

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Vulnérable et contamination des eaux de
surface de la mer par les hydrocarbures
dans le port d'Alger**

Présenté par : Djebara Younes

Soutenu le 06/11/2014 devant le jury suivant :

M^{lle} LOUANCHI .F	Professeur (ENSSMAL)	Présidente du jury
M^{me} HOUMA-BACHARI .F	Professeur(ENSSMAL)	Promotrice
M^{me} -HAMDI .S	Docteur(ENSSMAL)	Examinatrice
M^r KADA .M	Docteur(ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2014

Remerciement

Je tiens à remercier Madame HOUMA BACHARI pour m'avoir encadrée pendant ce travail. Je la remercie également de m'avoir donné un sujet de dans lequel j'ai pu me réaliser jour après jour malgré toutes les difficultés rencontrées. Je voudrais aussi la remercier pour ses conseils et ses critiques constructifs

Je tiens également à remercier très chaleureusement les membres de Jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail :

Mademoiselle LOUANCHI qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Et a Madame HAMDI et Monsieur KADA d'avoir accepté d'examiner et juger ce modeste travail.

Je tiens à remercier d'une façon toute particulière mes chers amis (les étudiants de la promo 2014) qui m'ai aidés pendant tout ce travail, je les remercie encore pour ses encouragements et pour le temps précieux qu'ils m'ont consacrés toutes les fois que cela était nécessaire.

Dédicaces

*À mes très, très chers parents, source d'amour
et d'affection ;*

*À mes très chers frères et sœurs, qui comptent
énormément pour moi ;*

À tous mes autres proches exclusivement mes nièces et mes neveux

*À mes chers amis,
à qui je
tiens plus particulièrement ;*

*À toutes les personnes qui m'ont soutenu et
encouragé tout au long de cette année ;*

*Ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent à
l'ENSSMAL et avec qui j'ai passé ces inoubliables années;*

*À vous tous qui m'aimez ;
Je dédie ce travail.*

Younes Djebara

Liste des figures

Figure 1: situation géographique du port d'Alger.....	25
Figure 2: Plan de masse du port d'Alger (EPAL, 2007).	25
Figure 3: Positionnement des stations de prélèvement de l'eau superficielle.....	33
Figure 4: Valises multi paramètres utilisées à bord du bateau pour la mesure des paramètres physico-chimiques.....	34
Figure 5: Dispositif de filtration à bord du navire.....	35
Figure 6: L'appareil SAN PLUS d'analyse des sels nutritifs.....	36
Figure 7: L'appareil Rotavapeur.	38
Figure 8: Procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer.....	39
Figure 9: Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995).....	40
Figure 10 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV	42
Figure 11: Distribution spatial de la température dans le port d'Alger.....	45
Figure 12: Distribution spatial de la salinité dans le port d'Alger.....	45
Figure 13: Distribution spatial du PH dans le port d'Alger.....	45
Figure 14: Distribution spatial de l'oxygène dissous dans le port d'Alger.....	45
Figure 15: Distribution spatial des matières en suspensions dans le port d'Alger.....	46
Figure 16: Distribution spatial des matières organiques particuliers dans le port d'Alger.....	46
Figure 17: Distribution spatial du nitrate dans le port d'Alger.....	47
Figure 18: Distribution spatial du nitrite dans le port d'Alger.....	47
Figure 19: Distribution spatial du l'ammonium dans le port d'Alger.....	48
Figure 20: Distribution spatial du phosphate dans le port d'Alger.....	48
Figure 21: Distribution spatial des hydrocarbures poly aromatiques dans le port d'Alger.....	48

Liste des tableaux

Tableau 1: Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère. 41

Liste des abréviations

API : American Petroleum Institute.

C.N.E.XO : Centre National pour l'Exploitation des Océans.

C.O.I : Commission Océanographique Intergouvernementale.

ENSSMAL : Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.

HPA : Hydrocarbures Poly Aromatiques.

HC : Hydrocarbure.

IAEA: International Atomic Energy Agency (Agence Internationale de l'Energie Atomique).

IRS : Impact Référence System.

LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes.

P.S.U: Pratical Salinity Unit.

S: Station.

SFUV : Spectro Fluorimétrie Ultra-Violet.

SIR : Spectrophotomètre Infra Rouge.

UNEP : United Nations Environment Programme.

Sommaire

Sommaire	6
Introduction	1
Généralités	12
1 Pollution Marine	12
2 Les descripteurs physico-chimiques du milieu marin	12
2.1 Salinité S ‰ ou (P.S.U : Pratical Salinity Unit).....	12
2.2 Température (T).....	12
2.3 Oxygène dissous (OD)	13
2.4 Potentiel d'hydrogène (pH)	13
3 Paramètres indicateurs de la pollution	14
3.1 Matière en suspension (MES).....	14
3.2 Matière organique (MO).....	14
3.3 Analyse des Nutriments	15
4 Pollution de l'environnement marin par les hydrocarbures	16
4.1 Définition des hydrocarbures	16
4.2 Chimie des hydrocarbures.....	17
4.3 Classification des hydrocarbures	17
4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin.....	18
4.5 Propriétés physiques des hydrocarbures	19
4.6 Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	20
Zone d'étude	25
1 Description du port d'Alger	25
1.1 Ouvrages du port.....	26
1.2 Bathymétrie.....	26
1.3 Pollution dans le port d'Alger	27
1.4 Données météorologiques.....	28
1.5 Caractéristiques hydrodynamiques	29
Matériels et méthodes	32
1 Travaux effectués en mer	32

1.1	Choix et localisation des stations de prélèvement.....	32
1.2	Prélèvement d'eau de mer	32
1.2.1	Prélèvement d'eau de mer pour la mesure des paramètres de pollution	32
1.2.2	Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures	34
2	Travaux effectués au laboratoire	34
2.1	Détermination des paramètres de pollution.....	34
2.1.1	Matière en suspension (MES)	34
2.1.2	Détermination de la matière organique particulaire (MOP).....	35
2.1.3	Dosage des sels nutritifs	36
2.1.4	Dosage des hydrocarbures polyaromatiques	37
	Résultats et discussion.....	44
1	Distribution horizontale des paramètres physicochimiques.....	44
1.1	Distribution de la température.....	44
1.2	Distribution de la salinité (PSU).....	44
1.3	Distribution du potentiel d'hydrogène (pH)	44
1.4	Distribution d'Oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%). 44	
2	Distribution horizontale des paramètres particulières.	46
2.1	Distribution des matières en suspension (MES)	46
2.2	Distribution de la matière organique particulaire (MOP)	46
3	Distribution horizontale des sels nutritifs.....	46
3.1	Distribution horizontale des nitrates (NO_3^-)	46
3.2	Distribution horizontale des nitrites (NO_2^-)	47
3.3	Distribution horizontale de l'ammonium (NH_4^+)	47
3.4	Distribution horizontale des phosphates	47
4	Distribution horizontale des hydrocarbures polyaromatiques (HPA).	48
4.1	Hydrocarbures polyaromatiques (HPA)	49
	Conclusion.....	52
	Bibliographie.....	54

Introduction

Introduction

À l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, Le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux. La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible (PAC, 2006), ce qui rend la surveillance et le suivi de la qualité des eaux côtières une nécessité pour réserver cet espace.

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique au niveau du port d'Alger qui demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution par les hydrocarbures.

L'étude des hydrocarbures dans l'environnement marin conduit à une meilleure compréhension de leur comportement, notamment en tant qu'indicateur des sources de pollution (Forstner et Wittman, 1979, in Esseïn et al., 2009 ; Laluraj et Nair, 2006).

Face à cette situation précaire et pour une bonne préservation du milieu récepteur, nous essayons au cours de ce travail, d'apprécier le degré de pollution de l'eau de mer des principaux points du port d'Alger par l'analyse de différents paramètres de pollution.

L'étude présente dont l'objectif est d'estimer le niveau de contamination de l'environnement marin, et plus précisément le port d'Alger.

Une synthèse bibliographique sur les paramètres indicateurs de la pollution, les polluants hydrocarbures s'est avérée nécessaire et par laquelle nous avons entamé ce mémoire.

Ce présent travail est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités, avec une description des paramètres indicateurs de pollution, paramètres physico_chimiques et les polluants organiques et inorganiques analysés dans l'eau et sédiment au niveau du port d'Alger
 - Le deuxième chapitre est consacré à la description du site d'étude (Port d'Alger)
 - Le troisième chapitre traite des moyens matériels utilisés en mer et au laboratoire, et décrit les travaux de conditionnement et d'analyse des échantillons et les méthodes appliquées pour les différentes analyses.
 - Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, leur analyse et leur discussion qui se rapporte à l'impact des différents polluants sur le milieu marin.
- Enfin, une conclusion générale du travail clôture ce mémoire.

Généralités

Généralités

1 Pollution Marine

Selon la convention de **MONTEGO-BAY 1982** des nations unies sur le droit de la mer, Le terme pollution est définie : « introduction directe ou indirecte par l'homme de substances ou d'énergie dans le milieu marin y compris les estuaires, lorsque elle a ou peut avoir des effets nuisible tels que les dommages aux ressources biologiques à la faune et flore marine, risque pour la santé de l'homme, entrave aux activité maritime y compris la pêche et les autres utilisation légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point du vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agréments » (**Revue maritime trimestrielle, 1861**).

Les paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution ont fait objet de notre étude dans le port d'Alger. D'autres polluants organiques et inorganiques sont analysés au niveau des sites d'étude dans le port et cela pour des eaux de différentes qualités.

2 Les descripteurs physico-chimiques du milieu marin

2.1 Salinité S ‰ ou (P.S.U : Pratical Salinity Unit)

La salinité représente " la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iode sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée ». Dans les océans, la salinité est voisine de 35 et décroît de l'équateur aux pôles. Toutefois, certaines mers présentent des salinités assez différentes, par exemple la Méditerranée: 38-39, la mer Rouge: 36-47, la Baltique: < 15, la mer Noire : 18-22 (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de :

- ✓ connaître a circulation océanique,
- ✓ d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes,
- ✓ de suivre leurs mélanges au large, à la côte ou dans les estuaires (**Aminot et Chaussepied, 1983, Rodier, 1997**).

2.2 Température (T)

C'est une caractéristique physique importante, sa mesure est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres comme la saturation et la solubilité des gaz dissous et la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels.

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin, c'est un paramètre très important pour la connaissance des masses d'eaux (surtout en méditerranée, on prend en considération deux courants, méditerranéen et atlantique). Elle joue un rôle très important dans les cycles biologiques (reproduction, maturation, cycle sexuel et migration) et influe sur la répartition des espèces (**Millot, 1987**).

La mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants (**Rodier, 1997**). D'une façon générale la température des eaux superficielles sont influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond.

La température est un paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique (**Aminot et Kérouel, 2004**). Sa mesure d est très utile pour les études limnologiques et du point de vue industriel pour les calculs d'échanges thermiques (**Rodier et**

al, 1996). Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'une élévation de la température (*Gaujous, 1995*).

2.3 Oxygène dissous (OD)

La mesure de l'oxygène dissous intervient dans la plus part des processus biologiques permettant la vie terrestre et marine (*Aminot et Kérouel, 2004*). Selon *Diaz et al. (1995)* considèrent que l'oxygène est la variable environnementale qui a le plus évolué au cours des dernières décennies dans les écosystèmes côtiers.

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. Dans les eaux de surface l'oxygène joue un rôle fondamental dans le maintien de la vie aquatique et dans les phénomènes d'auto-épuration, c'est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau. Le déficit en oxygène est évalué par la teneur en matière oxydable (*Rodier, 2005*).

La concentration d'oxygène dissous dans l'eau résulte de processus physiques, chimiques et biologiques :

- ✓ température, échange air-mer, pression atmosphérique et salinité.
- ✓ échanges à l'interface air-eau (gain ou perte).
- ✓ diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau.
- ✓ photo-oxydation (perte).
- ✓ oxydation chimique (perte).
- ✓ respiration des organismes aquatiques, y compris la minéralisation (perte).
- ✓ nitrification (perte).
- ✓ photosynthèse et régénération.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique. Au niveau de la surface de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O₂ à saturation. L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmentent. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

En l'absence de processus chimiques et biologiques, la concentration de l'oxygène dans l'eau au contact de l'air n'est qu'en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité (*Rodier, 1997; Aminot et Kérouel, 2004*).

