

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

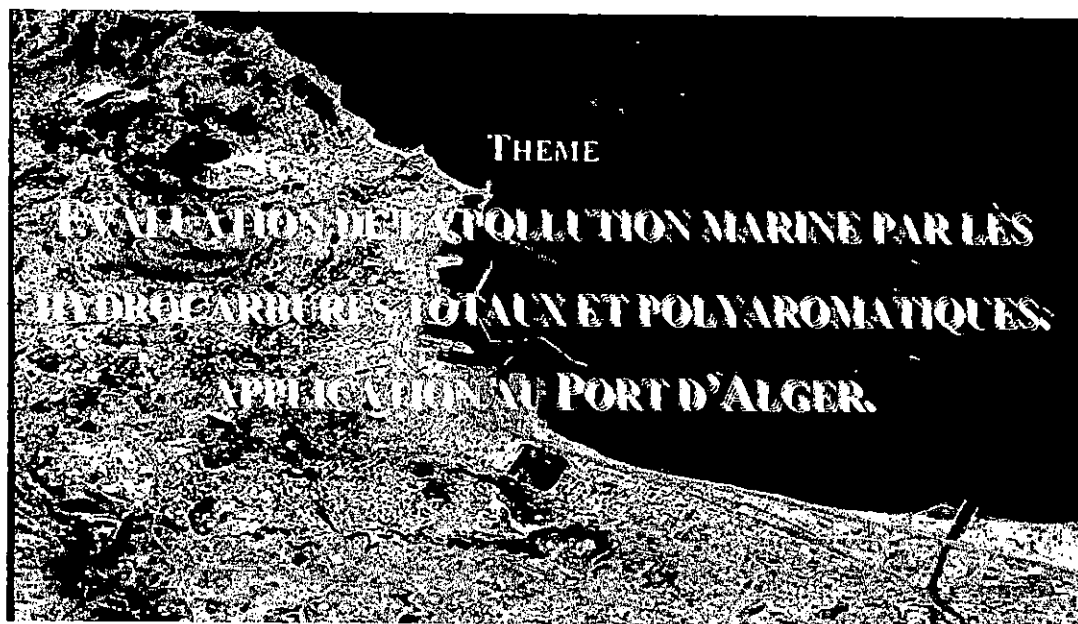


MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN

SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN



Présenté par : Melle LOUCHAML Meriam

Soutenue devant la commission d'examen composée de :

Mr BELKESSA. R
Mme HOUMA-BACHARI. F
Mr BOULAHDID. M
Mme HOCINI. N
Mr DRICHE. M

Président
Promotrice
Co-Promoteur
Examinatrice
Examineur

Promotion: 2005-2006

SOMMAIRE

I- INTRODUCTION.....	01
II- CHAPITRE I: GENERALITES	
II-I- La pollution marine.....	03
1- Contaminants chimiques.....	03
1-1- Classification.....	04
1-2- Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin.....	04
1-2-1- Sources naturelles.....	04
1-2-2- Sources anthropogènes.....	04
❖ Les apports chroniques.....	04
❖ Les rejets liés au trafic maritime.....	05
❖ Les rejets d'eau chargée en hydrocarbures résiduels.....	05
1-3- Pollutions marines par les hydrocarbures.....	05
1-3-1- Pollution des pétroliers (Slops)	05
❖ Ballastage	05
❖ Lavage des citernes.....	06
1-3-2- Pollution par tous types de navires civils (Sludges)	06
❖ Résidus de fioul.....	07
❖ Huiles de vidange	07
II-II- Notions sur les paramètres a étudiés	07
1-Température.....	07
2-L'oxygène dissous.....	07
3-Potentiel d'hydrogène (pH).....	08
4-La matière en suspension.....	09
5-La matière organique.....	10
6-Hydrocarbures.....	10
6-1- Présentation.....	10
6-2- Les classes principales d'hydrocarbures.....	10
6-2-1-Hydrocarbures Aliphatiques.....	11
a) Hydrocarbures saturés.....	11
b) Hydrocarbures insaturés.....	12
6-2-2- Hydrocarbures cycliques (Naphténiques).....	13
a) Cycles saturés.....	13
b) Cycles insaturés	13
c) Hétérocycles.....	14
6-2-3- Hydrocarbures aromatiques	14
6-2-4- Les résines.....	15
6-3- Comportement et devenir des hydrocarbures en mer	16
6-3-1- Etalement.....	16
6-3-2- Déplacement.....	16
6-3-3- Evaporation	16
6-3-4- Dissolution ou solubilisation.....	17
6-3-5- Emulsification.....	17

> Emulsion de l'huile dans l'eau.....	17
> Emulsion de l'eau dans l'huile.....	17
6-3-6- Oxydation.....	17
6-3-7- Sédimentation.....	18
6-3-8- Biodégradation	18
III- CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	
Introduction.....	20
III-I- PRESENTATION DU SITE.....	20
1- Description du port.....	21
1-1- Position géographique.....	21
1-2- Accès	21
1-3- Plan d'eau abrité.....	21
1-4- Bassins.....	22
1-5- Jetées et brise-lame.....	23
1-6- Signalisations maritimes.....	23
1-7- Données physiques.....	25
1-8 Mouillage.....	25
2- Place du port d'Alger par rapport aux autres ports algériens en 2003.....	26
2-1- Trafic global des ports algériens.....	26
2-2- Marchandises générales.....	27
2-3- Trafic des hydrocarbures.....	27
2-4- Trafic maritime.....	27
2-5- Trafics spécialisés (passagers et conteneurs).....	27
III-II- METHODOLOGIE	
1- Travail en mer.....	28
1-1- Choix et localisation des stations.....	28
1-2- Méthode de prélèvement.....	28
2- Travail au laboratoire.....	28
2-1- Mesure des paramètres physico- chimiques.....	30
2-1-1- La température et l'oxygène dissous.....	30
2-1-2- Le potentiel d'hydrogène (pH).....	30
2-1-3- La matière en suspension.....	30
2-1-4- La matière organique.....	30
2-2- Mesure des hydrocarbures.....	31
2-2-1- Prétraitement des échantillons pour l'analyse des hydrocarbures	31
2-2-1-1-Extraction.....	31
2-2-1-2-Concentration.....	31
2-2-1-3-Purification.....	32
2-2-2- Analyse.....	32
2-2-2-1-Analyse par spectrophotométrie à rayonnement Infrarouge (S.I.R.).....	32
❖ Principe.....	34
a) Loi de Hooke et l'excitation vibrationnelle.....	34
b)Loi de Beer-Lambert.....	35
> Références normatives.....	35
> Conditions ambiantes	35

➤ Equipement et matériaux requis	35
➤ Dosage des échantillons	36
➤ Calculs et détermination des concentrations par la méthode des tangentes ou analyse spectrale	36
➤ Calcul de la concentration finale en hydrocarbures totaux	37
2-2-2-2- Analyse par spectrophotométrie à Ultra- Violet (SFUV)	37
➤ Principe	38
a) L'excitation	38
b) L'émission	38
➤ Conditions ambiantes	38
➤ Appareillage analytique et matériel	39
➤ Etalonnage...	40
➤ Mesure des intensités de fluorescence	40
➤ Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polyaromatiques	41
IV- CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION	
Introduction	43
1- Variation générale des paramètres mesurés dans le port d'Alger	43
1-1- Variation des paramètres physico-chimiques	43
1-1-1- Température	43
1-1-2- Potentiel d'hydrogène	45
1-1-3- Oxygène dissous	45
1-1-4- Matière en suspension	48
1-1-5- Matière organique	48
1-2- Variation des Hydrocarbures	50
1-2-1- Résultats d'analyse des hydrocarbures totaux	50
➤ Bassin de Mustapha	52
➤ Bassin de l'Agha	54
➤ Bassin du vieux port	54
1-2-2- Résultats d'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques	55
V- CONCLUSION GENERALE	61
Annexes	

INDEX

CIO (ICO): Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO.

CNEXO: Centre National pour l'Exploitation des Océans.

COW: Crude Oil Washing (lavage du pétrole brut).

CRD: Centre de Recherche et de Développement.

EPAL: Entreprise Portuaire d'Alger.

GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.

HAP: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

HCT: Hydrocarbures Totaux.

IAEA : International Atomic Energy Agency

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.

INCT : Institut National de Cartographie et de Télédétection.

IUPAC: Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.

ONM: Office Nationale de Météorologie.

SBT: Segregated Ballast Tanks (citerne de ballast séparée)

SFUV: Spectrofluomètre à Ultra-Violet.

SIR: Spectrophotomètre à Infra-Rouge.

Slops : La pollution des pétroliers.

Sludges: La pollution de tous les navires civils.

UNEP: United Nations Environment Programme.

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Liste des cartes

Carte 01 : Position géographique du port d'Alger.....	22
Carte 02 : Plan du port d'Alger.....	24
Carte 03 : Positionnement des stations de prélèvement au port d'Alger.....	29

Liste des figures

Figure 01 : Principales familles des hydrocarbures.....	15
Figure 2: Comportement des hydrocarbures déversés en mer.....	19
Figure 03 : Diagramme résumant les étapes de la procédure analytique pour les eaux de mer	33
Figure 04 : Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures.....	39
Figure 05 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des HAP par SFUV	41
Figure 06 : Variation de la température au port d'Alger.....	43
Figure 07 : Variation du potentiel d'hydrogène au port d'Alger.....	45
Figure 08 : Diagramme : potentiel d'hydrogène- température.....	45
Figure 09 : Variation de l'oxygène dissous en (mg/l) dans le port d'Alger.....	46
Figure 10 : Variation du pourcentage de saturation en oxygène dissous.....	46
Figure 11 : Variation de l'oxygène en fonction de la température.....	47
Figure 12 : Variation des MES dans le port.....	48
Figure 13 : Variation de la M.O dans le port.....	48
Figure 14 : Diagramme MES/MO dans le port.....	49
Figure 15 : Teneurs des HCT dans le port.....	50
Figure 16 : Histogramme des teneurs en HCT au port.....	50
Figure 17 : Courbe de variation des HPA.....	54
Figure 18 : Histogramme des teneurs en HPA au port d'Alger.....	55

Liste des tableaux

Tableau 01 : Tableau 01 : Composition chimique moyenne des pétroles.....	11
Tableau 02 : Tableau 02 : Les vents fréquents du secteur du port d'Alger	25
Tableau 03 : Tableau 03 : Directions et caractéristiques de la houle dans la baie d'Alger.....	26
Tableau 04 : Concentration des solutions filles en équivalent chrysène.....	40
Tableau 05 : Résultats des paramètres physico-chimique.....	44
Tableau 06 : Valeurs statistiques des grandeurs mesurées.....	44
Tableau 07 : Concentrations des Hydrocarbures totaux dans l'eau de mer du port d'Alger.....	49
Tableau 08 : Concentrations des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'eau de mer du port d'Alger.....	55

Introduction

I- Introduction

La pollution marine est due aux hydrocarbures et aux produits chimiques (goudrons, produits organiques persistants, pesticides, métaux lourds). Près de 30 % de ces hydrocarbures rejetés en mer Méditerranée forment du goudron qui se dépose sur les plages. Les débris plastiques et déchets solides provenant des décharges côtières et des navires, menacent la faune et la flore sauvage du littoral ainsi que les écosystèmes marins, entraînant des maladies des poissons, des mammifères, et la mort des oiseaux de mer. (*Abdelguerfi A. 2002/2003*).

Selon le rapport national 2000 sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie, environ **100 000 tonnes** d'hydrocarbures transitent chaque année près des côtes algériennes alors que **50 millions de tonnes** sont chargées annuellement à partir des ports nationaux. Le rapport évalue à **10 000 tonnes/an** les pertes au cours de ces opérations et à **12 000 tonnes/an** les déversements au large par les gros transporteurs (eaux de cales et de ballasts). Une grande marée noire en Méditerranée porterait de graves préjudices aux espèces menacées d'extinction.

Le rapport note que les industries chimiques et pétrochimiques sur le littoral se distinguent par la diversité de leurs rejets polluants. La présence de potiches de mercure au fond du port d'Alger explique la teneur élevée en mercure dans les sédiments (**5,8 µg/g**); la teneur en plomb y est également très élevée (**870 µg/g**). Fait paradoxal noté par les spécialistes de l'Institut des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (**ISMAL**), la diversité biologique marine n'est pas affectée par la présence de ces polluants dans le port. Par ailleurs, il faut signaler que le projet d'exploration de pétrole offshore au large de Annaba porte des risques sur l'écosystème côtier de la région.

L'industrie est largement responsable de l'ensemble de la pollution nationale causée par les filières pétrochimiques, chimiques, de transformation de minerais, et métallurgiques, implantées sur la frange littorale autour des grands centres. La plupart de ces industries ne sont pas dotées d'une technologie permettant le contrôle de la pollution. Celles qui disposent d'un système de contrôle des émissions dans l'air ou de traitement des eaux ne maîtrisent pas ce type d'installations.

Concernant la pollution de l'eau, le rapport note que «les eaux qui se trouvent en aval du complexe sidérurgique de Annaba sont pratiquement dénuées de vie biologique en raison de déchets d'huiles, de déchets solides, de cyanides, d'hydrocarbures, de polyaromatiques et de métaux lourds ».

Les industries du pétrole, du gaz, des produits pharmaceutiques, d'engrais, de pesticides, de plastiques, sont relativement développées en Algérie et présentent tous les risques de fuites accidentelles de produits dangereux. Elles stockent et transforment des quantités relativement importantes de substances dangereuses. Des quantités importantes sont quotidiennement transportées d'un point à un autre par route, par train et par voie maritime avec tous les risques que cela comporte. (*Abdelguerfi A. 2002/2003*).

A ce titre, le port d'Alger a été choisi pour estimer la pollution qui peut être produite par ce transport, en particulier les produits pétroliers.

Deux méthodes ont été sélectionnées pour l'analyse des hydrocarbures totaux (**HCT**) et polyaromatiques (**HPA**) dissous et/ou dispersés dans les eaux superficielles du port:

- la spectrophotométrie à Infrarouge (**SIR**) ; et
- la spectrofluométrie à Ultraviolet (**SFUV**).

Cependant, ce document est structuré en trois chapitres :

Le premier aborde quelques généralités sur les hydrocarbures en milieu marin.

Le deuxième est subdivisé en deux sous-chapitres :

Présentation du site, suivi des méthodes analytiques adoptées et du matériel utilisé.

Les résultats et leur interprétation sont présentés dans le troisième chapitre.

CHAPITRE I
GENERALITES

I- La pollution marine

Le terme de pollution marine fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant *"l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément"*.

La pollution chimique n'est donc qu'une des modalités possibles de la perturbation anthropique des milieux marins qui comprend aussi la pollution bactériologique, la pollution thermique, les effets liés à des apports de macrodéchets, de matières sédimentaires ou l'introduction d'espèces allochtones.

Concernant les substances chimiques, le mot pollution est nécessairement associé à l'observation d'effets néfastes sur la faune et la flore marines. En leur absence, il convient de parler plutôt de contamination chimique des milieux aquatiques, désignant la simple présence de substances dans le milieu. (Marchand & Kantin, 1995, 1996, 1997).

L'observation de la qualité du milieu marin, l'évaluation des niveaux de contamination chimique, et de leurs variations spatiales et temporelles nécessitent la mise en oeuvre de programmes de surveillance, tels que le RNO (Réseau National d'Observation), et l'existence d'outils analytiques performants et fiables. (Marchand & Brunot, 1997).

1- Contaminants chimiques

Il est admis qu'il existe plus de 4 millions de substances chimiques, essentiellement des substances organiques issues de la biosynthèse animale et végétale.

Certaines de ces substances sont dangereuses pour l'homme et l'environnement.

Les hydrocarbures sont classés parmi les grandes catégories de ces substances (Métaux, Pesticides, Biocides, Substances organiques de synthèse, Substances eutrophisantes ...) (IFREMER, 2002).

1-1- Classification des hydrocarbures

Les hydrocarbures désignent les pétroles bruts, les carburants (essences, kérosènes, fuels domestiques, fuels lourds, etc.) et produits de base de la synthèse organique industrielle. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), qui résultent de la combustion incomplète des produits pétroliers, sont les plus préoccupants pour les milieux aquatiques.

1-2- Sources d'apports d'hydrocarbures dans le milieu marin

Les principales sources des hydrocarbures en mer sont :

1-2-1- Sources naturelles

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

Lacaze, (1980) estime les apports d'hydrocarbures d'origine naturelle en mer à 0.6×10^6 tonnes/an.

1-2-2- Sources anthropogènes

Caractérisés par les apports liés à l'activité humaine. Selon Kennish (1997), le total des hydrocarbures pétroliers rejetés en mer suite à l'activité humaine est environ 2.115 millions de tonnes/an ; ce qui excède largement les apports naturels (0.25 millions de tonnes/an).

Les sources anthropogènes sont diverses :

❖ Apports chroniques

- déversement de pétrole ;
- activités industrielles (raffineries et industries pétrochimiques) ; et
- exploitation des gisements de pétrole en offshore (Wade, 1985 in Budzinski *et al.*, 1997 ; Marchand, 1989 ; GESAMP, 1993 et Benlahcen *et al.*, 1997).

❖ Les rejets liés au trafic maritime

- opération des chargements ;
- déchargement et déballastage des pétroliers ; et
- vidanges des eaux de cales et nettoyage des soutes (Bertrand, 1997; Barnier et al., 1988; et Ramade, 1992 ; IMO, 1995 et Kennish, 1997).

❖ Les rejets d'eau chargée en hydrocarbures résiduels

- issus des garages ;
- stations d'essences ; et
- aérodromes... (Bellan et Pérès, 1970 et Bertrand, 1997).

1-3- Pollutions marines par les hydrocarbures

La pollution marine par hydrocarbures est de deux types. La première, connu sous le terme de déballastage, est produite essentiellement par les pétroliers. Elle est composée d'eau de mer mélangée à du pétrole, et provient des cuves de transport.

Les autres rejets d'hydrocarbures en mer, appelés communément dégazage, correspondent aux rejets d'huiles de vidange et de résidus de fioul générés par les moteurs de l'ensemble des navires.

1-3-1- Pollution des pétroliers (Slops)**➤ Ballastage**

Une fois sa cargaison déchargée, un pétrolier doit " ballaster " c'est-à-dire remplir d'eau de mer ses cuves pour assurer la stabilité du navire lorsqu'il fait route. Le ballast représente en volume environ 1/5 du navire. Lorsqu'il se prépare de nouveau à charger, le pétrolier doit donc vider ses cuves de l'eau de mer qu'elles contiennent. Cette opération de " déballastage ", théoriquement prévu dans les installations portuaires prévues à cet effet, a lieu en réalité souvent en mer de façon illégale, à l'approche des ports.

Les pétroliers construits avant 1973 remplissent directement leurs réservoirs ayant contenu du pétrole, contaminant l'eau de mer par le pétrole. La convention **Marpol (1973/ 78)** impose aux navires une citerne de ballast séparée SBT (*Segregated Ballast Tanks*) et exige aux Etats

côtiers de fournir des installations de réception à terre afin d'y décharger le ballast contaminé et de le traiter avant de le rejeté en mer.

Ces installations, pour le cas de l'Algérie, ne sont pas en mesure de satisfaire la demande de déballastage des navires visitant les ports algériens. En outre l'absence d'une surveillance adéquate des eaux territoriales ne permet pas d'empêcher les déversements illicites par les navires de leurs eaux de ballast.

Tous les navires sont concernés par la production d'eaux sales de ballast.

➤ Lavage des citernes

Après le déchargement de la cargaison, une certaine quantité de pétrole tapisse les parois des citernes, représentant environ 0,5% de la cargaison. En cas de cargaison de produits différents, le lavage à l'eau de mer a été remplacé début 1970 par le lavage au pétrole brut (COW) au pouvoir dissolvant nettement plus efficace.

La convention **Marpol** a rendu le recours au **COW** (*Crude Oil Washing*) obligatoire pour tous les nouveaux transporteurs de pétrole brut de **20 000 tonnes** (charge en lourd).

Ces rejets, comme les eaux de ballast, finissent leur cycle de vie... dans la mer.

Une autre pollution, produite par l'ensemble des navires civils, est beaucoup plus inquiétante parce qu'elle augmente d'année en année parallèlement à la croissance du trafic maritime (2,3% par an) : ce sont les rejets illégaux de résidus pétroliers de type sludges, produites par le mécanisme de propulsion des navires.

1-3-2- Pollution par tous types de navires civils (Sludges)

Les pollutions dues aux vidanges des moteurs, aux huiles et résidus de fioul concerne en effet tous les types de navires : transport de cargaison (tankers, vraquiers, porte container...), transport de passagers (bateaux de croisières, ferry..) et bateaux de pêche.

Appelés " sludges ", ces déchets sont constitués de résidus de fioul et d'huiles de vidange.

➤ Résidus de fioul

Compte tenu de l'utilisation d'un fioul brut de bas de gamme pour la propulsion du navire, seule une partie du fioul peut être consommée par les machineries lorsqu'un navire fait route. Avant d'être utilisé comme carburant, il doit donc être purifié par centrifugation. Cette opération génère des résidus (environ 5% du volume total de fioul embarqué) qui ne peuvent être brûlés et sont stockés dans les fonds de cales.

➤ Huiles de vidange

Outre ces résidus de fioul, un navire consomme une importante quantité d'huiles de graissage, qui fuient des machineries et s'accumulent dans les fonds de cales des navires.

II- Notions sur les paramètres a étudiés

1- Température

La température est un paramètre très important pour la connaissance des masses d'eaux (surtout en Méditerranée, on prend en considération deux courants, méditerranéen et atlantique), ainsi que pour la détermination des champs de densité et donc des courants. Elle joue un rôle très important dans les cycles biologiques (reproduction, maturation, cycle sexuel, migration). (Millot, 1987).

Sa principale application physico-chimique est la détermination de la valeur de saturation des gaz dissous. (Aminot, 1983 ; Rodier, 1992).

2- L'oxygène dissous

C'est un paramètre important gouvernant la majorité des processus biologiques du milieu aquatique. Sa concentration est la résultante des facteurs physiques (échange air-océan), chimiques (photosynthèse et respiration) et biologiques (Rodier, 1992).

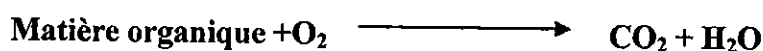
Le mélange au sein de la masse d'eau, la solubilité de l'oxygène est de 9 mg/l en eau pure à 20°C. L'accroissement de la salinité réduit la solubilité à 1,4 mg/l pour une température de 28 °C et une salinité de 35‰. L'analyse de l'oxygène dissous est le test clé pour le contrôle d'une eau polluée ou non, mais à condition qu'il n'y est aucune source d'erreur ou d'interférence. (Aminot, 1983).

L'oxygène n'entre que pour 21 % en volume dans la composition de l'atmosphère alors qu'il représente environ 35 % du volume des gaz dissous à pression normale. La valeur maximum de la solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend :

- de la température de l'eau;
- de la salinité de l'eau;
- de la pression atmosphérique au lieu de l'observation;
- de la pression de vapeur saturante (qui est une fonction de la température de l'air) ;
- de l'effet de houle ; et
- du rayonnement lumineux.

