enrobé dans du papier aluminium déjà étiqueté et passer au congélateur pour stopper la réaction (le temps de préparer des tubes de centrifugeuses), après le filtre est placé dans un tube contenant 5 mL de méthanol pur ou a d'acétone et on complète jusqu'à 10 mL, après on fait un broyage manuel. Le tube est ensuite bouché et placé dans un réfrigérateur pour une période de 24h.
- Après l'extraction les tubes sont placés dans la centrifugeuse à 4000 tours/min, pendant 10 minutes.
- fluorescence de l'échantillon est mesurée sur le spectrophotomètre fluorescence dans la cellule en quart.

2/ Calculs et expression des résultats

Le calcul de la concentration en chlorophylle s'est fait avec les formules suivantes

$$[\text{Chlorophylle } a] (\text{mg/m}^3) = (26,7 * (\text{Ana665} - \text{Aa665}) * v) / V * l$$

- **V** : volume d'eau filtré (L).
- **v** : volume de solvant d'extraction (mL).
- **l** : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (cm).
- **Ana665** : absorbance corrigée (n.a: non acidifiée).

- **Aa665** : absorbance corrigée (a: acidifiée).
- **26,7** : constante.

A.II.4. Dosage des sels nutritifs

- La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻ et SiO₂) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé, sur l'appareil « **Auto Analyser San Plus** » troisième génération.
- Le principe de dosage des sels nutritifs est basé sur une réaction de coloration. En effet ces sels réagissent dans certaines conditions (T°, 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.

A.II.4.1. Dosage des orthophosphates

1/ Réactifs

a. Solution de molybdate d'ammonium :

- **Produits chimiques exigés**

Tartrate de potassium et d'antimoine

| | |
|---|----------|
| K(SbO)C ₄ H ₄ O ₆ .5H ₂ O..... | 230 mg. |
| Acide sulfurique H ₂ SO ₄ (97%)..... | 69,4 ml. |
| Molybdate d'ammonium(NH ₄ ⁺) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .H ₂ O..... | 6g. |
| Eau distillée H ₂ O..... | 1000 ml. |
| FFD6..... | 2 ml. |

- **Préparation**

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans ± 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° C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution d'acide ascorbique

- **Produits chimiques exigés**

| | |
|---|----------|
| Acide ascorbique C ₆ H ₈ O ₆ | 6g. |
| Acétone C ₃ H ₆ O..... | 60 ml. |
| Eau distillée H ₂ O..... | 1000 ml. |
| FFD6..... | 2 ml. |

- **Préparation**

Dissoudre l'acide ascorbique dans ± 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 H₂O (régénérée chaque semaine).

2/ Préparation des solutions étalons**a. Solution mère de 100 ppm P (*)**

- **Produits chimiques exigés :**

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH₂PO₄.....0,4394 g.

Eau distillée H₂O.....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 PO₄-₃.

A.II.4.2. Dosage des silicates**1/ Réactifs****a. Solution d'acide sulfurique**

- **Produits chimiques exigés :**

Acide sulfurique H₂SO₄ (97 %).....10 ml.

Eau distillée H₂O.....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 (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O.....20g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

- **Préparation**

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans ± 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 C₂H₂O₄.2H₂O.....44g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

- **Préparation**

Dissoudre l'acide oxalique dans ± 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 H₂O.

Note :

Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

2/ Préparation des solutions étalons**a. Solution mère de 100 ppm Si (*)**

- **Produits chimiques exigés :**

Métasilicate de sodium Na₂SiO₃.9H₂O.....1,0119 g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

- **Préparation**

Dissoudre le métasilicate de sodium 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 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.

A.II.4.3. Dosage des nitrites + nitrates**I. Réactifs :****a. Solution tampon :**

Chlorure d'ammonium NH₄Cl50 g.

Solution d'ammonium NH₄OH (25%).....±1 ml.

Hydroxyde de sodium NaOH.....5g.

Eau distillée H₂O.....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 H₃PO₄ (85%).....50 ml.

Sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S.....10 g.

α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆Cl₂N₂.....0,5g.

Eau distillée H₂O.....850 ml.

- **Préparation :**

Diluer l'acide o-phosphorique H₃PO₄ dans ± 750 ml d'eau distillée. Ajouter le Sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S et le α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆Cl₂N₂ 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 H₂O (régénérée chaque semaine).

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

Nitrate de sodium NaNO_30,6068g.
 Eau distillée H_2O1000 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°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_2O600 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.

A.II.5. Dosage des hydrocarbures polycycliques aromatiques

Les échantillons doivent être subir un prétraitement

- **L'extraction liquide - liquide** réalisée par l'hexane. En ajoutant 50 ml de l'hexane, on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter de 2 L, pendant une durée de 20 min environ. A la fin de chaque agitation, on laisse l'eau de mer se décanter pour un quart d'heure.

On récupère la phase organique dans un ballon à cole roder et mettre un peut de Na_2SO_4 pour absorber l'eau qui reste, et mettre ces échantillons au frais.

- **La concentration** de l'extrait d'eau de mer est réalisée dans le but d'éliminer le solvant d'extraction à l'aide d'un évaporateur rotatif. Pour éviter l'évaporation des hydrocarbures aromatiques on concentre nos échantillons jusqu'à un volume de 15 ml
- Ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 ml.
- Après on passe au fractionnement et purification sur colonne ouverte dans cette étape on utilise le gel de silice et l'alumine
- Après on procède à l'Analyse spectrofluorometrie Ultra-Violet (SFUV) qu'est automatisé.

A.III. La composition des milieux de culture utilisés**❖ Gélose Chapman**

| Composition | Quantité (g/L) |
|----------------------------------|-----------------------|
| Hydrolysate tryptique de caséine | 10 |
| Extrait de viande de boeuf | 5 |
| Extrait de levure | 1 |
| Pyruvate de sodium | 10 |
| Chlorure de lithium | 5 |
| Glycocolle | 12 |
| Agar | 20 |

❖ Milieu de Slanetz et Bartley :

| Composition chimique | Quantité (g/l) |
|---|-----------------------|
| Tryptone | 20 |
| Extrait de levure | 5 |
| Glucose | 2 |
| Monohydrophosphate de potassium (K ₂ HPO ₄) | 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.

❖ 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

A.IV. Le dosage des métaux lourds dans les sédiments

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 au moment des prélèvements qu'à celui de l'analyse finale (**Moore et al., 1984**). Pour cela, un soin particulier a été apporté aux prélèvements et aux méthodes de dosage des métaux (**AIEA, 2001 ; Rezzoug, 2000**).

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, 1993**).

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 sélective (**Aded, 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 total adsorbé à la surface des grains par une digestion partielle qui s'effectue généralement avec des acides forts concentrés et des oxydants (HNO_3 , HCl , HClO_4 , KMnO_4) (**Charlou et Joanny, 1983; 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.

La méthode de dosage utilisée est la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

Analyse des hydrocarbures totaux dans les sédiments

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

a) Congélation, lyophilisation, broyage et homogénéisation

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 (Na_2SO_4);
- Ajouter 10 ml d'hexane dans le ballon, agiter puis verser dans le tube précédent couvert du papier aluminium.

d) Purification et analyse.