2.4 Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. En théorie, le pH est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion H⁺. Le pH dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de CO₂ (Respiration, photosynthèse, échange air- océan) entraînera donc une modification du pH (*Rodier, 2005*).

$$\text{PH} = -\log C_{\text{H}} \dots \dots \dots (1.1)$$

C_{H} : activité de l'ion H^+ .

Le PH de l'eau de mer, voisin de 8,2, est fixé par la présence des carbonates (CO_3^{2-}). La modification des concentrations en (CO_2) (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en (CO_3^{2-}) entraînera une modification du pH (Aminot et Chaussepied, 1983).

La mesure du pH aura deux applications à considérer séparément le suivi de la qualité des eaux et les études thermodynamiques des équilibres chimiques (Aminot et Kérouel, 2004).

3 Paramètres indicateurs de la pollution

3.1 Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension dans les eaux de mer sont des matières minérales ou organiques de dimensions très variables, elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires. Les MES comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à $0.45 \mu\text{m}$ et elles peuvent être un indice de pollution.

Cette pollution particulière est à l'origine de nombreux problèmes comme ceux liés au dépôt de matières, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion, etc.). Leur principal effet est de troubler l'eau, diminuant le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (la photosynthèse). Elles sont transportées au sein de la masse d'eau qu'elle soit douce, marine ou résiduaire.

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 sédimentable, car le devenir de ce deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration.

D'autre part, les particules réduisent la transparence de l'eau de ce fait la production primaire photosynthétique, d'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer. Des teneurs élevées en MES peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent être responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies. Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, et de ce fait être une voie de pénétration de toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme. Selon leur nature, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune (Rodier, 1997).

3.2 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 micro-organismes (bactéries, protozoaires), elle 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 possède une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (Aminot, 2004).

Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulaire dont les proportions et le devenir varient beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre. 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 fait courir 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).

3.3 Analyse des Nutriments

Les éléments nutritifs qui limitent l'activité photosynthétique des organismes photosynthétiques 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, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes).

-Source externe : elle regroupe tous les apports continentaux déversant en mer, qu'ils soient par voie éolienne ou par voie fluviale ;

-Source interne : elle représente l'origine la plus importante, elle est assurée par des flux verticaux et leur régénération à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique (Levitus et al, 1993).

Ainsi par les excréments des microorganismes marins libèrent une certaine forme de sels nutritifs.

La production primaire des eaux de surface est basée sur les sels nutritifs et la lumière, ainsi ils reflètent la richesse et la fertilité des eaux marines. Ce sont donc des traceurs chimiques non conservatifs et leur variation est gouvernée par les facteurs physiques, chimiques et biologiques (Jacques et Tréguer, 1986). Pour cela ils forment un outil très important pour la caractérisation et l'identification des masses d'eau et la compréhension de certains phénomènes océaniques : circulation des eaux, production primaire marine, diffusion des sédiments marins.

▪ L'Azote moléculaire

Prélevé de l'atmosphère, il constitue un élément essentiel des structures vivantes. Selon son degré d'oxydation, il existe sous trois formes : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) ammonium (NH_4^+), et de composés organiques tels que l'urée ou les acides aminés. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (Jaquet, 2008; Copin-Montégut, 1996; Hutchinson, 1957).

➤ L'ammonium (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 (Aminot et Chausse-Pied, 1983). 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**).

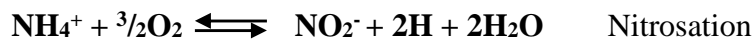
➤ **Les nitrates (NO₃⁻)**

Les nitrates sont une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse et elles sont la forme la plus répandue dans l'océan (65% du stock de l'azote). Leur concentration varie entre 0 µmole/l à la surface et à plus de 45 µmole/l dans les eaux profondes. Mais dans les estuaires, lorsque la salinité décroît par l'effet des apports terrigènes, leur concentration peut atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. Les nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (nitrobacter) lors de la réaction de nitratisation. Elles entrent dans le cycle de l'azote comme support principale de la croissance phytoplanctonique. (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**).

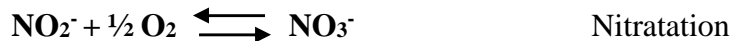
➤ **Les nitrites (NO₂⁻)**

Etant dans le cycle de l'azote, un ion en état transitoire au même titre que l'ammonium, expliquant ainsi les faibles concentrations rencontrées en milieu marin qui sont de l'ordre de zéro à quelques micromoles par litres d'azote nitreux. Les concentrations des nitrites connaissent des variations saisonnières, qui varient en hiver entre 0.5 et 1 µmol/l et atteignent des valeurs très faibles en été (< à 0,01µmol/l) suite au développement du phytoplancton. (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**). Les nitrites proviennent des deux réactions suivantes :

✓ 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:



➤ **Les phosphates (PO₄³⁻)**

Dans l'eau de mer, le phosphore existe sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire. Les Orthophosphates présentent la forme la plus abondante PO₄³⁻ (10 %) et HPO₄⁻ (90%) et (1%) de H₂PO₄ (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**). A l'état d'équilibre, elles se trouvent avec des teneurs assez faibles en surface (0 à 1 µmol/l) à cause de leur consommation par le phytoplancton (bloom printanier) (**Copin-Montégut, 1996**), et ces teneurs augmentent avec la profondeur au-dessous de la couche euphotique pour atteindre un maximum qui correspond au minimum de l'oxygène dissous, avec une légère fluctuation selon la région océanique.

4 Pollution de l'environnement marin par les hydrocarbures

Les hydrocarbures (pétrole et ses dérivés) représentent la plus importante source de pollution des eaux marines. Cette pollution résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis: carburants et lubrifiants.

4.1 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés chimiques formés essentiellement de carbone et d'hydrogène (d'où leur nom) et dont l'importance économique et politique n'a cessé de croître avec le développement relativement récent des produits pétroliers. Ils sont essentiellement utilisés comme carburants, combustibles et bases pour la fabrication des huiles lubrifiantes. Ils constituent aussi la matière première des synthèses pétrochimiques. (**Lefebvre, 1978**).

4.2 Chimie des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Un atome de carbone a une valence de 4. Il peut être relié à quatre atomes d'hydrogènes ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples. Les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres composants minoritaires qui sont complexes (résines et asphaltènes) qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (**Fattal, 2008**).

Ces corps sont appelés aussi carbures d'hydrogène. En effet, pour $n < 5$, ces corps sont gazeux ; liquides si n est compris entre 5-12 ; et solides pour $n > 12$.

Selon la manière dont les atomes de carbones sont liés les uns aux autres, on distingue deux types d'hydrocarbures : les saturés et les insaturés.

a. Les hydrocarbures saturés : dans les quels toutes les liaisons C-C sont des liaisons simples résultant de la mise en commun de deux électrons (-C : C-). On les appelle saturés car ils ne peuvent pas fixer d'éléments supplémentaires à ceux qui constituent leur molécule.

b. Les hydrocarbures insaturés : dans lesquels une ou plusieurs liaisons C-C sont des liaisons multiples, résultant de la mise en commun de quatre ou de six électrons, ils peuvent fixer certains éléments grâce aux électrons supplémentaires de leurs liaisons multiples (**Lefebvre, 1978**).

4.3 Classification des hydrocarbures

Il existe plusieurs familles :

- **Aliphatiques** : Alcanes, oléfines (alcènes, alcynes)
- **Naphténiques** : Cyclopentane, cyclohexane
- **Aromatiques**
- **Asphaltènes et résines**

a. Les alcanes (ou paraffines)-aliphatiques :

Les alcanes sont des hydrocarbures légers, aliphatiques, saturés (c'est-à-dire que toutes les liaisons des différents atomes sont utilisées par des atomes d'hydrogène), à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). On les appelle aussi paraffines. Ces alcanes représentent environ 30 % du poids des pétroles bruts.

b. Les cycloalcanes (naphtènes ou cycloparaffines)-aliphatiques

Les cycloalcanes sont aussi des hydrocarbures saturés avec des cycles. Ils ont un cycle constitué de six atomes de carbone formant une chaîne carbonée fermée. Cette catégorie est représentée par des composés qui contiennent de 1 à 6 cycles, qui en plus peuvent être ramifiés.

Les hydrocarbures naphténiques représentent en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts (**Marchand et Kantin, 1995**). Peu toxiques, ils subsistent plus longtemps que les alcanes dans le milieu.

c. Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques comprennent des composés qui sont insaturés (au moins deux atomes de carbone voisins au sein de la molécule sont reliés entre eux par une double liaison) dont la molécule contient de 1 à 6 cycles benzéniques. Un cycle benzénique est constitué par six atomes de carbone, chacun relié à l'un de ses voisins par une double liaison et un atome d'hydrogène (C₆H₆). Les hydrocarbures aromatiques de base sont le benzène qui comprend un anneau aromatique à six atomes de carbone (un cycle aromatique), le naphthalène (deux cycles), le chrysène et le pyrène (quatre cycles). Les hydrocarbures aromatiques polyaromatiques (HPA) forment généralement 40 % (entre 15 et 40 %) des pétroles bruts .

d. Les asphaltènes et les résines

• Les asphaltènes

Ce sont des composés stables de très haut poids moléculaire, qui en plus des atomes de carbone et d'hydrogène contiennent des hétéroatomes d'azote, de soufre ou d'oxygène, ainsi que d'autres composants à l'état de trace tels que le nickel et le vanadium (**Marchand, 1998**). Certains pétroles ont dès l'origine une concentration élevée en asphaltènes (jusqu'à 50% de leur poids).

Cette teneur tend à augmenter lors du séjour d pétrole dans le milieu marin en raison de l'évaporation des fractions légères ainsi que des phénomènes d'oxydation. En matière de pollution marine, la concentration en asphaltènes détermine les propriétés chimiques du pétrole en influant directement sur la viscosité, l'adhérence ou la mise en émulsion.

• Les résines

Ce sont riches en carbone, composées d'enchevêtrements de plus de six molécules de type benzénique. Ce groupe de composés très stables est généralement le plus persistant sur les littoraux car ils forment des goudrons.

4.4 Sources des hydrocarbures dans le milieu marin

a. Sources naturelles : représentent toutes les hydrocarbures biogéniques produits par les organismes marins, ainsi que ceux qui proviennent de suintements naturels à partir des fissures du plateau continental et les divers déversements continentaux (végétaux, feu de forêt) ces sources sont la plus grande partie des hydrocarbures qui pénètrent dans la mer de manière relativement discrète, dispersés sur de vastes étendues par les fleuves et les rivières ou par voie atmosphériques (**Lacaze, 1980**).

b. Sources anthropogéniques : Elles sont liées aux activités humaines, on estime qu'environ six millions de tonnes d'hydrocarbures sont annuellement déversés dans le milieu océanique (**Lacaze, 1980**). Parmi ces sources on trouve :

- Fuites lors de forages offshore.
- Les naufrages des pétroliers.
- La part due au transport maritime (chargement, déchargement,...).
- Les accidents pétroliers.

- Les activités industrielles.
- Les rejets d'eaux chargées en hydrocarbures résiduels.

4.5 Propriétés physiques des hydrocarbures

L'étude des propriétés physiques des hydrocarbures permet de distinguer les différents composés hydrocarbonés des pétroles bruts ou raffinés (Fingas et al, 1979 in Fattal, 2008).

a. État naturel

Dans la nature, les hydrocarbures se présentent le plus souvent sous la forme d'un liquide que l'on appelle le pétrole brut. Il existe cependant des gisements d'hydrocarbures gazeux, et plus exceptionnellement des gisements d'hydrocarbures solides sous forme de sables ou de schistes bitumeux (Lescole ,2002).

b. La densité

C'est un facteur qui détermine la flottabilité, elle est déterminée par les grosses molécules de carbone qui y sont présentes et elle se mesure en Kilogramme par mètre cube ou en degré sur l'échelle d'American Petroleum Institut (API) (Ait Abbas et Lauani, 2002). Les paraffiniques ont tendance à rester en surface, alors que les naphthènes ou les asphaltènes, plus lourds, peuvent couler. La plupart des pétroles déversés accidentellement ont des densités comprises entre 0,8 et 1 et par en voie de conséquence flottent. Dès que le poids moléculaire augmente (entre 1et 1,25), le pétrole coule jusqu'à une profondeur où la densité des hydrocarbures est égale à celle de l'eau. Plusieurs facteurs contribuent à modifier la densité comme le poids moléculaire, la température, l'évaporation, ou l'association avec d'autres particules (Fattal, 2008).

c. La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement des molécules les unes contre les autres et elle dépend du pourcentage d'hydrocarbures légers. Elle est représentée par la résistance à l'écoulement et elle est exprimée en centistokes (cSt- viscosité cinétique) pour une température donnée. La vitesse d'étalement d'une nappe d'hydrocarbures puis le degré de pénétration dans les sédiments lors qu'elle arrive à la cote est régit par cette propriété. En effet, plus un hydrocarbure est visqueux, moins il pénètre le sédiment (Owens, 1994 in Fattal, 2008).