L'oxygène représente un facteur écologique important telle que :

- **Milieu aérobie** : présence d'une quantité importante d'oxygène qui permet la respiration biologique.



Ce cas représente un milieu de vie pour les espèces aquatiques.

- **Milieu anaérobie** : l'absence d'oxygène favorise l'eutrophisation du milieu. La vie aquatique est presque négligeable, seuls certains microorganismes et bactéries qui peuvent produire des réactions de fermentation où on constate un dégagement important du méthane dans ce cas.



Au niveau des rejets, il y a absence d'oxygène dans le milieu récepteur ; il y a donc dégradation de la matière organique.

3- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau de mer est dû principalement à la présence de carbonates, CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . La modification de ces concentrations, en CO_2 (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entraîne la variation du pH.

Le pH est défini comme la différence des potentiels mesurés en plongeant successivement une électrode dans une solution standard S de pH connu (pHs) et la solution X dont on désire mesurer le pH (pHx).

Soit :

$$\text{pHx} = \text{pHs} + [(\text{Ex} - \text{Es}) / \text{K}]$$

Avec :

Ex : potentiel de l'électrode dans la solution X.

Es : potentiel de l'électrode dans la solution S.

K = $2.3026 RT/F$ avec :

R : constante thermodynamique = $(8,3143 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$;

F : valeur de Faraday = $(96487 \text{ C.mol}^{-1})$,

T : température absolue = $(T = t^{\circ}\text{C} + 273.15)$

A 20°C , **K** = 58.17Mv ; à 25°C , **K** = 59.16 Mv.

Dans l'eau de mer en dehors de toute pollution, le pH est voisin de **8,2**. En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou apports d'eaux continentales sont la cause de variation du pH qui s'avère dans ce cas un indice de pollution (**Aminot, 1983**).

4- La matière en suspension

La connaissance de la quantité de M.E.S est importante pour l'étude des milieux aquatiques. D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, d'autre part elles présentent une surface d'échange physico- chimique, chimique ou biologique avec l'eau de mer. Et selon leurs natures, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune. (**Aminot, 1983**)

C'est une mesure globale de la pollution. Elle donne la concentration de l'eau en particules organiques et minérales, que l'on peut retenir par filtration au laboratoire. (**Lacaze, 1996**)

La quantité de la matière en suspension joue un rôle très considérable dans la pénétration de la lumière dans la mer, donc sur la production végétale, source de toute vie dans les milieux océaniques si l'en nous autorise à « négliger » les sources hydrothermales profondes. L'origine de ces matières en suspension est largement naturelle (fleuves, lessivage des terres par les pluies, richesse en plancton, etc.), mais des quantités croissantes de celles-ci découlent des activités humaines, soit par un fleuves, soit par les effluents domestiques et industriels, soit encore par les rejets directs à plus ou moins grande distance de la côte par des chalands.

Dans ce cas le phénomène purement physique (turbidité) et à son corollaire (diminution de la pénétration de la lumière), s'ajoute éventuellement la nocivité propre d'un matériel non inerte chimiquement ou biologiquement. C'est le cas pour les rejets au large de boues résultant du dragage des ports, ceux-ci étant le siège d'une pollution domestique et

industrielle, les effets de celles-ci s'ajoutent à la nuisance liée en propre au rejet du sédiment lui-même. (Belan et Perres, 1994)

5- La matière organique

La matière organique est un facteur édaphique dont l'excès peut entraîner une forte consommation d'oxygène, elle est issue selon son origine externe flore continentale, des déchets domestique, fumées des usines par la pluie et ruissellement ; ou d'origine interne de la décomposition de la matière organique planctonique et benthique.

Sa distribution se fait principalement suivant un gradient qui évolue de façon décroissante depuis les environnements littoraux vers un environnement profond.

Elle participe activement dans plusieurs mécanismes physico-chimiques qui ont pour conséquence la sédimentation de zone côtière ainsi que dans les processus géochimiques, d'interaction entre matière organique et polluante, ce qui est d'une grande importance pour repérer les zones d'accumulation des polluants.

6- Hydrocarbures

6-1-Présentation

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

6-2- Les classes principales d'hydrocarbures

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

Dans les composés cycliques, les atomes de carbone forment un ou plusieurs cycles fermés. Cependant, les principales familles d'hydrocarbures que l'on retrouve dans les pétroles et les produits raffinés sont :

- les hydrocarbures Aliphatiques ;
- les hydrocarbures naphténiques ;
- les hydrocarbures Aromatiques ;
- les asphaltènes ; et
- les résines.

Tableau 01 : Composition chimique moyenne des pétroles. (Lacaze, 1980)

Famille de composés	% en poids
Alcanes (<i>paraffiniques</i>) Cyclanes (<i>naphténiques</i>)	30 – 70
Aromatiques	20 – 40
Asphaltènes	0 – 10
Résines	5 – 25

6-2-1-Hydrocarbures Aliphatiques

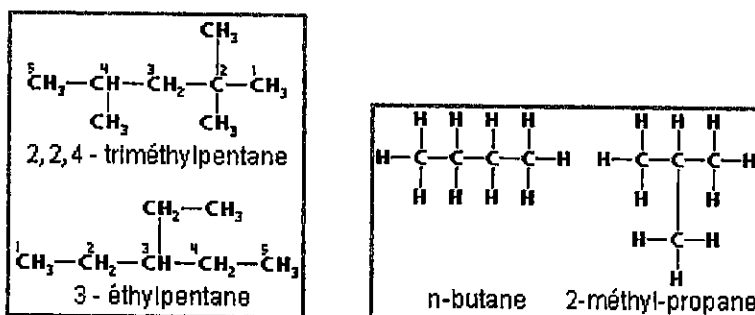
On différencie les composés saturés, ne contenant que des liaisons simples, des composés insaturés, qui contiennent au moins une double liaison carbone-carbone, notée C=C, ou une triple liaison C≡C.

a) Hydrocarbures saturés

La formule générale d'un alcane est C_nH_{2n+2} , "n" étant le nombre d'atomes de carbone dans la molécule. Pour désigner les alcanes, on utilise des préfixes grecs indiquant le nombre d'atomes de carbone, suivis de "-ane" : méthane (CH₄), éthane (C₂H₆), propane (C₃H₈), butane (C₄H₁₀), etc.

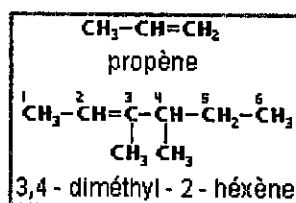
Dans le système de nomenclature IUPAC (Union internationale de chimie pure et appliquée), le groupement substituant (chaîne latérale), ou radical alkyle, en général noté R (C_pH_{2p+1}, avec p entier), en remplaçant la terminaison « ane » par « yl » : méthyl, éthyl, propyl, etc. Dans le cas où la molécule possède plusieurs ramifications identiques, on emploie les préfixes di-, tri-, etc. (diméthyl, triéthyl, etc.). Par exemple, le 2, 2,4-triméthylpentane.

Le butane, de formule brute C_4H_{10} , a deux isomères courants, le butane normal (*n*-butane) et le 2-méthyl-propane (jadis *isobutane*), dont les formules développées sont citées ci-dessous.

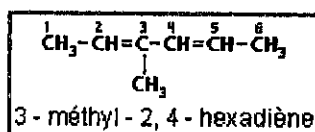


b) Hydrocarbures insaturés

Les alcènes, composés issus principalement du craquage du pétrole, ont pour formule générale C_nH_{2n} . Ces molécules contiennent une seule double liaison $C=C$. L'alcène le plus simple, de formule brute C_2H_4 , est l'éthylène. La nomenclature appliquée est la même que celle qui concerne les alcanes ; on remplace le suffixe « ane » par « ène », et on indique la position de la ou des doubles liaisons avant le nom de la chaîne principale :



Un composé contenant deux doubles liaisons $C=C$ est un diène (formule générale C_nH_{2n-2}), comme par exemple le 3-méthyl-2,4-hexadiène :



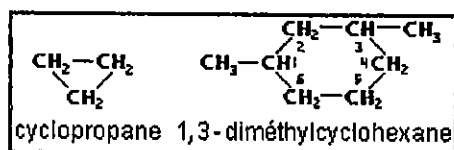
Les alcynes constituent la troisième grande famille d'hydrocarbures aliphatiques. Ils ont pour formule générale C_nH_{2n-2} ; une molécule d'alcyne contient une triple liaison $C \equiv C$. Pour les nommer, on utilise le suffixe « yne ». L'*acétylène*, de formule $HC \equiv CH$, est l'alcyne le plus commun. D'après la nomenclature IUPAC, on le nomme éthyne.

6-2-2- Hydrocarbures cycliques (Naphténiques)

Les homocycles ont un cycle formé uniquement d'atomes de carbone ; les hétérocycles présentent un ou plusieurs cycles contenant un ou plusieurs hétéroatomes, éléments différents du carbone et de l'hydrogène (O, N, S, etc.). Parmi les cycles carbonés, on distingue les cyclanes, les cyclènes et les cyclynes.

a) Cycles saturés

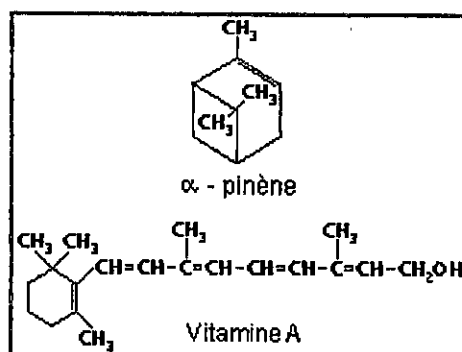
De formule brute C_nH_{2n} , les cyclanes sont des cycles saturés isomères des alcanes. Les noms que leur donne l'IUPAC sont homologues à la nomenclature utilisée pour les alcanes. Voici deux exemples de cyclanes :



À part le cyclopropane, les cyclanes constituent une partie de l'essence ordinaire. Plusieurs hydrocarbures insaturés cycliques, de formule générale $C_{10}H_{16}$, se trouvent dans les essences naturelles parfumées qui sont distillées à partir de végétaux. Ces hydrocarbures sont appelés *terpènes* et comprennent la pinène (dans la *térébenthine*) et la *limonène* (dans les essences de citron et d'orange).

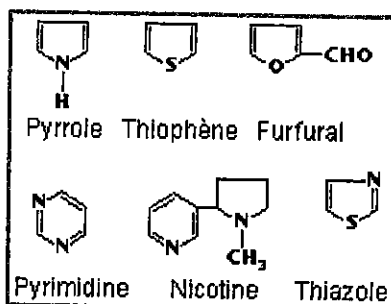
b) Cycles insaturés

Le cycle des cyclènes possèdent une double liaison $C=C$; celui des cyclynes, composés très instables, contient une triple liaison carbone-carbone. *L' α -pinène* et la *vitamine A* sont deux cyclènes :



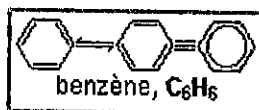
c) Hétérocycles

Le cycle d'une molécule peut contenir des atomes différents du carbone, appelés alors hétéroatomes. Les plus courants sont le soufre, l'azote et l'oxygène. On peut également rencontrer le bore, le phosphore et le sélénium :

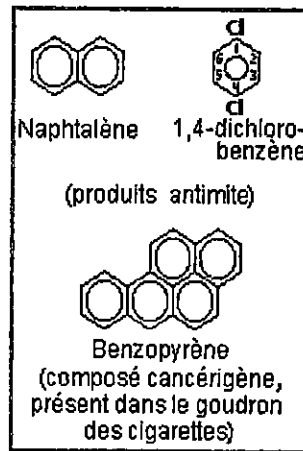


6-2-3- Hydrocarbures aromatiques

Un hydrocarbure aromatique est une substance dont les molécules possèdent un cycle insaturé à six atomes de carbone. Les électrons impliqués dans le cycle sont délocalisés sur tout le cycle : il s'agit du phénomène de conjugaison. Ainsi, on représente souvent la molécule de benzène comme suit :

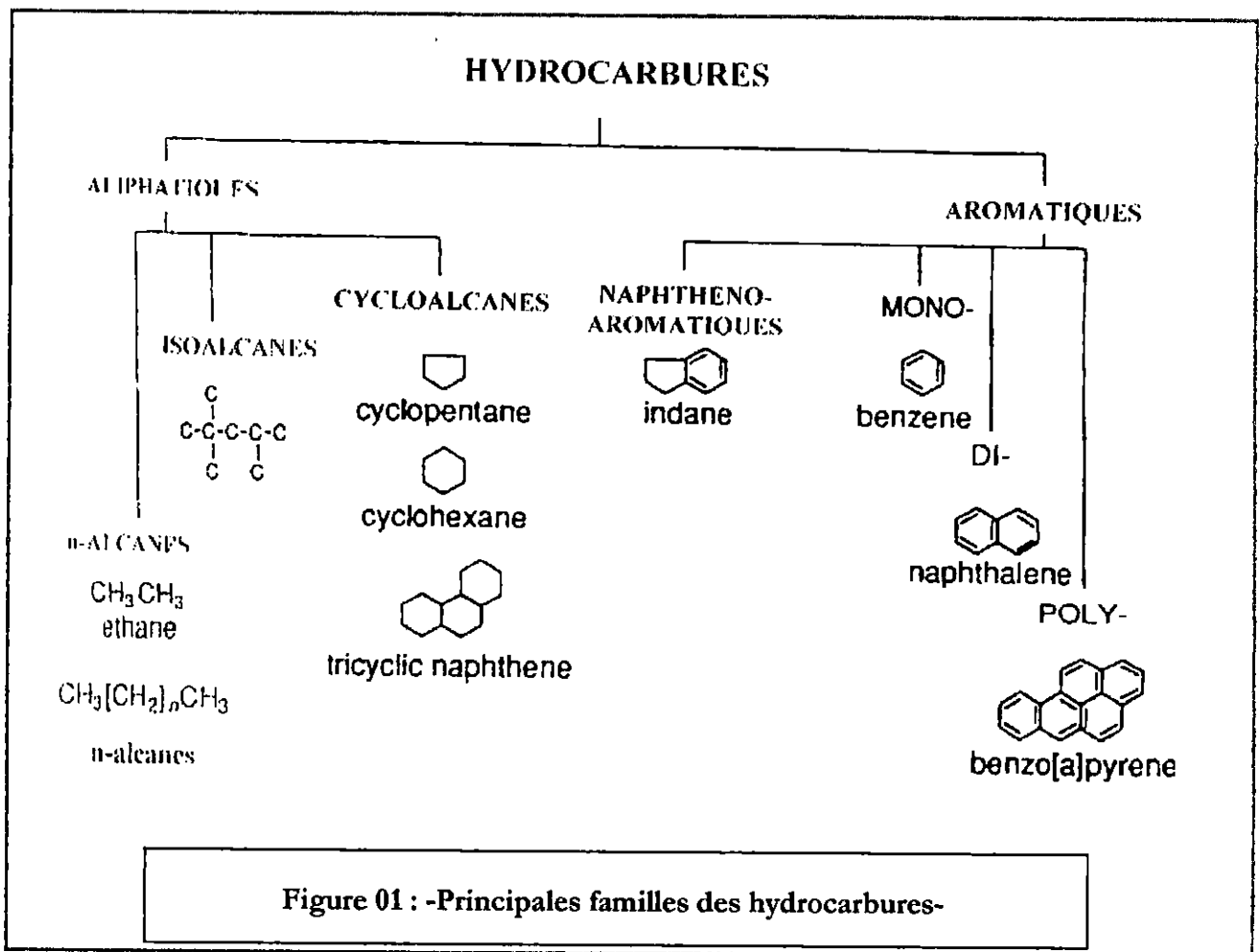


Le cercle situé à l'intérieur de l'hexagone montre que les six électrons représentés et correspondant aux trois doubles liaisons conjuguées appartiennent à tout l'hexagone, et non à certains des atomes de carbone formant le cycle. Les figures ci-dessous représentent d'autres composés aromatiques.



6-2-4- Les résines

Groupe hétérocites de composés à base de molécules contenant un ou plusieurs atomes d'oxygène, d'azote ou de soufre. La présence de ces hétéro- atomes dans les structures donne naissance à des propriétés superficielles responsables du processus initial d'émulsion inverse avec l'eau de mer.



6-3- Comportement et devenir des hydrocarbures en mer

Le comportement des hydrocarbures en mer est traité de manière détaillée dans de multiples rapports d'experts (GESAMP, 1977 ; UNEP, 1988 et GESAMP, 1993) et par de nombreux auteurs (Lacaze, 1980).

Dans cette section sont présentés d'une façon succincte les éléments essentiels de ce comportement.

La pénétration du pétrole dans la masse d'eau réceptrice, soumet celui-ci à un ensemble de processus physico-chimiques et biologiques, qui déterminent le cycle biogéochimique des hydrocarbures dans l'écosystème marin.

6-3-1- Etalement

Déversés en mer, le pétrole a tendance à s'étaler horizontalement sous l'action conjuguée des forces de gravité, de viscosité et de tension superficielle.

Les hydrocarbures répandus sur l'eau forment une fine couche à l'aspect de lentille avec l'intérieur plus épais que les bords. Ce processus peut se poursuivre jusqu'à l'obtention d'une couche monomoléculaire de 0.5 μm d'épaisseur donnant des reflets argentés en surface.

6-3-2- Déplacement

Abordés empiriquement, les mouvements de surface de la nappe induits par le vent sont estimés à environ 3% de la vitesse moyenne du vent. En présence de courants de surface, cette vitesse est modifiée selon la direction, le sens et la vitesse du courant.

6-3-3- Evaporation

C'est dans les premières heures qui suivent le déversement que les hydrocarbures à faible poids moléculaire se transforment de la phase liquide à la phase vapeur, diminuant ainsi la toxicité du pétrole. Ce qui a également pour conséquence la modification de la viscosité du pétrole qui influence les actions de lutte antipollution. Ce processus est en fonction de :

- la composition initiale du pétrole, ainsi que la surface qu'il occupe (épaisseur et étendue de la nappe) ;
- les propriétés physiques du pétrole ; et
- l'environnement climatique (température de l'air et de la mer, vents, l'intensité des radiations solaire ...).

6-3-4- Dissolution ou solubilisation

Limitée par l'évaporation, la dissolution dépend aussi de la composition et des propriétés physiques du pétrole, de la température, salinité et l'agitation de l'eau, ainsi que la dispersion de la nappe.

La dissolution des composés organiques décroît à partir des composés polaires contenant l'azote, soufre et oxygène aux composés aromatiques et aux alcanes ramifiés (saturés) sont plus solubles que ceux à chaîne linéaire.

6-3-5- Emulsification

C'est une étape très importante conduisant à la dispersion du pétrole de la surface de l'eau. L'émulsification comporte deux processus inverses à partir de la dispersion de l'un des deux liquides (eau, pétrole) au sein de l'autre.

La teneur en eau des émulsions dans le pétrole est fonction du type de pétrole considéré (Lacaze, 1980).

❖ Emulsion de l'huile dans l'eau

Se sont de fines gouttelettes de pétroles dispersées dans la nappe d'eau. Ce phénomène se rencontre dans les milieux très agités.

❖ Emulsion de l'eau dans l'huile

On l'appelle aussi « Emulsion inverse » ou « mousse au chocolat » sous forme d'une crème visqueuse. Ce phénomène est très stable, cependant il est très peu accessible aux processus de dégradation et aux actions de lutte (confinement, dispersion, récupération). Les émulsions inverses peuvent se former en quelques heures et contenir jusqu'à 90% d'eau.

6-3-6- Oxydation

L'oxydation est la combinaison chimique des hydrocarbures avec l'oxygène.

Cependant, les hydrocarbures peuvent subir :

- une auto-oxydation, qui est une réaction au contact de l'oxygène du milieu.
- Une photo-oxydation induite par les radiations UV du soleil ; et
- Une oxydation bactérienne catalysée par les enzymes.

Il peut également y avoir des conséquences contraires sur l'évolution de la pollution :

- les hydrocarbures légers oxydés sont généralement plus solubles, donc plus dispersables et par conséquent, biodégradables.

- Sur les hydrocarbures lourds, la photo-oxydation favorise la polymérisation, processus défavorable au traitement et à la dégradation des hydrocarbures.

6-3-7- Sédimentation

C'est le passage du pétrole de la masse d'eau vers le fond. Ce phénomène a lieu lorsque la densité du pétrole augmente et dépasse celle de l'eau.

Les deux processus qui facilitent le collage du pétrole sont :

- ❖ l'adsorption sur les particules en suspensions (organiques ou minérales) ; et
- ❖ le vieillissement dû à l'évaporation et la dissolution des composés à faible poids moléculaires augmentant ainsi leur densités.

Le phénomène d'adsorption est par ailleurs plus important sur les particules minérales fines (vases, argiles, sables fins...), elles représentent la fraction péltique (<40 μm) dans le sédiment. Ainsi celle-ci peut adsorber de larges quantités d'hydrocarbures dissous de la colonne d'eau. Ce phénomène est favorisé par leurs propriétés électrochimiques.

L'adsorption est surtout importante sur la frange côtière où la turbulence des eaux est très élevée, remettant ainsi les sédiments en suspension.

Ces particules, sous l'action des courants sont transportées vers les zones d'accumulation de vases ou de sables vaseux qui constituent des pièges naturels pour les hydrocarbures.

Ce sont le plus souvent des zones à basses énergie : les fonds de baies, par exemple.

Les hydrocarbures ainsi stockés dans les sédiments marins présentent une rémanence considérable en fonction des conditions locales. Les principaux facteurs sont : les taux de sédimentation, type de substrat et l'hydrodynamisme.

6-3-8- Biodégradation

La biodégradation des hydrocarbures constitue le processus naturel par lequel les bactéries, levures et champignons mettent en jeu des processus d'oxydation qui aboutissent à la formation d'hydrocarbures en poids moléculaire plus faible (bioconversion) mais aussi à la formation de gaz carbonique, d'eau et de biomasse (pollution bactérienne).

Le taux de dégradation est sous l'influence de certains facteurs limitant tels que :

- La température (la biodégradation est considérée proportionnelle à ce paramètre) ;
- les éléments nutritifs comme phosphore ou azote ;
- la teneur en oxygène (si celle-ci est faible, le processus de biodégradation est beaucoup plus lent) ; et

- le type de pétrole et sa concentration dans le milieu.

Aujourd'hui, il est admis que presque tous les constituants des pétroles sont biodégradables que la vitesse de biodégradation est variable et peu connue in situ (en mer). Cette vitesse décroît ainsi :

n- alcanes > iso- alcanes > cyclo- alcanes > aromatiques > asphaltes

Les bactéries de dégradation sont hautement fréquentes dans les environnements qui reçoivent des hydrocarbures de pollution chronique.

Plusieurs espèces de microorganismes (plus de 200) participent à la biodégradation tel que :

- pour les bactéries : *Pseudomonas*, *Vibri* ;
- pour les levures : *Candida*, *Rhodotorula* ; et
- pour les champignons : *Penicillum*, *Aspergillus*.

L'intensité de l'activité de ces différents genres, dépend du type de pétrole auquel ils sont exposés. Les alcanes et aromatiques sont les hydrocarbures les plus dégradés.

