

4/97
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

الجامعة الوطنية المتعددة التخصصات
العلمية والتقنية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DE L'ACTION DES
DISPERSANTS SUR UNE EAU
POLLUEE PAR LES
HYDROCARBURES

Proposé par :

Mme. KITOUS

Etudié par :

Mr. B. MEKKAS

Dirigé par :

Mme. KITOUS

Promotion Juillet 1997

E.N.P 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrah, Alger.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT
GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DE L'ACTION DES
DISPERSANTS SUR UNE EAU
POLLUEE PAR LES
HYDROCARBURES

Proposé par :

Mme. KITOUS

Etudié par :

Mr. B. MEKKAS

Dirigé par :

Mme. KITOUS

Promotion Juillet 1997

E.N.P 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrach, Alger.

Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Mes plus vifs remerciements vont à Mme KITTOUNS pour avoir accepté de m'encadrer et de me guider tout au long de mon travail.

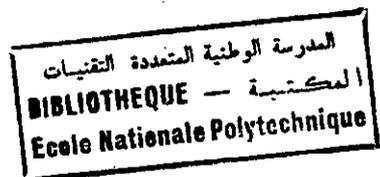
Mes remerciements vont aussi à Mr. AHMED ZAÏD qui m'a aidé à réaliser cette thèse, et à Mr. CHITOUR S.E. pour ces précieux conseils.

A Mme BELHANECHÉ.

Mme BOUCHAOU et Mr. LOMCÉ d'avoir accepté de juger mon travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.

SOMMAIRE



INTRODUCTION :	1
PREMIERE PARTIE	
I- LA POLLUTION MARINE PAR LES HYDROCARBURES.	3
II- LE PÉTROLE :	5
II.1- DÉFINITION :	5
II.2- LES DIFFÉRENTES FAMILLES D'HYDROCARBURES :	5
II.3- PROPRIÉTÉS DES HYDROCARBURES :	6
III- PHÉNOMÈNES AGISSANT SUR LES HYDROCARBURES DÉVERSÉS :	8
III.1- ÉTALEMENT :	8
III.2- ÉVAPORATION :	9
III.3- SÉDIMENT EN SUSPENSION :	9
III.4- DISSOLUTION :	9
III.5- EMULSIFICATION :	9
III.6-L'OXYDATION :	10
III.7- BIODÉGRADATION :	10
DEUXIEME PARTIE	
I- NOTION DE TENSION SUPERFICIELLE :	12
I.1- DÉFINITION :	12
I.2- MÉTHODES DE MESURE DE LA TENSION SUPERFICIELLE :	12
I.3-LES PARAMÈTRES INFLUENÇANT SUR LA TENSION SUPERFICIELLE :	14
I.3.1- LA TEMPÉRATURE :	14
I.3.2- INFLUENCE DE LA DENSITÉ :	15
I.3.3- INFLUENCE DE LA CONCENTRATION :	15
I.3.4-INFLUENCE DE LA VISCOSITÉ :	16
II-LES AGENTS DE SURFACE	17
II-1 CLASSIFICATION DES AGENTS DE SURFACE [12] :	17
II-2 CONCENTRATION CRITIQUE POUR LA FORMATION DES MICELLES (CCM) :	18

II-3 LES MICELLES :	19
II-4 BALANCE HYDROPHILE-LIOPHILE B.H.L :	19
II.5 PROPRIÉTÉS LIÉES À L'INTERFACE SOLUTION-SOLVANT :	19
II.6 BIODÉGRADABILITÉ DES AGENTS TENSIO-ACTIFS :	20
III- LES MICROEMULSIONS	21
III-1 HISTORIQUE :	21
III-2 HYPOTHÈSE MICELLAIRE :	21
III-3 STRUCTURE DES MICELLES :	21
III-4 LA MICROÉMULSION :	22
III-5 STRUCTURE DES MICROÉMULSIONS :	22
III-6 STABILITÉ DES MICROÉMULSIONS :	23
III-7 LES DIFFÉRENTS TYPES DE MICROÉMULSION SELON WINSOR :	23
III-8 APPLICATION DES MICROÉMULSIONS :	25
TOISIEME PARTIE	
I- PORT D'ALGER	27
I-2 L'INFRASTRUCTURE :	27
I-3 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES DU PORT :	28
I-4 SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION :	29
II- PRÉLÈVEMENT	30
II-1- MATÉRIELS DE PRÉLÈVEMENT ET DE CONSERVATION :	30
III- MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	32
III-1- MESURE DE LA TEMPÉRATURE :	32
III-2- MESURE DE L'OXYGÈNE DISSOUT :	32
III-3- MESURE DU P _H :	33
III-4- MESURE DE LA TURBIDITÉ :	33
III-5- MESURE DES MATIÈRES EN SUSPENSION :	33
III-6 MESURE DE LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGÈNE (DBO ₅) :	34

III-7 DOSAGE DES CHLORURES :	35
III-8 MESURE DE LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE (DCO) :	36
III-9- TABLEAU RÉCAPITULATIF :	38
IV. ACTION DES TENSIO-ACTIFS :	39
V. ACTION DE TELDJ SUR UN ÉCHANTILLON PRÉLEVÉ AU NIVEAU DU PORT D'ALGER :	44
VI. ACTION DES MICROEMULSIONS :	46
VI.3. PRÉPARATION DES MICROEMULSIONS :	47
VII. ACTION DES MICROEMULSIONS SUR UN MÉLANGE SIMULÉ :	48
VIII. ACTION DES MICROEMULSIONS SUR L'ÉCHANTILLON PRÉLEVÉ AU NIVEAU DU PORT D'ALGER :	52
ETUDES COMPARATIVE :	54
CONCLUSION :	56

Introduction :

Les désagréments apportés par la présence d'hydrocarbures dans un milieu naturel, une rivière ou lac, sont mal connus. Les rejets ont fait depuis longtemps l'objet de restrictions sévères particulièrement orientées vers la protection des eaux internes.

En ce qui concerne la mer, il a longtemps été considéré, qu'il s'agissait d'un milieu infini aux propriétés auto-épurative inépuisable, et que les rejets d'hydrocarbures ne présentaient pas un danger irréversible. Il en va autrement au cours de ces dernières années. Face à l'augmentation considérable du trafic maritime et au déversement accidentels du pétrole en mer et à l'industrialisation privilégiée des côtes et les conséquences qui en découlent continuent à devenir de plus en plus préoccupantes. Il a fallu se préoccuper de trouver des moyens de traitements efficaces pour des débits parfois considérables, surtout dans le cas de déballastage des navires.

Dans notre travail, nous essayerons de traiter ces eaux polluées, par l'addition de deux dispersants, le premier étant de fabrication nationale et le second de fabrication étrangère, et par l'addition des microémulsions (dispersions), qu'on nous a préparé au laboratoire afin de réduire les effets néfastes des hydrocarbures déversés en mer. Au paravent, nous avons effectué la mesure de certains paramètres physico-chimiques qui nous renseignent sur le degré de pollution de l'eau du port d'Alger.

PREMIERE PARTIE
LA POLLUTION MARINE PAR LES
HYDROCARBURES

I- La pollution marine par les hydrocarbures.

La pollution marine est une modification de l'équilibre naturel de la mer susceptible de mettre en danger la santé de l'homme, de nuire aux ressources biologiques, à la flore et la faune marine, de gêner toutes utilisations légitimes de la mer.

I.1- Les principales sources de pollution par les hydrocarbures :

Les deux champs de pollution les plus importants sont constitués par les rejets en mer lors de déballastage des pétroliers où les rejets des raffineries dans les cours d'eau, ou sur les côtes et les eaux usées urbaines.

A\ Transport de brut pour navire (trafic maritime)

Ces transports donnent lieu à des pertes systématiques dues aux opérations de déballastage ou à des pertes accidentelles.

- Eau de déballastage :

Leur vidange entraîne des pertes de brut de l'ordre de 1% de la cargaison [1].
Ce qui représente une pollution chronique énorme.

- Accidents (*Torey conyou*). 1978

Les rejets accidentels dans l'exemple mentionné (*Torey conyou*) sont de l'ordre de 100.000 m³. [1]

B\ Manutention et procédés en raffineries : [1]

- Perte de 10 à 100 T par jour d'hydrocarbures pour les raffineries moyennes.

- Volumes d'eau rejetés sont de l'ordre de :

15 à 20 m³ par tonne de brut pour les raffineries côtières.

0.3 à 0.8 m³ par tonne de brut pour les raffineries intérieures.

- Les rejets par les eaux usées urbaines dans le milieu marin représentent, selon une première estimation à l'échelle mondiale 300 tonnes par an [2].

1.2- Actions des hydrocarbures sur le milieu naturel [3] :

Les hydrocarbures ne sont en général toxiques qu'à des doses élevées mais :

- Les hydrocarbures aromatiques sont des poisons pour tout organisme vivant, à des doses de 10 à 90 ppm pour le benzène et le toluène et 4 à 5 ppm pour le naphthalène [3].
- Les hydrocarbures parafféniques et oléoféniques provoqueront des dérèglements biologiques (quête de la nourriture, reproduction, migration, ... etc.)
- Les hydrocarbures Contenant des éléments non hydrocarbonés (soufre, titan) possèdent une toxicité certaine.

En dehors de la toxicité directe, d'autres effets sont ressentis par le milieu :

- Phénomènes de concentration au long de la chaîne alimentaire.
- Faible biodégradabilité pouvant entraîner l'accumulation.
- Effet cancérigène de certaines fractions (benzopyrene, par exemple).
- Fuite de poissons des eaux polluées.
- Risque d'inflammation.
- Obsturation des branchies de poissons et engluage des oiseaux.
- Création d'un film superficiel empêchant la dissolution d'oxygène dans l'eau.

II- Le pétrole :

II.1- Définition :

Le pétrole est un mélange de liquide complexe de composé organique, constitué essentiellement d'hydrocarbure (alcane, cycloalcanes et les aromatiques) en proportions variables suivant son origine. Il renferme outre le carbone et l'hydrogène, du soufre et de l'oxygène.

La composition élémentaire des pétroles bruts se trouve dans les limites suivantes : [4]

Carbone	84 - 87%
Hydrogène	11 - 14%
Soufre	0 - 3%
Azote	0 - 1%
Oxygène	0 - 2%

On trouve aussi dans le pétrole des substances complexes renfermant des éléments métalliques.

II.2- Les différentes familles d'hydrocarbures :

Les hydrocarbures présents dans les pétroles bruts sont classés en trois grandes familles : [4]

II.2.1- Les paraffines : (alcane)

Sont des hydrocarbures saturés, de formule générale C_nH_{2n+2} , subdivisés en deux groupes ; paraffines normales ou à chaîne droite, et les isoparaffines ou hydrocarbures saturés et ramifiés. Le nombre d'isomères possibles des paraffines croît avec leurs masses moléculaires.

II.2.2- Naphtènes (Les cyclanes) :

Sont des hydrocarbures saturés, comportant un ou plusieurs cycles de formules $C_nH_{2n+1} - R$ (R : c'est la chaîne fermée de formule générale C_nH_{2n}). Ces hydrocarbures sont les plus fréquents dans le brut.

II.2.3- Les aromatiques :

Sont les hydrocarbures qui renferment dans leurs structures un ou plusieurs groupements cycliques, chaque composé contient au moins un noyau benzénique dans la molécule est de formule C_6H_6 en général.

II.3- Propriétés des hydrocarbures :

- Densité :

Elle détermine la flottabilité des hydrocarbures à la surface et influe sur leur dispersion naturelle. La densité des pétroles bruts et leurs produits est généralement exprimée en degrés API

$$API = 141.5 / \text{densité} - 131.5 \quad [5]$$

- Point d'ébullition :

La vitesse d'évaporation des hydrocarbures est fonction de leurs points d'ébullition initiaux et de leurs limites d'ébullition. Les hydrocarbures s'évaporent avant d'atteindre leurs points d'ébullition initiaux. [5]

- Viscosité :

C'est la résistance des hydrocarbures à l'écoulement. Les hydrocarbures à forte viscosité s'écoulent difficilement, tandis que ceux dont la viscosité est faible sont très fluides.

La viscosité décroît avec l'augmentation de la température. [5]

- Point d'écoulement :

C'est la température au-dessous de laquelle, l'hydrocarbure devient semi-solide et ne coule plus.

Le point d'écoulement des pétroles bruts varie en général de -35°C à 40°C . [5]

- Point d'éclair :

C'est la température la plus basse à laquelle se forme au-dessus de la nappe d'hydrocarbure suffisamment de vapeur pour créer un mélange inflammable.

C'est un facteur important pour la sécurité des opérations de nettoyage.

- **Solubilité** :

Généralement, les composants des hydrocarbures les plus volatils sont les plus solubles. [7]

Bien que la solubilité soit faible, elle peut être importante du point de vue des effets toxiques sur la vie marine.

III- Phénomènes agissant sur les hydrocarbures déversés :

Les hydrocarbures déversés sur la mer subissent une série de transformations qui modifient leurs caractéristiques et leur comportement. Ces modifications sont fonction de :

- Les caractéristiques physiques de l'hydrocarbure.
- La composition et les caractéristiques chimiques de l'hydrocarbure.
- Les conditions météorologiques.
- Caractéristiques de l'eau de mer (courant, température,....)

La connaissance de ces phénomènes et la manière dont ils agissent ensemble est précieuse pour lutter contre les déversements.