La viscosité diminue lorsque la température augmente et elle s'accroît par évaporation des composés volatils, par l'oxydation photochimique et surtout par formation d'émulsions inverses qui modifient le comportement initial du produit (Fattal, 2008).

d. Le point d'écoulement

Température au-dessous de laquelle le produit ne s'écoule plus. La majorité des hydrocarbures a un point d'écoulement inférieur à 0°C. En dessous de ce seuil de température, l'hydrocarbure se fige.

Le point d'écoulement est lié corrélativement à la teneur en alcanes (paraffine) et plus le pourcentage en paraffine augmente, plus la température du point d'écoulement augmente (<5% pour des températures <5°C ; <15% pour des températures 20°C).

Dans le cas de pollution marine, ce point d'écoulement est un facteur important, tant à la cote qu'en mer, car selon l'exposition, la température ou les saisons, il peut varier (Fattal, 2008).

e. Le point éclair

Le point éclair est la plus basse température à laquelle les fractions d'hydrocarbures s'enflamment lorsqu'elles sont soumises à une étincelle (Fattal, 2008).

f. Le point d'ébullition

Chaque fraction d'hydrocarbures a une température d'évaporation. Les fractions légères s'évaporent à des températures, relativement basses, inférieures à 20°C. A contrario, il faut des températures de plus de 100°C pour évaporer les hydrocarbures lourds (Fattal, 2008).

Cette température augmente avec leur nombre d'atome de carbone. Ceci résulte de l'augmentation des attractions entre molécules, lorsque la longueur de la chaîne augmente.

L'introduction de ramifications sur la chaîne principale diminue cette température (Belabes, 1999).

g. La tension superficielle

La tension superficielle dépend de la température et permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbures. Plus la température augmente, plus la tension superficielle diminue et plus la vitesse d'étalement est importante. Dans ce cas, de vastes surfaces sont touchées par l'étalement (Fattal, 2008).

h. Tension de vapeur

Les vapeurs d'hydrocarbures exercent dans une enceinte fermée, une pression déterminée et constante pour chaque température. C'est ce qu'on appelle « Tension de vapeur ». Elle augmente rapidement avec la température. Lorsque la température est stable, l'évaporation de liquide cesse dès que la tension de vapeur est atteinte (Lescole, 2002).

i. Solubilité

Les hydrocarbures aromatiques sont les plus solubles, ce qui accentue leur toxicité (Lacaze, 1980 in Ait Abbas et Lauani, 2002).

4.6 Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

Au cours d'un versement de pétrole dans l'environnement marin, la plupart des composants pétroliers se répandent immédiatement en une couche mince, continue et très dispersée à l'interface atmosphère-océan, et ceci en raison de la pesanteur et de la tension superficielle associées au mouvement des vagues, au vent et aux courants. Pendant la formation de ces films ou de ces nappes à l'interface atmosphère-océan, les pétroles bruts tendent à subir une dispersion, une sédimentation et une émulsification en « mousses au chocolat ». Il s'agit des premières étapes de la dégradation. Durant ces dernières années, la communauté scientifique a accordé une attention accrue à ce phénomène d'altération (Laseter, 1981).

Selon **Raoul-Duval et al (2005)**, on peut classer ces processus en deux classes : processus d'évolution à court et moyen terme, et processus d'évolution à long terme.

- **Les processus à court et moyen terme** : vont débiter dès le déversement du pétrole et ne dure qu'une pendant une courte période.

- **Les processus d'évolution à long terme** : le pétrole déversé commence à subir d'autres transformations physiques et modifications chimiques qui vont durer dans le temps, pour aboutir, à terme, à sa disparition complète (**Raoul-Duval et al, 2005**).

a. Evaporation

Ce phénomène touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température,...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone, qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (**Soltani, 2004**).

Le taux d'évaporation dépend en premier lieu de la volatilité des différentes fractions de l'hydrocarbure mais également d'autres facteurs, tels que la quantité déversée, les températures de l'eau et de l'air, l'agitation du plan d'eau, le vent et le taux d'étalement de la nappe (**Le CEDRE, 2009**).

b. Sédimentation

La sédimentation est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Elle se réalise lorsque la densité de l'hydrocarbure dépasse celle de l'eau. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradable par voie naturelle (**in Koroghli, 2010**).

c. Solubilisation :

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau de mer est très faible. Elle augmente dans l'eau avec la polarité des composés, donc quand sa masse moléculaire est faible (**Hamlili, 2005**). Il est importants de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (**Le CEDRE, 2009**).

d. Émulsification

Deux types d'émulsions peuvent se former : eau-dans-huile appelée "mousse chocolat" et huile-dans-eau. Elle dépend de type d'hydrocarbures et de l'état de la mer. En effet, pour que l'émulsion se fasse, il faut un brassage des hydrocarbures mais, si celui-ci devient trop important on assisterait à une dispersion parce que les émulsions deviennent instables (**In Abderrahmani, 2011**). Les émulsions eau-dans-huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaires. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages, alors que les émulsions huile dans- eau conduisent à la dispersion dans la colonne d'eau et facilitent l'élimination des hydrocarbures (**Soltani, 2004**).

e. Dispersion

Les vagues et les remous à la surface de la mer agissent sur la nappe en formant des gouttelettes de différentes tailles. Les plus petites restent en suspension dans la colonne d'eau, les autres se collent à d'autres gouttelettes ou s'étalent en fine couche (**Le CEDRE, 2009**).

f. Photo-oxydation

Elle est observée au niveau de la surface de l'eau où l'air (oxygène) et la lumière (radiations solaires) sont présents pour la transformation des hydrocarbures (**Payne et Philips, 1985**). Un des facteurs de ce processus est l'insolation car elle casse les liaisons moléculaires, entraînant la formation de molécules oxygénées de radical carbonyle (CO) et /ou de radical hydroxyle (OH) (**Fattal, 2008**).

L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés. Ainsi, elle touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les n-alcanes. La photo-oxydation conduit à la formation de composés solubles dans l'eau (acides, alcools, cétones, peroxydes et sulfoxides) et certains travaux de recherche ont montré leur toxicité pour les communautés microbiennes alors que **Rontani et al (1987, 1992)**, ont montré l'existence d'interactions entre la photo-oxydation et la biodégradation pour l'élimination des alkyl benzènes et de l'anthracène. L'action simultanée de ces deux phénomènes permet une élimination plus rapide de ces deux familles de composés (**Soltani, 2004**).

g. La biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement marin. Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries. La biodégradation des hydrocarbures par les microorganismes appelés hydrocarbonoclastes a été mise en évidence dès **1946 par Zobell**. Depuis cette date le nombre d'espèces bactériennes identifiées possédant cette propriété n'a cessé d'augmenter. En se basant sur la fréquence d'isolement, les genres bactériens prédominants sont Pseudomonas, Acinetobacter, Alcaligènes, Vibro, Flavobacterium, Achromobacter, Micrococcus, Corynebacteria, et Nocardia.

L'activité humaine, au travers des multiples sources de pollution et par la mondialisation des déplacements, favorise l'apparition de nouvelles souches aptes à la dégradation des hydrocarbures. Ainsi, même si les conditions de température, aération, PH, toxicité ou nutriments sont défavorables, une dépollution intrinsèque reste possible avec une efficacité amoindrie.

La capacité de se développer sur les hydrocarbures ne se limite pas uniquement aux bactéries, certains sites contaminés contiennent également de nombreux champignons et levures capables de les dégrader. Signalons enfin que certaines micro-algues sont capables d'attaquer les hydrocarbures, citons l'exemple de *Protatheca zopfii* qui dégrade 40 % du pétrole brut.

Cependant parmi les microorganismes aptes à se développer sur les hydrocarbures, les bactéries restent qualitativement et quantitativement prépondérantes pour métaboliser ces substrats (Soltani, 2004).

- Les capacités de dégradation en milieu marin

Il est bien connu que la sensibilité vis-à-vis de la biodégradation varie beaucoup d'un hydrocarbure à l'autre. Dans le cas d'un pétrole brut, on peut faire la classification suivante en terme de sensibilité décroissante : n-alcanes > iso-alcanes peu substitués > aromatiques de faible poids moléculaire > alcanes cycliques, les plus faibles vitesses de biodégradation, étant observées avec les aromatiques de haut poids moléculaire et les composés polaires du pétrole (asphaltènes et les résines).

La grande règle générale que l'on peut donner avec les pétroles bruts est que les huiles contenant une forte proportion d'asphaltènes, de résines et des hydrocarbures polyaromatiques se dégradent moins bien que celles qui contiennent une forte proportion de composés saturés et de hydrocarbures polyaromatiques (Vandecasteele, 2005).

- Pénétration des hydrocarbures dans la chaîne alimentaire

Les hydrocarbures sont assimilés en quantité très faible sur les premiers niveaux trophiques, puis progressivement concentrés à chaque niveau, les composés pétroliers sont transmis en dose finalement importante à l'alimentation des espèces supérieures. C'est par des apports nutritionnels que les produits polluants peuvent atteindre l'homme, dernier maillon de la chaîne alimentaire (Carsin, 1998 in El Khil, 2003). Ces hydrocarbures sont absorbés directement par les organismes vivants ou par l'intermédiaire d'une alimentation contaminée. Après ingestion, ils peuvent être stockés, métabolisés ou excrétés (Ramade, 1995 in Ait Abbas et Lauani, 2002). En effet, les hydrocarbures aromatiques et paraffiniques seront dégradés par les poissons et par certains invertébrés marins tels que les copépodes en s'accumulant généralement dans les zones riches en lipides endogènes (in Ait Abbas et Lauani, 2002).

La capture d'hydrocarbures par les phytoplanctons tels que *Chaetoceros Simplex Calcitrans* est souvent suivie d'une dégradation rapide. Par contre, chez certaines espèces, l'élimination de ces composés organiques est impossible (In Ait Abbas et Lauani, 2002).

Zone d'étude

Zone d'étude

1 Description du port d'Alger

Le port d'Alger est situé à l'Ouest de la baie d'Alger ayant comme coordonnées : 03°02' de longitude Est et 36°50' de latitude Nord (**Figure 1**).

Le port d'Alger couvre un plan d'eau de 179 ha pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de 11m (**Figure 2**). L'accès au port s'effectue par 2 entrées, **la passe Nord est large de 176m** avec une profondeur de 22m, **la passe Sud de 240 m de largeur** et une profondeur de 16m.



Figure 1: situation géographique du port d'Alger

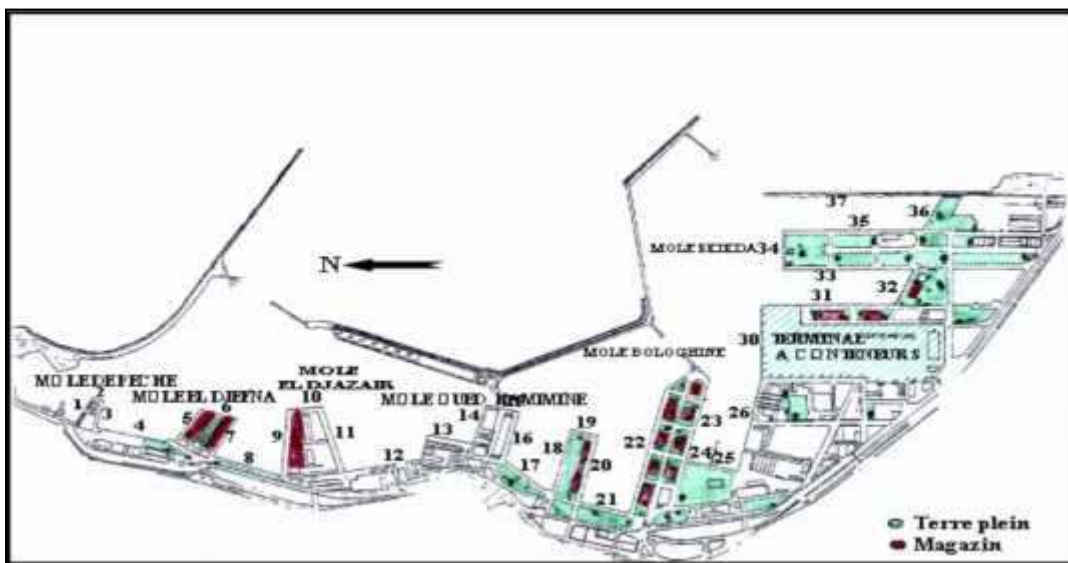


Figure 2: Plan de masse du port d'Alger ([EPAL, 2007](#)).