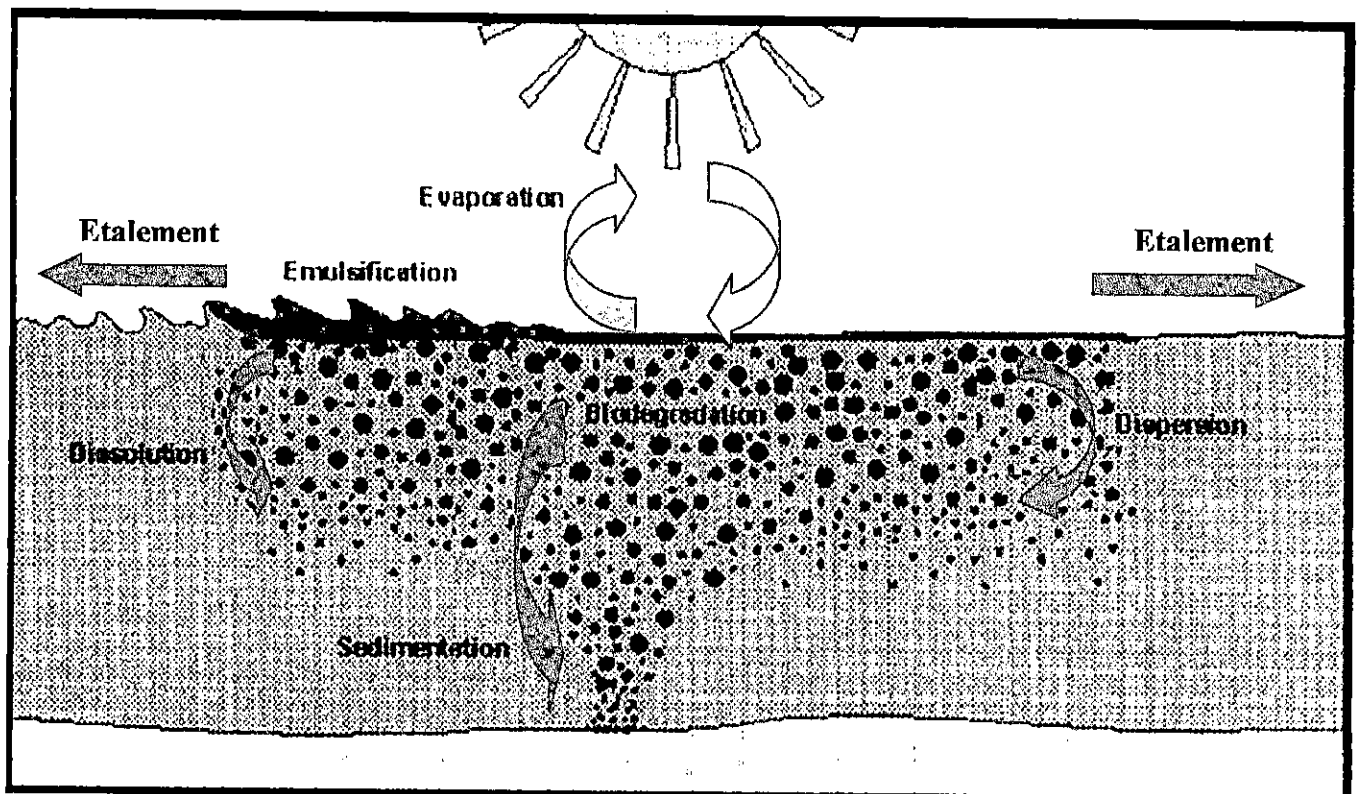


Figure 2: - Comportement des hydrocarbures déversés en mer-

Source : GESAMP (2002)

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

Introduction

Le port d'Alger est l'un des plus importants ports de marchandise générale, près de 10 km de quais dont les profondeurs varient de 7 à 11 m, et qui assure environ 27 à 30% du trafic portuaire national en hydrocarbures après Skikda, Arzew (les deux spécialisés en hydrocarbures) et Béjaïa. (EPAL, 1999).

Les activités industrielles dans le port d'Alger sont nombreuses et variées (centrale thermique, raffinerie) dont les rejets s'effectuent dans un milieu semi-fermé (pollution thermique).

Les différentes pollutions sont retrouvées au niveau de la quasi-totalité des abords quais. On a relevé 32 rejets qui s'effectuent directement dans le port essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles. Trente sept quais dont les profondeurs varient entre 4 m et 11 m composent le port d'Alger. Les plus grandes profondeurs sont rencontrées aux môles El Jazaïr et Skikda (11 m).

I- Présentation du site

Le port d'Alger véritable plate-forme de développement économique des échanges extérieurs n'a pas dérogé à son rôle d'instrument de régulation commerciale et de système d'évaluation de l'économie nationale. Le trafic marchandises diverses ayant transité au niveau de l'enceinte portuaire représente près de 34% des échanges commerciaux nationaux.

Depuis 1996, le port d'Alger s'est attelé à promouvoir une nouvelle dynamique de fonctionnement de ses multiples activités; cette situation a largement contribué et engendré des résultats positifs et laisse entrevoir des perspectives encourageantes pour les années à venir.

Afin de faire muter le port d'Alger à un stade structurellement supérieur, un plan de développement et de modernisation s'étalant jusqu'à 2015 initiés par l'entreprise est en cours de mise en œuvre. Les actions projetées concernent notamment :

- un parc pour le trafic roulant en R + 4 ;
- l'aménagement d'une 2^{ème} Gare Maritime ;
- la réalisation d'un 2^{ème} Terminal à Conteneurs ;

- la réalisation d'un 2^{ème} Silo à Céréales, l'équipement du 1^{er} Terminal à Conteneurs en portiques ;
- l'acquisition d'engins navals de servitude ;
- un bâtiment d'exploitation équipé d'un info-centre ; et
- d'un système de télésurveillance qui couvrira l'ensemble du domaine portuaire.

1- Description du port

1-1- Position géographique (carte n°1)

Le port d'Alger est situé à l'Ouest de la baie d'Alger ayant comme coordonnées :

- Longitude Est : **03°03'44''** et **03°04'60''**.
- Latitude Nord : **36°45'44''** et **36°47'43''**.

1-2- Accès

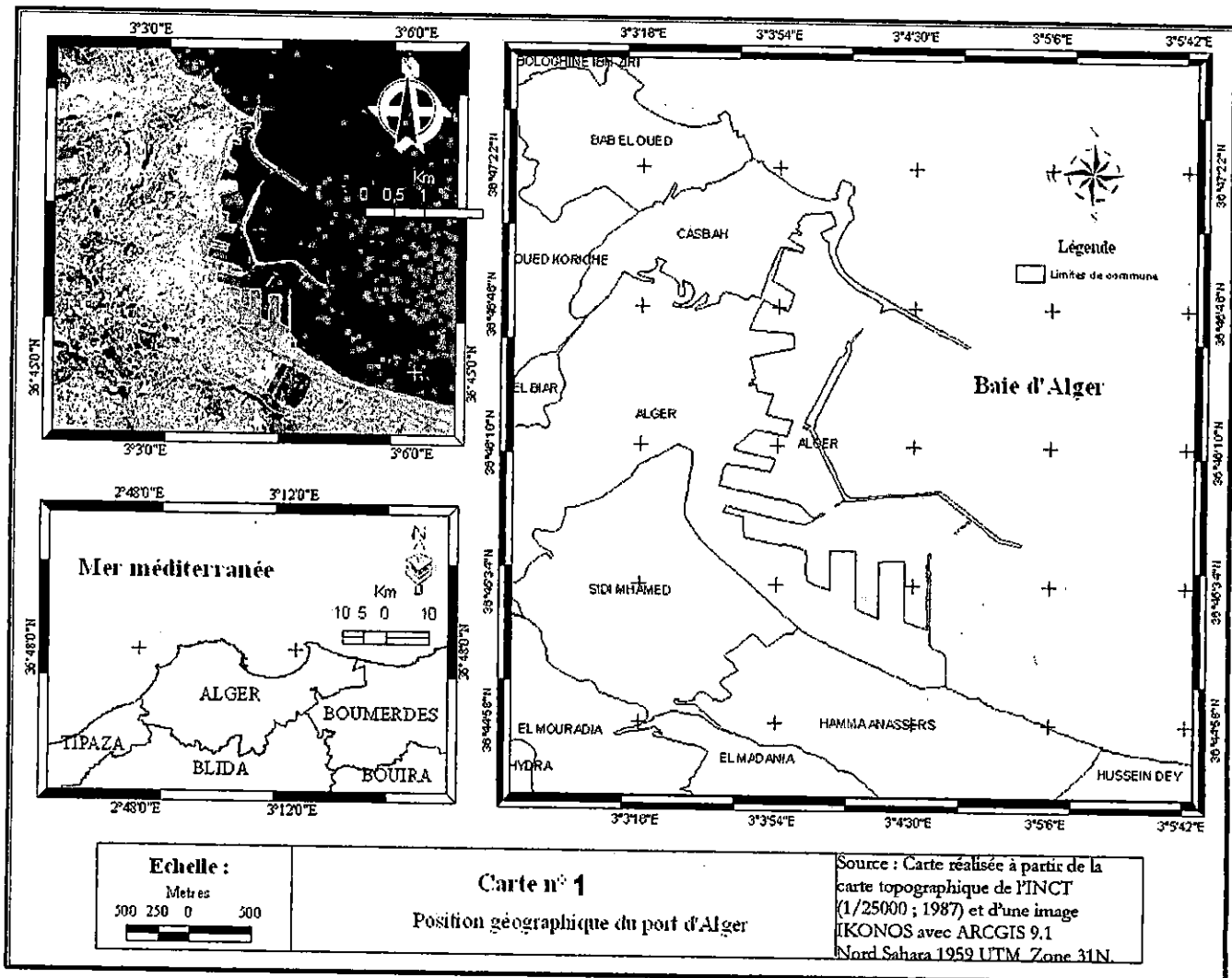
L'accès au port s'effectue par 2 entrées :

- Passe Nord : **176 m** de largeur et **22 m** de profondeur.
- Passe Sud : **240 m** de largeur et **16 m** de profondeur.

Les limites des passes du port sont signalées par des feux électriques.

1-3- Plan d'eau

Le port d'Alger couvre un plan d'eau de **184 ha** pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de **11m**.



1-4- Bassins

Le plan du port d'Alger se subdivise en trois principaux bassins, dont la répartition est la suivante : (Carte n°2)

- Bassin du "Vieux Port" 74 ha de plan d'eau avec -7 à -19 m de profondeur, dont 04 môles et 03 quais :
 - un môle de pêche ;
 - môles n°1 et 2 réservés au trafic de marchandises ;
 - môles de Guelma réservé au stockage du fuel et des navires ;
 - quai n°11 occupé par le trafic de passagers (gare maritime) ;
 - quai n° 12 capitainerie du port avec une station de remorquage ; et
 - quai n°13 destiné à la réparation navale à flot.

- Bassin de "l'Agha" **35 ha** de plan d'eau avec **-6 à -12 m** de profondeur.

Il représente la partie centrale du port avec trois môles (n° 3, 4 et 5) destinés aux navires marchands avec des entrepôts couverts ou non couverts de quai.

- Bassin de "Mustapha" **75 ha** de plan d'eau avec **-7 à -15 m** de profondeur.

Il possède deux môles (n°6 et 7) ainsi qu'un port pétrolier au quai n°37 et l'implantation d'importantes unités industrielles et aussi une intense activité portuaire.

1-5- Jetées et brise-lames

Pour assurer sa protection contre les intempéries, le port d'Alger est doté de (04) jetées et d'un brise-lames répartis comme suit :

- Au Nord : jetée Kheir Eddine, d'une longueur totale de **1290m**.
- A l'Est : jetée du Vieux Port et celle de l'Agha (**1500 m** de longueur)
- Au sud-est : jetée Mustapha (**1304m** de longueur).
- Au Sud : Brise-lames Est d'une longueur de **1500m**.

1-6- Signalisation Maritime

Phare de cap Caxine (mis en service en **1905**) - portée **200 miles**

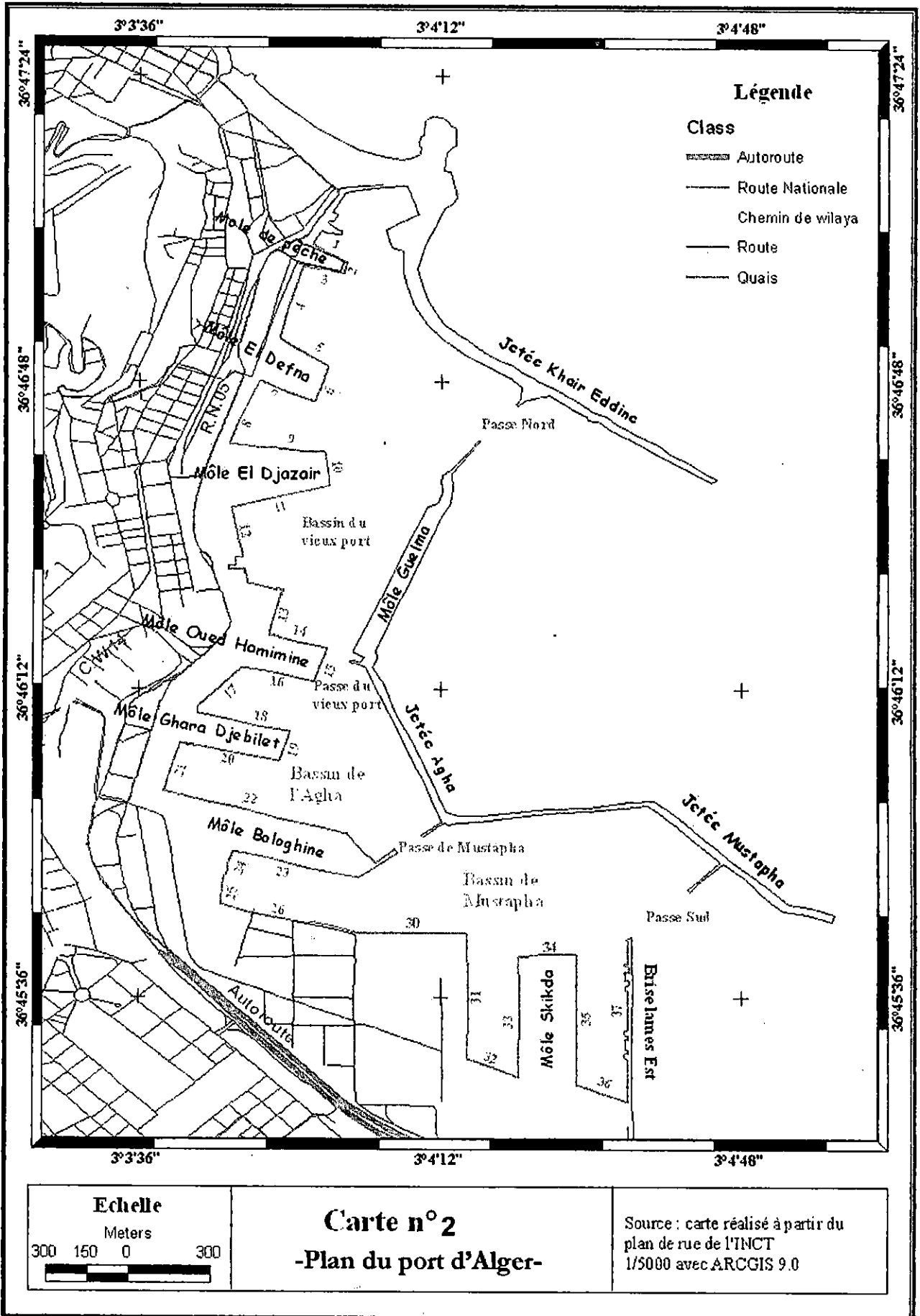
- **36°48'54"** Nord
- **02°57'20"** Est (rythmes des émissions toutes les 6 minutes)

Phare de Tamentfoust (mise en service en **1896**) : Portée **30 miles**

- **36°48'49"** Nord
- **03°14'56"** Est (rythmes des émissions toutes les 4 minutes)

Phare d'Alger: Portée **20 miles**

- Coordonnées radiophare : **36°46'50"** Nord et **03°04'26"** Est
- Et vibreur : **36°46'47"** Nord et **03°04'35"** Est



1-7- Données Physiques

Les vents les plus dominants soufflent presque parallèlement au littoral. Les plus fréquents sont ceux de l'Ouest et du Nord-Est.

Tableau 02 : Les vents fréquents du secteur du port d'Alger. (Belkessa, 2005)

Direction	Fréquence	Vitesse	Période de l'année	Remarque		
Nord (N 360°)	12%	1 à 5 m/s	Période estivale (de mai à septembre)	- Répartition constante. - Arrivent sans modification au port		
	*4%	6 à 10 m/s				
Nord-est (N 45°)	10%	1 à 5 m/s				
	*3.5%	6 à 10 m/s				
Sud-ouest (N225°)	14.5%	1 à 5 m/s			Période hivernale (d'octobre à avril)	- La classe des vents comprise entre 11 et 15 m/s est très rare.
	*2.2%	6 à 10 m/s				
Ouest (N 270°)	11.5%	1 à 5 m/s				
	*5.5%	6 à 10 m/s				

* : fréquence moyenne.

La houle est sous la dépendance directe des vents ; ainsi son régime suit celui des vents. Dans le littoral Algérois, les houles ont un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972). En hiver, les houles sont de direction W-NW (300 °) et en été elles sont de direction N-NE (20°-40).

Cinq directions de houles ont été retenues (O, NO, N, NE, E). Trois directions de houles dominant durant l'année (O, N-E et E) avec un pourcentage de 77% des houles annuelles dont 47.7% venant du secteur Est et Nord Est. Les deux secteurs de houles Nord Ouest et Nord ne représentent que 16%.

Il ressort deux périodes d'apparition des houles durant l'année, l'une de mai à septembre et l'autre d'octobre à avril.

Durant la première période, ce sont les houles de direction Est et Nord Est qui dominant le plus (29,45%) et qui arrivent sans aucune modification.

Durant la deuxième période, ce sont plutôt les houles Ouest qui dominent (19.4%), mais n'atteignent que peu ou rarement le port d'Alger, car elles subissent la diffraction due au massif de Bouzaréah.

Tableau 03 : Directions et caractéristiques de la houle dans la baie d'Alger.

(Belkessa, 2005)

Direction	Fréquence d'apparition annuelle (%)	Amplitude (m)	Période (s)			Longueur d'onde (m)
			min	moy	max	
Nord	8.5	> 3.25	6 à 7	8 à 9	13	130 à 150
Nord-est	18.3					
Ouest	25.1					

1-8- Mouillage

Les navires mouillent en rade à des fonds de **25 à 30 m** à l'Est de la jetée Est et au Nord de la jetée Mustapha ; on considère la rade comme foraine et de bonne tenue.

2- Place du port d'Alger par rapport aux ports algériens en 2003

2-1- Trafic Global des Ports Algériens

Avec une part de **34%** du trafic total des marchandises à l'entrée, le port d'Alger demeure leader des ports nationaux de par le volume des marchandises réceptionnées au niveau des ports algériens durant l'année **2003**.

Les services de manutention, acconage, conteneurs et logistique peuvent traiter simultanément près de **20 navires/jour** pour des opérations de chargement/déchargement.

L'EPAL met en œuvre plus de **400 engins** de manutention horizontale et verticale et du traitement des conteneurs ainsi que les colis lourds et spéciaux.

2-2- Marchandises Générales

Concernant les marchandises générales, le port d'Alger considéré comme le principal port Algérien pour ce type de trafic, occupe la première place et ce, pour une proportion de 30%, avec un volume de près de 7 millions de tonnes.

Assuré par NAFTAL, l'avitaillement des navires en carburant se fait au moyen de deux barges de 1100 tonnes et à un débit horaire de 200 /300 m³ pendant ces opérations commerciales évitant toute attente aux navires. Des bouches de soulage existent également aux quais 26 et 30 d'un débit horaire de 100/200m³.

2-3- Trafic des Hydrocarbures

En matière du trafic des hydrocarbures, le port d'Alger sans être spécialisé pour cette catégorie de produit, se classe à la 4ème place des ports Algériens, avec une part de trafic de près de 3%, pour un volume de 2,34 millions de tonnes.

2-4- Trafic Maritime

En terme de mouvement des navires commerciaux en entrée, les ports Algériens ont enregistré un total de 10.195 navires, dont 2.635 ont accosté au port d'Alger, occupant ainsi à lui seul une part de 25%.

2-5- Trafics Spécialisés (Passagers et Conteneurs)

Pour ce genre de trafics, le port d'Alger occupe toujours la première position, puisqu'il s'accapare des parts du marché de 67% et 47,5%, avec des trafics enregistrés de 354.724 conteneurs et 324.724 passagers. Alors que ces derniers affichent à l'échelle nationale des réalisations respectives de 530.907 conteneurs et 684.735 passagers.

Avec ces réalisations, le port d'Alger a atteint le stade de rivaliser en terme de volume d'activité avec les ports méditerranéens limitrophes.

II- METHODOLOGIE

1- Travail en mer

1-1- Choix et localisation des stations :

Pour les prélèvements d'eau de mer destinée au traitement des hydrocarbures et les paramètres physicochimiques, une seule sortie a été effectuée au port d'Alger, le 17 mai 2006 au bord de l'embarcation océanographique « *BABA- AROUDJ* ». Cependant, un groupe des étudiants en 4^{ème} année Environnement Marin de l'I.S.M.A.L. y était avec nous, où 15 stations ont été sélectionnées.