II.1- Etalement :

Sous l'action conjuguée des forces de gravité, de viscosité et de tension superficielle, les hydrocarbures déversés ont tendance à s'étaler rapidement à la surface de la mer, formant en présence d'eau calme une nappe ronde dont le diamètre est calculé à partir de l'équation empirique proposée par FAY [6]

$$A = \pi R_{\max}^2 V^{0.25}$$

R_{\max} (m) : rayon maximum de la nappe

V (m^3) : Volume du pétrole déversé

A (m^2) : surface de la nappe

Cette nappe est d'une épaisseur fine déduite par l'équation : $h = V/A$

V et A sont définis ci-dessus

Signalons que la vitesse d'étalement dépend des conditions hydrographiques (courants, sens des marées et le vent)

II.2- Evaporation :

Entre 25% et 50% des hydrocarbures répondus dans la plus part des déversements de pétrole brut, sont des composés volatils, éliminés par évaporation à des températures inférieures à 27 °C [7].

La vitesse et l'importance d'évaporation dépendent essentiellement de la proportion des fractions à faible point d'ébullition contenus dans les hydrocarbures. En dehors du type d'hydrocarbure, la vitesse d'évaporation dépend des quantités déversées, des conditions météorologiques et des températures ambiantes.

III.3- Sédiment en suspension :

Les hydrocarbures peuvent être soit : absorbés par les minéraux argileux, soit adsorbés par les silicates, les carbonates et les autres solides non poreux. Ces deux interactions des hydrocarbures avec les sédiments en suspensions entraînent une dispersion des hydrocarbures dans la colonne d'eau.

III.4- Dissolution :

Plus le poids moléculaire est faible, plus cet hydrocarbure est soluble dans l'eau. La solubilité de la plupart des composants du pétrole est donc faible ; cependant, les hydrocarbures légers dissous constituent un grand risque pour l'environnement.

III.5- Emulsification :

Ce facteur est très important dans le processus conduisant à la disparition du pétrole de la surface de la mer.

Deux types d'émulsions eau - dans - le pétrole et pétrole - dans - l'eau peuvent se former.

- Pétrole dans l'eau : (micelle)

Les micelles sont les agrégats colloïdaux de la phase lipophile (huile) en suspension dans la phase aqueuse. Elles sont microscopiques et se répartissent

facilement dans la colonne d'eau, d'un diamètre qui ne dépasse pas 0.5 micromètre. [6]

- L'eau dans l'huile : (mousse au chocolat)

Elle flotte et s'agglomère en masses importantes et rend les hydrocarbures fluides plus visqueux et retarde sensiblement l'évaporation. Ces mousses sont créées facilement par l'addition des agents tensioactifs.

III.6-L'oxydation :

Les trois principaux mécanismes d'oxydation sont :

- La photo-oxydation
- L'auto-oxydation
- L'oxydation microbienne

Elles favorisent le taux de dissolution des hydrocarbures et produisent des composés tensioactifs qui augmentent l'émulsification du pétrole.

III.7- Biodégradation :

C'est la transformation des hydrocarbures en alcools, en acides organiques, en CO₂ et en eau par les bactéries marines.

On admet que presque toutes les fractions du pétrole sont biodégradables avec des vitesses de dégradation très variables et décroissent comme suit : [8]
n-alcanes > iso-alcanes > cyclo-alcanes > aromatiques.

I- Notion de tension superficielle :

I.1- Définition :

La tension superficielle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface et elle caractérise une propriété des interfaces (surface limitant deux phases).

Si la tension superficielle a pour valeur (γ), le travail effectué (dW) par la surface qui s'accroît d'une quantité (dA).

$$dW = - \gamma dA = - dG$$

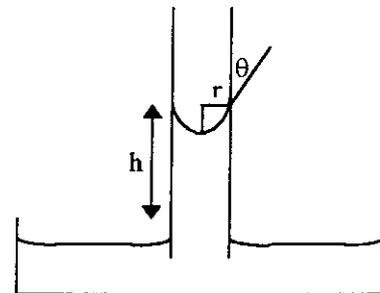
$$\Rightarrow \gamma = \left(\frac{dG}{dA} \right)_{T,P} \quad [9]$$

Elle est exprimée en erg/cm² ou en dyne/cm.

I.2- Méthodes de mesure de la tension superficielle :

I.2.1- Méthode de l'ascension capillaire :

La hauteur h à laquelle s'élève un liquide dans un tube capillaire plongeant partiellement dans ce même liquide contenu dans un récipient est déterminée par le rayon (r) du tube, par l'angle (θ) de raccordement à la ligne commune à la paroi du tube, à l'air et au liquide étudié, par la tension superficielle (γ) du liquide et par sa densité (ρ).



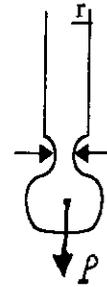
$$p = \rho g (\pi r^2), \quad h = \gamma \pi r \Rightarrow \gamma = \frac{1}{2} g r h \rho \quad [9].$$

Ce moyen fournit une mesure précise. Il est largement employé pour la détermination de la tension superficielle.

1.2.2- Méthode des gouttes(pesées ou mesure du volume) :

La forme et le poids d'une goutte de liquide qui se forme d'abord à l'orifice d'un tube et qui tombe ensuite, dépend du rayon du tube (r) et de la tension superficielle (γ)

$$\gamma = \frac{\rho v g}{2\pi r} = \frac{mg}{2\pi r} \quad [9].$$

**1.2.3- Méthode de la pression maximum :**

On plonge un tube dans un liquide à une profondeur déterminée et on envoie de l'air dans le tube pour former une bulle. Quand la bulle est une hémisphère de rayon égal au rayon du tube, toute augmentation de pression (soufflage) provoque la disparition de la bulle.

La pression appliquée est égale à la différence de pression entre les deux cotés de la surface courbée:

$$P_{\max} = \frac{2\gamma}{r} + gh(\rho - \rho_0) \quad [9]$$

ρ : masse volumique du liquide

ρ_0 : masse volumique de fluide ambiant

1.2.4-Méthode de l'arrachement de l'anneau:

C'est la méthode la plus employée pour la mesure de tension superficielle, consiste à mesurer la force nécessaire pour arracher un anneau de rayon (r) connu de la surface d'un liquide (tensiomètre de Nouy).

$$\gamma = \frac{mg}{4\pi r} \quad [9]$$

1.2.5- Méthode de la lame verticale :

Basée sur le poids du liquide soulevé le long des deux faces d'une lamelle rectangulaire, dont le plan est maintenu vertical, ce plan étant en contact par son bord inférieur avec la surface du liquide.

La tension superficielle est donnée par la relation suivante :

$$mg = 2.p = 2.\gamma.L \Rightarrow \gamma = \frac{mg}{2L} \quad [9]$$

L : longueur de la lame.

p : poids de liquide soulevé.

m : masse utilisée pour équilibrer la balance.

La lame doit être nettoyée et flambée et le point zéro d'équilibre doit être réglé. quand la lame est juste au dessus du liquide, en remontant la cuve contenant ce dernier, aussitôt que la lame affleure le liquide, elle est aspirée. Il s'agira alors de la ressortir en agissant sur un fil de torsion qui mesure le poids du liquide soulevé.

Toutes les méthodes qu'on a mentionné sont des méthodes statiques dont il existe d'autres, telles que la méthode de la goutte sessile qui s'applique aux liquides qui ne mouillent pas les parois, et la méthode de mesure des ondes superficielles qui est intéressante dans la détermination des tensions superficielles très faibles. et il existe des méthodes dynamiques telles que le jet vibrant [11].

1.3-Les paramètres influençant sur la tension superficielle :

1.3.1- La température :

Lorsque la température d'un liquide croit, l'agitation thermique des molécules augmente, elles auront donc une grande facilité à quitter la surface pour se déplacer vers l'intérieur, comme cette force qui attire les molécules vers l'intérieur est la tension superficielle, elle devrait donc décroître quand la température augmente.

La relation la plus simple admet que γ est une fonction linéaire décroissante de T , jusqu'à la température critique ($\gamma=0$) [10].

$$\gamma = \gamma_a - bT \quad [10]$$

γ_a : Tension superficielle, à température ambiante;

b [$10^{-3} \text{N.m}^{-1}, \text{K}^{-1}$] : Gradient de tension superficielle

T [$^{\circ}\text{K}$] : Température

1.3.2- Influence de la densité :

Mc Lead a donné l'équation empirique suivante entre la tension superficielle et la densité : [10]

$$\frac{\gamma}{(D-d)^2} = c$$

c : constante propre à chaque liquide pur.

D : densité du liquide .

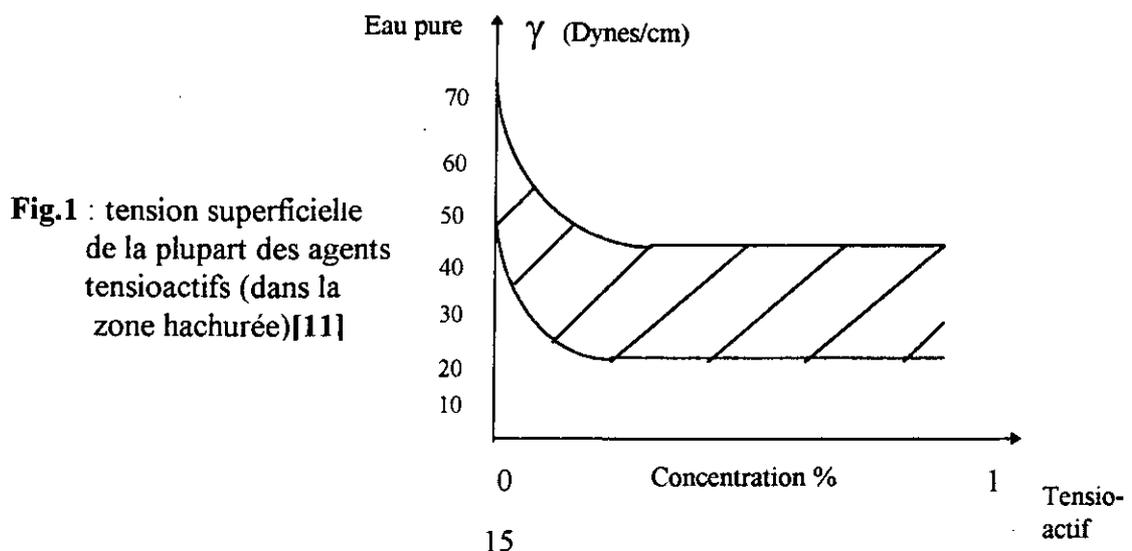
d : densité de la vapeur .

Cette relation est valable pour un grand intervalle de température.

1.3.3- Influence de la concentration :

Dans le cas des agents tensioactifs, l'abaissement est très net aux faibles concentrations, puis il se ralentit ou bien il marque une nouvelle chute assez brusque pour une concentration relativement faible.

La figure ci-dessous indique l'intervalle de concentration dans lequel se produit la chute de tension superficielle de la plupart des agents tensioactifs.



1.3.4-influence de la viscosité :

GUGGEINHEIM a établi la formule suivante :

$$\gamma^{1/4} = \frac{\log(\log(n)) + 2.9}{I/P} \quad [9]$$

γ : en dynes/cm

n : viscosité en millipoises à la même température que γ

I : constante, viscosité constitution

P : parachor.

Les valeurs de I/P sont tablées par REIS.

1.3.5- Influence des sels : [11]

L'activité superficielle des tensioactifs ionisables est fortement modifiée par les sels et autres électrolytes présent dans leurs solutions.

Les tensions superficielles ou interfaciales sont diminuées par addition de sels.

1.3.6- Variation de la tension superficielle dans le temps : [11]

On sait que la tension superficielle d'une solution préparée diminue constamment dans le temps et que sa valeur limite, correspondant à l'équilibre est atteinte en un temps variant de quelques secondes à plusieurs jours.

Le temps nécessaire à l'établissement de l'équilibre à l'interface huile-eau en présence d'agents de surface est atteint beaucoup plus rapidement aussi bien pour la tension interfaciale que pour la tension superficielle après addition de sels à la solution.

II-Les agents de surface

Introduction :

un agent de surface est caractérisé d'agir sur une interface eau-air à faible concentration, et possède un pouvoir marqué de diminuer la tension superficielle de l'eau. Ces substances ont une structure asymétrique, souvent linéaire qui comporte deux parties.

- Partie hydrophobe(lipophile) :

caractérisée par une chaîne hydrocarbonée (parfois halogénée) d'une longueur moyenne de 10 à 20 atomes de carbone, cette partie est insoluble dans l'eau.

- Partie hydrophile :

elle est constituée en général par des groupements acide ou basique, cette partie polaire ayant une affinité à l'eau.

Les deux parties assemblées donnent au détergent une structure dite amphiphile, dont la partie hydrophile se trouve émergée dans l'eau, et la partie hydrophobe s'oriente vers l'extérieur formant un film superficiel à la surface libre de l'eau. Ce film diminue la tension superficielle de l'eau, d'où le nom donné à ces produits "agents de surface ou produit tensio-actifs".

II-1 Classification des agents de surface [12] :

Selon la nature de la partie hydrophile, les tensio-actifs sont répartis en quatre grandes classes.

II-1-1 Agents de surface cationiques :

Comportent un groupement ionique chargé positivement en solution aqueuse, ce sont en général des sels d'ammonium quaternaires.

II-1-2 Les tensio-actifs anioniques :

Comportent un groupement chargé négativement en solution aqueuse, tel que les carboxylates, les sulfates, ... Ce sont les plus utilisés industriellement.