1.1 Ouvrages du port

Le port est constitué de 3 trois grands bassins avec des profondeurs allant de 7m à 20m :

- **Bassin du Vieux Port** : communique avec le large par une passe dite passe Nord. Il est délimité par la jetée du Vieux Port au Nord et la jetée Kheir-Eddine à l'Est. Il comporte quatre (04) môles et trois (03) quais (sur 300 m).
- **Bassin de l'Agha** : situé entre le bassin de Mustapha et du Vieux Port, il est protégé par la jetée du même nom. Il communique avec le bassin du Vieux Port par la passe du Vieux Port et représente la partie centrale du port avec trois môles (3, 4 et 5), il est destiné aux navires marchands avec des entrepôts couverts ou non couverts de quai (2700 m de quai).
- **Bassin de Mustapha** : communique avec le large par une passe dite « passe Sud » et avec le bassin de l'Agha par la passe Mustapha ; il est délimité par la jetée de Mustapha et le brise lames-Est. Il possède deux môles (6 et 7) ainsi qu'un port pétrolier au quai 37 et l'implantation d'importantes unités industrielles et aussi une intense activité portuaire.

La longueur totale des jetées est de 4000m avec la jetée Khereddine 1290 m, Mustapha 700m, vieux port 900m, Agha 600m et Butavano 600m. Les quais occupent une linéaire de 9655 m où sont implantés 8 môles avec 37 postes.

1.2 Bathymétrie

▪ Bassin du vieux port

Les profondeurs dans ce bassin varient entre -2m et -19m, les plus faibles d'entre elles sont relevées le long de la jetée du vieux port, et au niveau de la capitainerie (-2m). Ces profondeurs évoluent suivant un gradient croissant à partir du môle Al Djefna et du môle El Djazaïr avec une pente relativement douce allant jusqu'à (-19m) au niveau de la passe Nord, qui sert d'accès aux navires à grand tirant d'eau.

Les profondeurs moyennes varient de -12m à -17m.

▪ Bassin Agha

Les profondeurs varient entre -12m et -5m, les plus importantes sont situées à l'intérieur du bassin entre -10m et -12m et diminuent progressivement en allant vers les darses et la jetée Agha jusqu'à -9m.

▪ Bassin Mustapha

Les profondeurs dans le bassin Mustapha sont comprises entre -2m et -16m. L'essentiel des profondeurs est compris entre -11m et -15 m.

Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de -6m à -14m à partir du brise-lames Est jusqu'à la passe Sud, où elles sont plus importantes (-16m au niveau du chenal de navigation).

Le long de la jetée Mustapha, les isobathes sont serrées (-14m à -2m); quant à l'intérieur du bassin, les profondeurs varient peu de -11m à -15m.

Notons la présence d'un haut fond à -5.7m à l'intérieur de la darse III ainsi qu'une irrégularité des profondeurs qui est probablement due aux plusieurs travaux de dragages entrepris dans cette darse.

Le port d'Alger est constitué de trois bassins dont la bathymétrie est plus au moins différente avec un maximum de profondeur dans le bassin du vieux port et le bassin Mustapha. Le bassin Agha est le moins profond.

1.3 Pollution dans le port d'Alger

Les ports, milieux semi fermés, constituent un réceptacle naturel des eaux usées des villes et agglomérations côtières attenantes. Les ports de la côte algérienne n'échappent pas à cette règle; le port d'Alger reçoit une grande partie des eaux usées de la ville d'Alger, également les eaux usées découlant des activités propres à un port et les eaux usées de la zone industrielle portuaire. Ces apports d'eaux usées générant des perturbations en milieu marin, font du port d'Alger un milieu perturbé.

Le port d'Alger est un vaste complexe portuaire en communication avec les eaux de la baie d'Alger grâce à deux passes: la passe Nord et la passe Sud. Ces passes permettent une certaine circulation des eaux entre le port et la baie, et de ce fait un renouvellement des masses d'eaux portuaires.

Le port d'Alger se compose de trois bassins :

- le bassin du Vieux Port, en relation avec la baie par la passe Nord. Il abrite toutes les activités de pêche et certaines activités commerciales;
- le bassin de l'Agha, le plus petit, comporte deux darses. Il est en communication avec les bassins du Vieux Port et de Mustapha. Ce bassin est essentiellement à vocation commerciale, à signaler également la présence d'un chantier naval important au niveau de ce bassin;
- le bassin de Mustapha, le plus vaste, se compose de quatre darses. Il communique avec la baie par la passe Sud. Outre les activités spécifiques à un port, le bassin de Mustapha possède un certain nombre d'unités industrielles principalement: une centrale thermique, trois unités de production de corps gras (huilerie, savonnerie), unité de production et un dépôt de bitume, un dépôt de produits pétroliers, une unité de chargement et déchargement des hydrocarbures, des silos à blé, une unité de cimenterie flottante.

La grande majorité des eaux usées de la ville d'Alger et les eaux usées des industries portuaires sont rejetées directement dans le port. Les eaux usées industrielles portuaires renferment des déchets provenant de l'industrie des corps gras et des silos à blé, des hydrocarbures résultant de l'activité des unités de transformation, transport et stockage des hydrocarbures, des produits chimiques divers (peintures, métaux lourds, produits anti-fouling) provenant de différentes industries (chantier naval, aires de stockage, centrale thermique).

Le nombre des rejets d'eaux usées dans le port d'Alger est de 26, inégalement répartis selon les bassins. Dans le bassin du Vieux Port débouchent six émissaires principaux qui drainent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement; à ces rejets, il faut rajouter les huit rejets d'eaux usées domestiques de très moindre importance localisés au niveau de la darse de l'Amirauté. Cinq rejets d'eaux usées domestiques et d'eaux pluviales se déversent dans le bassin de l'Agha. C'est dans le bassin de Mustapha que le nombre des rejets est maximal, quinze au total. Ces rejets sont par le volume des eaux usées drainées, les plus importants du port d'Alger. Les eaux usées rejetées sont de nature diverse: eaux usées domestiques, eaux usées industrielles eaux pluviales.

Les eaux usées industrielles proviennent des savonneries et des huileries (unités des corps gras), des industries ou des activités pétrolières (produits raffinés, pétrole brut, goudron,

bitume), des aires de stockage (hydrocarbures, bitumes, blé); la centrale thermique rejette dans le milieu portuaire des eaux usées chaudes et chlorées c'est à dire de l'eau de mer ayant servie comme eau de refroidissement. Ainsi le bassin de Mustapha est celui où le volume des eaux usées et la charge polluante de ces eaux sont au maximum.

Le port d'Alger, milieu semi fermé, reçoit des quantités importantes d'eaux usées domestiques et industrielles, estimées entre 500.000 et 700.000 m³/jour. Ces eaux usées sont en général très riches en matières organiques. Le port d'Alger se présente comme un écosystème enrichi artificiellement en matières organiques, d'où une hypertrophisation du milieu. Cet enrichissement en matières organiques dégradables de la colonne d'eau et du sédiment génère des perturbations ayant pour conséquence la modification des facteurs physico-chimiques des masses d'eau, des caractéristiques des sédiments et de l'interface eau-sédiment (PAC, 2006).

1.4 Données météorologiques

La région d'Alger est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche avec une saison relativement pluvieuse, froide et humide.

L'étude climatique (précipitations, régime saisonnier et température), a concerné des données climatiques des sept stations météorologiques.

A. Précipitations

La région d'Alger est bien arrosée où la moyenne annuelle des précipitations est de 732,83 mm à Bouzaréah observatoire, 769,63 mm à El Biar, 725,90 mm à Alger université, 738,90 mm à Birmouradrais, 772,90 mm à Bouzaréah sémaphore, 585,6 mm à Alger port et 621,54mm à Dar El Beida.

Les chiffres montrent une irrégularité des pluies moyennes mensuelles, où nous remarquons une période pluvieuse s'étalant généralement d'octobre à Avril, dont le maximum de pluies se situe au mois de décembre et novembre. Par ailleurs, la période de faible pluviosité s'étale de juin à août avec un minimum enregistré au mois de juillet.

B. Températures

L'analyse des données de l'Office National de Météorologie (ONM) des températures de l'air pendant 10 ans (1995 à 2004) pour la station de Dar El Beida et pendant trois ans pour la station du port d'Alger enregistrent les moyennes mensuelles et annuelles enregistrent dans La température moyenne maximale (26 à 27°C), pour les deux stations est enregistrée durant la période estivale (mois d'août) et la température moyenne minimale (11 à 14°C) est relevée au mois de Février.

C. Vents

Le vent est la composante horizontale du déplacement d'une masse d'air par rapport au sol.

Le port se situant au pied du massif de Bouzaréah, les vents de direction Nord-Ouest, Ouest et Sud-Ouest ne l'affecteront pas ; quant aux vents de direction Nord, Nord-Est et Est, ils arrivent sans atténuation sur les ouvrages portuaires.

En absence de mesures de vent au niveau du site d'étude, nous avons utilisé les mesures relevées par l'U.S Naval Weather Service (USNWS) au large d'Alger sur la période de 1963 à 1970.

Nous relevons annuellement quatre directions qui dominent : Ouest, Est, Nord-Est et Sud-Ouest.

1.5 Caractéristiques hydrodynamiques

A. La houle

Les houles se présentent comme une oscillation simplifiée et périodique du plan d'eau, elles résultent de la propagation du champ de vagues.

La houle a été définie par **Guilscher en 1979** comme un système de vagues plus ou moins régulier, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

Ce phénomène des houles s'observe pendant la période hivernale où un déferlement continu est entraîné par les tempêtes qui engendrent des érosions importantes.

Les données de houle ont été déduites à partir de 23.000 observations faites au large de la baie d'Alger par **l'Institut Météorologique Royal Néerlandais (I.M.R.N.)** sur une période allant de 1961 à 1970 et de 1971 à 1980.

45.000 autres observations ont été enregistrées durant la période de 1963 à 1970 pour **l'U.S Naval Weather Command (U.S.N.W.C.)**

L'analyse de ces données montre que les houles de direction Ouest et Nord-Est sont les plus fréquentes avec 25,1% et 18,3% respectivement.

Les périodes ont des valeurs moyennes qui varient de 8 à 9 S, allant jusqu'à 13 S lors des grandes tempêtes. Les longueurs d'ondes sont respectivement de 70 à 150 m (amplitude moyenne de 0,5 à 1 m) (**Le Claire, 1972**).

B. Corrélation entre houles et vents

La corrélation entre houles et vents établie par **Ferrag et Heddad (1993)** a permis de mettre en valeur les vents générant le maximum de houles ; pour la station d'Alger, la tranche de vitesse de vent comprise entre 4 et 21 nœuds génère un maximum de houles.

C. Les courants

La circulation des eaux marines sur les côtes algériennes résulte du passage des eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar. Ces eaux atlantiques modifiées sont introduites dans la baie par le courant algérien décrit par **Millot (1985)** ; c'est un écoulement lent le long des côtes et orienté Ouest-Est, induisant des contres courants au niveau de chaque baie et golf rencontré.

Dans la baie existe d'autres courants qui atteignent le port, ce sont :

- **Le courant de dérive littorale** : Les houles à incidences obliques sont les génératrices de ce courant, mais ils n'affectent le port que si les houles sont de direction Nord ou Nord-Est.
- **Le courant de retour** : Résulte d'un écoulement des eaux superficielles poussées par le fond. Ce courant est induit par des houles d'incidences frontales ; leurs vitesses sont suffisantes pour éroder le fond et transporter les particules mises en suspension dans l'eau, vers le large. Il est ainsi responsable d'une grande partie de l'érosion côtière, et de l'amaigrissement des jetées portuaires.

Le port d'Alger est également affecté par le phénomène des seiches qui sont des oscillations de longues périodes pouvant atteindre 3 mn. Ces seiches sont le résultat du groupement des houles hors de leur propagation du large jusqu'au musoir du port.