Le choix de ces dernières a été fait par rapport aux points où, la masse ou la concentration des pétroliers et produits pétrolier est très importante, et de façon à répartir les points sur les différents môles. (Carte n° 3)

1-2- Méthode de prélèvement

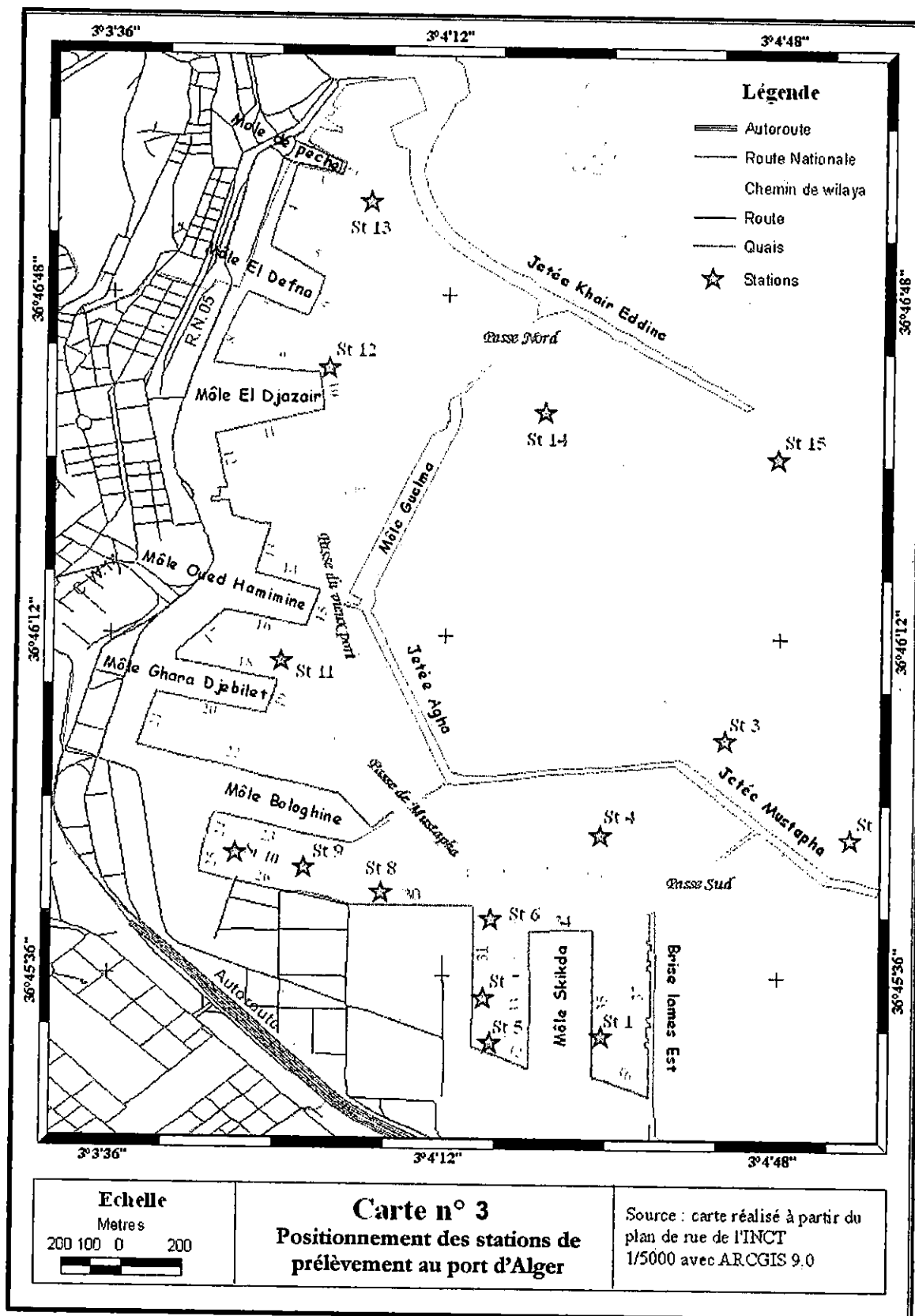
Une seule bouteille sera mise dans un dispositif lesté de plomb qui descend à 1 m de surface pour effectuer tout les prélèvements et remplir les autres bouteilles.

Pour les hydrocarbures, les bouteilles de 2.5 l à verre fumé, qui ont été conditionnées préalablement selon le processus de nettoyage du matériel destiné aux hydrocarbures préconiser par l'UNEP (1995) ont été remplies, étiquetées et numérotées (numéro de la station).

Un volume de 50 ml de CCl_4 a été rajouté immédiatement après avoir remplie ces bouteilles de 2.5 l.

Les flacons en plastique de 125 ml destinés à la mesure de la matière en suspension (MES) sont rincés deux fois avec de l'eau de mer de chaque station avant de les remplir.

Les autres paramètres physico- chimiques (température, pH et oxygène dissous) ont été mesurés in situ avec les valises multiparamètres.



2- Travail au laboratoire

Les mesures de la matière en suspension et de la matière organique ont été réalisées au bord du navire M.S.BENYAHIA et du laboratoire de l'ISMAL dans les heures qui ont suivie le prélèvement.

2-1- Mesures des paramètres physico-chimiques

2-1-1- La température et l'oxygène dissous

La mesure de la température et de l'oxygène dissous, a été effectuée in situ par la méthode électrochimique.

L'appareil utilisé est un oxymètre de type valise multiparamètre multiline WTW à calibration et compensation automatiques (température de 0 à 40° avec $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ de précision et pression de 500 à 1100 mbar).

2-1-2- Le potentiel d'hydrogène

Tout comme pour les deux paramètres précédents, le pH a été mesuré in situ, à l'aide d'un pH-mètre de type : HANNA Instruments HI 8521, muni d'une électrode en verre à compensation de température.

L'étalonnage a été effectué avec deux solutions étalons, préparées au préalable au laboratoire, dont les pH sont de 4 et 7.

L'électrode est plongée dans l'eau de mer à analyser qui reste jusqu'à la stabilisation de la valeur du pH affiché. Cette électrode est rincée à l'eau distillée entre chaque échantillon.

2-1-3- La matière en suspension

Des filtres de 0.45 μm de diamètre de pores sont rincés à l'eau distillée puis séchés à 105°C dans l'étuve pendant une heure. Une fois secs, les filtres sont pesés avec précision, soit P_1 ce poids.

Après cette première pesée, chaque filtre sera remplacé dans sa boîte à filtres à l'abri de la poussière (cette étape a été réalisée au laboratoire et cela avant la sortie).

La deuxième étape consiste à filtrer un volume d'eau de mer (cette étape a été réalisée à bord du navire *M.S.Benyahia*) soit entre 100 et 500ml.

La dernière étape consiste à mettre les boîtes contenant les filtres chargés de particules dans l'étuve à 70°C pendant deux heures pour la déshydratation.

Après refroidissement dans le déshydrateur, chaque filtre sera pesé, soit P_2 ce nouveau poids.

La concentration de la matière en suspension (MES) s'obtient par l'expression :

$$\text{MES (mg/l)} = P_2 - P_1/V$$

Avec :

P_1 : poids du filtre avant filtration (mg)

P_2 : poids du filtre après filtration (mg)

V : volume d'eau filtrée (l)

2-1-4- La matière organique

Les filtres de 0.4 μm de diamètre de pores, ont été préparés de la même façon que pour la matière en suspension. Ils sont alors peser avec précision dans des creuses, soit P_1 ce poids.

Après les avoir passer au four à moufle à 450°C pendant deux heures, les creuses et filtres sont à nouveau peser, soit P_2 ce poids.

Ensuite, les creuses avec filtres sont à nouveau peser, soit P_2 ce poids. La différence de ces deux poids (P_1 , P_2) nous donne celui de la matière organique brûlée :

$$\text{M.O (mg)} = P_1 - P_2$$

Avec :

P_1 : poids du creuset et du filtre avant séchage

P_2 : poids du creuset et du filtre après séchage

2-2- Mesure des hydrocarbures

2-2-1- Prétraitement des échantillons pour les analyses des hydrocarbures

2-2-1-1- L'extraction

Immédiatement après le prélèvement, environ 100 ml sont rejetés de la bouteille, pour ajouter 50ml de CCl_4 .

Par ses propriétés physico-chimiques, ce solvant organique plus léger que l'eau au moment de l'agitation (3mn) permet la dispersion du solvant dans l'eau de mer et la formation d'une phase organique non miscible à la phase aqueuse, piégeant ainsi les hydrocarbures présents dans l'eau.

L'extraction proprement dite se fait au laboratoire. En ajoutant 50ml de CCl_4 , on procède à une agitation mécanique dans des ampoules à décanter d'un volume de 250 ml chacune, pendant une durée de 15mn. A la fin de chaque agitation on laisse l'eau de mer se décanter pour un quart d'heure.

La phase organique inférieure de l'ampoule est récupérée dans un Erlenmeyer à col rodé où l'on rajoute du Sodium anhydre $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ afin d'éliminer toute trace d'eau.

2-2-1-2- La 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 rotatif, pour éviter l'évaporation des hydrocarbures aromatiques à un 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 40°C . Il suit ensuite une deuxième concentration sous jet d'azote jusqu'à un volume de 5 ml.

2-2-1-3- La 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 très lourd par rapport à l'hexane et à l'eau de mer.

2-2-2- Analyse

Différentes techniques ont été mises en œuvre pour l'analyse des polluants organiques marins. Les méthodes spectrales offrent des résultats particulièrement satisfaisants du point de vue quantitatif et qualitatif.

La spectroscopie est une technique d'analyse des molécules qui se base sur la manière dont celles-ci absorbent les radiations.

Cependant, deux techniques parmi les plus souvent utilisées en chimie organique et qui sont tributaires du but recherché (hydrocarbures totaux, aromatiques, variation temporelle ou spatiale) ont été choisies : **(Figure 02)**

- la spectrophotométrie à rayonnement infrarouge (S.I.R).
- la spectrofluorimétrie à rayonnement ultraviolet (S.F.U.V).

Sur un plan strictement quantitatif, les résultats obtenus par ces deux méthodes ne sont pas comparables ; car le principe de mesure de chaque méthode est différent et s'applique à des hydrocarbures de structure moléculaire différente.

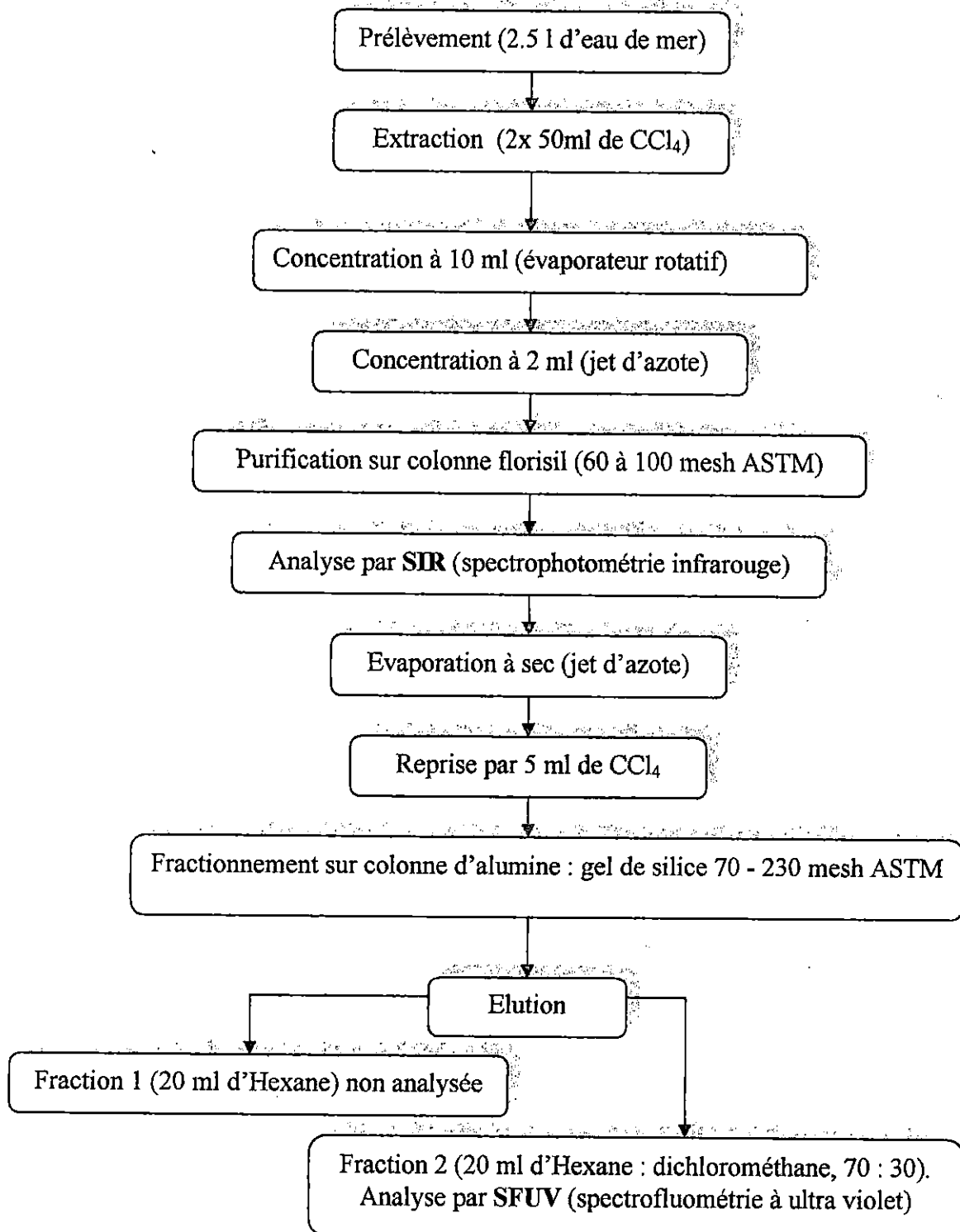


Figure 03 :- Diagramme résumant les étapes de la procédure analytique pour les eaux de mer-

2-2-2-1- Analyse par spectrophotométrie à rayonnement infrarouge (S.I.R)

Cette technique moins précise que les méthodes d'analyse fine, donne quand bien même un indice global de contamination par les hydrocarbures totaux. L'excitation vibrationnelle de tous les atomes, d'une même molécule, permet d'obtenir une empreinte fonctionnelle unique et propre à chaque molécule.

La région la plus utile aux analyses des composés organiques est la zone intermédiaire ou infrarouge moyen, où le spectre s'étend de 600 à 4000 cm^{-1} , correspondant à des énergies absorbées de 4 à 40 kJ/mol.

Cependant, pour les hydrocarbures, cette plage de nombre d'ondes plus restreinte se limite entre 3000 et 2600 cm^{-1} . Celle-ci correspond aux vibrations de valence $-\text{CH}$, $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$. (Volhardt et Schore, 1995)

➤ Principe

A des énergies plus faibles que celles des radiations visibles, les molécules absorbent la lumière et subissent une excitation dite vibrationnelle, dans la région infrarouge du spectre électromagnétique. La fréquence des vibrations dépend de la force de liaison entre les deux atomes et de la masse atomique. Elle est régie par la loi de Hooke qui décrit les mouvements d'un ressort :

a- Loi de Hooke et excitation vibrationnelle

$$V = K \times f \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \times m_2}}$$

Avec :

V : fréquence vibrationnelle en nombre d'onde (cm^{-1}).

K : constante.

f : constante de force indiquant la raideur du ressort (de liaison).

m_1, m_2 : valeurs des masses attachées au ressort (masse des atomes liés).

Cependant dans la pratique, les molécules subissent des élongations et des mouvements de réformation angulaire ainsi qu'une combinaison de ces effets après absorption de la radiation infrarouge spécifique. Cette absorption est régie par la loi de Beer-Lambert.

b- Loi de Beer-Lambert

Sous l'effet d'une radiation de longueur d'onde donnée et d'intensité I_0 , les atomes d'une solution passent de l'état fondamental d'énergie E_0 à un état vibrationnel d'énergie E_1 en absorbant un rayonnement infrarouge.

Cette absorption proportionnelle à la concentration du soluté entraîne une diminution de I_0 qui devient I . cette différence ($I_0 - I$) correspond à l'absorbance ou densité optique :

$$I = I_0 \cdot e^{-K \cdot C \cdot l^*} \quad \text{d'où} \quad \text{D.O} = \text{Ln} (I_0/I) = K \cdot C \cdot l^*$$

Avec:

DO: densité optique.

I_0 : intensité lumineuse incidente ou faisceau transmis.

I : intensité lumineuse émergente ou faisceau émis.

l^* : épaisseur de la cellule en cabillaire ou trajet optique.

K : constante d'absorption moléculaire.

C : concentration de la solution à analyser.

➤ Références normatives

- Norme NF.190- 114
- Manuel d'utilisation du fournisseur Nicolet, de l'appareil
- Logiciel Omnic et C_xH_x
- Manuel d'analyse de l'eau par Rodier

➤ Conditions ambiantes

- Balayage avec de l'Hélium (55 ou 60)
- Température et pression normale
- Blouse et masque (pour la manipulation du CCl_4)

➤ Equipements et matériaux requis

- Spectrophotomètre FTIR de Nicolet, type MAGNA ESP 560
- Logiciel OMNIC
- Logiciel C_xH_x pour le dosage des hydrocarbures
- Onduleur
- Etuve pouvant atteindre la température de $100 \pm 1^\circ\text{C}$
- Etuve de la marque Mammert allant jusqu'à 220°C

- La verrerie doit être soigneusement lavée, au besoin rincée avec l'acide et séchée en étuve à 100°C. Elle doit être réservée exclusivement pour cet essai.
- pH mètre
- Réfrigérateur
- Verrerie de laboratoire
- Ballon en verre de 1L
- Ampoule à décanter de 500ml ou 1000ml
- Erlenmeyers de 50ml
- Entonnoirs de 100ml
- Flacons en verre

➤ **Dosage de l'échantillon**

Après avoir mesuré le volume de l'échantillon et ajusté le pH à 5 environ, on induit dans le ballon un barreau aimanté. On ajoute 50ml de CCl_4 , 5g de Na Cl par litre d'échantillon d'eau. On agite pendant 15mn, on laisse alors décanter. On prélève la phase organique que l'on verse dans le flacon contenant du $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ anhydre, on la filtre à travers un filtre contenant du florisol. On recueille le solvant dans une éprouvette graduée, on note le volume recueilli.

On remplit la cuve de 10mm et on introduit dans le compartiment de l'appareil pour analyse infrarouge. La valeur en hydrocarbures est donnée en mg/l de CCl_4 .

➤ **Calculs et détermination des concentrations par la méthode des tangentes ou Analyse spectrale**

Le spectrophotomètre infrarouge fournit la transmission. L'absorbance **A** ou densité optique **D.O** est obtenue par la méthode des tangentes, en mesurant **I** et **I₀** sur le spectre (sur l'axe de la transmittance) à 2925 cm^{-1} , région d'absorption maximale des hydrocarbures et cela par l'équation : (Marchand, 1983)

$$A = \ln(I_0 / I)$$

où :

I₀: énergie lumineuse émise

I : énergie transmise

➤ **Calcul de la concentration finale en hydrocarbures totaux**

L'absorbance A de l'extrait correspond d'après la courbe à la concentration C d'hydrocarbures dans le CCl_4 .

Les concentrations d'hydrocarbures totaux dans les échantillons d'eau se calculent comme suit :

$$[\text{Hydrocarbures}] \text{ mg.l}^{-1} = C (V_0/V) (V_1/V_P)$$

Avec :

C : concentration d'hydrocarbures dans l'extrait de CCl_4 (mg.l^{-1}).

V_0 : volume de CCl_4 ajouté à l'eau ou volume de recueilli après extraction au Soxhlet (ml).

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

V_1 : volume total après purification sur Florisil (ml), extrait purifié et solvant de rinçage (ml).

V_P : volume aliquote de l'extrait soumis à la purification sur Florisil (ml) ; cette quantité est fixée à 20ml dans le présent protocole.

2-2-2- Analyse par spectrofluométrie ultraviolette (S.F.U.V)

La fluorescence est le phénomène par lequel une molécule, après absorption de radiations, émet d'autres d'une certaine longueur d'onde. Ainsi un composant peut absorber des radiations dans la zone à ultraviolet et émettre de la lumière visible.

La spectrofluométrie est une technique d'analyse appliquée par Levy (1977) et préconisée par le C.I.O de l'U.N.E.S.C.O (1977), pour la surveillance de la pollution des hydrocarbures en mer. Elle mesure l'émission de fluorescence par des molécules soumises à un rayonnement d'excitation Ultraviolet.

Cette méthode a été adoptée du fait de sa sensibilité, sa rapidité et sa globalité au niveau des hydrocarbures polyaromatiques. Elle ne permet pas le dosage des hydrocarbures totaux au sens strict dans l'échantillon d'eau de mer car, les teneurs mesurées ne représentent pas réellement les concentrations absolues d'hydrocarbures.

Par contre, la réponse de fluorescence fournit un excellent indice de pollution pétrolière, du fait de très faible teneurs d'hydrocarbures aromatiques biogènes dans le milieu marin.

La limite de détection de cette méthode est de l'ordre de 0.1 $\mu\text{g/l}$ pour l'eau de mer. (C.O.I, 1982), (Marchand, 1983), (Roussel, 1983).

➤ Principe

La fluorescence est un phénomène qui se produit en deux phases :

a- L'excitation

L'excitation d'une molécule par une radiation électromagnétique ultraviolette est un phénomène rapide qui se traduit par le transfert d'un électron d'une orbitale liante vers une orbitale antiliante. La molécule passe ainsi de son état électronique fondamental vers un état excité. L'ensemble des transitions électroniques constitue le spectre d'excitation. La radiation ultraviolette de même que la lumière visible possèdent suffisamment d'énergie pour transférer des électrons vers des orbitales antiliantes créant ainsi un état électronique excité.

b- L'émission

Le retour à un état électronique de moindre énergie ou désactivation est relativement stable. Il fait intervenir un grand nombre de transitions produisant chacune l'émission d'une radiation dans toutes les directions. L'ensemble des transitions constitue le spectre d'émission du rayonnement de fluorescence.

L'intensité de la fluorescence est proportionnelle à la concentration de l'échantillon à condition que cette dernière soit comprise dans la gamme étalon. Cette technique s'applique en particulier aux molécules possédant des liaisons doubles conjuguées tels que les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques.

➤ 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 du lavage des accessoires de manipulation touchant directement ou indirectement nos échantillons.

La procédure de nettoyage de la verrerie des hydrocarbures est inspirée de celle préconisée par UNEP/ICO/IAEA (1995). La verrerie de travail est en verre borosilicate (bêcher, Erlen) propre.

Cependant, tous les instruments utilisés lors du traitement, du prélèvement et de l'analyse concernent les hydrocarbures doivent être nettoyer selon le protocole suivant (**figure : 02**) :

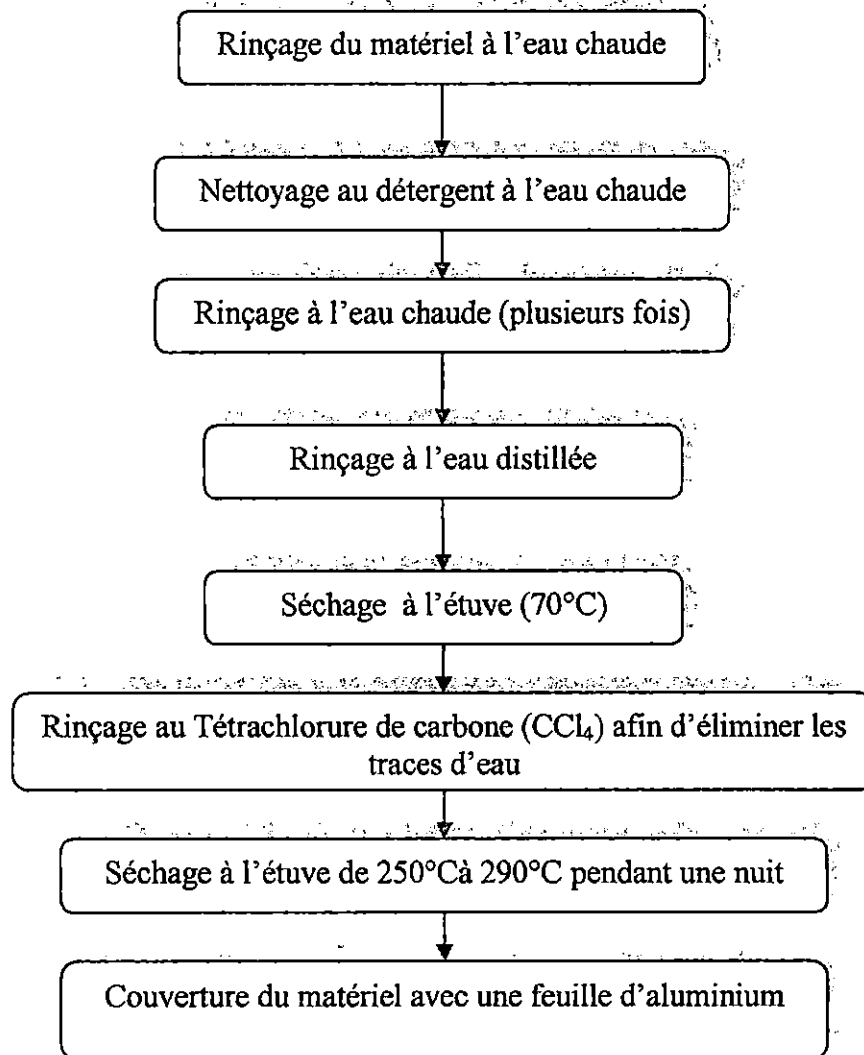


Figure 04 : - Processus du nettoyage du matériel destiné à l'analyse des hydrocarbures (UNEP, 1995)-

➤ **Appareillage analytique et matériel**

L'appareil utilisé pour cette analyse est un spectrofluomètre de type HITACHI 650-10s high sensitivity, équipé d'une lampe à xénon d'un balayage allant de 220 à 830 nm et de cellules en quartz d'un centimètre de trajet optique, polies sur les quatre faces.