II-1-3 Les tensio-actifs non ioniques :

L'hydrophilie est apportée par des groupement fonctionnels non chargés (alcools, éthers, amides), contenant des hétéroatomes tels que l'azote l'oxygène, en

raison de la faible contribution hydrophile de ces fonctions, les composés tensio-actifs non ioniques sont les plus souvent polyfonctionnels, polyhéthers (polyéthoxyles) ou polyols (dérivés de sucre)

II-1-4 Tensio-actifs amphotères :

Comportent deux groupements ioniques, l'un cationique et l'autre anionique, qui se neutralisent au P_H isoélectrique, les plus réponsus sont les "bétaines" et les "sulfobetaines."

Alors que les groupement hydrophobes sont issus de trois sources principales, la pétrochimie, les huiles végétales et les graisses animales.

II-2 Concentration critique pour la formation des micelles (CCM) :

L'introduction dans la phase aqueuse d'un produit amphiphile, qui diminue l'énergie superficielle se traduit par la concentration de ce produit à la surface par minimisation de l'énergie. Cette concentration à la surface provoque une diminution de la tension superficielle jusqu'à la saturation de la surface, où la tension superficielle ne varie plus avec l'augmentation de la concentration (partie DE de la courbe).

Le point D de cette courbe correspond à la concentration à partir de laquelle les molécules d'agents de surface commencent à se regrouper en micelles.

Cette concentration est appelée concentration critique micellaire (C.C.M)

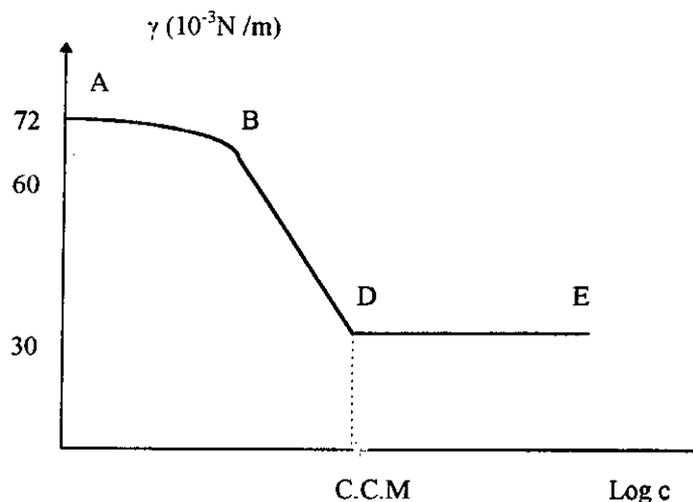
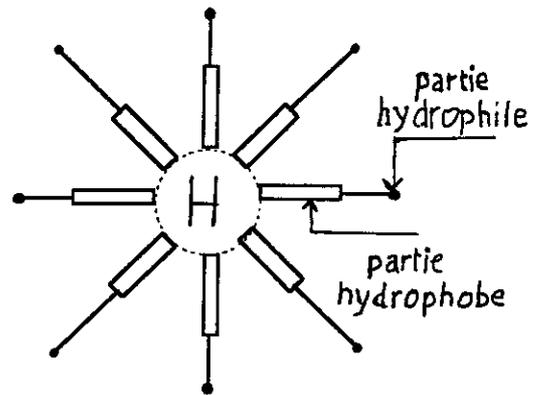


Fig. 2 : Tension superficielle en fonction de logarithme de la concentration [13]

II-3 Les micelles :

Lorsque la concentration en agent de surface de la solution aqueuse est importante, les interfaces sont saturées, les molécules se rassemblent au sein de la solution en petits agrégats de molécules orientées, les parties hydrophiles tournées vers l'eau et les parties hydrophobes vers l'intérieur, ces agglomérats sont appelés : "micelles" [9].



Fig(3)

Si la solution de tensio-actif rencontre une particule de huile, les groupements hydrophobes se dirigent à l'intérieur, prégnant ainsi la particule d'huile. (Fig 3).

II-4 Balance hydrophile-lipophile B.H.L :

Elle est définie comme étant le rapport des forces relatives entre le groupement lipophile et le groupement hydrophile. Elle sera d'autant plus élevée que le groupement hydrophile est fort, par rapport au celui lipophile.

La B.H.L est une relation quantitative qui facilite le choix du produit à utiliser et permettant de corréler la structure de la molécule de tensio-actif avec son activité de surface.

II.5 Propriétés liées à l'interface solution-solvant :

- Pouvoir émulsionnant :

Le pouvoir émulsionnant est l'aptitude d'un agent de surface à faciliter la formation d'une émulsion [13].

- Pouvoir dispersant :

Le pouvoir dispersant est l'aptitude d'un agent de surface à modifier le comportement physique des huiles à la surface de l'eau.

II.6 Biodégradabilité des agents tensio-actifs :

C'est la dégradation de la matière organique par des organismes vivants en milieu généralement aqueux [14].

Cette transformation de la matière organique complexe à des éléments très simples est influencée par plusieurs facteurs dont on cite les suivants :

- Structure moléculaire du produit (le détergent).

Les détergents à chaîne ramifiée sont difficilement biodégradables que ceux à chaîne linéaire.

- Nombre et nature des micro-organismes présents dans le milieu.
- Concentration du produit à dégrader.
- Conditions du milieu telles que la température et le P_H

III- LES MICROEMULSIONS

III-1 Historique :

Les microémulsions ont été décrites par ROWALD [15] en 1928 pour la première fois puis par Mc BAIN et par SCHULMAN [16]. Alors que l'apparition de terme 'microémulsion' est en 1957.

Auparavant, les particules sphériques étaient désignées en tant que oléomicelles, hydrophiliques ou hydromicelles oléophiles selon la phase continue, l'eau ou l'huile, respectivement.

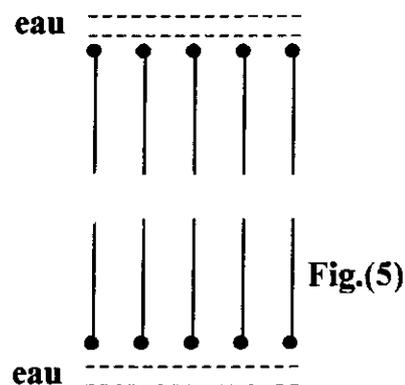
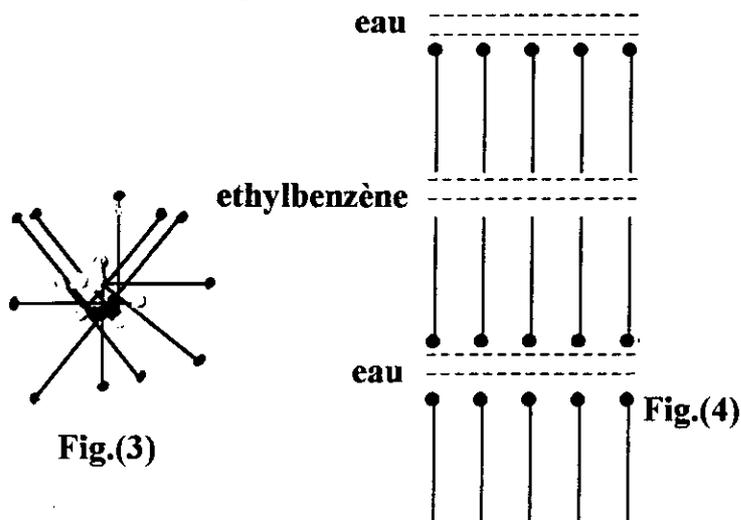
III-2 Hypothèse micellaire :

les parties hydrophobes des molécules d'un tensio-actif contenu dans une solution aqueuse sont soustraites aux contacts de l'eau par la formation des micelles, c'est à dire, d'agrégats de molécules dont les parties polaires sont orientées vers l'extérieur. Ceci est à grande concentration, alors qu'au faible concentration, les molécules sont individualisées jusqu'à une certaine concentration appelée concentration micellaire critique(C.M.C).

III-3 Structure des micelles :

Deux types de micelles existent [17] :

- Petite sphérique, chargée électriquement est constituée d'anions à longue chaîne.
- Plus grosse, formée de molécules de savon ou de paires d'ions. Cette micelle a été étudiée par de nombreux auteurs, et lui attribue une structure lamellaire consistant en couches alternées d'eau et de molécules doubles, de sorte que les groupes non polaires soient face à face, placées coté à coté (fig 5).



Une seule sorte de micelle qui existe selon HARTELY [18] sphérique, les groupes hydrophiles sont fixés à l'extérieur de la surface, et les parties hydrophobes sont distribuées au hasard à l'intérieur (fig 3).

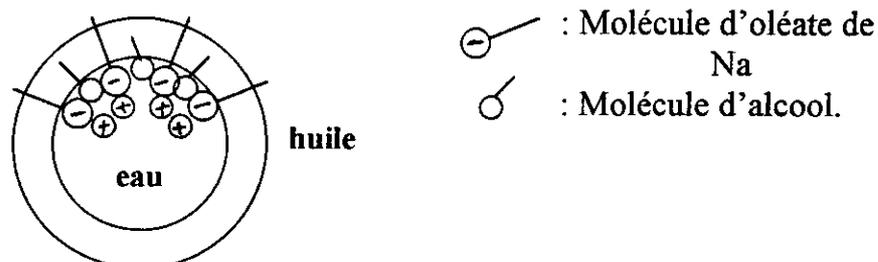
En 1947 HARKIN [19] propose un modèle cylindrique et à structure ordonnée (fig 4).

III-4 La microémulsion :

les microémulsions sont des dispersions très fines thermodynamiquement stables, transparentes, stabilisées par une couche interfaciale et d'un mélange de tensio-actif, ce mélange est constitué généralement de savon, alcool et phase aqueuse(eau + huile). L'eau peut être salée, et l'alcool joue le rôle d'un cotensio-actif.

III-5 Structure des microémulsions de types (w/o)

La microémulsion est une dispersion dont sa phase dispersée est formée de micelles de très faible diamètre, cette micelle est composée comme suit : l'intérieur de micelle est une solution aqueuse de tensio-actif, à la surface une couche monomoléculaire de tensio-actif non dissocié séparée par des molécules de la substance amphiphile non ionique (fig 6) [20].



Fig(6) : dispersion eau-dans l'huile.

Par diffraction chimique on vérifie que la phase dispersée (micelle) est constituée de gouttelettes de 100 à 400 Å, entourées d'un film monomoléculaire de molécules savon et molécules polaires non ioniques [17].

III-6 Stabilité des microémulsions :

Les microémulsions sont optiquement transparentes et thermodynamiquement stables, de mélange d'huile + eau + tensio-actif + cotensio-actif (alcool).

Cette stabilité est due à la dispersion d'une phase dans l'autre sous forme de gouttelettes, entraîne une augmentation de l'entropie du système : résulte de l'adsorption de tensio-actif et de cotensio-actif sur la grande zone interfaciale ainsi créée. Cette adsorption diminue la tension interfaciale à une très faible valeur positive ou même négative en outre, les concentrations de tensio-actif et de cotensio-actif dans les phases continues diminuent suite à cette adsorption, réduisant leur potentiel chimique.

III-7 Les différents types de microémulsion selon WINSOR :

Les microémulsions peuvent exister en équilibre avec un excès d'huile ou d'eau ou les deux à la fois. Ces équilibres ont été définis par WINSOR de type I, II, III respectivement, ces types sont représentés par le diagramme pseudoternaire (fig 7).

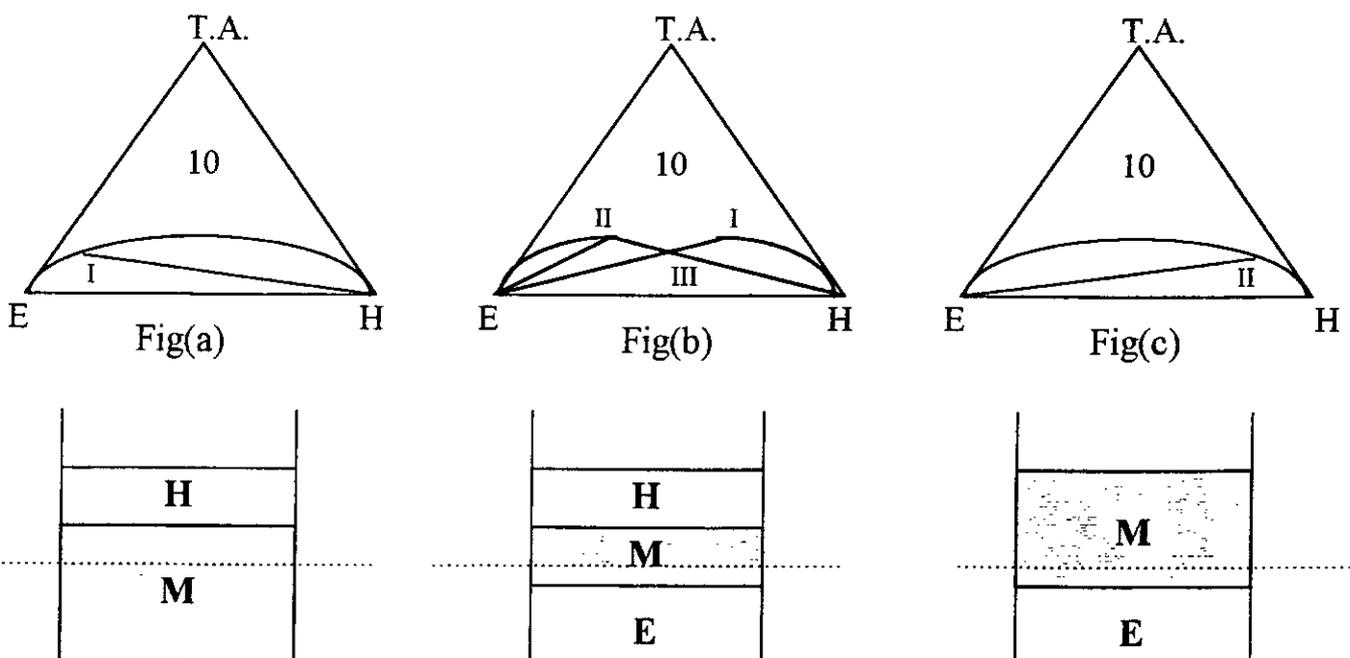
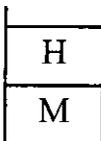
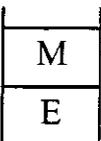
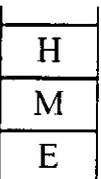
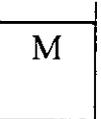


Fig (7)
23

Les équilibres décrits par WINSOR sont résumés dans le tableau suivant [21] :

<p>WINSOR (WI) fig (a)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Deux phases (huile dans l'eau) - Microémulsion contenant : huile, eau et la plus grande partie du tensio-actif et cotensio-actif en équilibre avec l'huile.
<p>WINSOR (WII) fig (c)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Deux phases (eau dans l'huile) - Microémulsion contenant la plus grande partie des constituants, en équilibre avec l'eau.
<p>WINSOR (WIII) fig (b)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Trois phases : microémulsion interposée entre une phase huileuse et une phase aqueuse.
<p>WINSOR (WIV)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Une phase : microémulsion eau dans l'huile ou l'huile dans l'eau, suivant le cas.