D. Circulation des eaux dans le port

La circulation des eaux portuaires a été établie par **Rebzani-Zahaf (1990)**, il apparaît sur le schéma des circulations, des entrées d'eaux dans l'enceinte portuaire qui viennent de la baie, et se localisent au niveau des passes Nord et Sud du port. Les eaux circulent dans les bassins du Nord vers le Sud et vice-versa, mais une circulation plus intense se présente dans les bassins du Vieux port, contrairement aux deux autres bassins (Mustapha et Agha).

Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

1 Travaux effectués en mer

1.1 Choix et localisation des stations de prélèvement

Dans le cadre de l'évaluation du degré de contamination du port d'Alger par les hydrocarbures poly aromatiques, nous avons réalisé plusieurs prélèvements dans différentes stations. Les analyses ont aussi concerné les différents paramètres physico-chimiques et les indicateurs de la pollution.

Les prélèvements ont été effectués à travers de deux missions en mer à bord du navire Scientifique M. S BENYAHIA, équipé d'un échosondeur Furuno type FCV 120 et d'un G.P.S (GLOBAL POSITION SYSTEM), permettant d'avoir la profondeur maximale du fond et les coordonnées géographiques exactes des stations de prélèvement.

Lors de ces deux missions, nous avons couvert la totalité du port d'Alger. 17 échantillons ont été prélevés pour l'étude de la pollution de l'eau du port d'Alger.

Du 10 au 25 Janvier 2011, où nous avons effectué un total de 17 prélèvements d'eau de mer pour l'analyse des hydrocarbures et les différents paramètres physico-chimiques. Les stations de prélèvement sont réparties sur l'ensemble des bassins du port afin de couvrir et de représenter la totalité de la zone d'étude.

1.2 Prélèvement d'eau de mer

1.2.1 Prélèvement d'eau de mer pour la mesure des paramètres de pollution

Pour la mesure des paramètres physico-chimiques, les sels nutritifs, des échantillons d'eau de mer sont prélevés au moyen des bouteilles en verre stérilisées.

Pour chaque station, un flacon de 125 ml est rempli pour l'analyse de sels nutritifs, un flacon de 250 ml pour la matière en suspension (MES). Tous les flacons de prélèvement sont ensuite conservés pour une ultérieure analyse au laboratoire. Un étiquetage précis est élaboré pour toutes les stations étudiées.

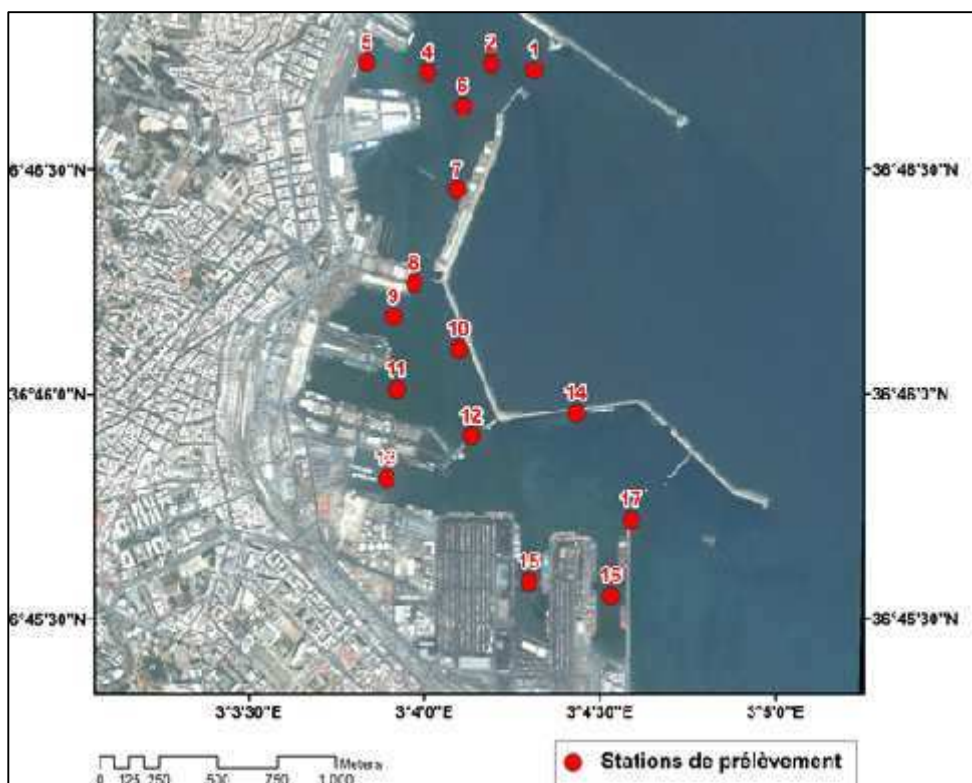


Figure 3: Positionnement des stations de prélèvement de l'eau superficielle

A. Mesures in situ (Paramètres physico-chimiques)

1. Mesure de la salinité

La mesure de la salinité est effectuée à l'aide d'un conductimètre marque Wissenschaftlich technische werkstätten (WTW 315 i /Set.). La sonde de conductimètre est plongée dans l'échantillon, la valeur indiquée sur l'afficheur est notée. La salinité s'affiche par une unité de (‰) .

2. Mesure du potentiel d'hydrogène

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque « WTW type pH 315 i/Set ». L'appareil est étalonné avant chaque série de mesure avec des solutions étalon à pH de 4 ; 7 et 9. L'électrode en verre, rincée à chaque fois à l'eau distillée et légèrement essuyée, est immédiatement plongée dans le flacon d'échantillon.

3. Mesure d'oxygène dissous

La mesure de la température, de l'oxygène dissous a été effectuée in situ par la méthode électrochimique. L'appareil utilisé est un oxymètre de type valise multi paramètre multiline WTW à calibration et compensation automatiques, muni d'une sonde électrolytique que l'on plonge dans l'eau de mer prélevée. La valeur de l'oxygène dissous s'affiche en mg/l avec une précision de ± 0.1 %.

4. Mesure de la température

Pour la température, tous les appareils de mesures utilisés (conductimètre, oxymètre et pH-mètre) donnent la température en °C. Nous avons noté qu'il n'y avait pas de différence entre les résultats des différents appareils.



Figure 4: Valises multi paramètres utilisées à bord du bateau pour la mesure des paramètres physico-chimiques.

1.2.2 Prélèvement d'eau de mer pour le dosage des hydrocarbures

Les prélèvements d'eau 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.

2 Travaux effectués au laboratoire

2.1 Détermination des paramètres de pollution

2.1.1 Matière en suspension (MES)

Un volume d'échantillon (250 ml) est filtré sur un filtre Wattman de porosité $0,45\mu\text{m}$. Le poids des matières retenues est déterminé par pesée différentielle du filtre après passage à l'étuve à 105°C pendant 2 heures. Et pour cette mesure nous avons utilisé :

- Dispositif de filtration de type MILLIPORE® (bouteille de filtration, pompe sous vide).
- Membranes filtrantes Wattman ($\text{Ø} = 0,45\mu\text{m}$).
- Etuve de type WTB BINDER, à 65°C .
- Balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au $1/10000\text{ g}$).

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

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (\text{P2} - \text{P1}) \times 1000 / \text{V}_F \dots\dots\dots (3.1)$$

P1 : Poids du filtre avant filtration (g).

P2 : Poids du filtre après la filtration (g).

V_F : Volume d'eau filtrée en litres (l).



Figure 5: Dispositif de filtration à bord du navire.

2.1.2 Détermination de la matière organique particulaire (MOP)

- **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 creusés 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 CARBOLITE de type CWF 1200, Creusés en porcelaine et un balance de précision de type Denver Instrument M- 220 D (au 1/10000 g).

- **Mode opératoire**

Les filtres issus de la mesure de la concentration en matière en suspension, sont conservés afin de déterminer la charge des eaux en matière organique particulière 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 donne le poids de la matière organique brûlée.

- **Calculs et expression des résultats**

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

$$[\text{M.I.P.}] \text{ (mg/l)} = (\text{P4} - \text{P3}) \times 1000 \dots\dots\dots (3.2)$$

P3 : Poids du creusé avec le filtre avant calcination ;

P4 : Poids du creusé avec le filtre après calcination.

Et la concentration de matière organique particulière est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{M.O.P}](\text{mg/l}) = \text{MES} - \text{MIP} \dots\dots\dots (3.3)$$

2.1.3 Dosage des sels nutritifs

- **Principe de dosage des sels nutritifs**

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, ortho phosphates) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde ().

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 5



Figure 6: L'appareil SAN PLUS d'analyse des sels nutritifs

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

$$\mathbf{A = D.O. = \log (I_0/I) = \epsilon \cdot l \cdot C \dots\dots\dots (3.4)}$$

I₀ et **I** : sont respectivement les intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant.

ε : le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde.

l : la longueur du milieu traversé exprimé en cm.

C : concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

A : absorbance de la solution.

D.O : densité optique de la solution.

✓ Analyse automatique des sels nutritifs

Dosage des nitrites

Les nitrites (NO_2^-) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide $\text{pH} < 2$. Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethyléthyldiamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (**Benschneider et Robinson, 1952**).

Dosage des nitrates

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (**Wood et al, 1967**).

Les nitrites (en réalité $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Il suffira alors d'en déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier et al. 1996**).

Dosage de l'Azote ammoniacal

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

Dosage des orthophosphates

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40° C (bain-marie), les ions ortho phosphates (PO_4^{3-}) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

- **Etalonnage**

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

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

2.1.4 Dosage des hydrocarbures polyaromatiques

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

A. Extraction

La procédure d'extraction est celle décrit 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 à la phase, 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 2 l, 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).

B. Concentration

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). 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 bar. Il subit ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 ml.



Figure 7: L'appareil Rotavapeur.

C. Purification

La purification de l'extrait d'eau de mer est généralement réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte de 10 mm de diamètre pour la rétention des composés polaires (les lipides). Cette purification est généralement nécessaire lors de l'utilisation du tétrachlorure de carbone (CCl_4) comme solvant de l'extraction.

Les différentes étapes de prétraitements et de traitements sont résumées dans le diagramme suivant :

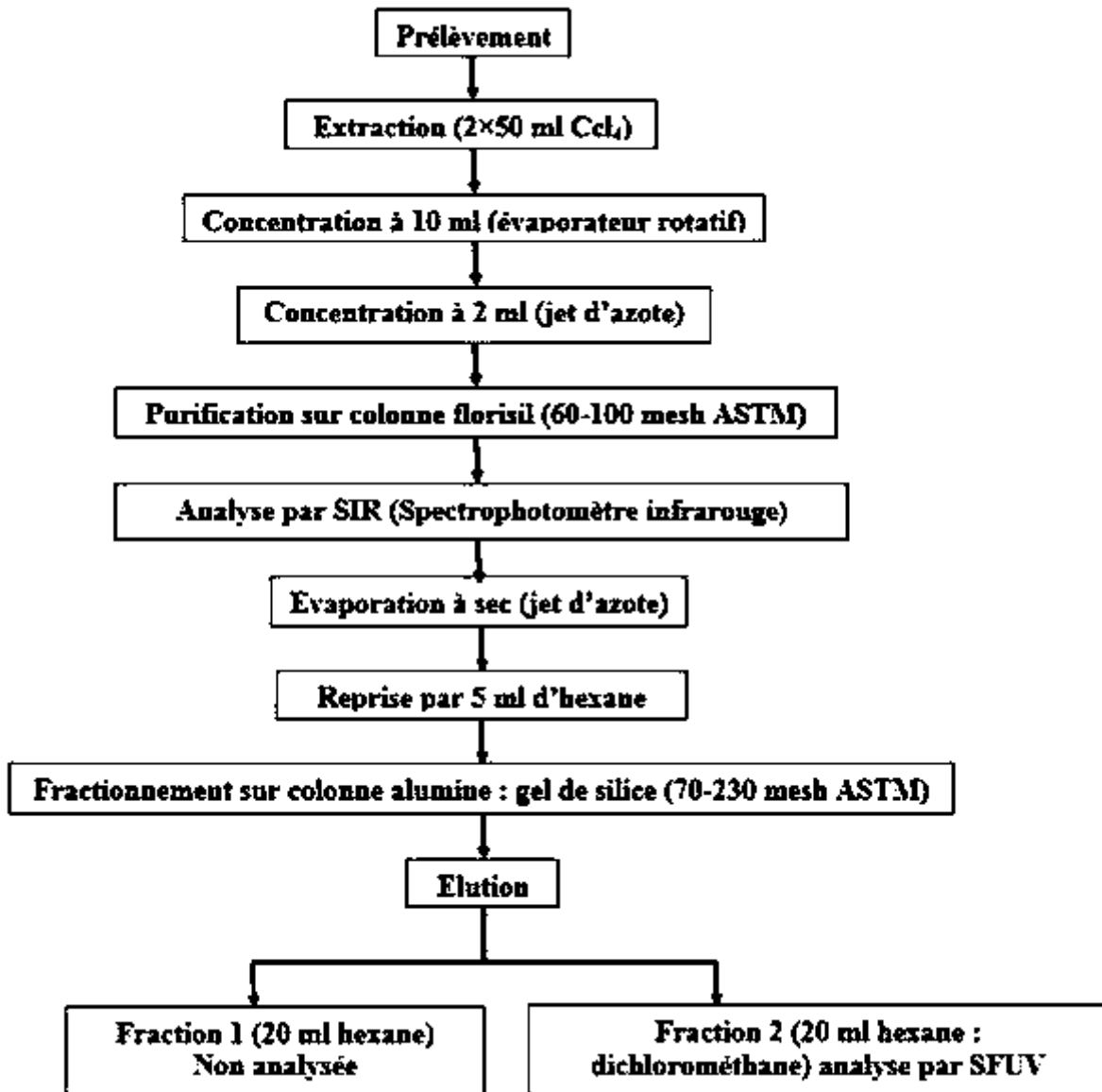


Figure 8: Procédure analytique des hydrocarbures pour l'eau de mer.