Un volume minimal de 0.5 ml d'échantillon est suffisant à l'analyse.

Concernant l'équipement, en effet on utilise de la verrerie qui a subit au préalable un traitement pour éviter toute contamination (voir figure : 02)

- Erlen Meyer a col rodé de 100 ml.
- Bêchers (50 ml).
- Fioles (50 et 100 ml).

♦ **Réactifs pour les hydrocarbures**

- Hexane
- Chrysène.

➤ **L'étalonnage et gamme étalon**

La standardisation de l'appareil nécessite un hydrocarbure de comparaison ou étalon de référence. Celui préconisé est le chrysène ou 1,2 benzphenanthrène ($C_{18}H_{12}$) :

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 1ml est prélevé de cette dernière et dilué dans 25ml 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 : (Marchand, 1983; C.O.I, 1984)

Tableau 04: Concentration des solutions filles en équivalent chrysène.

Étalons standards	S1	S2	S3	S4	S5
Concentration (μ g/ml)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00

➤ **Mesure des intensités de fluorescence**

Les conditions opératoires à la lecture des intensités de fluorescence (IF) sont les suivantes :

- longueur d'onde d'excitation 310 nm ;
- longueurs d'onde d'émission 360 nm, 380 nm et 410 nm ; et
- les fentes d'excitation et d'émission sont respectivement fixées à 2 nm et 5 nm.

On note qu'à chaque série d'échantillon un blanc de procédure est analysé au préalable ainsi que la série de solutions standard.

L'intensité de fluorescence (IF) est proportionnelle à la concentration (C) de l'échantillon. 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'ondes précisées.

Les droites d'étalonnages ont la forme suivante :

$$IF = a C + b$$

Avec :

- ❖ **IF** : intensité de fluorescence en unité arbitraire (UA).
- ❖ **C** : concentration en hydrocarbures Polyaromatiques HPA (en $\mu\text{g}/\text{ml}$).
- ❖ **a** : pente de droite.
- ❖ **b** : ordonnée à l'origine.

Les meilleures réponses sont obtenues pour 360 nm. Les calculs sont effectués en fonction de cette réponse. (Figure 04)

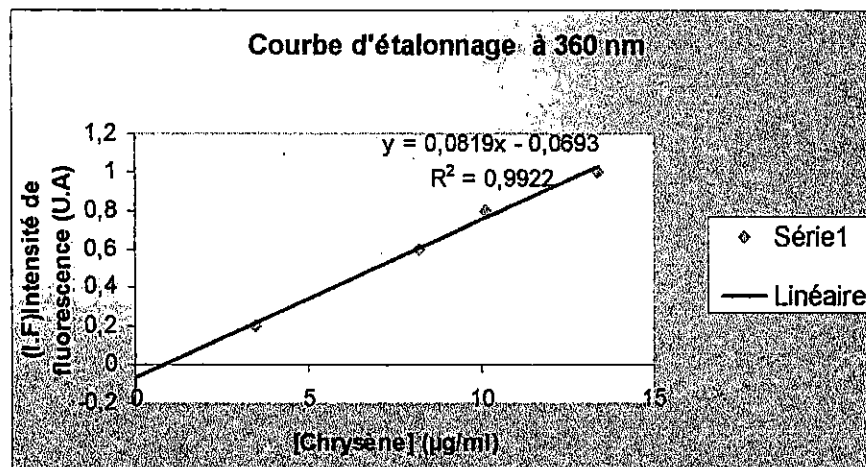


Figure 05 : - Courbe d'étalonnage pour le dosage des HAP par SFUV-

Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques sont déterminées à partir de cette courbe étalon.

➤ **Calcul des concentrations finales en hydrocarbures polyaromatiques**

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

$$[\text{HPA}]_{\text{e.finale}} = ([\text{C}]_{\text{écha}} - [\text{C}]_{\text{blanc}}) f \times (v/V)$$

Avec :

[HPA]_{e.finale} : concentration des HPA dans l'échantillon d'eau de mer ($\mu\text{g/l}$) en équivalent chrysène.

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

[C]_{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.

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATION

Introduction

Les résultats exposés dans le chapitre suivant ont été réalisés par la complicité de plusieurs laboratoires :

- I.I.S.M.A.L. et Sidi-Fredj (labo. Chimie marine), pour la M.O et les HAP ; et
- C.R.D. (labo. Spectroscopie), pour les HCT.

Pour les autres paramètres physico-chimiques, tout a été valorisé au bord des l'embarcations Baba-Aroudj et M.S. Benyahia.

Ces résultats sont traités pour estimer le taux d'hydrocarbures de l'eau de mer dans les différents secteurs du port d'Alger.

1- Variation générale des paramètres mesurés dans le port d'Alger

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques sont tous représentés sous forme de courbes de variations accompagnées de leurs interprétations. Cependant, deux tableaux (n°5 et 6) récapitulatifs de tous les calculs effectués dans ce but sont représentés dans la page suivante.

1-1- Variation des paramètres physico-chimiques

1-1-1- La température

Les valeurs de température au niveau du port d'Alger sont comprise entre 20.5°C et 23.3°C à 1m de profondeur, avec une température moyenne de 21.67°C et un écart type de 0.946.

Les deux valeurs, maximale et minimale sont enregistrées dans le même bassin (Mustapha) respectivement aux stations St 8 ; au voisinage du terminal des conteneurs ; et St 9 qui est plutôt proche du môle de Bologhine ; à 9m de profondeur.

Pour toutes les stations, les températures varient très peu et sont de niveau saisonnier comme le remarque Hamzaoui (1990).

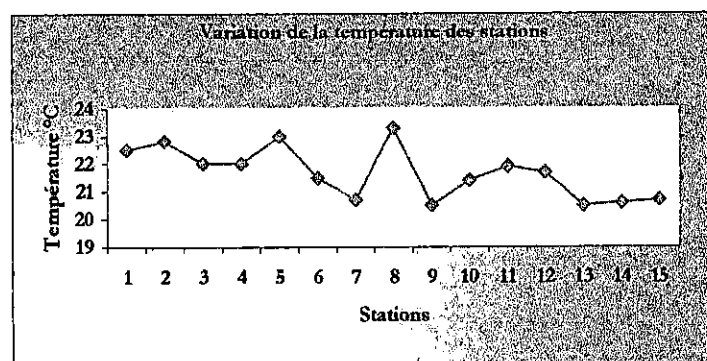


Figure 06 : Variation de la température au port d'Alger.

Tableau 05: Résultats des paramètres physico-chimique

Station (N°)	Profondeur (m)	Température (T°C)	pH	Oxygène dissous		MES (mg/l)	MO (mg)
				mg/l	S%		
1	7	22,5	8,18	5,56	66,4	/	/
2	12	22,8	8,16	5,86	75,6	1116	132
3	Fonds rocheux	22	8,19	5,35	62,4	516	106
4	23	22	8,17	5,28	63,8	516	113
5	7,5	23	7,9	4,51	31	592	127
6	10	21,5	8,04	4,84	45,8	300	29
7	9,5	20,7	7,98	4,53	24	740	56
8	9	23,3	7,97	4,66	53,6	920	85
9	9	20,5	8,35	7,19	88,7	892	49
10	7,5	21,4	8,34	6,38	82	500	92
11	9	21,9	8,21	6,45	78,2	340	35
12	12,5	21,7	8,15	5,68	69,7	472	42
13	9	20,5	8,16	7,91	86,2	292	44
14	20	20,6	8,13	7,71	87,7	132	7
15	27,5	20,7	8,23	8,04	93,6	224	21

NB : ° : Valeur maximale ° : Valeur minimale

Tableau 06 : Valeurs statistiques des grandeurs mesurées

	T°C	pH	O2 dissous		MES (mg/l)	MO (mg)
			(mg/l)	(%S)		
Moyenne	21.670	8.144	5.997	67.247	539.428	67.000
Ecart type	0.946	0.127	1.233	21.065	287.640	41.318

1-1-2- Le potentiel d'hydrogène

Les valeurs du pH des différentes stations prises au port d'Alger sont comprises dans l'intervalle [7.90- 8.35] avec une moyenne de 8.144 et un écart type de 0.127.

Valeurs pratiquement homogènes dans l'ensemble. La valeur la plus élevée est observée à la St 9 (9m de profondeur), alors que la plus faible est enregistrée à la St5 (7.5 m de profondeur) au quai n° 32 entre le môle de Skikda et le terminal des conteneurs, valeur due au fort hydrodynamisme de ces stations (Hocini, 1991).

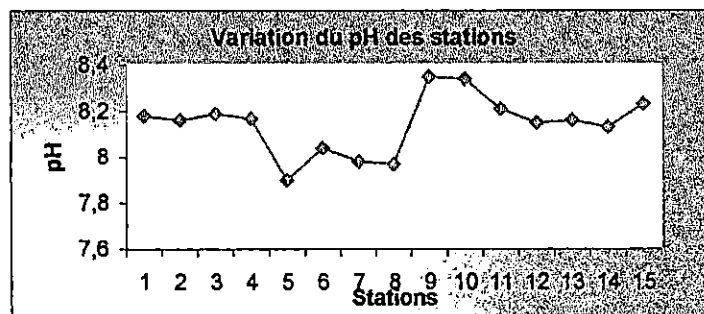


Figure 07 : Variation du potentiel d'hydrogène au port d'Alger.

❖ Le diagramme Température- pH

La distribution dispersée du nuage de points dans ce diagramme ainsi que le coefficient de corrélation négatif de -0.432 et très peu significatif, nous indique qu'il n'y a pas de relation direct entre ces deux paramètres.

La légère inclinaison de la pente reflète les faibles variations du gradient thermique qui ne peut être du qu'au réchauffement journalier et au faible renouvellement des eaux dans le port. Ceci peut favoriser la décantation des polluants vers le fond.

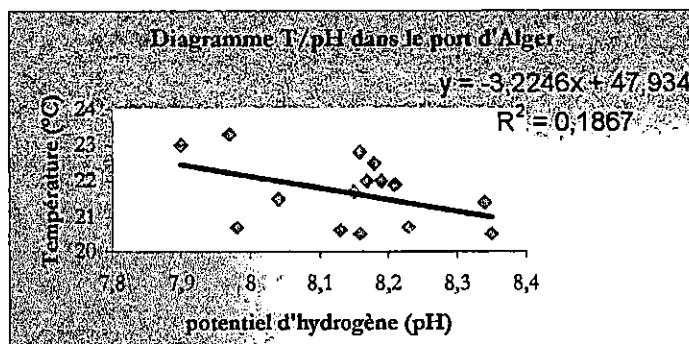


Figure 08 : Diagramme : potentiel d'hydrogène- température.

1-1-3- L'oxygène dissous

Pour l'oxygène dissous, deux valeurs ont été mesurées :

- en milligrammes par litre (mg/l) ; et
- en pourcentage de saturation (%S).

Les teneurs en milligrammes par litre varient entre 4.15mg/l ; enregistrée à la St 5 ; et 8.04mg/l à la St 15 (27.5 m de profondeur) située au large de l'extrémité de la jetée de *Kheir-Eddine*, avec une moyenne de 5.997mg/l et un écart type de 1.233.

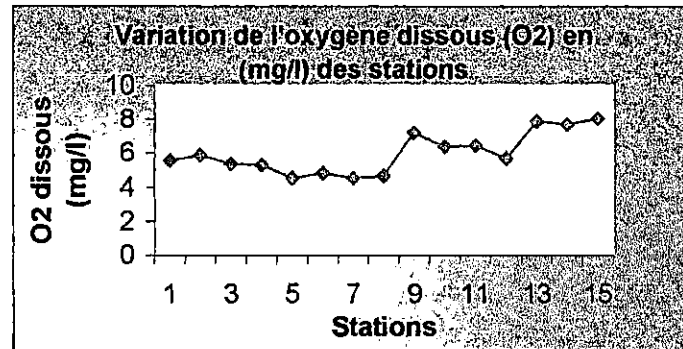


Figure 09 : Variation de l'oxygène dissous en (mg/l) dans le port d'Alger.

Le pourcentage de saturation varie de 24 à 93.6 %S, d'une moyenne de 67.247 %S et d'un écart type de 21.065.

La plus faible valeur est observée à la St 7 (9.5 m de profondeur) suivie de celle de la St 5 au voisinage de l'ex- môle d'El Hedjar, qui est le terminal des conteneurs actuellement. Qui s'explique par le fait que c'est un quai de remorquage des huiles et des savons. On a remarqué lors de l'échantillonnage, la très forte turbidité de l'eau de mer et la présence visible des effluents domestiques (traces de mousse flottante).

Tandis que la teneur la plus élevée est signalée au même endroit que celle trouvée pour les valeurs en mg/l, (St15).

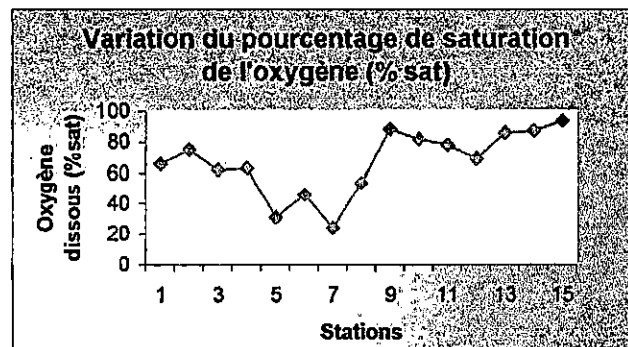


Figure 10 : Variation du pourcentage de saturation en oxygène dissous.

Ceci indique une forte consommation d'oxygène dans les processus de reminéralisation de la matière provenant des rejets urbains et des petites usines implantées dans la région.

Les valeurs d'oxygène dissous varient très peu entre les stations et reste dans les normes puisque d'après **Rodier (1984)** l'eau saturée d'air, à 20°C et sous une pression normale contient 9.1 mg/l d'oxygène.

Les variations de la teneur en oxygène dissous sont aussi importantes que la valeur du taux absolu ; elles peuvent dépendre de la présence des végétaux, des matières organiques oxydables, des organismes et des germes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface sol atmosphère (présence de graisses, d'hydrocarbures, de détergents, etc.).

❖ Le diagramme Température- Oxygène dissous

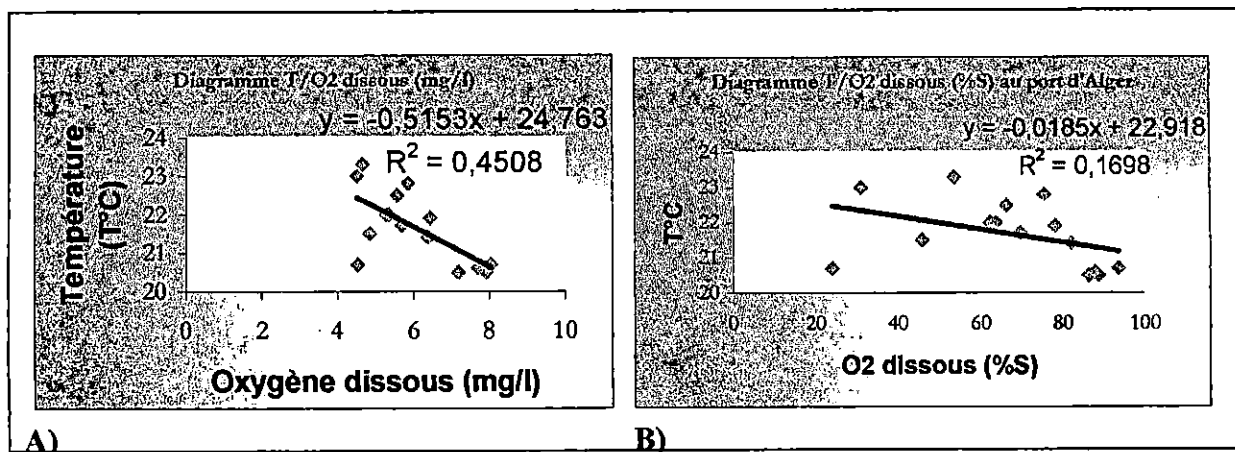


Figure11 : Diagrammes Oxygène- température.

L'abondance de l'oxygène dissous dans l'eau de mer dépend de la température (équilibre air- mer) ainsi que des processus chimiques et biologiques.

Cependant, les deux diagrammes « Température- Oxygène dissous » établis pour montrer cette dépendance, présentent une corrélation négative et peu significative avec des coefficients de corrélation de - 0.671 et - 0.412 (respectivement dans l'ordre des figures A et B). Dans ce cas, la distribution de l'oxygène dissous en fonction de la température ne manifeste aucune relation significative.

Cela signifie que, les variations d'oxygène sont plutôt dues à :

- la turbulence des eaux, que génère l'intensité du trafic portuaire. Se qui a été remarquer lors de la campagne d'échantillonnage aux stations 5 et 7 par l'arrivée du pavillon « **BURAK BAYRAKTAR** » d'Istanbul au quai n°32. A cela s'ajoutent ;
- des rejets de déchets d'hydrocarbures, de l'usine huilière, de la savonnerie; et
- des rejets d'eaux usées d'origine urbaine (infrastructures portuaires et villes d'Alger)

1-1-4- La matière en suspension MES

Les teneurs en matières en suspension varient entre 132 et 1116 mg/l avec une valeur moyenne de 539.428 mg/l et un écart type de 287.640.

Les valeurs sont mesurées par rapport à 250ml d'eau de mer pour toutes les stations, sauf pour les stations 12, 13, 14 et 15 où le volume était de 200ml.

Le prélèvement d'eau pour la MES n'a pas été effectué pour la St 1.

La plus forte teneur se localise à la St 2, située à l'extrémité sud de la jetée de *Mustapha*.

La faible valeur est donc située au niveau de la St 14.

Les teneurs sont très fortement supérieures à la moyenne, ceci est dû au facteur hydrodynamique et à la turbidité.

La distribution de la MES dans l'eau de mer dépend essentiellement de l'oxygène dissous, pH, l'état de la mer, des courants et de l'agitation auquel vont dépendre aussi sa sédimentation et son déplacement.

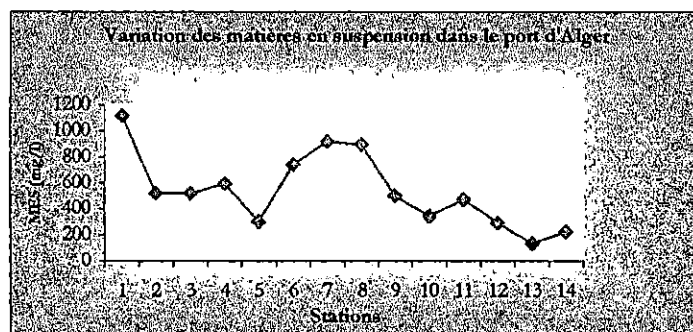


Figure 12 : Variation des MES dans le port

1-1-5- La matière organique

Les teneurs en matière organique sont assez élevés avec un intervalle de [7- 132 mg], une moyenne de 67 mg et un écart type de 41.318.

De même que pour la MES, les deux valeurs, maximale et minimale, correspondent respectivement aux stations 2 et 14.

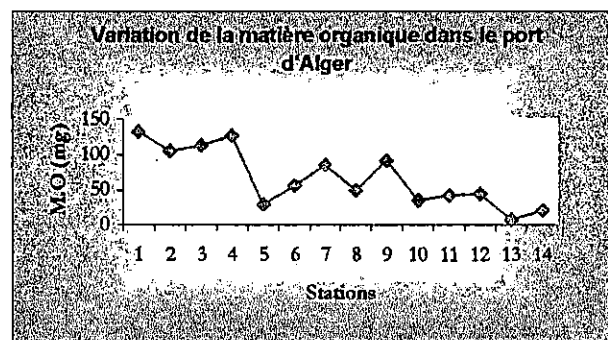


Figure 13 : Variation de la M.O dans le port.

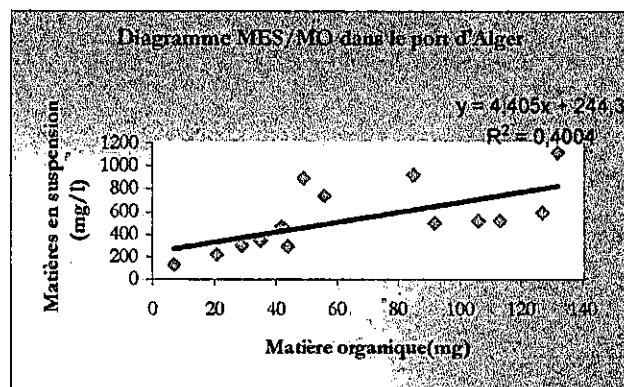


Figure 14: Diagramme MES/MO dans le port.

Cependant, le diagramme MES/MO présente une régression linéaire positive. Avec son coefficient de corrélation significatif de + 0,633, cette courbe souligne l'existence d'une bonne corrélation entre ces deux paramètres.

1-2- Variations des hydrocarbures

1-2-1- Résultats d'analyse des hydrocarbures totaux (HCT)

Les teneurs en hydrocarbures totaux (HCT) dans l'eau de mer de surface du port d'Alger obtenus par la SIR varient entre 0,996 $\mu\text{g/l}$ et 4,237 $\mu\text{g/l}$ avec une valeur moyenne de 1,799 $\mu\text{g/l}$. L'écart type de 0,941 $\mu\text{g/l}$.

Tableau 07 : Concentrations finales des Hydrocarbures totaux dans l'eau de mer du port d'Alger.