A partir des diagrammes et le tableau précédents on distingue :

WINSOR (WI) : l'équilibre favorise la formation de gouttes d'huile dans l'eau (fig.a), et la microémulsion est en équilibre avec une phase huileuse (l'huile).

WINSOR(WII) :l'équilibre favorise la formation de gouttes d'eau dans l'huile (fig.c) et la microémulsion est en équilibre avec une phase aqueuse (eau).

Alors que la (fig.b) est très complexe, dont on distingue les trois types de WINSOR I,II et III.

Cette microémulsion est nommée " phase moyenne ".La transition de I-II-III est possible en variant : la salinité, le poids moléculaire de la phase organique, la température, structure moléculaire des tensio-actifs, le rapport eau-liquide, la concentration du composé amphiphile et la concentration du cotensio-actif [22] et [23].

Les microémulsions de la phase moyenne (type III) ont des propriétés intéressantes, elles exhibent une faible tension interfaciale avec les phases en excès d'huile et d'eau ce qui résulte à une grande solubilité.

III-8 Application des microémulsions :

Les microémulsions sont employées essentiellement dans les processus de récupération assistée du pétrole en injectant un bouchon de microémulsion qui déplace de façon miscible l'huile et l'eau contenues initialement dans les gisements.

TROISIÈME PARTIE
ETUDE EXPÉRIMENTALE

I- Port d'Algèr :

I-1 Historique :

Le port d'Algèr a trouvé son origine dans un mouillage naturel mal abrité, situé entre la cote et les îlots (EL Djazair en Arabe), à la fin du X^{ème} siècle. La première construction maritime qui fait d'El Djazair véritablement un port est en 1529.

En 1830, le port offrait une superficie de 03 hectares. Dès 1830, le port allait connaître trois grandes phases d'aménagement et de développement :

1830 à 1870	construction du bassin de l'ancien port.
1870 à 1914	construction du bassin d'Agha.
1914 à 1971	construction du bassin Mustapha.

I-2 L'infrastructure :

I-2-1 L'accès :

L'accès au port se fait par deux passes :

- Passe nord : 176 mètres de longueur et 22 mètres de profondeur.
- Passe sud : 240 mètres de longueur et 16 mètres de profondeur.

Le plan d'eau abritée constitué de trois bassins, totalise une superficie de 184 hectares .

- Bassin du vieux port : 74 hectares avec des profondeurs variant de 6.5 à 15 mètres .
- Bassin d'Agha : 35 hectares avec des profondeurs variant de 7 à 11 mètres .
- Bassin de Mustapha : 75 hectares avec des profondeurs de 7 à 11 mètres .

Le port d'Algèr ne contient pratiquement pas de marées (marée astronomique, maximum 8 cm). Le niveau varie avec la direction des vents et la différence des niveaux extrêmes, atteint près d'un mètre.

I-2-2 Les quais :

Leur longueur totale est de 9734 mètres, affectée comme suit :

- Le mole de pêche situé dans le vieux port ; ce mole est un ensemble de quatre quais d'une longueur totale 577 mètres et calant entre 3.75 et 6 mètres.

- Station de remorquage installée au quai N°12.
- Répartition navale à flot : quatre quais d'une longueur de 681 mètres et calant entre 6 et 8 mètres .
- Soulage et stationnement de barge : le mole de Guelma réservé au stockage de fuel et au soulage des navires à une longueur de 560 mètres et fondé à moins de 9 mètres.
- Port pétrolier situé dans la partie sud, au quai N°37 avec un linéaire de 606 mètres et un tirant d'eau de 10.5 mètres.

Le linéaire de quai affecté aux marchandises diverses et au trafic spécialisé hors hydrocarbure est de 7174 mètres fondée entre 6.5 et 11 mètres et comprend 44 postes à quai.

1-2-3 Les terre-pleins :

La surface totale des terre-pleins aménagée du port est d'environ 126 hectares dont 59 hectares affectés à l'entreposage des marchandises .

1-3 Données météorologiques et océanographiques du port :

Les conditions météorologiques et océanographiques exercent une grande influence sur le devenir des hydrocarbures déversés en mer .

1-3-1 Données météorologiques :

- Température : la variation annuelle de la température peut atteindre 8°C à 9°C sur les cotes Algériennes.
- Vents : l'office national de météorologie de Dar El Béida et l'U.S Naval Weather Service montrent que :
 - En hiver :les vents fréquents proviennent des secteurs ouest à nord-ouest avec prédominance nord-ouest .
 - En été : les vents prédominants sont de secteurs nord-est à est .

Vu l'emplacement et la configuration du port d'Alger, les vents arrivants du secteur nord nord-est sont les plus vulnérables et ont des vitesses supérieures à 11 m/s, quoique moins fréquents que ceux qui proviennent des secteurs ouest à nord-ouest .

I-3-2 données océanographiques :

On distingue généralement des mouvements oscillatoires représentés par les ondes de longue période, telles que les marées, et les mouvements non-oscillatoires représentés par les ondes de courte période, telles que les houles et les courants .

- Les marées : les variations du niveau de la mer dûes aux marées, dépassent rarement 20 cm .
- Les houles : seules les houles provenant d'un secteur s'étendant du nord à nord-est peuvent parvenir aux abords des ouvrages des ports dans à peu près directes et avec une intensité suffisante .
- Les courants : le courant des eaux atlantiques venant de Gibraltar vers l'est restent en général dans un ordre de grandeur de 0.5 à 1 m/s au large des cotes algériennes, alors que les contre-courants sont observés en surface de la baie d'Alger d'une vitesse de 0.3 m/s.

I-4 Sources potentielles de pollution :

l'inventaire des sources de pollution dans le port d'Alger est donné par le rapport interministériel décembre 1987.

Unités	Localisation	Remarques
Raffinerie d'Alger « Naftal »	Quai pétrolier	Présence de risques certains pour l'environnement
Dépôt produit noir « 16 B Naftal »	Quai 27-32-36	Présence de fuites dans les canalisations de fuel
Dépôt marin « A V N Naftal »	Jetée vieux port	Présence de bacs de stockage dans un état de dégradation avancée
Dépôt bitume « Naftal »	Quai 27-32-36	Présence de fuites très importantes au niveau des réservoirs de stockage de fuel alimentant les chaudières . Présence d'émanation de fumées incommodes.
ENCG UP6, UP5 huile + savon	Quai 32-36	Au niveau des cheminées de chaudières, existence de rejets d'huile, de graisse, d'acide, de soude et différents sels.

II- Prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui conditionne les résultats analytiques et l'interprétation.

L'échantillon doit être représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Du point de vue pratique, les hydrocarbures sont présents dans le port sous forme d'un film superficiel ou de gouttelettes, et également émulsionnés dans l'eau ou adhèrent aux particules en suspension, ces formes d'existence d'hydrocarbures rendent la réalisation des prélèvements difficile.

Signalons que le prélèvement effectué est un prélèvement instantané.

II-1- Matériels de prélèvement et de conservation :

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière.

Les bouteilles utilisées sont en verre, bien lavées et maintenues dans de l'eau distillée puis séchées.

L'utilisation de flacons en plastique n'est pas préconisée du fait qu'ils peuvent présenter une certaine adsorption vis-à-vis quelques produits organiques, tels que les hydrocarbures présents dans l'eau de mer prélevée.

Le choix des récipients à utiliser, le volume minimum à prélever en fonction du type d'analyse et les dispositions à prendre pour la conservation des prélèvements, sont cités dans le tableau N° 1

T20 12 1

Caractéristique ou élément analysé	Réceptient	conservateur à utiliser	Volume minimum à prélever (ml)	T° de conservation (°c)	Effectuer la mesure avant
Turbidité	P ou V		100	4	24(Obsc)
PH	Vb	Mesure in-situ de préférence.	100	4	24(obsc)
DCO	P ou V	Acide sulfurique qsp PH < 2	100	4	6 jours (Obsc)
DBO	P ou V		1000	4	24 h
Matière en suspension	P ou V		1000	4	6 h (Obsc)
Oxygène dissout	Vb	Mesure in-situ de préférence	300	4	24 h (Obsc)

P : Polyéthylène

Tableau (1)

V : Verre

Vb : Verre borosilicate

Obsc : Obscurité .

Fiche de prélèvement :

Date	Début de prélèvement	Fin de prélèvement
18 /06/1997	10 h :15 mn	10 h :20 mn

Site de prélèvement	Observation
Quai N°27 (Annexe-1-)	<ul style="list-style-type: none"> • Temps nuageux • Le jour de prélèvement était précédé d'un jour pluvieux • La température était de 24°C

Tableau (2)

III- Mesures des paramètres physico-chimiques :

La détermination des paramètres physico-chimiques nous renseigne sur le degré de pollution des eaux du port d'Alger, nous avons mesuré les paramètres suivants :

- La température de surface : mesurée in-situ
- Le PH, DBO₅, DCO, oxygène dissout, la turbidité et les matières en suspension : mesurés au laboratoire.

III-1- Mesure de la température :

La température influe sur la stabilité des sels, la détermination du PH, le développement de la flore et de la faune marines, le comportement de la nappe d'hydrocarbure déversé.

La mesure de la température a été effectuée in-situ, à l'aide d'un thermomètre de laboratoire. La valeur obtenue est de : 15°C

III-2- Mesure de l'oxygène dissout :

L'oxygène dissout est l'élément le plus intéressant dans la majorité des processus biologique tel que le pouvoir auto - épurateur de la mer.

Sa teneur dans l'eau est conditionnée par le mécanisme d'échange entre l'atmosphère et la couche superficielle de l'eau, et par des processus chimiques et biologiques.

La mesure a été faite avec un oxygène à pile portable de type OXI911 préalablement étalonné.

La teneur en oxygène dissout obtenue est de 5.2 mg/l .

Notons que la teneur en oxygène dissout dans l'eau pure à la pression atmosphérique, et à une température de 19°C est de 9.4mg/l (d'après Whipple et Whipple, 1991, loc cit).(Annexe 2).

Cette faible teneur en oxygène dissout qu'on a obtenu pourrait être occasionner par, la présence d'hydrocarbure et des substances organiques qui forment un film à la surface de l'eau, ce film diminue les échanges entre l'atmosphère et la couche superficielle de l'eau .

La teneur obtenue l'année dernière par l'étudiant «B.BOUNAB »[14] est 4.8 mg/l inférieur à celle qu'on a obtenu, ceci est expliqué par le fait que le jour du prélèvement a été précédé de pluies et de vents qui ont provoqué une agitation naturelle et par conséquent, augmenté l'échange gazeux entre l'atmosphère et l'eau.

II-3- Mesure du P_H :

La mesure du P_H a été réalisée à l'aide d'un P_H -mètre digital 672 Titroprocessor, préalablement étalonné.

La valeur obtenue est de 7.77.

Le P_H de l'eau de mer est voisin de 8.2, cette variation du P_H dans le sens acide (acidité du milieu), pourrait être occasionnée par les rejets industriels et par les pluies acides. [14]

Notons que les variations de PH influent sur l'activité des micro-organismes intervenant dans les processus de biodégradation.

III-4- Mesure de la turbidité :

La mesure de la turbidité a été effectuée à l'aide d'un turbidimètre modèle 2100A turbidimètre (HACH) calibré avec des étalons avant son utilisation. La valeur obtenue exprimée en unité nephelométrique est de 240 NTU. Supérieure à la valeur obtenue l'année dernière, (20.0 NTU) [14], cet écart est dû aux rapports fluviaux causés par les pluies et par le lavage des quais.