- **Conditions ambiantes**

Pour l'analyse des polluants étudiés, une contamination infime ou une mauvaise conservation peut provoquer la modification des échantillons. De ce fait, les mesures d'hygiène doivent scrupuleusement être respectées.

Pour éviter toute source de contamination, un très grand soin est pris lors de lavage des accessoires de manipulation touchant directement ou indirectement nos échantillons.

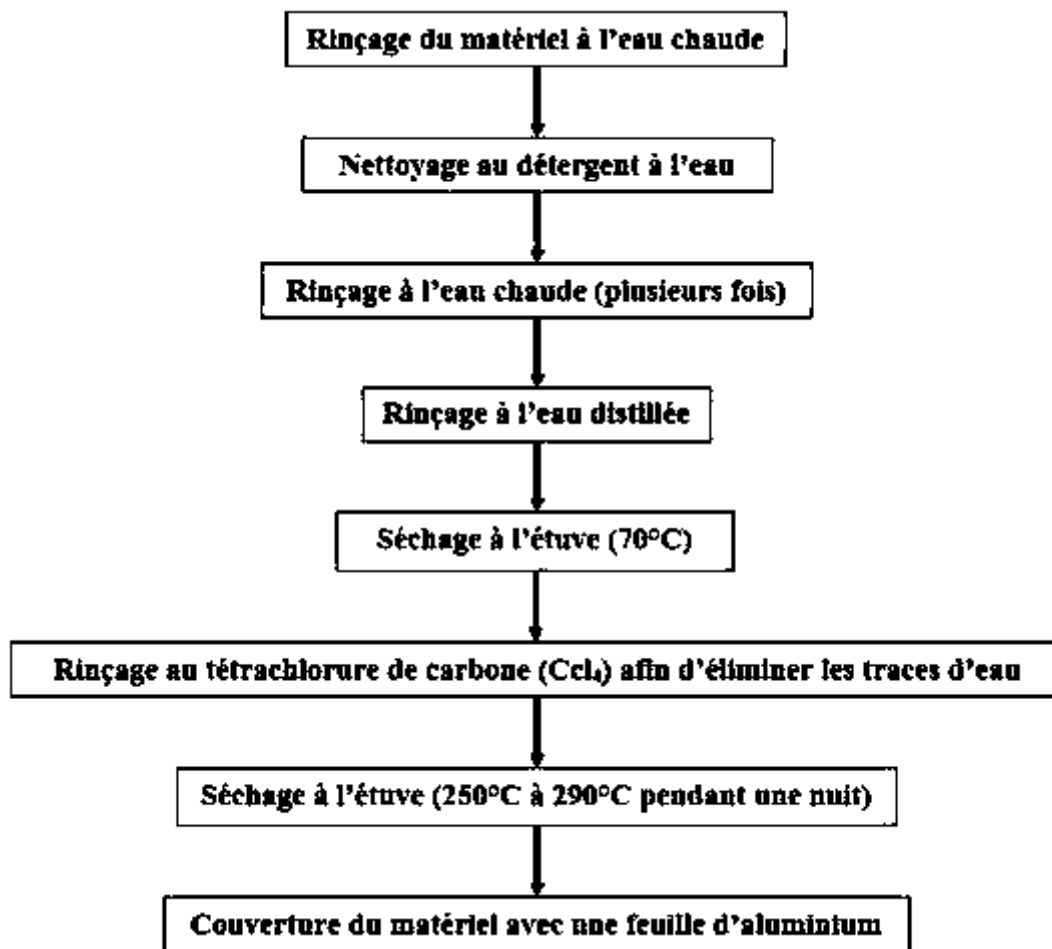


Figure 9: Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995).

A. Analyse des hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

✓ Appareillage analytique

Les hydrocarbures polyaromatiques sont analysés avec un Spectrofluorimètre ultra-violet (SFUV) : HITACHI modèle 650-10 high sensitivity, équipé d'une lampe à xénon avec des fentes de 1,5 nm à 20 nm et un balayage allant de 220 à 830 nm.

✓ Etalonnage préparation des standards

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 soit de 10mg/50ml ou bien de 200 μ g/ml. 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 μ g/ml. A partir de cette seconde solution, des dilutions sont réalisées pour aboutir aux cinq solutions filles ou gamme étalon présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1: Concentrations des différents standards préparés à partir de la solution mère.

Code standard	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Concentration en µg/ml	0.1	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.

Le blanc de procédure

Le blanc analytique provient impérativement des réactifs utilisés, en particulier des solvants. Pour le déterminer, on prend le même volume de solvant (n-hexane) que l'on a utilisé pour l'extraction d'un échantillon et on lui fait subir exactement le même traitement (à partir de l'étape de purification sur florisol). Dans ce cas, une purification et un fractionnement à blanc sont réalisés.

Mesure des intensités de fluorescence

Les concentrations des hydrocarbures poly aromatiques sont déterminées à partir de courbe étalon. Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes :

- L'analyse de l'échantillon nécessite une longueur d'onde d'excitation 310 nm.
- L'émission de fluorescence est mesurée entre 310 et 500nm pour des longueurs d'ondes d'émission fixées à 360 nm, 380nm et 410 nm avec un pic d'absorption maximale à 360 nm pour les hydrocarbures aromatiques polynucléaires.
- L'ouverture des fentes d'excitation et d'émission est respectivement égale à 2 nm et 5 nm.

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 pour chaque longueur d'onde d'émission $\lambda=360$ nm, $\lambda=380$ nm, $\lambda= 410$ nm à partir des données de lecture correspondant aux 3 longueurs d'onde précisées.

Les droites d'étalonnage ont la forme suivante :

$$IF = a C + b \dots\dots\dots (3.5)$$

IF : intensité de fluorescence en unité arbitraire U.A

C : concentration en hydrocarbures polyaromatiques HPA (en µg/ml)

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

Les meilleures réponses sont obtenues pour 360 nm. Les calculs sont effectués en fonction de cette réponse.

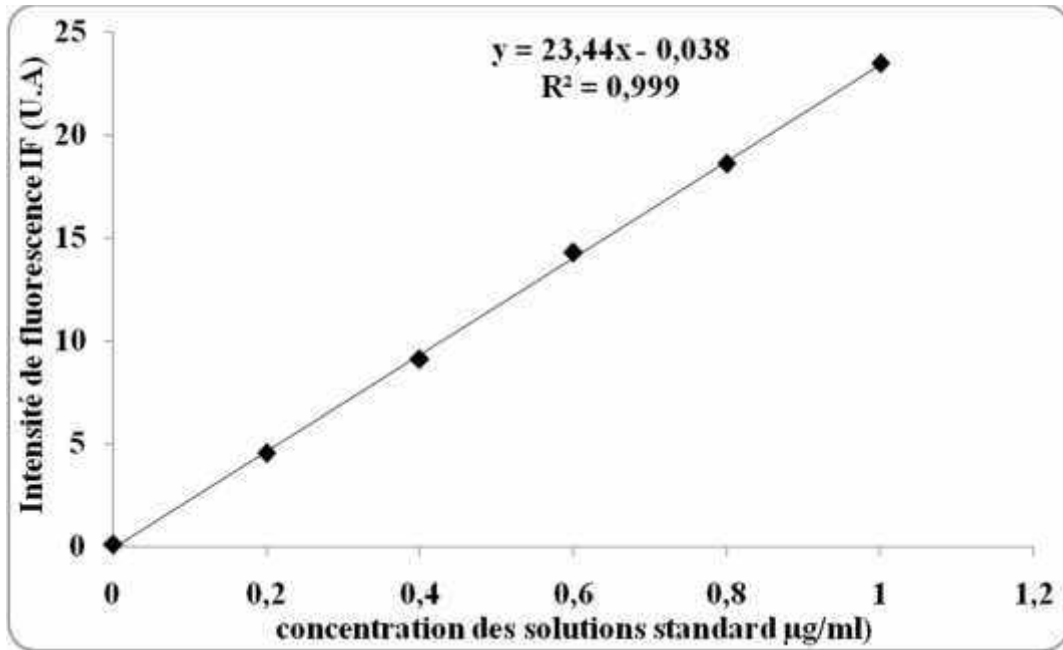


Figure 10 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des HPA par SFUV

Les concentrations des hydrocarbures poly aromatiques sont déterminées à partir de ce courbe étalon.

Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polyaromatiques

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

$$[\text{HPA}] \text{ é. finale} = ([\text{C}]_{\text{éch}} - [\text{C}]_{\text{blanc}}) f \times (v/V) \dots\dots\dots (3.6)$$

$[\text{HPA}] \text{ e. finale}$: concentration des hydrocarbures poly aromatiques dans l'échantillon d'eau de mer ($\mu\text{g/l}$).

En équivalent Chrysène.

$[\text{C}]_{\text{éch}}$: concentration des HPA dans l'extrait « courbe d'étalonnage » ($\mu\text{g/l}$).

$[\text{C}]_{\text{blanc}}$: concentration du blanc ($\mu\text{g/l}$).

v : volume de l'extrait pour l'eau : ($v = 5 \text{ ml}$).

V : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (2.5 l).

f : facteur de dilution.

Résultats et discussions

Résultats et discussion

1 Distribution horizontale des paramètres physicochimiques.

1.1 Distribution de la température

Les valeurs relatives de la température au niveau du port et durant la période d'étude sont incluses dans l'intervalle de (14,1 – 19,1) avec une moyenne de $14,6 \pm 1,3$ °C. La valeur maximale est enregistrée dans le bassin d'Agha à la station 8 avec une valeur de 19,1 °C.

Les valeurs observées sont assez homogènes caractéristiques de la période d'échantillonnage.

La distribution est assez homogène avec quelques noyaux qui renseignent sur la température de l'eau. Au passe du vieux port, un noyau d'eau reliée avec des températures les plus élevées (**Figure 11**).

1.2 Distribution de la salinité (PSU)

Les valeurs de la salinité varient entre une valeur maximale de 36,5 PSU et une valeur minimale de 33,2 PSU avec une moyenne de $35,8 \pm 0,9$ PSU.

La quinzième station relève la salinité maximale et la valeur minimale est enregistrée au niveau des stations 4 et 11.

La salinité des eaux du port varie entre 33,2 PSU et 36,5 PSU, pendant la période hivernale. Les plus faibles valeurs sont situées au passe du Vieux port avec des isohalins inférieurs à 35,40 PSU et à la darse 8 avec de valeurs inférieures à 34,80 PSU (**Figure 12**).

1.3 Distribution du potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du potentiel d'hydrogène sont comprises entre une valeur maximale de 8,24 et l'autre minimale de 8,05; avec une moyenne $8,17 \pm 0,06$.