Station (n°)	[C _F] des HCT en ($\mu\text{g/l}$)
1	2,5698
2	4,2369
3	1,1827
4	1,3268
5	1,6985
6	2,2069
7	1,2759
8	1,1412
9	1,3559
10	0,9966

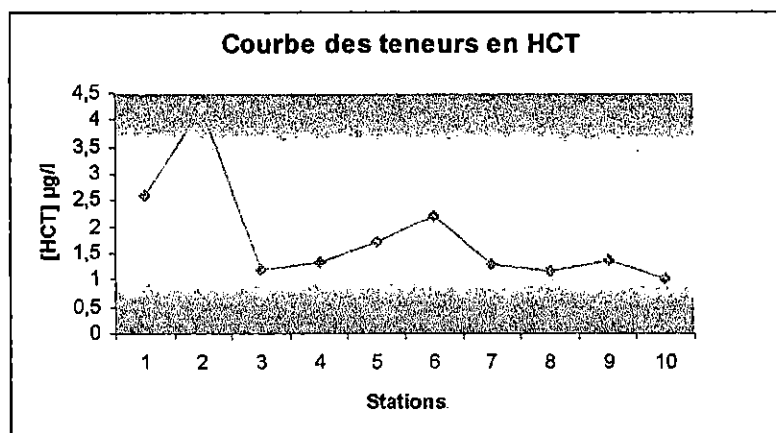


Figure 15: Courbe des teneurs en HCT dans le port.

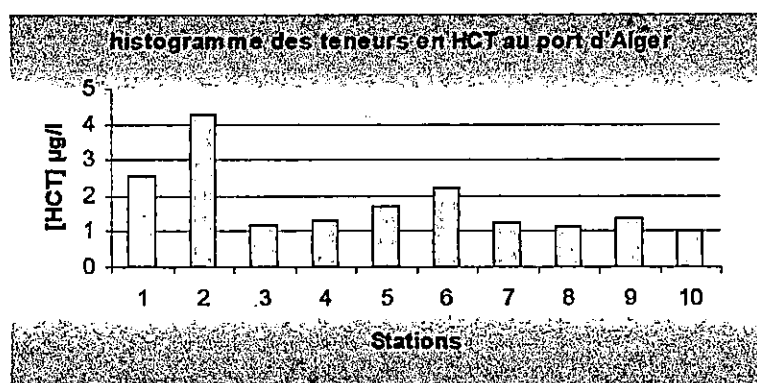


Figure 16 : Histogramme des concentrations en HCT au port.

La baie d'Alger qui abrite le port, est limitée par le massif de *Bouzaréah* à l'Ouest et *Cap Matifou* à l'Est. Du côté sud et sud-est se jettent dans cette baie l'oued *El-Harrach* et l'oued *El-Hamiz*, qui acheminent des apports plus ou moins importants.

A son tour, le port d'Alger renferme des activités industrielles différentes et variées (centrale thermique, raffinerie), dont les rejets s'effectuent dans ce milieu semi-fermé (pollution thermique). Cependant, il présente des concentrations moyennement élevées.

Un gradient de concentration positif retrouvé au niveau de la quasi-totalité des abords quais, indique que la contamination en HCT à ce niveau aurait pour origine les rejets de la zone côtière moyenne. Cette dernière donne sur la ville d'Alger qui par lessivage rejettent des polluants dans le milieu marin avoisinant.

➤ Bassin de Mustapha

La distribution des HCT dans l'eau de surface du port d'Alger par ailleurs, semble étroitement liée au trafic maritime.

Les zones affectées par le commerce du brut sont principalement localisées dans le bassin de *Mustapha*. Celui ci sert de rade à tous les navires transitant par Alger avec un petit port pétrolier situé à l'Ouest de l'axe du chenal d'accès au port (face au môle de *Skikda*).

Un trafic maritime de cette importance peut être directement impliqué dans la contamination de l'eau de mer de surface du port.

Dans le cadre du projet METAP (1993), le rapport n°1 précise l'existence d'une station de déballastage non fonctionnelle dans la zone portuaire.

Dans ce cas, les eaux de nettoyage des soutes, de vidange et de déballastage sont directement rejetées dans le port. Selon **Berné et Cordonnier (1991)**, les eaux de déballastage, suivant la taille des pétroliers représentent de 25% à 33% de la capacité utile. Elles contiennent 1% d'hydrocarbures.

Notant que, cette station compte aussi deux unités polluantes (METAP n°2, 1993) :

- l'ENCGUPS (Entreprise National des Corps Gras et l'Usine huilière et la Savonnerie), dont l'objectif et le raffinage et la fabrication d'huile végétale, qui rejette des acides gras, des déchets d'origine végétale, des huiles végétales et des traces de *glycérine* directement dans le port qui débite cette charge dans la baie en direction du milieu marin.
- L'émissaire des déchets NAFTAL et SONELGAZ d'eaux polluées riches en matière organique et sans aucun traitement au préalable.

Le reste des exutoires rejettent surtout les eaux usées d'origine urbaine (ville d'Alger et infrastructures portuaire).

Ces sources potentielles de pollutions au niveau de ces bassins semblent expliquer les teneurs rencontrées.

De son côté, l'Oued El-Harrach contribue par ses rejets anthropiques à l'enrichissement du milieu marin en HCT.

Il a été montré que 60% des apports (non aromatiques) par les fleuves transitent sous forme dissoute et colloïdale. Le reste, les 40%, sont associés aux particules en suspension et sont soumis à l'hydrodynamisme sédimentaire (Del Rocio Moralès Loo, 1988).

Selon cet auteur, la phase dissoute est marquée par la présence des hydrocarbures pétroliers et en composés issus d'une dégradation avancée de la matière organique en *n-alcanes*.

De même, l'oued *El-Harrach* semble influencer directement la zone extrême Est du port. Ceci pourrait expliquer la teneur importante en HCT rencontrée à la station n°2.

D'autres sources potentielles de pollution sont à considérer.

Les eaux de nettoyage des pétroliers et des pomperies sont directement évacuées dans la mer. Le nettoyage et l'entretien des citernes mettent en œuvre des jets hydrauliques puissants pour décaper une croûte épaisse à base de produits bitumeux ou asphaltiques (Berné et Cordonnier, 1991).

De même, Sellali et al., (1993) constatent, une contamination se traduisant par des pollutions ponctuelles très localisées et constituées par les navires en rade en baie d'Alger.

L'eau de mer et particulièrement la microcouche de surface (eau de mer superficielle) sont riches en matière organique et en organismes hétérotrophes (De Souza Lima, 1985).

Ainsi, différents processus biologiques tels que la bioaccumulation et la dégradation microbiologique peuvent modifier considérablement les concentrations et la composition des hydrocarbures introduits dans l'océan supérieur (Siron et al., 1986).

Certaines algues phytoplanctoniques (*Pavloca lutheri*), en présence des hydrocarbures réduisent leur métabolisme, leur photo respiration et leur division cellulaire et meurent (Lambert-Castel et Penot, 1981). Cette létalité enrichirait le milieu marin en matière organique et donc en hydrocarbures.

A contrario, certaines espèces phytoplanctoniques méditerranéennes peuvent se développer dans des milieux fortement pollués allant jusqu'à 1.2mg/l en HCT (Del Rocio Moralès Loo, 1988). Leur photosynthèse (synthèse de composés hydrocarbonés) est stimulée par des teneurs de 9mg/l de fraction soluble en HCT dans l'eau de mer. Ce même auteur a constaté une augmentation considérable de la synthèse de *squalène*, hydrocarbure insaturé, dans des cultures polluées de ces organismes. Ce composé peut contribuer à l'augmentation des teneurs en HCT dans l'eau de mer de surface.

➤ **Bassin de l'Agha :**

Ce bassin étant confiné entre celui du vieux port et de *Mustapha*, ne subit pas de renouvellement d'eau.

Cependant, le seul prélèvement effectué à ce niveau (**Station 11**), devrait suffire pour dire que cette valeur moyennement élevée s'expliquerait par le fait que cette région est dépourvue de réseau fluvial et que les petits cours d'eau rencontrés en hiver sont complètement asséchés dès sa fin.

➤ **Bassin du vieux port :**

Une dilution des **HCT** semble possible dans cette partie du port.

Les stations **12** et **13** situées aux abords des quais réservés à la pêche, présentent les teneurs les plus faibles en matière organique après celles situées à l'arrière port (**St14** et **S15**). Cette région est un lieu d'échange des eaux entre le port et le milieu marin.

D'autres vecteurs de contamination rejoignent discrètement la mer. Ce sont les eaux pluviales (de lavage) tombées sur les unités, les pompes et les postes de chargement des zones portuaires et industrielles telles que les raffineries. Elles sont dites « eaux normalement huileuses » (**Berné et Cornonnier, 1991**).

Les hydrocarbures, d'origine pyrolytique rejetés (par les torchères) dans l'atmosphère, les oueds puis dans l'eau de mer se superposent aux niveaux en hydrocarbures biogènes traduisant des variations importantes de la distribution des **HCT** en surface et une augmentation des concentrations (**Burns et Villeneuve, 1981**).

Des teneurs proches de la moyenne sont souvent remarquées près de la côte. Cela s'expliquerait par le fait que les hydrocarbures ont une distribution moins stable qu'au large des côtes. Ces composés, malgré les fortes teneurs rencontrées, peuvent avoir diminué entre le moment de leur rejet et celui de l'échantillonnage.

Effectivement, quelle que soit la stabilité des hydrocarbures, des transformations se produisent en particulier dans les zones côtières. Ces transformations physico-chimiques dues aux forts gradients de salinité, de pH, aux réactions photochimiques et biologiques en particulier microbiologiques, liées à l'activité de micro-organismes (**Saliot et al., 1992**).

Ces derniers dégradent préférentiellement des *n-alcanes* par rapport aux autres hydrocarbures (**Saliot et Marty, 1980**).

En effet, la solubilité quasi nulle des *paraffines* (dont les *n-alcanes*), par rapport à celle considérable des aromatiques (Berné et Cordonnier, 1991), favorise l'activité microbiologique. Ce qui explique ces variations à la côte.

1-2-2- Résultats d'analyse des hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

Il est généralement admis que les hydrocarbures aromatiques sont les plus toxiques suivis dans l'ordre par les séries *oléfiniques*, *naphéniques* et *paraffiniques*.

Les composés monoaromatiques sont les moins toxiques. En effet la toxicité augmente avec le poids moléculaire ; elle est maximale avec les composés possédant 4 et 5 cycles ; par ailleurs, l'alkylation du noyau aromatique augmente la toxicité des composés à la fois pour les séries du *benzène* et du *naphtalène*.

L'analyse de l'eau de mer du port d'Alger par la SFUV présente des concentrations en HPA comprises dans l'intervalle de $1.513 \mu\text{g/l}$ à $5.145 \mu\text{g/l}$ avec une valeur moyenne de $3.077 \mu\text{g/l}$ et un écart type de 1.174.

Le calcul révèle que les stations 12 et 13 situées respectivement à proximité des môles *d'El-Djazair* et de pêche sont caractérisées par la plus faible valeur qui est de $1.513 \mu\text{g/l}$.

Tandis que, trois pics sont nettement distincts sur la courbe, et qui représentent les fortes valeurs localisées respectivement aux, St 9 à côté du môle de *Bologhine* avec $5.145 \mu\text{g/l}$, suivi de la St 7 avec une teneur de $4.842 \mu\text{g/l}$ et enfin, la St 2 avec $4.54 \mu\text{g/l}$ en HPA.

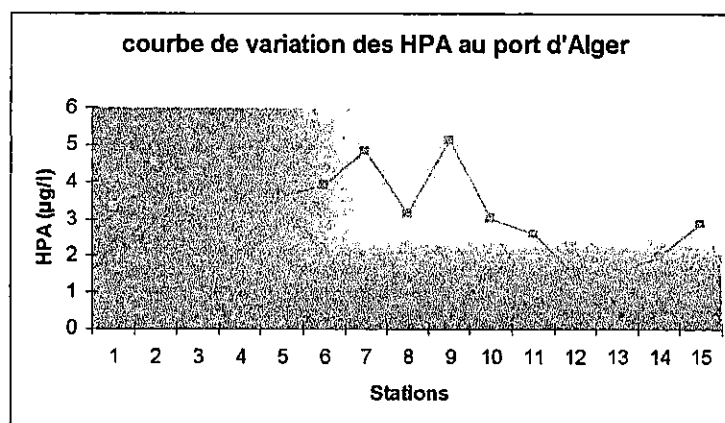


Figure 17: Courbe de variation des HPA.

Tableau 08 : Concentrations des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'eau de mer du port d'Alger

Station (N°)	Concentrations des HPA ($\mu\text{g/l}$)
1	3.329
2	4.540
3	1.816
4	2.270
5	3.632
6	3.934
7	4.842
8	3.178
9	5.145
10	3.026
11	2.572
12	1.513
13	1.513
14	1.967
15	2.875

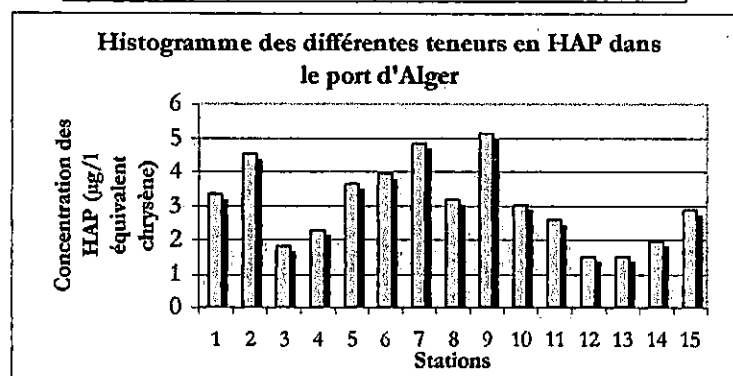


Figure 18 : Histogramme des teneurs en HPA au port d'Alger.

Selon Lacaze (1980) et Bodennec(1983), les hydrocarbures aromatiques biogènes sont très faiblement représentés dans le milieu marin.

Cependant, le peu de stations prélevées dans cette campagne semble être une preuve incontestable de la présence d'une pollution pétrolière.

Des concentrations en **HPA** dans l'eau de mer ont été mesurées au cours de différentes études sur des secteurs de la côte algérienne dont :

- **Kemmoun (1989)** sur la pollution des hydrocarbures dans la baie d'Alger [0.35- 5.74 µg/l] et le golf d'Arzew ;
- **Tounsi (1989)** dans les mêmes régions avec [3- 6µg/l] ;
- **Hocini (1991)**, sur les méthodes d'analyses des hydrocarbures dans l'embouchure de l'oued *Mazafran* avec [0.86- 2.64µg/l] et le lac *d'El Mellah* ;
- **Smail et Mazouz (1996)**, dans la baie d'Alger avec [0.3- 15µg/l].

Ces résultats confirment la fiabilité des nôtres, tout en tenant compte de la diversité des standards utilisés pour le calibrage dans ces travaux.

Les valeurs les plus élevées se localisent aux centres des deux darses n°6 et n°8, respectivement aux stations 9 et 7. Les lignes d'isoconcentrations élevées forment une zone précise, ponctuelle et peu étendue non loin de la rade réservée aux bateaux de commerce. Les pétroliers mouillent face au môle de *Skikda*, à l'Est du port d'Alger.

La teneur la plus faible est de 1.513 µg/l remarquée aux stations 12 et 13.

Les valeurs du large sont généralement plus élevées. Elles varient entre 1.967µg/l et 2.875µg/l (stations 14 et 15).

Celles-ci soulignent l'importance du trafic maritime, particulièrement celui pétrolier, et le séjour en rade des navires. En effet, les navires essences, les butaniers et les huiliers (dont le nombre varie de 36 à 41/an) demeurent en rade entre 16 et 36 jours (annuaire statistique, 1994). Cette période prolongée dans la zone de mouillage augmente la contamination du milieu marin par les hydrocarbures d'où les teneurs élevées rencontrées dans cette partie du port.

Cependant, ces grandes concentrations pourraient être dues d'une part à des **HPA** d'origine biogène (U.N.E.P/I.O.C/I.A.E.A, 1992) ; d'autre part, des vents à l'époque des prélèvements, de secteur Ouest à Nord-ouest, auraient pu transporter des **HPA** de la rade réservée aux pétroliers vers ces centres.

Selon **Lacaze (1980)**, le déplacement des produits pétroliers en surface est plus dépendant des vents que des courants. Ce qui expliquerait, en partie, les fortes teneurs aux centres des darses 6 et 8, et celles faibles rencontrées au port de pêche.

Ainsi, dans les eaux superficielles, des mouvements turbulents peuvent apporter du matériel sédimentaire en suspension qui s'adhère aux particules de pétrole provoquant le coulage de la masse pétrole-sédiment. Selon le même auteur, la sédimentation des **HPA** est favorisée par l'élévation de la densité qui dépend à son tour, du vieillissement de ces derniers.

L'enrichissement du milieu marin en **HPA** est encore lié à la combustion partielle de la matière organique. Les **HPA** néoformés s'incorporent à l'eau de mer à travers les processus fluviatiles et éoliens (U.N.E.P/I.O.C/I.A.E.A, 1992). Selon **Grimalt et al., (1988)**, les **HPA** rejetés en mer ouverte sont encore attribués aux apports atmosphériques.

En effets, l'atmosphère joue un rôle prépondérant dans l'apport des **HPA** à la mer (**Broman et al., 1991a**). Ces composés sont, en premier lieu, émis sous forme gazeuse. Cette étape est suivi par une condensation sur des particules submicroscopiques (**Sicre et al., 1987**).

Par la suite, les **HPA** rejoignent le milieu marin par le biais des précipitations, des dépositions sèches et à travers l'interface air/eau (**Bidleman, 1988**).

Les sources potentielles de pollution par les **HPA** sont nombreuses. Les émissions de gaz d'échappements des automobiles par combustions d'essences contribuent significativement à la pollution de l'air urbain par les **HPA** (**Westerholm et al., 1988**). Dans l'étude effectuée par **Tuominen et al., (1988)** le trafic automobile semble être le déterminant majeur dans l'augmentation des **HPA** dans l'air urbain. Celui-ci, en l'occurrence l'eau de mer, véhicule ces contaminants en direction des régions avoisinantes.

Sellali (1996), évoque aussi l'importante influence des sources anthropiques et de la circulation automobile sur la qualité de l'eau de mer de surface.

La variabilité spatiale des **HPA** dans l'eau de mer s'expliquerait d'une part, par des apports potentiels ; d'autre part, une élimination simultanée des **HPA** 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)**, les **HPA** sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles. La microcouche de surface est enrichie par des résidus organiques (pétrole dégradé) comparée à l'eau de surface sous-jacente (**Burns et al., 1984**). Selon les auteurs, ces composés proviennent de certains copépodes neustoniques qui rejettent des pelotes fécales contenant des hydrocarbures qui rejoignent la surface marine.

Le seston semble jouer un rôle important dans l'augmentation des teneurs en hydrocarbures dans les couches d'eau superficielles. **Broman et al., (1988)** insistent sur l'importance de ce flux sestonique (apports de matière organique) en période estivale probablement du à l'activité planctonique. Ce qui expliquerait, en partie, les teneurs extrêmes retrouvées dans la majorité des stations de prélèvements.

Des facteurs physico-chimiques comme l'évaporation, l'émulsification et la dissolution interviennent dans la réduction et la disparition des HPA à la surface de l'eau de mer (Lacaze, 1980). En somme, quelle que soit l'origine de cette dégradation, elle conduit toujours à des composés plus simples et plus solubles qui diffuseraient ainsi dans l'eau de mer sous-jacente.

L'influence des ports est fort probable surtout celui gazier pétrolier. Avec le non-fonctionnement de la station de déballastage, le risque de contamination ne fait qu'amplifier. Les pétroliers videraient leurs ballasts directement dans l'eau de mer du golf. Cette situation expliquerait, probablement, la teneur ($4.54\mu\text{g/l}$) rencontrée près de la passe Sud du port pétrolier et les concentrations alentours (station 2) généralement plus élevées que celles rencontrées plus loin.

L'oued *El-Harrach* rejette des quantités non négligeables d'hydrocarbures dans le milieu marin avoisinant. L'importance et la régularité des apports biogène et anthropiques dans cet oued, sa contribution à la qualité de l'eau de mer semble probable. En effet, cinq exutoires principaux débouchent vers la mer directement par l'intermédiaire de l'oued *El Harrach* sans aucun prétraitement préalable.

Selon cette même source de débit moyen d'eaux usées urbaines rejetées est de $6\text{m}^3/\text{s}$, avec un écoulement annuel moyen de 190Mm^3 dans cet oued contrairement à l'oued *El-Hamiz*, où l'écoulement est de 70Hm^3 pour une superficie de 262km^2 . (ANRH, 1998).

Les HPA ne sont pas en équilibre entre les phases particulaire et dissoute, la phase particulaire est enrichie (Bouloubassi et Saliot, 1992). Cette sédimentation des HPA particulaire réduirait, en partie, leur quantité à la surface de l'eau d'où la faible teneur ($1.002\mu\text{g/l}$) retrouvée dans la station 8. Les HPA prélevés seraient en majorité dissous et en petite quantité. Le non fonctionnement de la station d'épuration de la zone industrielle favorise l'enrichissement du milieu marin en HPA puisque les eaux industrielles sont évacuées sans aucun traitement dans l'oued *El-Harrach* ($1\text{m}^3/\text{s}$) et à la côte qui reçoit aussi les eaux usées urbaines des camps d'habitation (ANRH, 1998).

Selon Berné et Cordonnier (1991), parmi les principaux polluants impliqués dans les eaux résiduaires de l'industrie du pétrole, sont répertoriés les hydrocarbures aliphatiques et polyaromatiques.

L'introduction des HPA dans le milieu marin est souvent attribuée à la voie atmosphérique (Grimalt et Albaiges, 1988). Les émissions des torches incandescentes sont transportées et

éparpillées dans le milieu marin avoisinant par la voie atmosphérique et rejoignent, selon ces auteurs, les eaux marines par le biais des précipitations ou par dépositions sèches.

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 **HPA** 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 et/ou complètement les **HPA**.

La combinaison et la complexité de ces processus expliquent l'hétérogénéité de la distribution des **HPA** à la surface de l'eau de mer. Cependant, les fortes teneurs rencontrées dans cette région semblent indiquer que l'équilibre entre les apports et les processus d'élimination est rompu. Ces concentrations extrêmes signifieraient que les apports en **HPA** sont de loin plus importants que toutes les voies de sortie des **HPA** du milieu marin du port d'Alger.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le but de ce présent travail est l'estimation de l'aspect quantitatif des contaminants (Hydrocarbures Totaux et Aromatiques Polycycliques) et de leur niveau de contamination dans l'environnement marin, par délimitation des secteurs les plus exposés à cette pollution dans le port d'Alger.

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

Par ailleurs, l'analyse de l'eau de mer superficielle par la Spectrophotométrie à Infra Rouge donne un résultat instantané de la contamination par les Hydrocarbures Totaux. D'une manière générale et malgré la faible précision de cette technique (du point de vue qualitatif), l'empreinte fossile, récente et ancienne apparaît au niveau de la station n°2 où une teneur de 4,2369 µg/l d'hydrocarbures totaux a été prélevée.

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.

En effet, cela ne reflète que l'importance du trafic maritime et l'ampleur des rejets de l'oued El Harrach à ce niveau.

L'emploi de la Spectrofluométrie à UltraViolet pour l'analyse des Hydrocarbures PolyAromatiques dans l'eau de mer a permis de cerner une zone de contamination aux abords des quais, n°26 et n°32, où s'effectuent les différents rejets d'eaux usées qui jouent un rôle primordial dans l'apport en Hydrocarbures polyaromatiques anthropiques et biogènes dans le port.