III-5- Mesure des matières en suspension :

Trois méthodes peuvent être utilisées pour la détermination des matières en suspension :

- Méthode par filtration sur un disque en fibre de verre.
- Méthode par filtration sur couche d'amiante.
- Méthode par centrifugation.

On a opté pour la méthode par filtration.

- Principe de la méthode :

L'eau prélevée est filtrée, et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Le disque de filtration est lavé à l'eau distillée puis séché à 105°C, puis le pesé à 0.1 mg près, puis le placé sur le dispositif d'aspiration, verser l'échantillon d'eau sur le filtre, faire passer sur le filtre l'eau de lavage (rinçage du bêcher), laisser essorer le filtre, sécher à 105°C, laisser refroidir au dessiccateur, puis peser à 0.1 mg près jusqu'au poids constant.

La teneur de l'eau en matière en suspension est donnée par :

$$M.E.S(mg / l) = \frac{M_1 - M_0}{V} .1000$$

- Expression des résultats :

Le taux de matières en suspension exprimé en mg/l présent dans notre échantillon est de 80.2 mg/l.

C'est une valeur plus ou moins élevée causée généralement par :

-Les marées qui accumulent les matières en suspension au niveau des quais du port.

Les apports fluviaux et les eaux usées.

Remarque :

Les matières en suspension créent une obscurité dans l'eau et empêchent la lumière de pénétrer, ceci a pour conséquence de diminuer l'activité photosynthétique.

III-6 Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai (après incubation durant 5 jours à 20°C dans l'obscurité) par certains micro-organismes présents dans l'eau.

- Appareil de mesure :

Un respiromètre qui est constitué de 5 bouteilles de 500ml de volume chacune.

- Principe de la mesure :

Les échantillons à analyser sont mis dans ^{des} bouteilles thermostatées et soumis à une agitation magnétique pendant l'incubation en présence d'air. On introduit deux gouttes de KOH dans le bouchon en caoutchouc de chaque bouteille, ce dernier va absorber le CO₂ dégagé par les micro-organismes.

La consommation de l'oxygène se traduit par une hauteur de mercure au niveau de manomètre incorporé à la bouteille contenant notre échantillon.

La DBO₅ est donnée par la relation :

$$DBO_5 = Hg \cdot F$$

Hg : Hauteur de mercure

F : Facteur de correction

- Résultats obtenus :

Nous avons sur deux échantillons :

-Echantillon 1 : V=150ml F=1

-Echantillon 2 : V=200ml F=0.5

La valeur de la DBO₅ obtenue est 184mg d'O₂/l.

III-7 Dosage des chlorures :

On titre la solution: 5ml d'eau du port, plus deux gouttes de K₂Cr₂O₄ (coloration jaunâtre), avec AgNO₃ 0.01N jusqu'à coloration brunâtre.

$$\text{Taux de cl (mg/l)} = \frac{V_{AgNO_3} \cdot N_{AgNO_3} \cdot M_{Cl} \cdot 1000}{P.E}$$

V_{AgNO₃} : Volume d'AgNO₃ nécessaire au dosage de l'échantillon

N_{AgNO₃} : Normalité de AgNO₃=0.01N

M_{Cl} : Masse de chlorure =35.5 g/mole

Dichromate de potassium (séché pendant 2 heures à 110°C) : 12.258g.

Eau distillée 1000ml.

- Solution de ferroïne

1-10 phénanthroline 1.485g.

Sulfate de fer 0.695g.

Eau distillée 100ml.

- Mode opératoire :

Introduire 20 ml d'échantillon débarrassé de matières décantables, ajouter 10ml de $K_2Cr_2O_7$ puis une pincée de $HgSO_4$, ajouter 30 ml (d' H_2SO_4 avec $AgSO_4$). La solution H_2SO_4 est préparée en mélangeant 10g de $AgSO_4$, 35ml d'eau distillée et 965ml d' H_2SO_4 .

Laisser refroidir dans un bain de glace, ensuite chauffer pendant 2 heures à une température de 170°C, laisser refroidir, puis compléter à 150ml avec de l'eau distillée, doser avec le $Fe(NH_4)_2$ en utilisant la ferroïne.

- Expression des résultats :

La DCO exprimée en mg d' O_2/l est donnée par :

$$DCO = \frac{8000(V_0 - V_1)T}{V}$$

V_0 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium à l'essai à blanc (ml).

V_1 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

V : Volume de prise d'essai.

T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

- Résultats :

La valeur de la DCO obtenue est de 247 mg d' O_2/l .

En faisant le rapport DBO_5/DCO , on trouve la valeur 0.745, cette valeur est inférieure à 1 ce qui explique que notre échantillon n'est pas biodégradable, ceci est dû à la présence de matière non biodégradables, rejetées essentiellement par les industries et les égouts de la ville d'Alger.

III-9- Tableau récapitulatif :

PARAMETRES ANALYSES	VALEUR OBTENUE
Température	15°c
Oxygène dissout (mg/l)	5.2
P _H	7.77
M.E.S (mg/l)	80.2
Turbidité (NTU)	24.0
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	184
DCO (mg d'O ₂ /l)	247

IV. Action des tensio-actifs :

Deux détergents pour machine à laver ont été choisis pour étudier l'action dépolluante, l'un est d'une production algérienne "Teldj", et l'autre et d'une production étrangère "Blanco", qu'on assimilera à des dispersants.

Ces détergents ont été choisis pour la simple raison qu'ils contiennent des antimousses empêchant la formation de mousses puisque la présence de ces dernières rend la détermination de la tension superficielle très difficile.

IV.1. Le mélange préparé au laboratoire :

Dans un litre d'eau salée (eau de mer non polluée) dont sa masse volumique est de 1.15 kg/L, on a introduit 15 ml de gasoil (1.14 % en masse d'hydrocarbure) qui sera égale à 13.12 g de gasoil. Ce volume introduit est choisi de sorte que la tension superficielle de la solution préparée sera la même que celle de l'eau du port prélevée, à une température constante.

Gasoil :Caractéristiques du Gasoil [21]

Propriétés	Résultats
couleur	Marron
Densité à 20° C	0.875
Indice de réfraction à 20° C	1.4862
Point d'écoulement (°C)	5
point d'aniline (°C)	85
Tension superficielle (dyne/cm)	
- 15°C	35
- 20°C	33
- 30°C	32
Composition moyenne	%P = 68.1
	%N = 19.8
	%A = 12.1

%P : Paraffines, %N : Naphtène, %A : Aromatique.

Le gasoil peut être classé parmi les pétroles lourds, bien que la fraction est étroite en température d'ébullition. Sa tension superficielle est élevée par rapport aux autres hydrocarbures parce que les aromatiques ayant des tensions superficielles élevées sont en quantités importantes [21].

VI.2. Caractéristiques des tensio-Actifs utilisés :

- Teldj :

C'est un détergent employé dans les machines à laver, de production algérienne, sa composition n'est pas exactement connue, cependant on est sûr qu'il contient 5% de tension non ionique, savon, 15% phosphate, et activateur de perborate (TAED). Signalons que ce détergent est biodégradable à la température de 90°C

- Blanco :

Blanco est un détergent de production étrangère, utilisé dans les machines à laver composé de 5% de tensio-actif non ionique, et 10 à 15% de phosphate [12]

IV.3. Principe :

- Les deux détergents cités auparavant sont assimilés à des dispersants qui fractionnent la nappe d'hydrocarbures, et par conséquent facilitent la biodégradabilité des hydrocarbures, et augmentent l'échange air-eau (réoxygénation) qui accélère à son tour la biodégradation et le pouvoir auto-épurateur de l'eau.

- Nous rappelons qu'au-dessus d'une certaine concentration dite CMC, les molécules d'agent de surface se regroupent en agrégats appelés micelles.

- La CMC est la concentration à laquelle correspond la tension superficielle fixe; pour cette raison, il n'est pas rentable économiquement de la dépasser.

- S'il n'y a pas formation de micelles, donc pas de fractionnement de la nappe, et l'hydrocarbure ne sera dissout que dans la mesure de sa solubilité normale dans l'eau.

IV.4. Démarche suivie :

Le but de notre travail est d'étudier la variation de la tension superficielle du mélange préparé au laboratoire puis de l'eau du port d'Alger en fonction de :

- la température : à 10, à 20 et à 30°C

- la concentration : jusqu'à atteindre la CMC.
- le temps : 0, 5 min, 15 min, 30 min, 1 h.

au delà d'une heure la variation de la tension superficielle est négligeable [21].

- le détergent appliqué : Teldj, Blanco.

Les variations de la tension superficielle ont été suivies à l'aide d'un tensio-metre (Méthode de la lame verticale) "tensimat n3 prolabo".

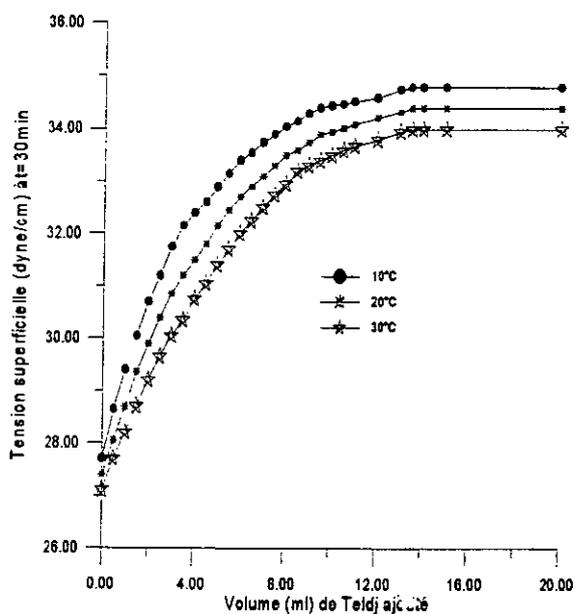
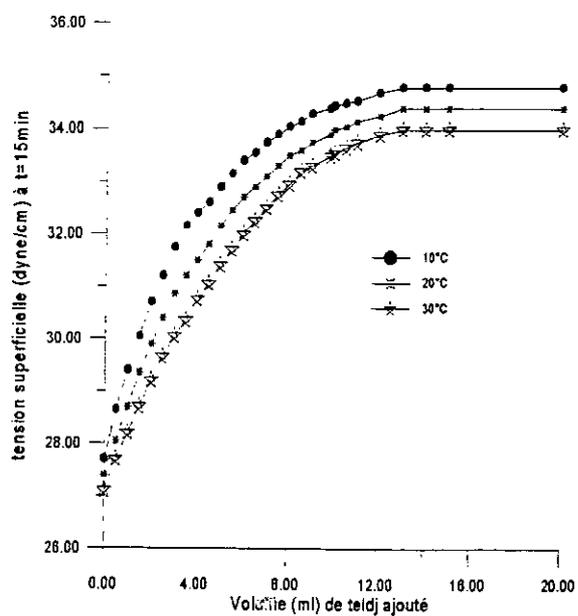
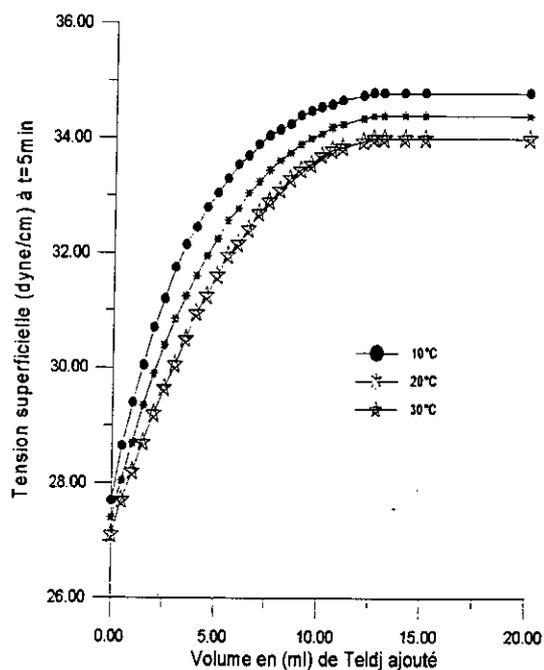
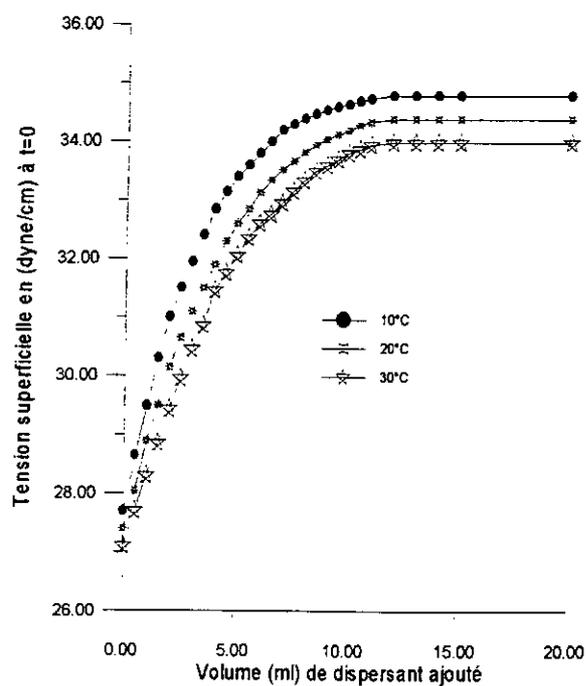
IV.5. Expression des résultats :