Le pH de l'eau de mer du port d'Alger, voisin de 8.2, indique que les zones sont conformes aux normes algériennes 2006, limitées entre 6,5 à 8,5. Les valeurs du pH se situent dans la bonne gamme d'activité des micro-organismes et favorisent aisément un traitement biologique, la variation entre les stations est faible.

La distribution horizontale du pH dans les eaux du port d'Alger (**Figure 13**) montre que les fortes valeurs se localisent dans le bassin du vieux port, et les faibles valeurs sont remarquées au niveau du bassin Mustapha

1.4 Distribution d'Oxygène dissous (mg/l) et son pourcentage de saturation (%)

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux superficielles du port d'Alger varient entre 4,65 mg/l (valeur minimale), et 8,09 (mg/l) (teneur maximal), avec une moyenne de 6,33 mg/l et un écart type de 1,00. Ces valeurs correspondent aux valeurs suivantes de saturation de 48,6% et 78,6% avec une moyenne de $63,6 \pm 8,7\%$.

Les distributions horizontales de l'oxygène dissous et le pourcentage d'oxygène dans le port d'Alger (**Figure 14**) montrent que les concentrations maximales sont observées dans le bassin du vieux port, ces fortes valeurs peuvent être expliquées par l'activité photosynthétique importante qui produit de l'oxygène.

2 Distribution horizontale des paramètres particuliers.

2.1 Distribution des matières en suspension (MES)

La répartition des MES dans la mer dépend des propriétés physico-chimiques et des hydrodynamiques. La concentration des particules solides en suspension des eaux du port d'Alger présente une variation plus ou moins important. En effet, les teneurs minimales sont enregistrées au bassin d'Agha jusqu'à la darse 6 du bassin de Mustapha couvrant les stations (8, 9, 10, 11, 12 et 13) (**figure 15**). Les fortes valeurs en matières solides peuvent être dues au phénomène hydrodynamique et une remise en suspension des sédiments.

2.2 Distribution de la matière organique particulaire (MOP)

La distribution spatiale des concentrations en matière organique particulaire suit celle de la distribution des teneurs de matières en suspensions.

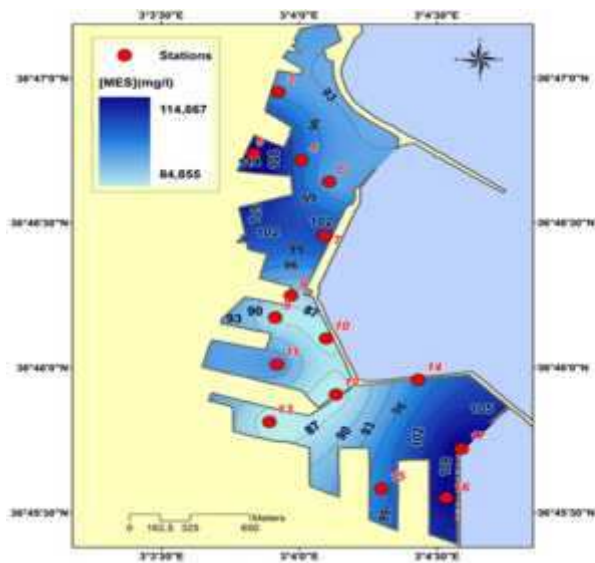


Figure 15 : Distribution spatiale des matières en suspension dans le port d'Alger

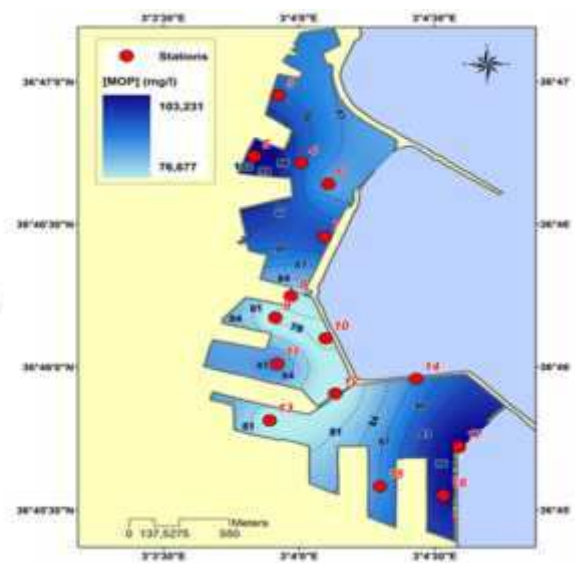


Figure 16 : Distribution spatiale de la matière organique particulaire dans le port d'Alger

3 Distribution horizontale des sels nutritifs.

Dans le port d'Alger, le comportement des sels nutritifs ne peut être expliqué que par l'influence des paramètres suivants : les apports continentaux et l'activité biologique (recouvrant à la fois la consommation par le phytoplancton et la régénération par les microorganismes qui est responsables de la dégradation de la matière organique. ([Margalef et al ,1979](#); [Aminot et al., 1997](#); [Bonnet et al ,2008](#)).

3.1 Distribution horizontale des nitrates (NO_3^-)

Les valeurs de la concentration des nitrates dans les eaux du port d'Alger varient entre un minimum de $10,06 \mu\text{mol/l}$ (station 16) et un maximum de $19,16 \mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 11, avec une moyenne et un écart type de $15,48 \mu\text{mol/l}$ et $2,72$ respectivement.

La distribution horizontale des nitrates dans les eaux du port d'Alger montre des concentrations élevées qui peuvent provenir soit de la dégradation et l'oxydation de la matière organique ainsi que les rejets urbains (**Figure 17**).

3.2 Distribution horizontale des nitrites (NO_2^-)

Les valeurs en nitrites varient de $1,06 \mu\text{mol/l}$ au niveau des stations 5, 13 à une valeur de $1,64 \mu\text{mol/l}$ au niveau de la station 16 avec une moyenne de $1,29 \mu\text{mol/l}$ et un écart type de $0,22$.

Les concentrations des nitrites lors de la première campagne sur toute la surface du port d'Alger montrent des teneurs plus ou moins significatives, certainement originaires de la dégradation d'une manière importante de la matière organique où se déversent des rejets d'eau usée urbaine (**Figure 18**).

3.3 Distribution horizontale de l'ammonium (NH_4^+)

Les valeurs de l'ammonium sont comprises entre $1,81 \mu\text{mol/l}$ (station 4) et de $4,58 \mu\text{mol/l}$ au niveau de la station portuaire 15, avec une moyenne de $2,94 \mu\text{mol/l}$ et un écart type de $0,79$.

De fortes concentrations en NH_4^+ sont enregistrées dans le port d'Alger et peuvent être dues aux différents rejets déversés au niveau des bassins du port ainsi qu'au large de la baie. La répartition spatiale lors de la période hivernale montre une croissance de la concentration de NH_4^+ du passe Nord vers la passe Sud (**Figure 19**).

3.4 Distribution horizontale des phosphates

Les résultats obtenus pour les phosphates dans cette étude montrent une large gamme de concentration de $0,93 \mu\text{mol/l}$ (station 3) à $5,70 \mu\text{mol/l}$ (station 8) avec une moyenne de $2,46 \mu\text{mol/l}$ et un écart type de $1,51$.

Les phosphates se comportent comme traceur des apports continentaux ([Aminot et al , 1977](#)) enrichis en P par les lessives ménagères ([Héral et al , 1983](#)) mais également le phosphore peut être issu du recyclage de la matière organique par minéralisation et les différents processus biologiques.

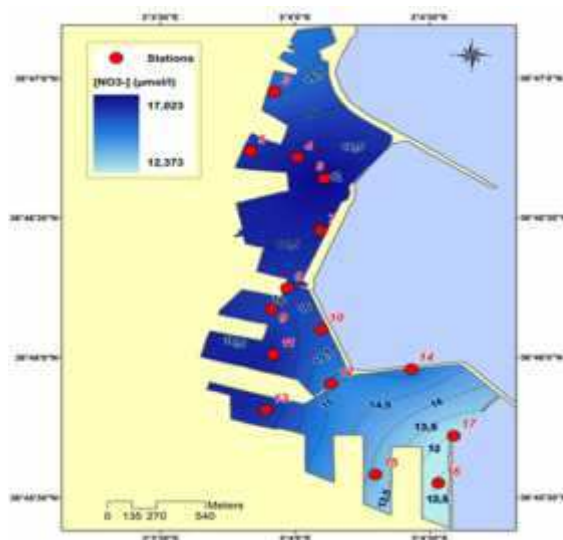


Figure 17 : Distribution spatiale des nitrates dans le port d'Alger

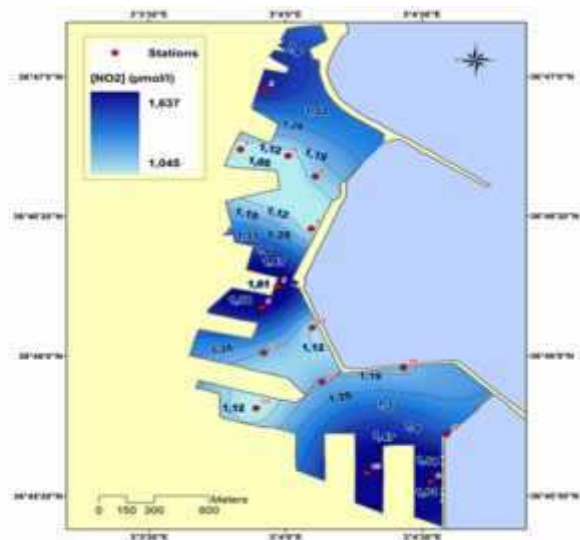


Figure 18 : Distribution spatiale des nitrites dans le port d'Alger

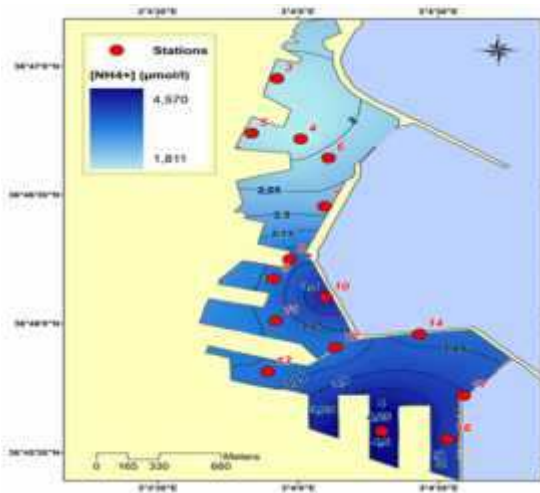


Figure 19 : Distribution spatiale de l'ammonium dans le port d'Alger

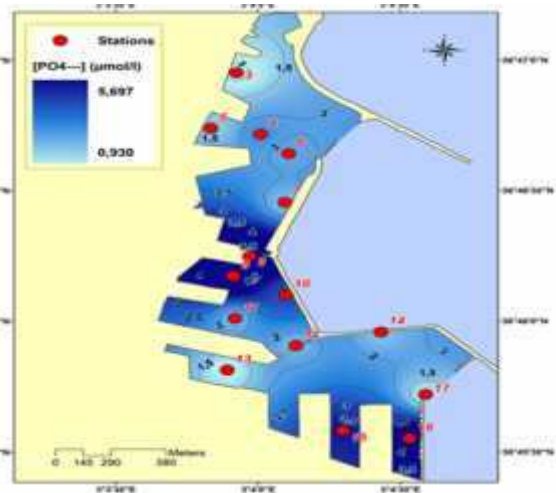


Figure 20 : Distribution spatiale du phosphate dans le port d'Alger

4 Distribution horizontale des hydrocarbures polyaromatiques (HPA).

Le port d'Alger présente des concentrations en hydrocarbures polyaromatiques lors de la première campagne comprises entre 0,11µg/l (station 11) à 4,19 µg/l (station 12) avec une valeur moyenne de 1,81 µg/l et un écart type de 1,79.

Les teneurs des échantillons indiquent que la distribution spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de surface est très variable et hétérogène. Les concentrations les plus élevées se localisent au centre du bassin du vieux port, elles sont observées à la station 7, à proximité de la station de déballastage (NAFETEC) et station 5 entre le môle Djefna et djazair. Nous remarquons que les concentrations les plus élevées sont trouvées aussi au niveau de la passe de Mustapha proche de la station NAFTAL.