Les deux teneurs trouvées dans les stations n°9 (5.145 µg/l) et n°7 (4.842 µg/l) sont plus importantes que celles observées au port de Béjaïa (0.858- 4.280 µg/l) et plus ou moins celles du port de Skikda (0.876- 19.965 µg/l). Rappelant que le port d'Alger est classé 4^{ème} en transport d'hydrocarbures après ces Arzew, Skikda et Béjaïa.

Une seconde région est signalée près de la jetée de Mustapha (St n°2), avec une teneur de 4.540 µg/l et qui affirme le résultat de la spectrophotométrie (hydrocarbures totaux).

A partir des données de cette étude, on peut dire que la distribution des Hydrocarbures Polyaromatiques présente la même configuration que celle des Hydrocarbures Totaux et que les résultats sont comparables à ceux de la littérature méditerranéenne.

Cependant, le développement des techniques de recherches et l'identification des composés par l'emploi des standards plus riches en hydrocarbures faciliteront l'identification des sources de pollution.

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

Enfin, l'implantation de stations d'épuration à la côte et l'emploi de procédés de dédommagements, l'adoption et l'application de réglementations adéquates, la sensibilisation de la population sont autant de perspectives d'avenir pour la sauvegarde du patrimoine marin algérien.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et revues

- 1- **ABDELGUERFI A., 2002/2003** - Bilan des expertises sur «Menaces pesant sur la diversité biologique ». MATE-GEF/PNUD-Projet. ALG 97/ G31 :256.
- 2- **AMINOT Alain. et CHAUSSEPIED Marcel., (1983)** - Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition : CNEXO (Paris), 661p.
- 3- **BELLAN G. et PERRES J.M., (1994)** - La pollution des mers. Que-sais-je ? Edition : Presses Universitaires de France, 13p.
- 4- **BERNE F. et CORDONNIER J., (1991)** – Traitement des eaux : Epuration des eaux résiduelles de raffinage. Conditionnement des eaux de réfrigération (Technip, Eds), 306p.
- 5- **BODENNEC G., PIGNET P., CAPRAIS J.C., (1983)** - Le Tanio : Suivi chimique de la pollution pétrolière dans l'eau et les sédiments, de Mars 1980 à Août 1981. Rapp.Scient.Techn. Edition : CNEXO, n° 52, 110p.
- 6- **BOULOUBASSI et SALIOT (1995)** – Dissolved particulates and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal environment: geochemical significance. Marine chemistry; pp.127- 143.
- 7- **C.O.I., (1984)** - Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous ou dispersés dans l'eau de mer et des plages, procédures applicables à la composante pétrolière du système de la pollution marine de la C.O.I. Marpolmon.P. Manuels et guides, n°13, 35p.
- 8- **DEL ROCIO MORALES- LOO M., (1988)** – effets des hydrocarbures sur le phytoplancton marin. Thèse en océanographie. Université d'ex-Marseille 2, 352p.
- 9- **GESAMP, (2002)** - The revised GESAMP. Hazard evaluation procedure for chemical substances carried by ships. Reported Studies, n°64.
- 10- **I.C.O., (1990)** - The determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Manuals and guides. CNEXO, n° 11, 96p.
- 11- **KENNISH M.J., (1997)** - Practical handbook of estuarine and marine pollution. Ed.CRC. Press. p524.
- 12- **LACAZE J.C., (1980)** - La pollution pétrolière en milieu marin. Ed. MASSON. Paris, pp. 117- 118.
- 13- **LACAZE J.C., (1996)** - La pollution des mers. Ed.FLAMMARION, 118p.
- 14- **LEVY E.M., (1997)** - Fluorescence spectrophotometry: Principales and practice as related to the determination of dissolved/ dispersed petroleum residues in sea water. *in* Marchand (1983). CNEXO. (Ed), 329p.

15- MALLEM M.T., BENOUD D., BOUDJELLAL B et SELLALI B., 1993 - Les matières en suspension dans la baie d'Alger ; *in* CHOUIKHI *et al* (Eds) : Circulation des eaux de pollution des côtes méditerranéennes des pays du Maghreb. INOC (Izmir) Turquie.

16- MARCHAND M., (1983) - Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie U.V. *in* CNEXO (ed). p. 329- 336.

17- MARCHAND M., (1989) -La contamination des eaux continentales par les micropolluants organiques (synthèse bibliographique). Revue des sciences de l'eau, Vol 2, pp. 229-264.

18- MARCHAND M. et KANTIN R., -Contaminants chimiques en milieux aquatiques. Edition : Oceanis. Vol : 21(2) ; 1995 ; Vol : 22(3) ; 1996 ; Vol : 23(4) ; 1997.

19- MARCHAND M. et BRUNOT C., (1997) - L'environnement littoral et marin. Institut Français de l'environnement. Etudes et Travaux ; n° 69, 116p.

20- MARCHAND M., (1999) - Pollutions d'origine maritime le long des côtes françaises. Bulletin d'informations du CEDRE, n° 12.

21- MARCHAND M., (2002) - Chemical spills at sea: case studies. In: The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology, ed. M. Fingas, Mc Graw-Hill, chap 43.

22- METAP., (1993) - Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport n°2, Ministère des transports, Direction des ports, Algérie, 60p.

23- METAP., (1993) - Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport intermédiaire n°3, Ministère des transports, Direction des ports, Algérie, 67p.

24- METAP., (1994) - Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport final, Ministère des transports, Direction des ports, Algérie, 170p.

25- MILLOT C., (1985) - Some features of the Algerian current. J. Geophys. Res., n°90 (C4), pp 7169 - 7176.

26- MILLOT C. (1987) - Circulation in the western Mediterranean sea. Oceanologica Acte. Vol 10, .n°2, pp.143- 149.

27- MILLOT C. (1989) -La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos connaissances et projets d'études. Annales de géographie, n° 459, XCVIII^e année, pp. 497- 515.

28- P.N.E.U/O.M.S, (1979) - Principes et directives aux déversements de déchets dans le milieu marin ; pp. 45- 110.

- 29- PERES J.M., BELLAN G., RAMADE F., ANCELINI J., LE LOURD P., GAUTIER M., SOUDAN F. et BELLAN S.D. (1976) – La pollution des eaux marines. Ed. Gauthier, 231p.
- 30- RAMADE F., (1998) - Dictionnaire Encyclopédique des sciences de l'eau. EDISCIENCE international (Ed), 277p.
- 31- REMPEC brochure (2002) - Protecting the Mediterranean against Maritimes accidents and illegal discharges from ships.
- 32- RODIER., (1992) - L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduelles et eau de mer). 7^{ème} édition: DUNOD (Paris).
- 33- RODIER Jean., 1996 - L'analyse de l'eau [8^{ème} édition] eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Edition: DUNOD (Paris). pp 385- 401.
- 34- Romer H., H. Palle et P.H.J. Styhr (1998) -Exploring environmental effects of accidents during marine transport of dangerous goods by use of accident descriptions. Environmental Management, 20(5): pp. 753-766
- 35- ROUSSEL J.C., (1983) - Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrophotométrie Infra Rouge. *in* CNEXO. (Ed), pp. 321- 327.
- 36- SALIOT A. et BOULOUBASSI I. et LIPIATOU E., (1992) – Stratégie d'échantillonnage et d'analyse appliquée à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. Hydroécol. Appl., tome4, Vol.2, pp. 9- 21.
- 37- SOUZA LIMA Y., (1985) : Accumulation des sels nutritifs dans la microcouche de surface. Influence possible des facteurs abiotiques et biotiques du milieu. Oceanologica. Acta, n°3, pp. 47- 58.
- 38- U.N.E.S.C.O., (1977) - Manuel de surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures en mer et sur les plages. COI/OMS/PNUE. *in* MARCHAND. (1983). C.N.E.X.O. (Ed) : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, 329p.
- 39- U.N.E.P., (1995) - Reagent and laboratory- ware. Clean-up procedures for low-level contaminant monitoring. Reference methods for marine pollution studies, n° 65, 35p.
- 40- U.N.E.P. /I.C.O. /I.A.E.A. (1995) - Reagent and laboratory-ware clean-up procedures for low-level contaminants monitoring. Reference methods for marine pollution, n°65.
- 41- VOLHARDT K.P. et SCHORE N.E., (1995) – Traité de chimie organique. De Boeck Université, (W.H.Freeman, 2^{ème} Eds.), 1156p.

Thèses et mémoires

- 1- **AMAROUCHE Nassima. et DEBICHE Soraya.**, - Exploitation de la pollution par les hydrocarbures polyaromatiques des sédiments des côtes Ouest d'Algérie. Identification et caractérisation des polluants par analyse spectrale. Mémoire d'ingénieur. ISMAL.
- 2- **ANNANE S., (2003)** - Caractérisation de la pollution des eaux de mer de la baie de BOUISMAIL en utilisant des images satellites – Application aux hydrocarbures- Mémoire d'ingénieur. ISMAL, pp. 31-33 et pp. 65-73.
- 3- **BELKESSA R., 2005** – Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat. Université de Constantine, 412p.
- 4- **HADJAMMAR Sonia., (1993)** – Niveaux en hydrocarbures polyaromatiques des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (Frange côtière). DEUA ; ISMAL ; Algérie.
- 5- **HAMZAOUI., (1990)** –Etude perspective de la pollution marine de la baie d'Alger. Mémoire : DEUA, ISMAL, pp10-15 et pp. 82-87.
- 6- **HOCINI N., (1991)** - Méthode d'analyse des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment superficiel : Résultats préliminaires à l'embouchure de l'Oued Mazafran (Baie de BouIsmaïl) et le lac El- Mellah (El- kala) ; Mémoire de T.S en sciences de la mer. ISMAL.
- 7- **KAOUNI L., (2001)** - La pollution pétrolière dans le port d'Arzew. D.E.U.A. ISMAL.
- 8- **KELAI F et RABAH E., (2002)** - Etude et détermination des seuils de pollution aquatique au littoral dans le port d'Alger et le secteur Ferhani- Elkettani. D.E.U.A. ISMAL; pp. 15-17.
- 9- **KHATIB N., (1999)** – Contribution à l'étude de la pollution par les hydrocarbures de l'eau de mer de surface et du sédiment superficiel marin des golfes de Béjaïa et de Skikda. Thèse de magistère. ISMAL.
- 10- **SELLALI B., (1996)** - La pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée Sud-occidentale ; contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales Centre et Ouest de l'Algérie. Thèse de magistère, I.S.M.A.L. Algérie.
- 11- **TOUNSI Radia.,** - Contribution à l'étude de la pollution de l'eau de mer par les hydrocarbures en Baie d'Alger et dans le Golf d'Arzew. DEUA. ISMAL. Algérie.

Sites internet et audiovisuels

Encyclopédie ENCARTA, 2004.
http://en.wikipedia.org/wiki/Crude_oil_washing
<http://gesamp.imo.org>
<http://www.ifremer.fr/cerdre/>

<http://www.le-cedre.fr//>

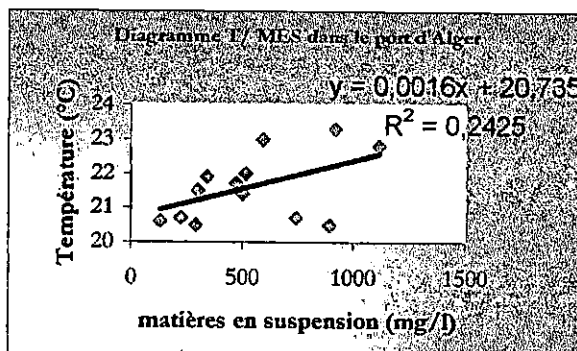
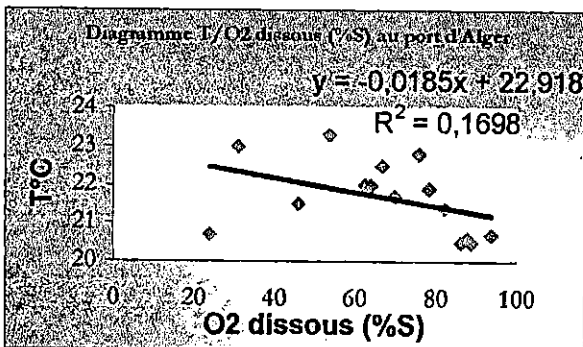
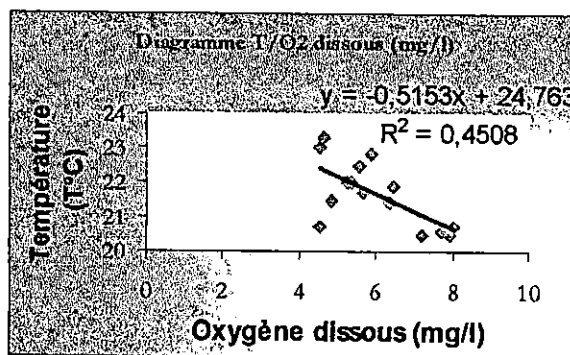
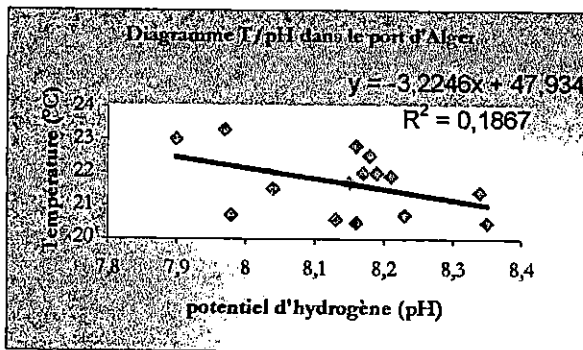
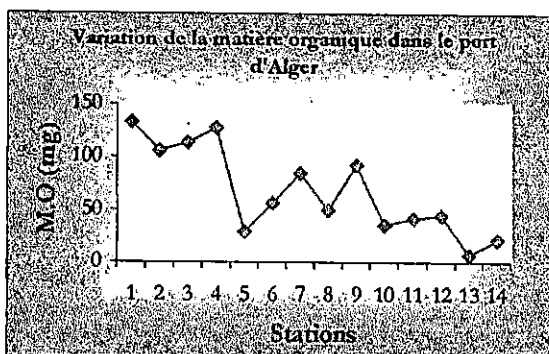
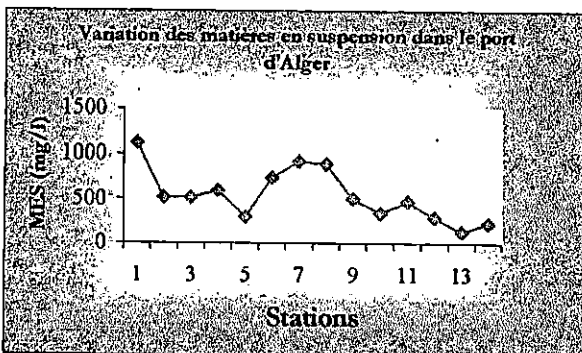
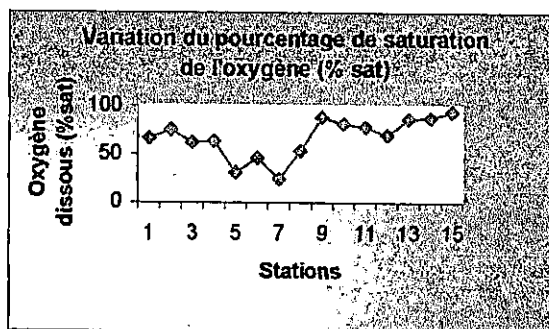
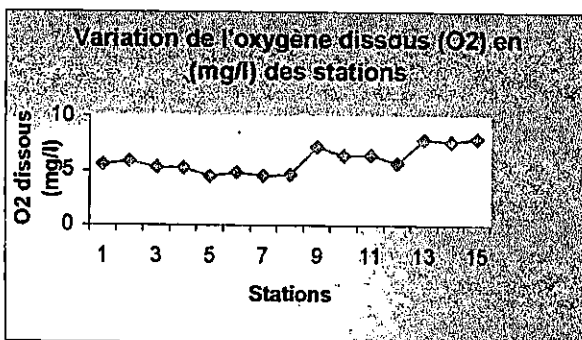
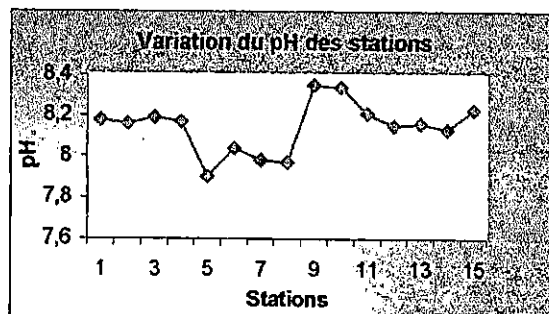
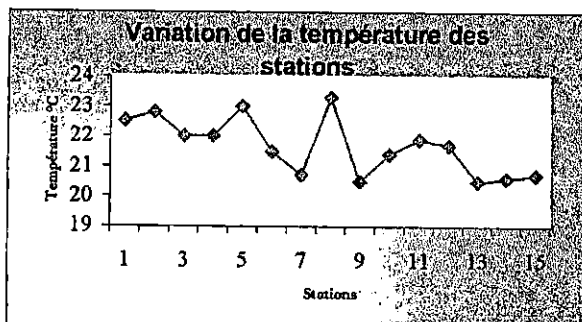
<http://www.mtp-dz.com/ports.htm>

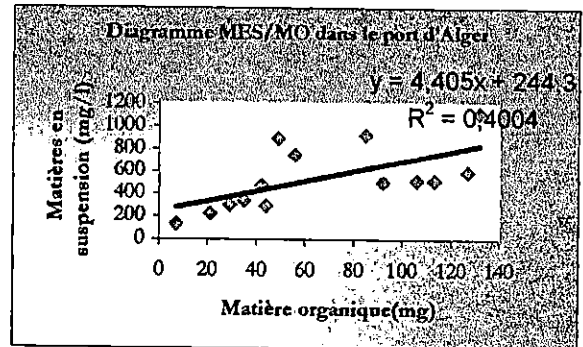
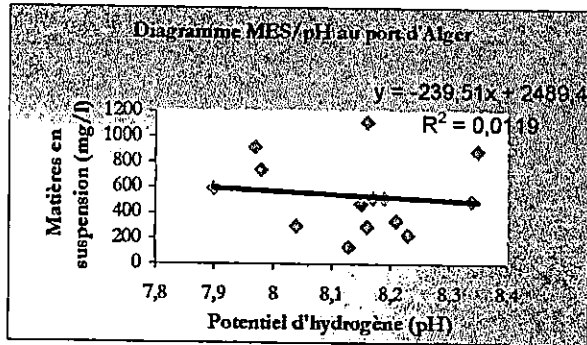
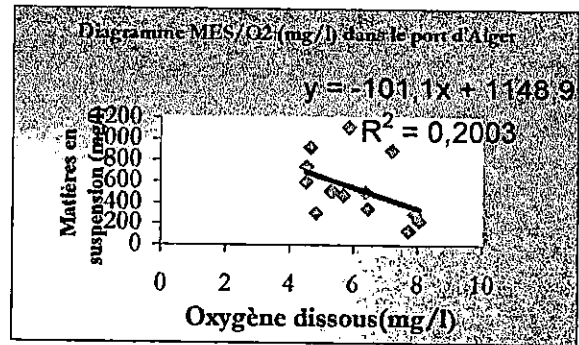
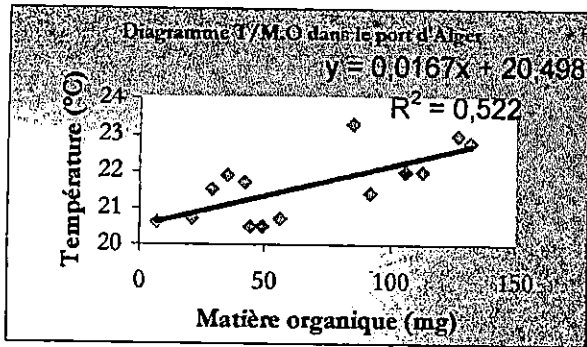
<http://www.portalger-dz.com>