Nous exprimons en premier lieu les données de base à savoir

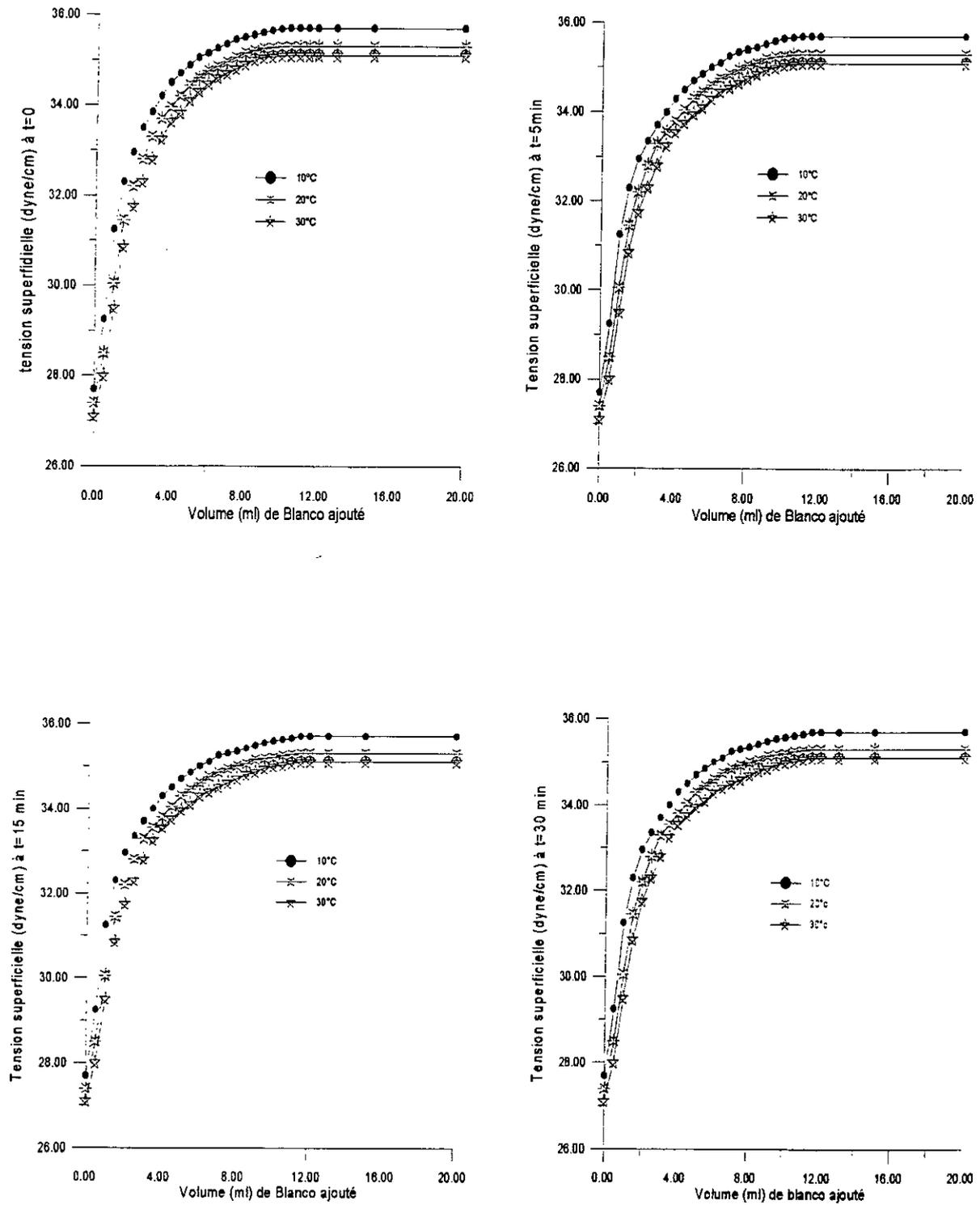
γ (dyne/cm)	10°C	20°C	30°C
mélange (eau de mer +gasoil) sans ajout de détergent.	27.7	27.4	27.1
Teldj à la concentration de 100g/l dans l'eau de mer nette.	34.8	34.4	34.0
blanco à 100g/l dessous dans l'eau de mer nette.	35.7	35.3	35.1
Eau de mer nette	60.9	60.3	59.9

Tableau (3).

Les évolutions de la tension superficielle en fonction du volume des dispersants ajouter, du temps et à différentes températures sont représentées par les graphes (1) et (2) suivants :



Graphe(1) : Action de Teldj sur le mélange préparé.



Graphe(2) : Action de Blanco sur le mélange préparé.

IV.6. Interprétation :

A partir des graphes qui donnent la tension superficielle du mélange en fonction du volume du dispersant ajouté, du temps, et de la température. On peut remarquer :

- Une importante augmentation de la tension superficielle au départ puis l'écart est de plus en plus réduit jusqu'à atteindre le palier, où la tension superficielle prend une valeur fixe égale à celle du dispersant pris séparément, et cela malgré l'ajout de dispersant ; la concentration correspondante à cette valeur de tension superficielle est notée CMC (Concentration, micellaire, critique). A partir de cette dernière il y aura fractionnement de la nappe d'hydrocarbures.

Cette observation est valable pour Teldj et pour Blanco, à différentes températures et durant le temps.

- La tension superficielle diminue quand la température augmente quelque soit le temps et le dispersant, ceci est dû au fait que plus la température augmente, le corps se dilate, d'où les forces d'attractions mutuelles : des molécules internes et celles des molécules superficielles diminuent, ainsi la tension superficielle décroît.

- le temps de stabilité de "Teldj" est de 30 mn environ, alors que celui de "Blanco" est de 15 mn, mais la diminution de la tension superficielle en fonction du temps été faible, et l'allure des graphes reste presque la même. Remarquons aussi que la tension superficielle à la concentration 0 et celle à la concentration infini de dispersant, n'ont pas varié dans le temps, parce que ces deux tensions ont été atteintes après un temps plus ou moins long.

- Nous avons utilisé les deux dispersants à la concentration de 100 g/l, car c'est la concentration préférable et rentable [14].

Quant aux doses pour lesquelles les tensions de surface sont efficaces, nous avons obtenu les résultats suivants, pour la température 20°C .

Temps (min)	Teldj		Blanco	
	volume de dispersant en (ml)	dose efficace par rapport à la masse d'HC présent dans le mélange (%)	volume efficace en (ml)	dose efficace par rapport à la masse d'HC (%)
0	12	9.14	10.5	8
5	12.5	9.52	11	8.38
15	13	9.9	11.5	8.78
30	13.5	10.29	11.5	8.78
60	13.5	10.29	11.5	8.78

on remarque que :

- "Blanco" est légèrement ^{plus} efficace que "Teldj", et les doses sont plus au moins loin de la valeur 3% (la dose efficace pour un dispersant habituellement utilisé dans le fractionnement des nappes d'hydrocarbures [7]), dû au fait que les détergents utilisés ne soient pas conçus spécialement pour ce genre de traitements.

On conclu qu'il est économiquement plus rentable d'utilisé Teldj, pour simple raison qu'il est moins coûteux, et il ne présente pas d'écart assez important du point de vue efficacité vis-à-vis. la dose et du temps, par rapport au détergent étranger.

V. Action de Teldj sur un échantillon prélevé au niveau du port d'Alger :

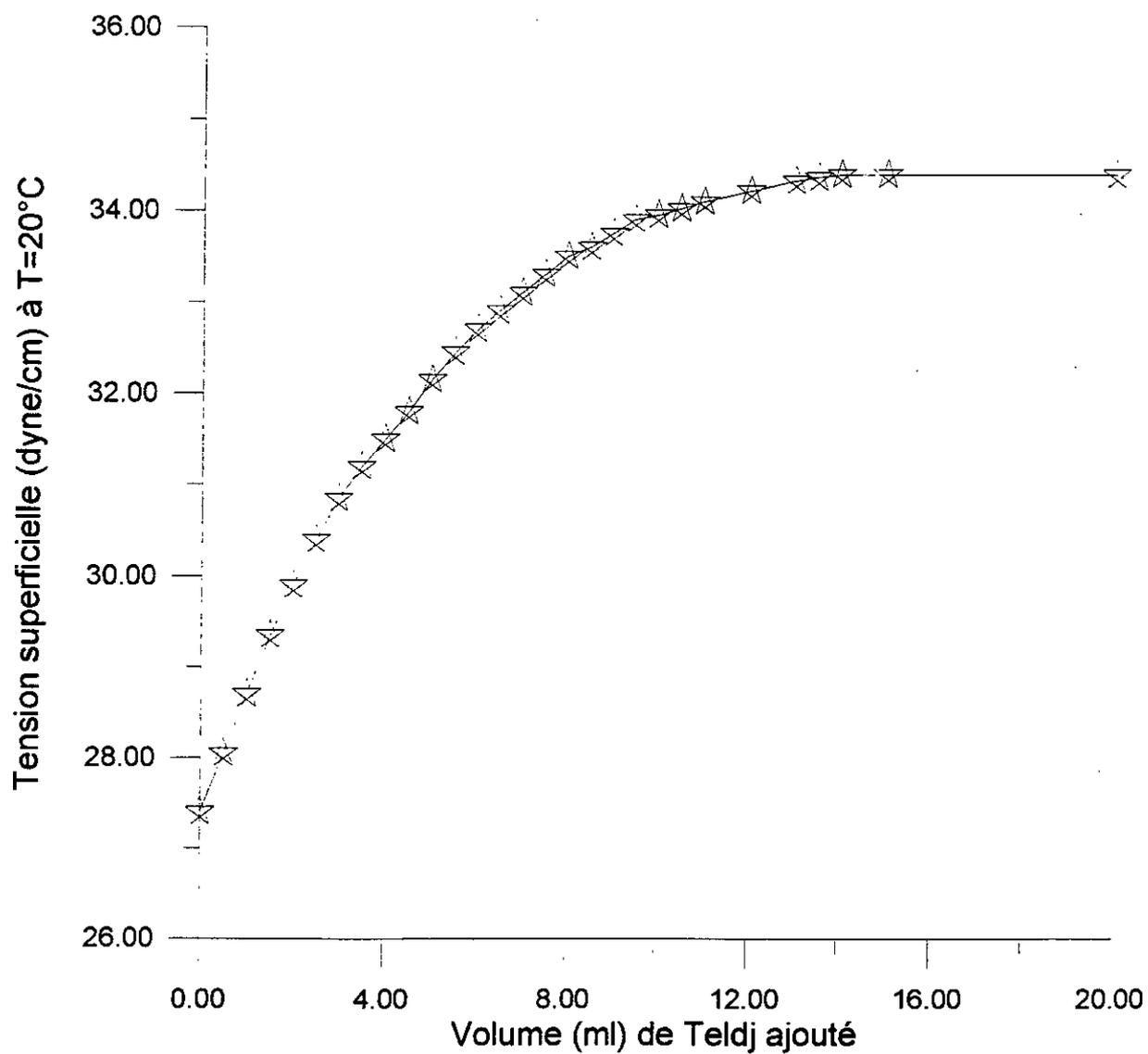
V.1. Expression des résultats :

La tension superficielle de l'eau du port est de 27.4 dynes/cm

L'ensemble des tensions superficielles est exprimé à la température 20°C et à t = 0.

Le dispersant est appliqué à la concentration de 100 g/l.

La variation de la tension superficielle de notre échantillon en fonction du volume de dispersant ajouté est donnée par la courbe n° 3.



Graphe(3) :Action de Teldj sur l'eau du port.

V.2. Interprétation :

D'après le graphe on observe que la tension superficielle de l'eau du port en fonction du volume de détergent ajouté, suit la même allure que celle du mélange préparé, sauf que :

vu la complexité des hydrocarbures présents dans l'eau du port, dû aux phénomènes naturels qui agissent sur leurs comportements dans l'eau :

- la dose à la quelle Teldj est efficace est de 14 ml = (10.67 %) en masse d'hydrocarbure, supérieur à la dose obtenu lors d'appliquer ce dispersant sur le mélange préparé, qui était de 12 ml = (9.14%)

- la tension superficielle augmente moins rapidement que celle du mélange.

VI. Action des microémulsions :

VI.1. Rappel :

L'émulsion est une dispersion liquide-liquide, ou une suspension de particules liquides au sein d'une autre phase liquide non miscible, la phase dispersée ou en suspension est l'état des particules dont les dimensions peuvent varier entre des limites très larges.

Généralement on distingue les émulsions "Huile dans l'eau" où la phase continue est l'eau.

La formation d'une émulsion est étroitement liée à la stabilité. Pour les préparés, on doit agiter les deux phases (huileuse et aqueuse) en présence d'un agent émulsifiant.

La tension interfaciale est l'énergie qu'il faut Fournir pour accroître l'aire interfaciale; plus elle sera basse plus il sera facile de former des gouttes d'un liquide dans l'autre et plus l'émulsion sera stable.

Une tension interfaciale nulle entre deux liquides correspond à une miscibilité totale.

Le rôle des agents tensio-actifs est précisément d'abaisser la tension interfaciale entre les fluides.

Les microémulsions sont des émulsions, dont les gouttelettes de l'huile sont finement divisées, de diamètre plus petit que dans les émulsions. Elles sont formées par l'ajout d'un cotensio-actif, généralement un alcool.

VI.2. But de la manipulation :

le but de cet essai est d'étudier l'action des microémulsions préparées à base de pétrole, d'eau salée, tensio-actif, et cotensio-actif, sur un mélange préparé lui aussi au laboratoire puis sur l'eau du port d'Alger.