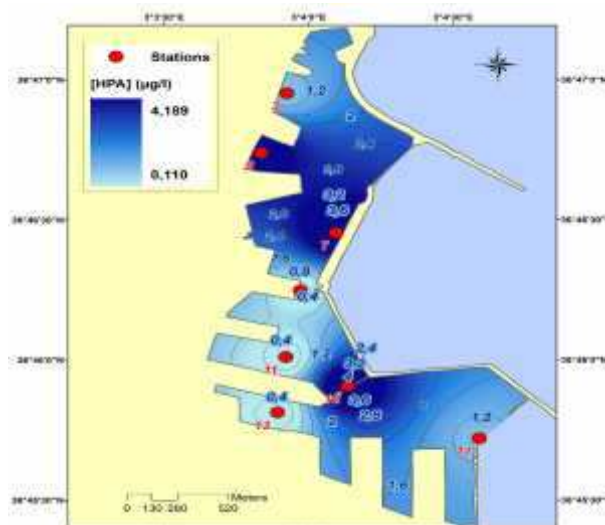


Figure 21: Distribution spatiale des hydrocarbures polyaromatiques dans l'eau de mer du port d'Alger

4.1 Hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

Les résultats obtenus pour les hydrocarbures offrent une image de la qualité de l'eau de mer. La distribution spatiale permet un découpage sectoriel en fonction des lignes isoconcentriques à faibles ou à fortes teneurs.

L'hétérogénéité de la distribution des hydrocarbures poly aromatiques dans l'eau de surface de cette région a permis d'identifier des zones particulièrement contaminées par ces polluants organiques.

Les fortes valeurs retrouvées s'expliqueraient par le fait que cette région est étroitement liée au trafic maritime. En effet, celui-ci est essentiellement pétrolier avec 97% de pétrole brut en 2001 (**Ministère des transports, 2001**).

La variabilité des concentrations en hydrocarbures poly aromatiques dans l'eau de mer semble étroitement liée à l'hydrodynamisme de la région. Cependant, le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants (**Lacaze, 1980**).

En effet, les vents dominants pendant la période des prélèvements (vents de saison) étaient de direction est à Nord-est. Ces vents peuvent ramener en surface, des hydrocarbures, rejetés par les navires d'où l'implication directe du trafic maritime dans la contamination de l'eau de mer du port d'Alger.

Le non fonctionnement de la station de déballastage favorise des contaminations de tous genres, particulièrement la pollution par les hydrocarbures. Dans ce cas, les eaux de nettoyage des soutes, de vidange et de déballastage sont directement rejetées dans cette région. La variation des concentrations en hydrocarbures serait aussi dépendante de la circulation des embarcations et des remorqueurs à l'intérieur du port.

Selon **Berné et Cordonnier (1991)**, les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent de 25% à 33% de la capacité utile.

L'enrichissement du milieu marin en hydrocarbures poly aromatiques est encore lié à la combustion partielle de la matière organique. Les hydrocarbures poly aromatiques néoformés s'incorporent à l'eau de mer à travers les processus fluviaux et éoliens (**U.N.E.P/L.O.C/I.A.E.A,1992**). Selon **Grimalt et al.,(1988)**, les hydrocarbures poly aromatiques rejetés en mer ouverte sont encore attribués aux apports atmosphériques. En effet, l'atmosphère joue un rôle prépondérant dans l'apport des hydrocarbures poly aromatiques à la mer (**Broman et al, 1991**). Ces composés sont, en premier lieu, émis sous forme gazeuse. Cette étape est suivie par une condensation sur des particules submicroscopiques. Par la suite, les hydrocarbures poly aromatiques rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau.

Les sources potentielles de pollution par les hydrocarbures poly aromatiques sont nombreuses. Les émissions des gaz d'échappement des automobiles par combustion d'essences contribuent significativement à la pollution de l'air urbain par les hydrocarbures poly aromatiques (**Westerholm et al, 1988**). En effet, le trafic automobile semble être le déterminant majeur dans l'augmentation des hydrocarbures poly aromatiques dans l'air urbain. Ainsi presque 50% des hydrocarbures poly aromatiques contenus dans l'atmosphère sont formés lors des processus de combustion d'essences (**Westerholm et al, 1988**). L'atmosphère, véhicule ces contaminants en direction des régions avoisinantes, en l'occurrence l'eau de mer du port d'Alger.

Le transport atmosphérique joue un rôle important dans l'apport de matière à l'océan.

Cependant, une fois en mer, les processus tels que la répartition à l'équilibre entre l'eau et les particules en suspension, la photooxydation, les différents processus biologiques tels que la

bioaccumulation, la dégradation microbiologique, modifient considérablement les concentrations et la composition des hydrocarbures introduits dans l'océan superficiel (**Martin et Saliot, 1992**).

Selon ces mêmes auteurs, d'autres processus d'élimination des hydrocarbures poly aromatiques sont à signaler. L'éjection de ces composés sous forme d'aérosols est suivie d'une intense et rapide dégradation dans l'atmosphère. Ainsi, de nombreux facteurs physico-chimiques et biologiques entrent en jeu, parallèlement, tantôt à générer, à modifier partiellement ou complètement les hydrocarbures poly aromatiques .

La combinaison et la complexité de ces processus expliquent l'hétérogénéité de la distribution des hydrocarbures poly aromatiques à la surface de l'eau de mer. Les variations en hydrocarbures poly aromatiques sont, à priori, dues à l'intensité du trafic maritime et particulièrement au mouillage permanent et prolongé des pétroliers. La variabilité spatiale des hydrocarbures poly aromatiques dans l'eau de mer s'expliquerait d'une part, par des apports potentiels ; d'autre part, une élimination simultanée des hydrocarbures poly aromatiques à la surface marine provoquerait une diminution des teneurs. Selon **Lacaze (1980)**, cette hétérogénéité peut être causée par une dégradation biologique. En effet, selon **Halmann(1996)**.

Conclusion

Conclusion

Le présent travail consiste d'une part, à maîtriser les techniques particulièrement l'analyse des hydrocarbures poly aromatiques (HPA) et d'autre part, d'évaluer la pollution par ceux-ci au niveau du port d'Alger.

Les paramètres physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous et potentiel d'hydrogène) déterminés dans les eaux du port d'Alger, d'une manière générale, comparables aux valeurs retrouvés au niveau de la côte algérienne et les températures sont conformes à la période de prélèvement.

Ce travail a également été consacré à l'étude des contaminants (hydrocarbures polyaromatiques) et de leur niveau de contamination dans le milieu marin, par démarcation des secteurs les plus exposés à cette pollution dans le port d'Alger.

Cependant, la diversité des composés d'hydrocarbures et des différents facteurs modifiants et altérants ces molécules, d'autant plus dans le milieu marin, font que les recherches dans cet axe emploient différents protocoles et techniques dans diverses modèles et à travers les saisons.

Ce résultat souligne la présence d'une pollution, si l'on se réfère aux normes de qualité environnementale dans l'eau, proposés par le Réseau National d'Observation (RNO, 2002) qui est de 1,2 µg/l. Rappelant que le port d'Alger est classé 4ème en transport d'hydrocarbures après le port d'Arzew, Skikda et Bejaïa.

L'étude de pollution montre que le bassin du vieux port est plus pollué que les autres bassins (Agha et Mustapha). Dans la passe Nord ont été relevées les pollutions les plus élevées. En revanche dans la passe Sud, les valeurs sont les plus faibles. Les valeurs relevées dans les darses (qui se comportent comme des bassins semi- fermés) sont presque homogènes. Le risque de pollution dans le cas d'un dragage et / ou d'une immersion se poserait plus pour les eaux du bassin du vieux port que pour celui des darses.

Il est d'usage de distinguer cinq classes d'apports chroniques dans le milieu marin; à chaque catégorie de substances est affectée un type d'effet négatif (Equinoxe., 1990). Les différents apports, leurs conséquences et impacts sur la qualité des eaux du port d'Alger sont expliqués par la présence :

- des déchets et débris solides; matière en suspension et macro déchets flottants.
- et des substances chimiques toxiques pouvant produire des effets carcinogènes ; mutagènes et tératogènes.

L'extension des analyses à la spectrométrie de masse et l'utilisation de bioindicateurs contribueront à mieux cerner et à maîtriser les apports des hydrocarbures évacués dans le milieu marin.

Enfin, compte tenu de l'état actuel du port d'Alger, nous recommandons des perspectives d'avenir pour diminuer la pollution et la sauvegarde du patrimoine marin :

- ✓ L'emploi et le respect d'une réglementation rigoureuse et la sensibilisation de la population sur la qualité des eaux rejetées par les industries polluantes.
- ✓ L'implantation des stations d'épuration des eaux usées des différentes unités industrielles de la région.

Bibliographie

Bibliographie

- ABDERRAHMANI, k. (2011).** Les hydrocarbures polyaromatiques dans la baie de Bou Ismail : Surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur. Thèse, Magister, ENSSMAL.103 p.
- AIT ABBAS, D., LAUANI, S. (2002).** Contribution à la détermination du degré de pollution par les hydrocarbures totaux au niveau port pétrolier de Bejaia. Mémoire DEUA, Université Abderahmane Mira, Bejaia.89 p.
- AMINOT, A., CHAUSSEPIED. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu Marin. Paris : CNEXO.13 p.
- AMINOT A., KEROUEL R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et Analyses. Paris : Ifremer.336 p.
- BELABES. (1999).** Biodégradation des hydrocarbures pétroliers. Mémoire DES, Université Abderahmane Mira, Bejaia.67 p.
- BENSCHNEIDER, K., ROBINSON RJ. (1952).** A new spectrophotometric method. *FAO* Fisheries Technical Paper. pp. 137-238.
- FATTAL, P. (2008).** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de rennes, France.pp.395.
- FINGAS. (1979).**Review of oil spill Remote Sensing in proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Environmental Reaserch Institute of Michingan, Ann Arbor,Michingan. pp .1211-1218.
- GAUJOUS, D. (1995).**La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, technique et Documentation.217 p.
- HAMLILI, N. (2005).** Traitement biologique des eaux contaminées par les hydrocarbures dans un bioréacteur a lit fluidise tri-phasique. Thèse Magistère, USTHB.145 p.
- HOCINI N. (1998).** Méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment superficiel : résultats préliminaires à l'embouchure de l'oued Mazafran (Baie de Bou-Ismaïl) et le lac El-Mellah (El-Kala). Mémoire TS, ISMAL. 85 p.
- KOROGHLI, A. (2010).** Evaluation de la pollution des eaux de mer, des sédiments Superficiels et profonds du port d'Alger. Thèse Magister, USTHB. L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE.150 p.
- LACAZE, JC. (1980).** La pollution pétrolière en milieu marin. Edt Masson .pp.118-119
- LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré continent algériens). Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle. Nouvelle série C. Science de la Terre, Tome XXIV. 391 p.
- LEFEBVRE, G. (1978).** Chimie des hydrocarbures. Paris : TCHNIP.284 p.
- LESCOLE, C. (2002).** Les feux d'hydrocarbures. Centre de Secours de Divonne-les-Bains.
- MURPHY, J., RILEY, JP. (1962).** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27.pp. 31-36.
- (PAC) Programme d'aménagement côtier "zone côtière algéroise". (2006).** Rapport final intégré. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Alger. 190 p.

- PAYNE, JR., PHILIPPS, CR. (1985).** Photochemistry of petroleum in water: Photo oxidation causes changes in oil and enhances dissolution of its oxidized products. *Environmental Science and Technology* 19.pp. 569-559.
- RAMADE, F. (1995).** Précis d'éco toxicologie. Paris.
- REBZANI-ZAHAF, C. (1990).** Les peuplements macro benthiques du port d'Alger. Evolution spatio-temporelle. Impact de la pollution. *Thèse de Magistère*, ISN/USTHB, Alger. 199 p.
- RNO. (1974-2004).** "Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement."
- RODIER, J. (1996).** L'analyse de l'eau [8^{me} édition] eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Paris : DUNOT. pp.385- 401.
- SMAIL, MB., 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.
- SOLTANI, M. (2004).** Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, Université Paris 6. L'observation aérienne des pollutions pétrolières en mer, 2004. Guide opérationnel du CEDRE. 284 p.
- UNEP. (1995).** Guidelines for integrated Management of Coastal and Marine Areas. Rapport Technique. PAC/CAR (PAM-PNUE). 748 p.
- VANDECASTEELE, JP. (2005).** Microbiologie pétrolière. Paris: TECHNIP, Volume. 795 p.
- WOOD, EP., ARMSTRONG, FA. , AND RICHARDS, FA. (1967).** Determination of nitrate in seawater by cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **47**. pp. 23-31.