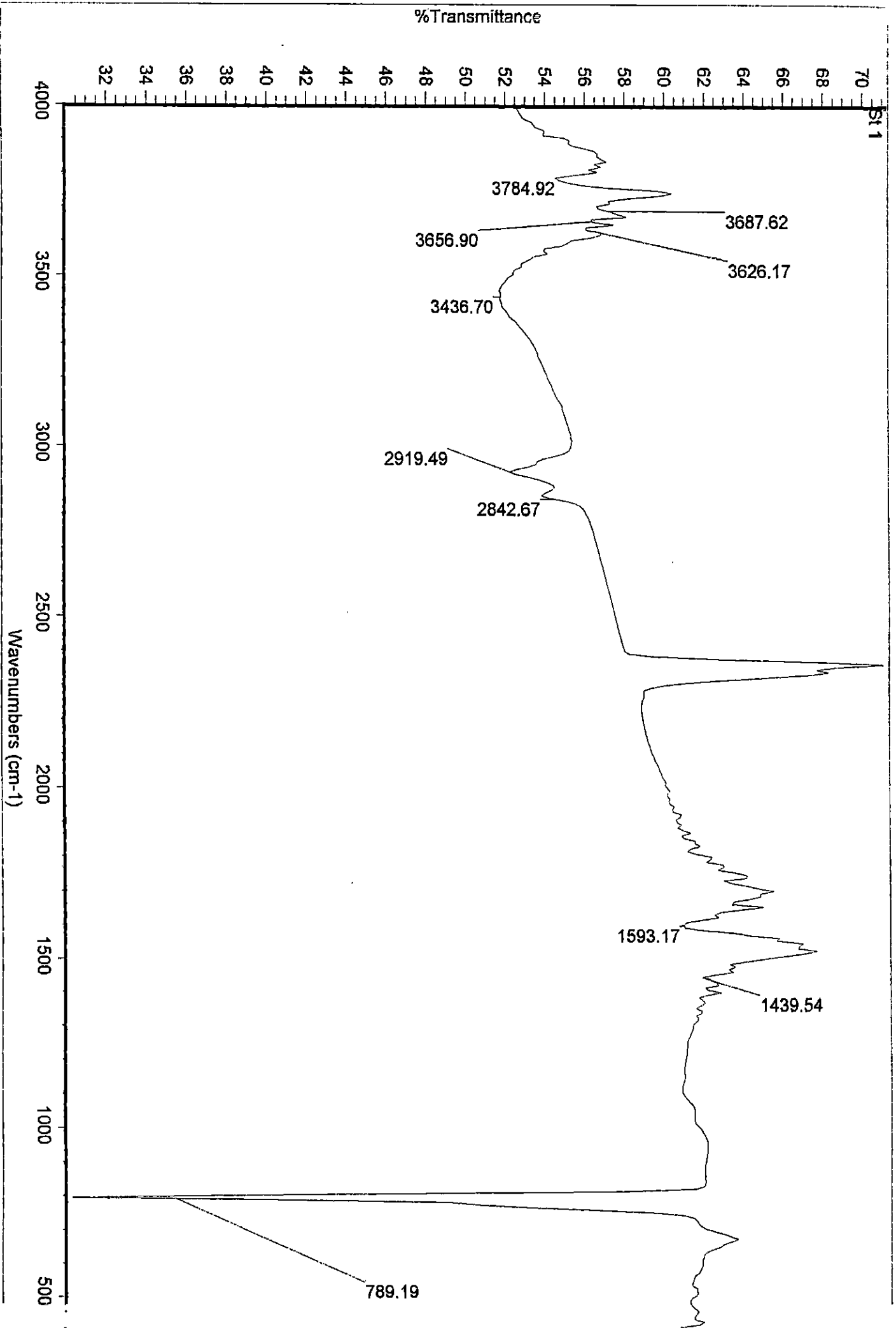
<http://www.spaceimaging.comme//>

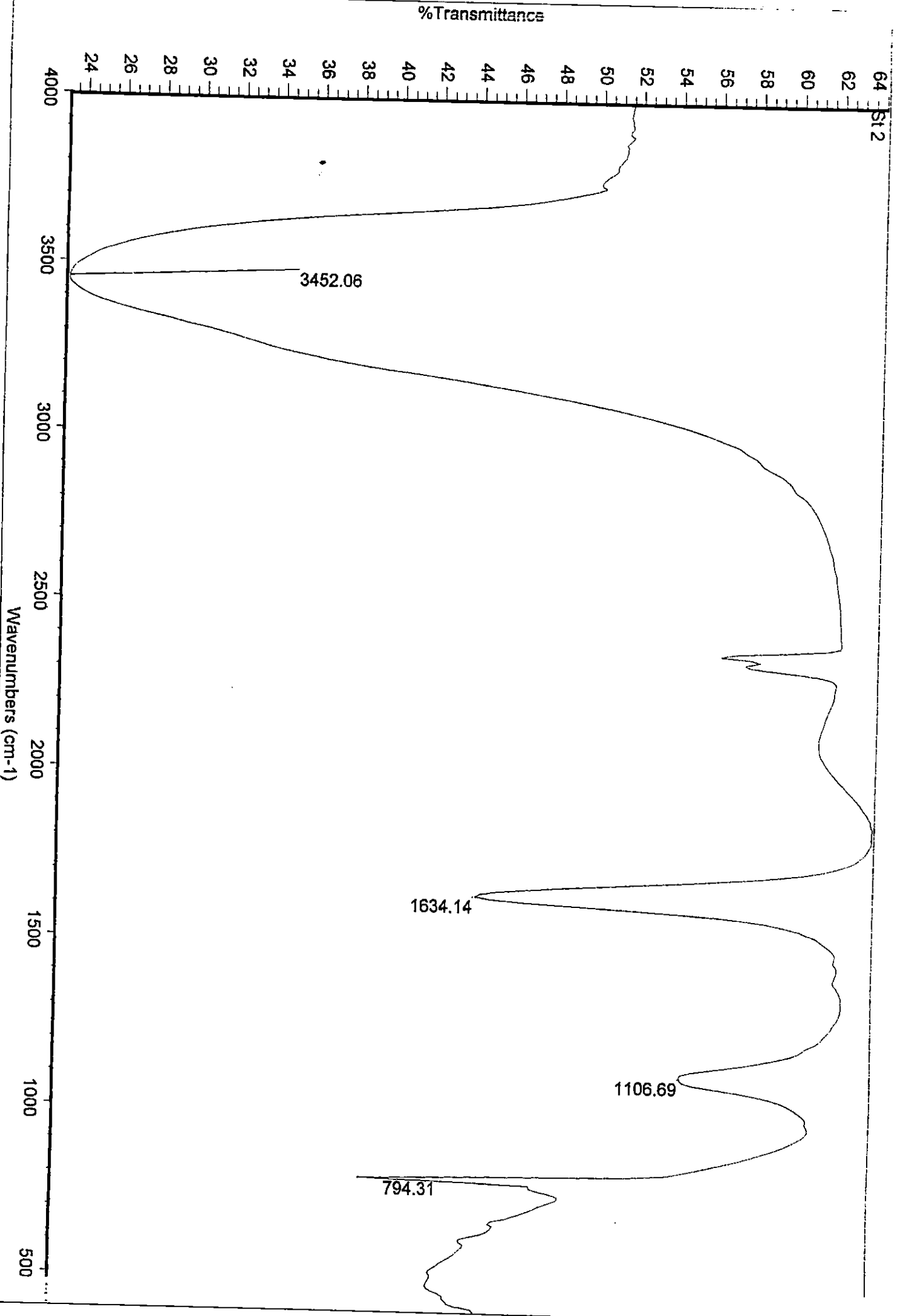
[http://www-Spain ERGOS brochure: Operative ERGOS: Environmental Response Group to Oil Spills, 2002.](#)

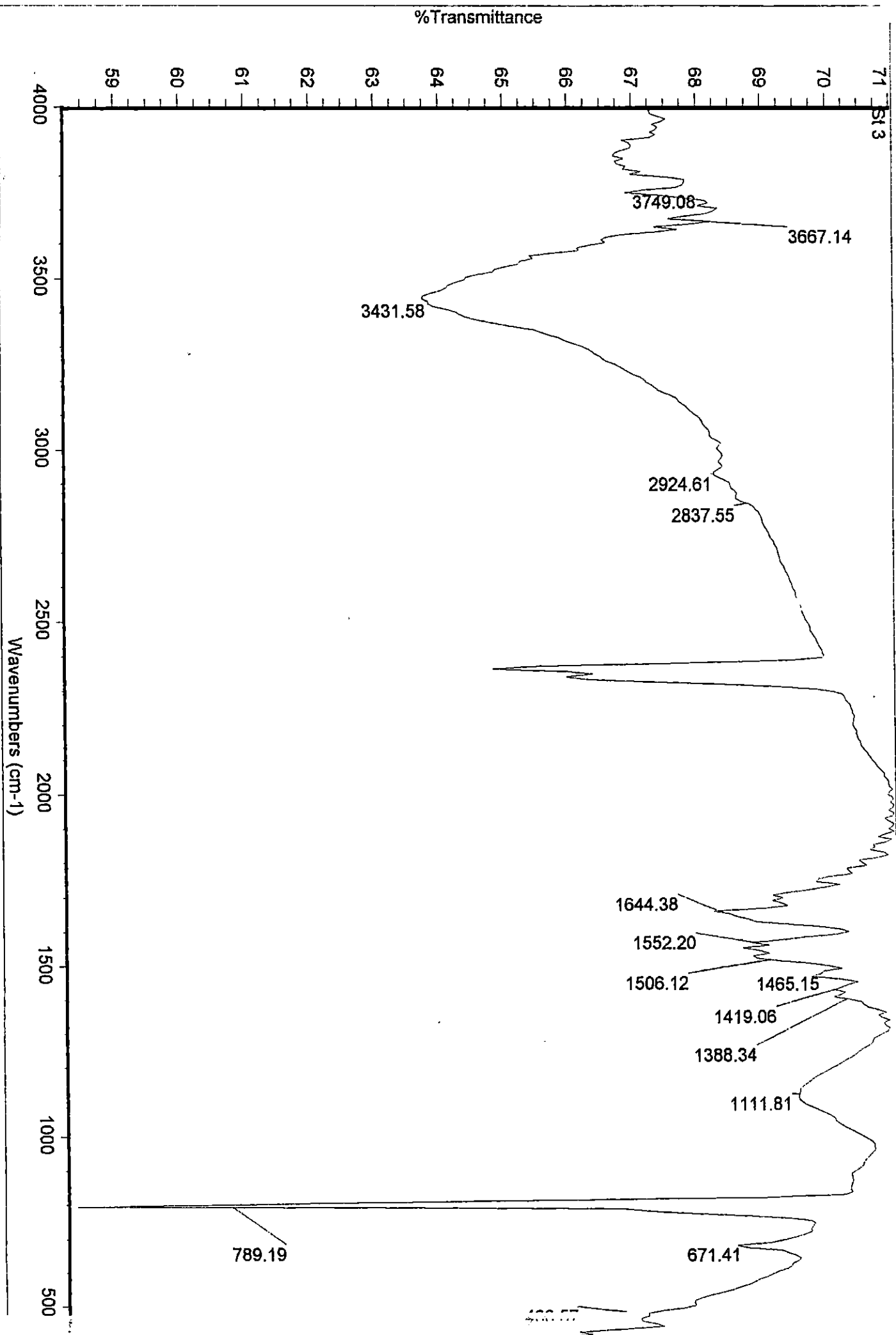
ANNEXES



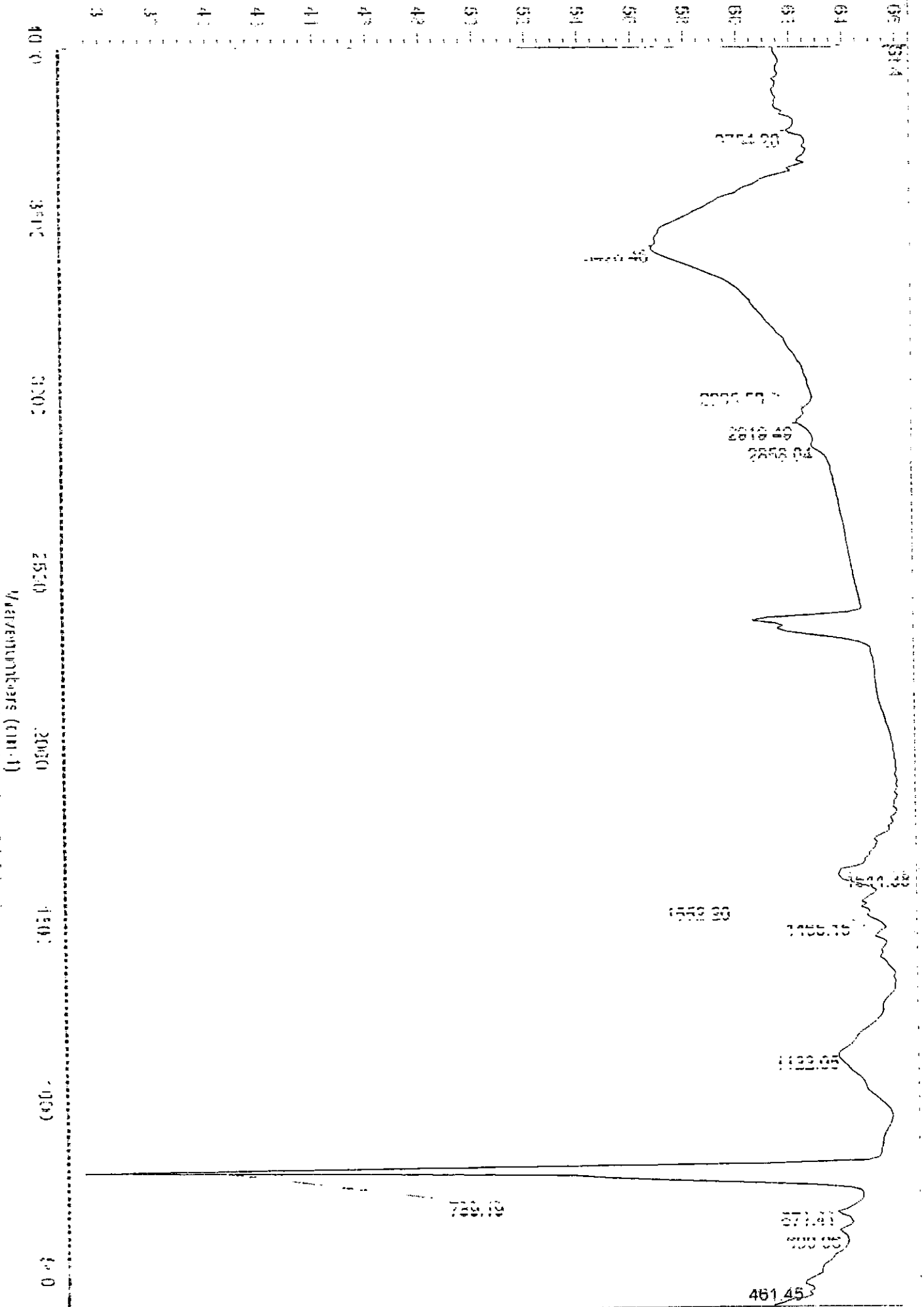




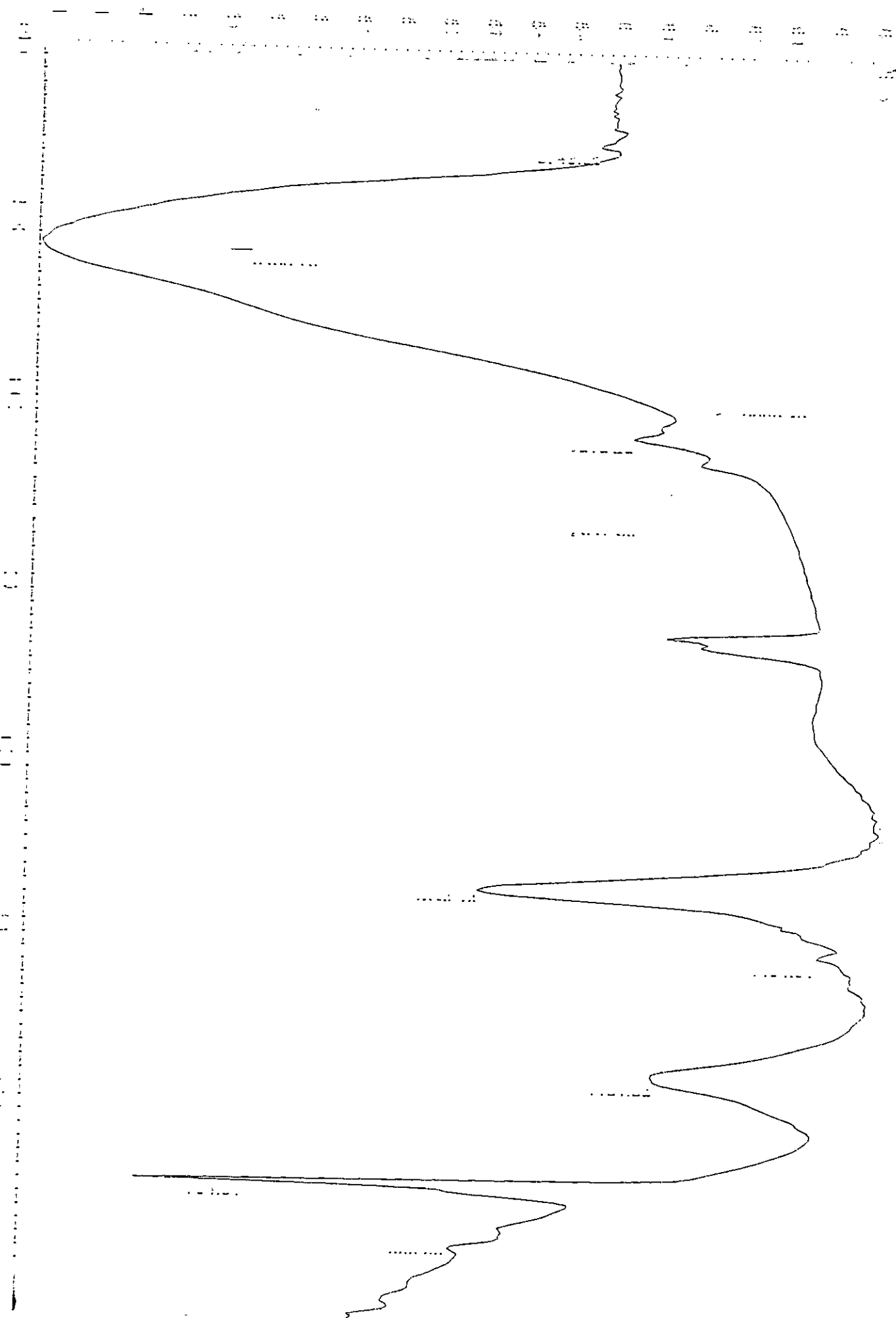




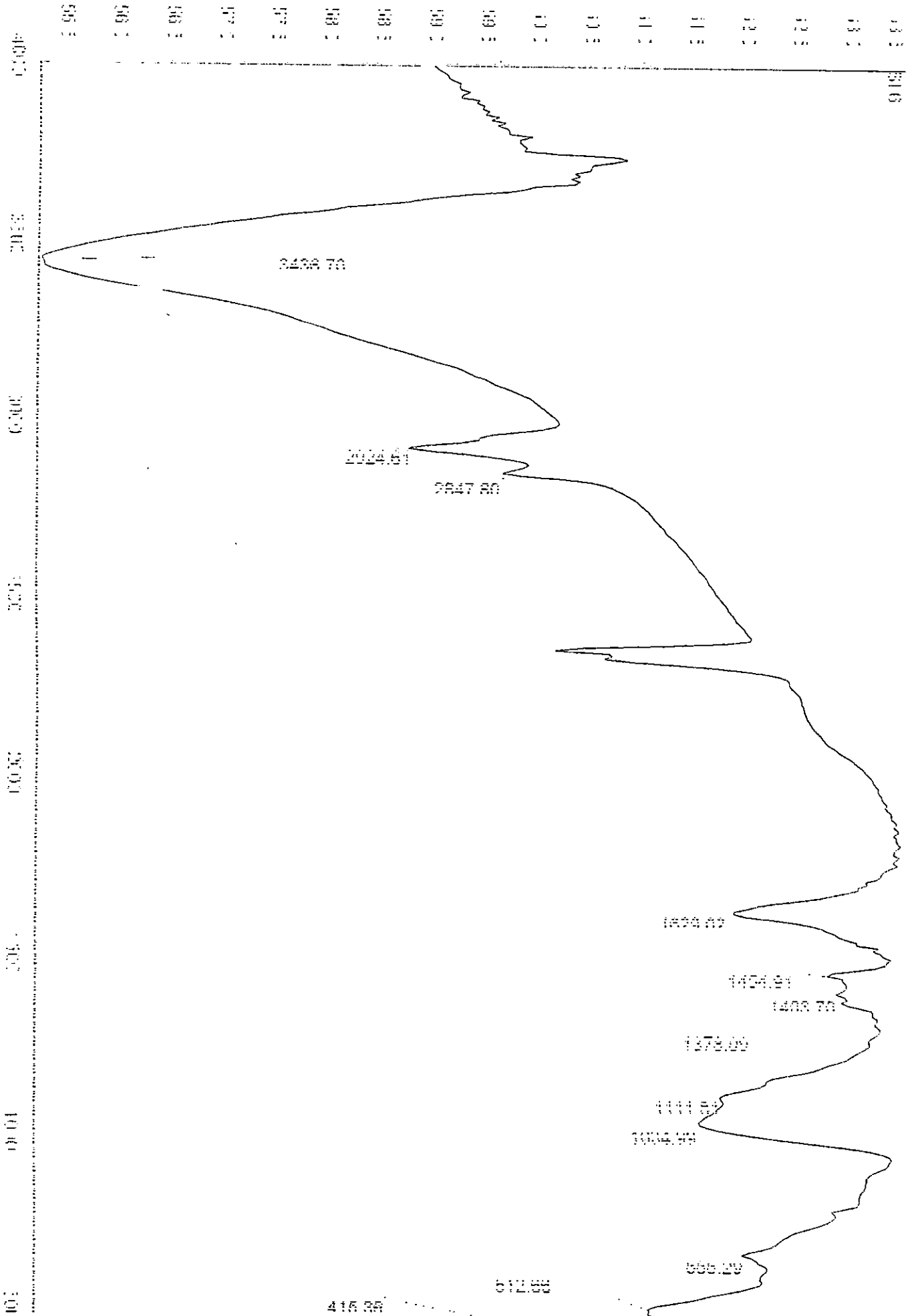
% Transmittance



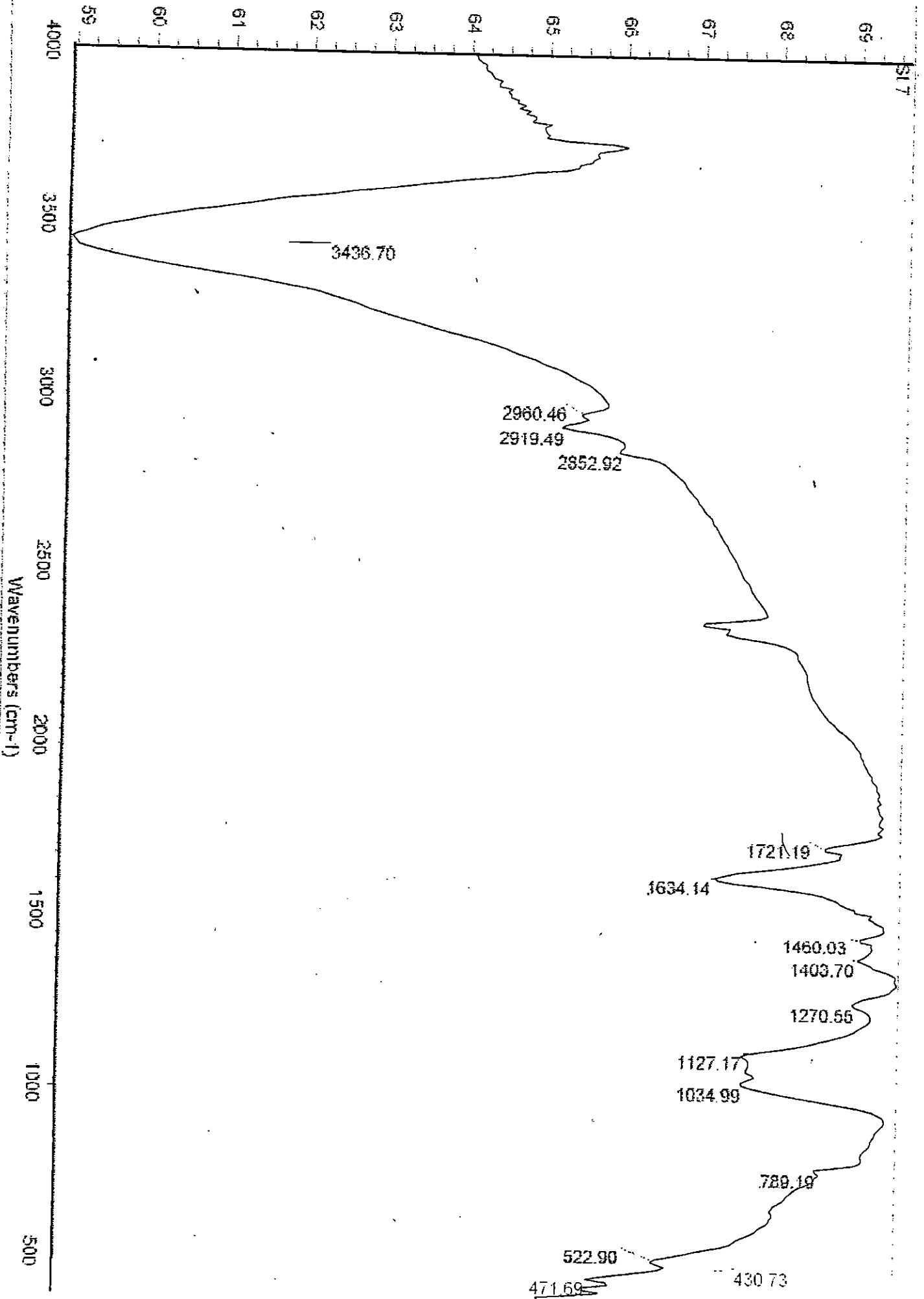
Transmittance



CHLORINE DIOXIDE



% Transmittance



% Transmittance