VI.3. Préparation des microémulsions :

Pour la préparation des microémulsions, nous avons utilisé le pétrole (Gasoil), l'eau de mer, le tensio-actif (Teldj) et l'alcool (Butanol). Nous avons gardé le rapport eau/huile fixé ($WOR = 1$) et nous avons préparé plusieurs mélanges dans le but d'avoir des microémulsions de type WINSOR III ou IV.

Les compositions de ces mélanges sont données dans le tableau :

	eau(ml)	Huile(ml)	Alcool(ml)	Teldj(ml)
Mélange 1	40	40	10	10
Mélange 2	40	40	15	5
Mélange 3	40	40	5	15

on laisse les mélanges se stabiliser, puis on mesure la tension superficielle de la microémulsion obtenue à la température 20°C .

Remarque :

- plusieurs recherches ont démontré que le rapport $WOR \cong 1$ est le plus préférable à utiliser pour obtenir des microémulsions de type WINSOR III ou IV [21]

- l'augmentation de la température entraîne une destruction des microémulsions et montre deux phases, l'une est la phase pétrole l'autre est la phase de la solution du tensio-actif [9].

- nous avons opéré à la température 20°C (Température ambiante).

Résultats :

Les résultats de la tension superficielle en fonction du rapport $R = \text{tensio-actif/Alcool}$, à température 20°C , sont donnés dans le tableau ci-dessous :

R	1/3	1	3
γ (dyne/cm)	21.1	22.6	26.5

Commentaires :

- présence de trois phases dont la phase intermédiaire est une microémulsion de type WINSOR III

- la microémulsion est vérifiée par sa transparence et sa claieté

- nous constatons que la tension superficielle de la microémulsion augmente avec l'augmentation du rapport R

- le rapport $R = 1/3$ correspond à la tension superficielle la plus basse. Ce résultat est très demandé, car on cherche surtout à diminué les tensions interfaciales et superficielles à des valeurs très basses.

VII. Action des microemulsions sur un mélange simulé :**VII.1. Composition du mélange :**

La composition de brut algérien selon CRD de la SONATRACH [14] est :

75% en masse de paraffines

25% en masse de naphtenes et aromatiques

Les trois classes seront représentées par les composés suivants :

Toluène:représente les aromatiques, d'une proportion de 12.5%

Heptane:représente les paraffines, d'une proportion de 75%

Cyclohexane:représente les naphènes, d'une proportion de 12.5%

On admettra que l'eau du port contient au maximum 1.14% en masse d'hydrocarbures. Alors pour un litre d'eau de mer dont sa masse volumique est de 1.15 kg/l, on aura la composition d'hydrocarbures suivante :

	masse molaire (g/mole)	masse volumique (kg/l)	masse (g)	volume (ml)
Heptane	100.21	0.68	9.832	14.4
Toluène	92.14	0.87	1.6387	1.8
Cyclohexane	84.16	0.78	1.6387	2.1
Total			13.11	18.4

VII.2- Principe :

- Les microémulsions utilisées sont de type WINSOR III puisqu'elles représentent la tension superficielle la plus basse.
- Les microémulsions sont des dispersants qui favorisent le fractionnement de la nappe, sa dispersion dans l'eau et par conséquent la biodégradabilité des hydrocarbures déversés, ainsi les eaux de surface seront réoxygénées, d'où leur pouvoir autoépurateur sera réactivé.
- Rappelons que les microémulsions de type WINSOR III ont des propriétés intéressantes, elles présentent une faible tension interfaciale avec les phases en excès d'huile et d'eau, ce qui conduit à une grande solubilité.
- Nous rappelons aussi qu'au dessus d'une certaine concentration notée CMC, la tension superficielle ne varie plus et elle prend une valeur minimum, pour cette raison l'ajout de dispersant après l'obtention de la CMC n'est plus rentable économiquement et peut entraîner des contaminations dans le milieu.
- S'il n'y a pas variation de la tension superficielle, donc il n'y aurait pas de fractionnement de la nappe d'hydrocarbures.

VII.3- Mode opératoire :

L'objectif de notre travail est d'étudier l'action des microémulsions sur une eau contenant un film d'hydrocarbure à sa surface.

On suit les mêmes étapes suivies lors de l'application de tensio-actif sur le mélange préparé, à température 20 °C et au temps $t = 0$

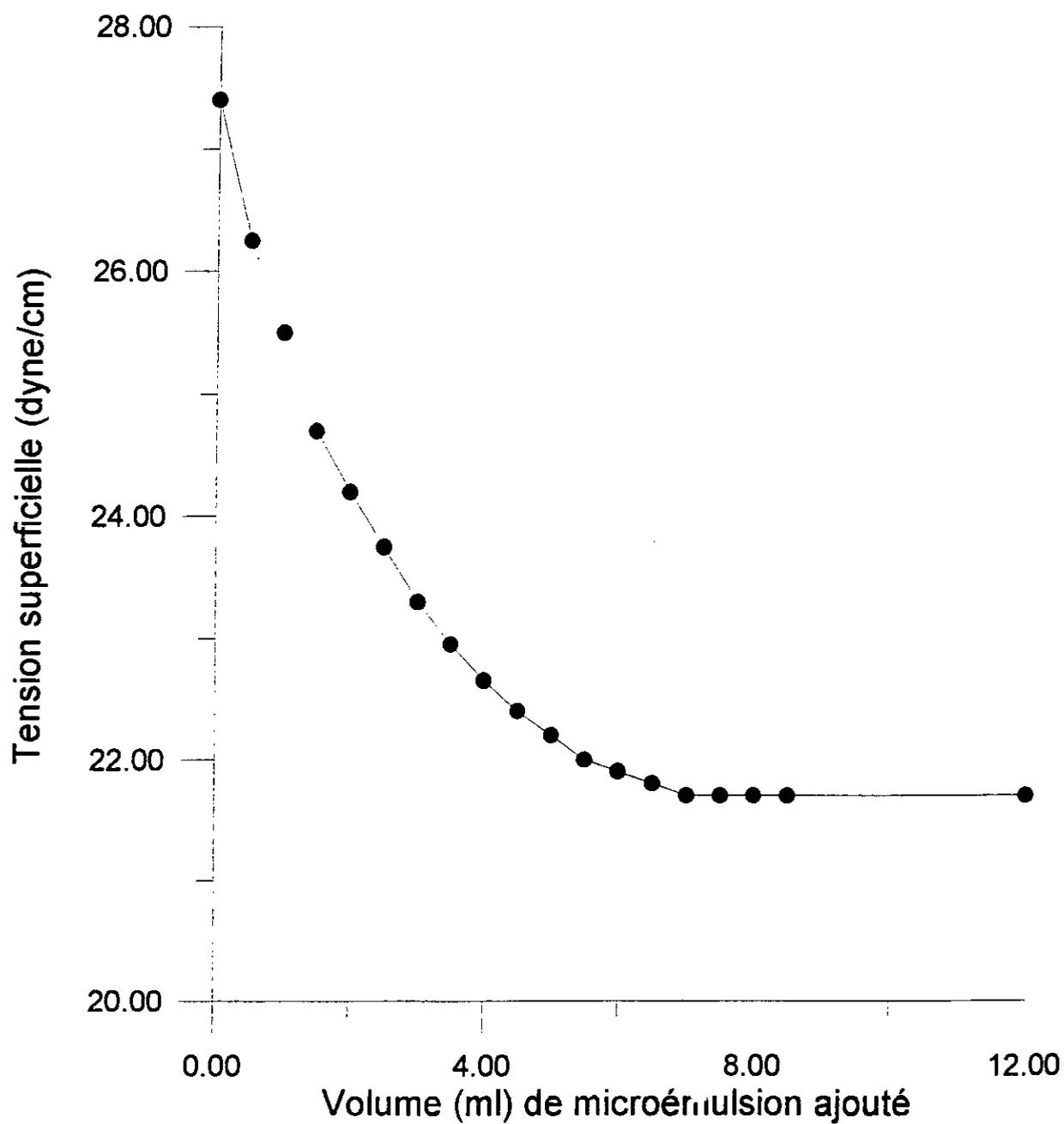
On opérera avec la microémulsion WIN III sur le mélange simulé puis sur l'échantillon prélevé.

La variation de la tension superficielle en fonction du volume de microémulsion additionné à été suivie à l'aide d'un tensimetre (Méthode de la lame verticale).

VII.4. Expression des résultats :

- la tension superficielle de la microemulsion est de 21.1 dyne/cm
- la tension superficielle de l'eau du port est de 27.4 dyne/cm
- l'ensemble des tensions superficielles est exprimé à la température 20°C.

l'évolution de la tension superficielle du mélange simulé en fonction du volume de dispersant additionné sera représenté par le graphe n° 4



Graphe (4) : Action de microémulsion sur le mélange simulé.

Interprétation :

à partir du graphe on observe :

- une importante diminution de la tension superficielle au départ puis l'écart devient de plus en plus réduit jusqu'à atteindre un palier où cette tension prend une valeur non variable, malgré l'ajout de dispersant.

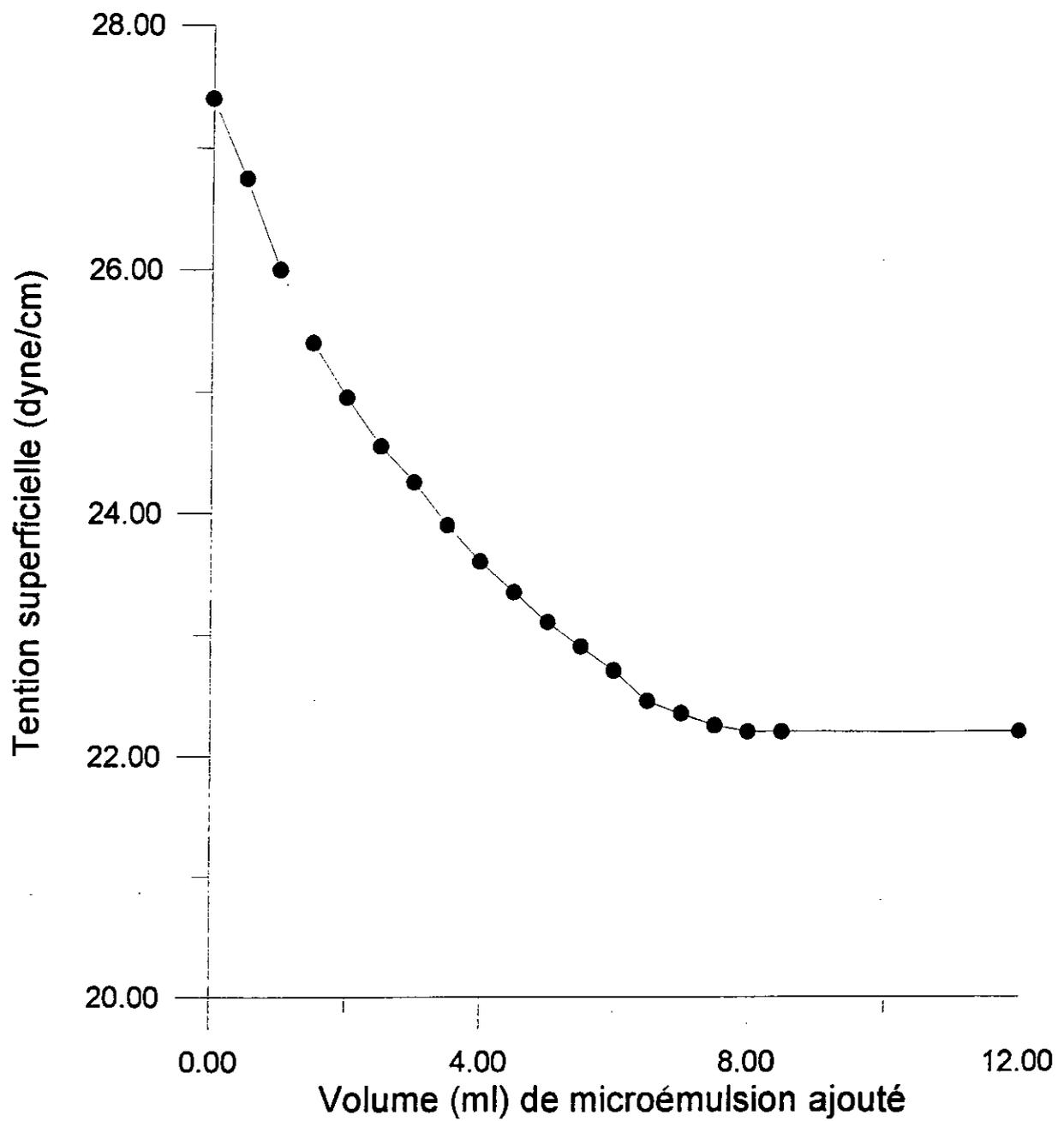
- la tension superficielle à la concentration micellaire critique correspondante au palier de la courbe est de 21.7 dyne/cm, supérieur à la tension superficielle de la microémulsion prise séparément (21.1 dyne/cm). Cet écart peut être occasionné par un gonflement et une transition de la microémulsion causé par la présence d'un excès d'eau.

VIII. Action des microémulsions sur l'échantillon prélevé au niveau du port d'Alger :**Expression des résultats :**

- la tension superficielle de l'eau du port est de 27.4 dyne/cm.

- l'ensemble des tensions superficielles est exprimé à la température de 20°C.

La variation de la tension superficielle de l'échantillon en fonction du volume de microémulsion additionné est donnée par le graphe n° 5.



Graphe (5) : Action de microémulsion sur l'eau du port.

Interprétation :

- cette variation suit la même allure que celle du mélange simulé.
 - le volume pour lequel la microémulsion est efficace lors de son application sur le mélange simulé est de 7 ml, inférieur à celui obtenu lorsqu'on a appliqué cette même microémulsion sur l'eau du port qui vaut 8 ml. Cette différence est justifiée par la contenance dans l'eau de mer d'huiles plus complexes que celles présentes dans le mélange préparé.

- On remarque aussi que la tension superficielle correspondante à la CMC de l'eau du port vaut 22.2 dyne/cm. Elle est supérieure à celle du mélange, qui est de 21.7 dyne/cm. Cet écart est dû à la transition de la microémulsion causée par la présence d'un film d'huile complexe, composé de molécules denses.

Etudes comparative :

Dans ce paragraphe on essayera de citer quelques différences entre l'application des microémulsions et des tensio-actifs.

Efficacité :

le tableau ci dessous résume les volumes pour lesquels les microémulsions et les tensio-actifs sont efficaces, avec leurs tensions superficielles correspondantes :

	Mélange préparé		eau du port	
	Volume (ml)	γ (dyne/cm)	Volume (ml)	γ (dyne/cm)
Microémulsion	7	21.4	8	21.9
Teldj	12	34.4	14	34.4
Blanco	10.5	35.3		

A partir de ce tableau on peut conclure que :

- les microémulsions sont ^{plus} efficaces que les tensio-actifs vis-à-vis des doses pour lesquelles on obtient un fractionnement du film d'huile. Alors que la comparaison de la tension superficielle entre les microémulsions et les tensio-actifs montre que les microémulsions sont plus efficaces, car elles diminuent la tension superficielle de l'eau,

et elles exhibent des tensions superficielles très basses ce qui explique une bonne solubilité du film d'huile dans l'eau, *contrairement aux tensio-actifs*.

Ceci peut être expliqué par le fait que les microémulsions sont des dispersants préparés spécialement pour rassembler l'eau et l'huile dans une phase homogène, alors que les tensio-actifs sont assimilés à des dispersants, fabriqués pour d'autres applications.

La biodégradation :

suyant la composition de la microémulsion, on peut conclure qu'elle est plus difficile à dégrader par les micro-organismes marins que les tensio-actifs puisqu'elle contient les tensio-actifs, et en plus de l'huile et de l'alcool. Ces derniers font augmenter la teneur de matière organique dans l'eau.

Aspect économique :

On peut remarquer que la microémulsion est beaucoup plus coûteuse que Teldj, pour plusieurs raisons qu'on cite ci-dessous :

- en premier lieu la microémulsion renferme dans sa composition le tensio-actif et elle exige d'autres composés coûteux pour la préparer.

- pour avoir des microémulsions de type WINSOR III, il faut fournir un excès d'eau et d'huile plus un tensio-actif et un cotensio-actif, dont une faible quantité de ces solutions entre dans la formation de la microémulsion et le reste sera considéré comme perte.

- risque de destruction de la microémulsion quand la température augmente.

Conclusion :

La pollution marine par les hydrocarbures est l'un des problèmes les plus importants qui se posent actuellement, issue de déversement considérable du pétrole en mer, et les dommages qui en résulte continuent à devenir de plus en plus préoccupantes. Le principale responsable de ce problème est l'homme qui a trop compté sur le pouvoir autoépurateur de l'eau.

Dans notre travail on a essayé en premier lieu de connaître le degré de pollution de l'eau au niveau du site étudié par la mesure de quelques paramètres physico-chimiques qui a révélé une pollution assez importante, non biodégradable.

- En second lieu nous avons suivi l'action dépolluante des tensio-actifs sur une eau contenant un film d'huile à sa surface dont nous avons déduit que "Teldj" et économiquement rentable/ à utiliser que "Blanco".

- En troisième lieu nous avons préparé puis additionné une microémulsion à une eau polluée afin de la traitée (la débarrassée du film huileux), et nous avons obtenu des résultats plus appréciables que ceux obtenus lors d'appliquer le tensio-actif.

Malheureusement, les microémulsions présentent plus d'inconvénients que les détergents.

Notons que tous ces dispersants (Teldj, Blanco et la microémulsion) sont efficaces à des doses plus élevées que celle du dispersant conçu spécialement pour ce type de traitement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **F. BERNE**
"Le traitement des eaux dans l'industrie pétrolière".
Institut français du pétrole, Edition Technipe Paris 1972.
- [2] **M. MARCHAND**
"Les polluants organiques dans les effluents urbains et apports polluants dans le milieu marin, cas du littoral Français"
Water research, volume 23, N° 4, Londres 89.
- [3] **P. GIALOMINI**
"Traitement des eaux salées des navires pétroliers, station de déballastage", Nuisances et environnement Avril 1975 Paris.
- [4] **G. LEFEBVRE**
"Chimie des hydrocarbures", Edition Technip Paris 1965.
- [5] **P. WUITIER**
"Raffinage et génie chimique", 2^{ème} édition tome 1. Technip Paris 1972.
- [6] **P. BISHOP**
"Marine pollution and its control", Mc Graw-Hill book company, 1983.
- [7] **O.M.I**
"Manuel sur la pollution par les hydrocarbures 4^{ème} partie. Renseignement pratique sur les moyens de lutte contre les hydrocarbures répandus en mer", Londres 1980.
- [8] **J. C. LACAZE**
"La pollution pétrolière en milieu marin", Edition Masson 1980.
- [9] **S. E. CHITOUR**
"Physico-chimie des surfaces", volume 1 édition O.P.U. 1992.
- [10] **B. LE NEINDRE**
"Constantes mécaniques, tensions superficielles et interfaciales",
K475 Techniques de l'ingénieur 1993.
- [11] **A. M. SCHWARTZ**
"Chimie et technologie des agents tensio-actifs", Edition DUNOD, 1965.

- [12] **C. LRPENT**
"Tensio-actif", K342, Techniques de l'ingénieur, 1995.
- [13] **L. MARCOU**
"Agents de surface", A7610, Technique de l'ingénieur, 1995.
- [14] **B. BOUNAB**
"Etude de tensio-actif dans la dépollution des eaux du port d'Alger contaminées par hydrocarbures". Thèse P.F.E, 1996, E.N.P, Alger.
- [15] **G. RODOWALD**
"Microémulsion", Edition Prince, New York 1977.
- [16] **J. H. SCHULMAN and L. M. PRINCE**
"Mecanism of formulation and structure of microemulsion by electron microscopy", Journal of physical chemistry, volume 63, 1959.
- [17] **A. LATTES**
"Relation structure-réactivité chimique et photochimique en microémulsion", Journal de chimie physique, JCPBAN 77, 1980.
- [18] **R. ZANA**
"Micelles et microémulsion", Journal de chimie physique, JCPBAN 83, 1986.
- [19] **M. BAVIERE**
"Optimisation des microémulsions utilisées pour la récupération assistée du pétrole", Institut français du pétrole, Edition Technip Paris 1979.
- [20] **L. M. PRINCE**
"Microemulsion, theory and practice", PRINCE.LM, Edition Academic press, New York 1977.
- [21] **F. MOHABEDDINE**
"Etude monographique sur les asphèltènes. Contribution à la récupération tertiaire du pétrole par microémulsions".
Thèse de Magistère, 1996, E.N.P, Alger.
- [22] **R. GABORIAUD and G. CHARBIT**
"Equilibre de dissolution-micéllisation", Journal de chimie-physique 1984.

[23] A. STEINE et A. SANFELD

"Structure et inversion des microémulsions en corrélation avec l'obtention de basse tension interfaciales", Journal de chimie-physique, 1980.

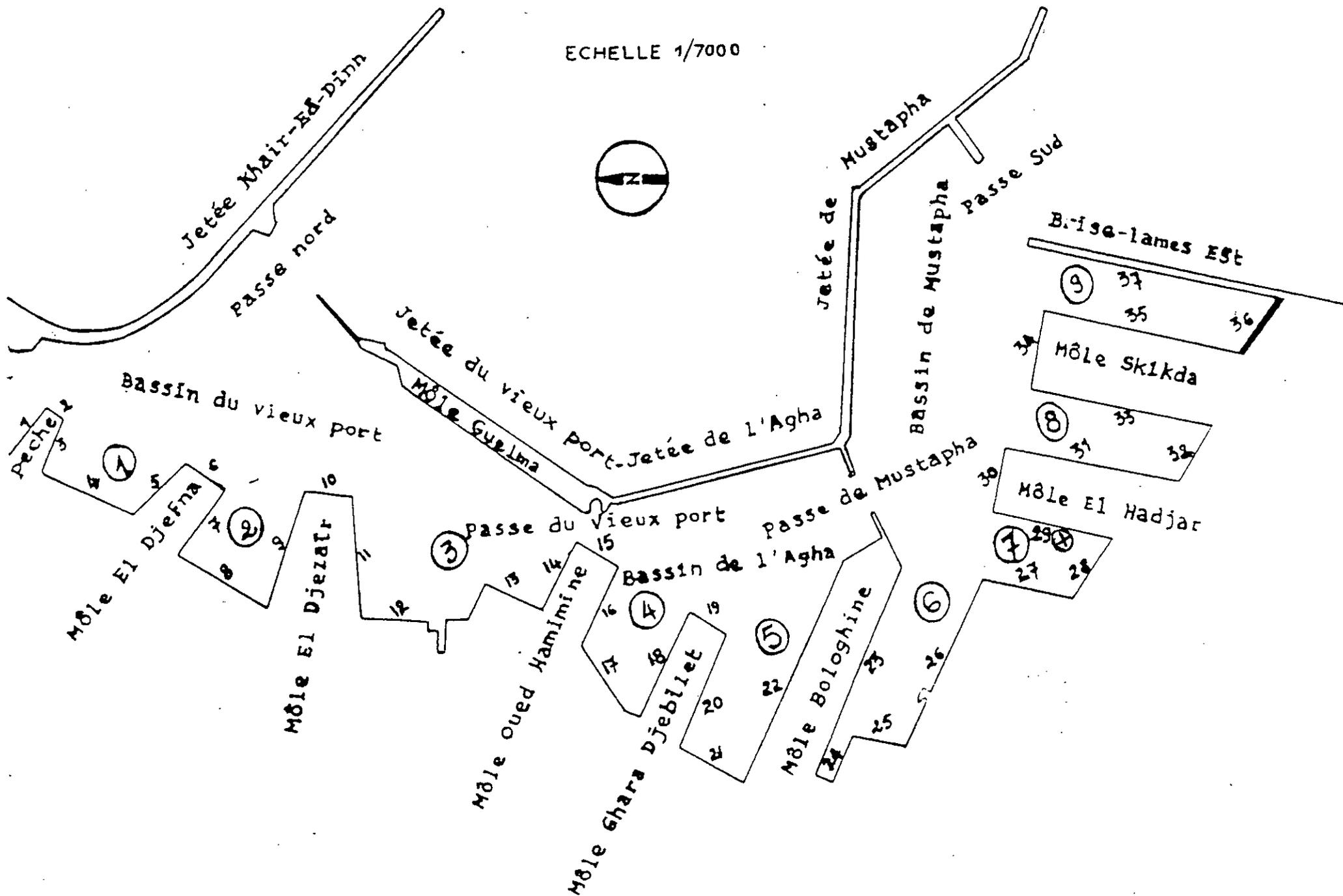
[24] B. LE FUR

"L'exploitation des gisements d'hydrocarbures", Ed. Technip, Paris, 1974.

PORT D'ALGER

ECHELLE 1/7000

Annexe I



SOLUBILITE DE L'OXYGENE DANS L'EAU

(air saturé en vapeur d'eau - pression 760 mm de mercure)

(d'après Whipple et Whipple, 1911, loc. cit.)

Température (°C)	Concentration en chlorures (g/l)					Différence pour 100 mg de chlorures
	0	5	10	15	20	
Oxygène dissous (mg/l)						
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3	0.017
1	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	0.016
2	13.8	13.1	12.3	11.5	10.8	0.015
3	13.5	12.7	12.0	11.2	10.5	0.014
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3	0.014
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0	0.014
6	12.5	11.8	11.1	10.5	9.8	0.013
7	12.2	11.5	10.9	10.2	9.6	0.013
8	11.9	11.2	10.6	10.0	9.4	0.012
9	11.6	11.0	10.4	9.8	9.2	0.012
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0	0.011
11	11.1	10.5	9.9	9.4	8.8	0.011
12	10.8	10.3	9.7	9.2	8.6	0.011
13	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5	0.010
14	10.4	9.9	9.3	8.8	8.3	0.010
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1	0.010
16	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	0.010
17	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8	0.009
18	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7	0.009
19	9.4	8.9	8.5	8.0	7.6	0.009
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4	0.009
21	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3	0.008
22	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1	0.008
23	8.7	8.3	7.9	7.4	7.0	0.008
24	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	0.008
25	8.4	8.0	7.6	7.2	6.7	0.008
26	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	0.008
27	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5	0.008
28	7.9	7.5	7.1	6.8	6.4	0.008
29	7.8	7.4	7.0	6.6	6.3	0.008
30	7.6	7.3	6.9	6.5	6.1	0.008
31	7.5	-	-	-	-	-
32	7.4	-	-	-	-	-
33	7.3	-	-	-	-	-
34	7.2	-	-	-	-	-
35	7.1	-	-	-	-	-
36	7.0	-	-	-	-	-
37	6.9	-	-	-	-	-