

I.S.M.A.L

MEMOIRE

**En vue de l'obtention du diplôme de
Technicien Supérieur de la mer**

Option : Physico-Chimie

T H E M E

**PROJET DE REAMENAGEMENT
DU PORT DE ZEMMOURI
- Etude de la propagation de la houle
et de l'agitation dans le port**

Présenté et soutenu le:

Par

Melles KHIARI-Naima et SBIIAT-Aïcha

Devant la commission de jury

Composée de :

Mr LARID.M

Mr BELKESSA.R

Mr BOUDOUMA

Mr BOUTIBA

Président

Promoteur

2nd Promoteur

Examineur

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance à messieurs BELKESSA R. et BOUDOUMA M. pour avoir accepté de nous diriger, nous orienter et corriger le présent travail, pour leurs critiques constructives également.

Nos remerciements vont aussi à:

Monsieur LARID M. pour avoir pris le temps de corriger ce travail et d'avoir accepté la présidence de notre jury.

Monsieur BOUTIBA M. qui a bien voulu participer à ce jury et qui n'a jamais refusé de nous éclairer tant que cela lui était possible.

Messieurs KELLAF M., ZABILA A. et KASSOUL S.A. qui nous ont permis de mener à bien notre travail en mettant à notre disposition leur temps, la documentation nécessaire et qui ont été friands en explications et réponses à nos nombreuses questions.

Monsieur BOUKORTT R. pour nous avoir confié de la documentation qui nous était nécessaire.

Nous avons demandé à Mr BAAZIZI A. de programmer nos sorties et de nous accompagner sur terrain, ce qu'il fit sans jamais hésiter; nous l'en remercions.

Nous ne saurions oublier:

Monsieur BOUSLIMANE D. toujours prêt à répondre à nos questions, fouiller ses tiroirs et la bibliothèque à la recherche d'ouvrages nous faisant défaut, à nous conseiller aussi et à nous encourager sans cesse.

Monsieur OULD HOUCINE B. pour les encouragements, le soutien moral et pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail.

Monsieur BOUDJELLAL B. pour avoir organisé une de nos sorties sur terrain, pour la documentation qu'il a mise à notre disposition, pour les conseils qu'il ne nous refusait jamais.

L'équipe du laboratoire de chimie pour ses encouragements.

Nos camarades de promotion: SAMYR, NAIMA, MUSTAPHA, NABILA, FAROUK, NABIL, SALIMA, NAIT YAHIA et autres promotions, pour leurs encouragements, leur aide précieuse et le soutien moral qu'ils nous apportaient. A tous nous disons MERCI.

Enfin, que les personnes nous ayant aidées de près ou de loin trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

INTRODUCTION.....	1
P A R T I E A: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**	
I- SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	2**
II- HISTORIQUE DU PORT DE ZEMMOURI.....	2**
III- DESCRIPTION DU PORT.....	2**
III- 1- ANCIENNE STRUCTURE DU PORT.....	2**
III- 2- NOUVELLE STRUCTURE ENVISAGEE DU PORT.....	2**
IV- CADRE MORPHOLOGIQUE.....	6**
IV- 1- SEDIMENTOLOGIE.....	6**
IV- 2- BATHYMETRIE.....	7**
V- CONDITIONS METEOROLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE DE LA ZONE.....	7**
V- 1- LES VENTS.....	7**
V- 2- LES COURANTS.....	9**
P A R T I E B: RAPPELS THEORIQUES SUR LA HOULE*	
INTRODUCTION.....	**
i- DEFINITION DE LA HOULE.....	10*
II- DEFORMATION DE LA HOULE AU COURS DE SA PROPAGATION.....	11*
a) - Le déferlement.....	11*
b) - La réfraction.....	11*
c) - La réflexion.....	12*
d) - La diffraction.....	13*
P A R T I E C: METHODOLOGIE**	
INTRODUCTION.....	14
I-DETERMINATION DE LA HOULE.....	15**
I-1- NATURE DES DONNEES EXPLOITEES.....	15**
I-2- DETERMINATION DE LA HOULE AU LARGE.....	15.*
I-2-1- ANALYSE DES DONNEES.....	15**
I-2-2- CALCUL DES RISQUES ET DES HAUTEURS ASSOCIEES AUX PERIODES DE RETOUR.....	18**

II-	DETERMINATION DE LA HOULE AU VOISINAGE DE LA COTE.....	23**
II-1	ETUDE DE LA REFRACTION.....	23
II-1-1	DOMAINE D'APPLICATION DU PROGRAMME "VAG".....	23
II-2	DETERMINATION DE LA HOULE A LA COTE.....	27
II-3-	CALCUL DES HAUTEURS SIGNIFICATIVES PROBABLES ASSOCIEES AUX PERIODES DE RETOUR.....	27**
II-4-	ASPECTS DE LA REFRACTION ET TRACE DE VAGUES PAR LE CALCUL NUMERIQUE ET LES ABAQUES.....	35**
II-4-1-	ASPECT GEOMETRIQUE.....	35**
II-4-2-	ASPECT ENERGETIQUE.....	40**
II-5-	ENERGIE DE LA HOULE.....	41**
III-	ETUDE DE L'AGITATION DANS LE PORT DE ZEMMOURI.....	43**
III-1-	ETUDE DE LA DIFFRACTION.....	43**
III-1-1-	PRESENTATION DU PROGRAMME "DIFFRA".....	43**
III-1-2-	RESULTATS DE LA DIFFRACTION ET DETERMINATION DE L'AGITATION.....	43**
III-2-	ETUDE DE L'AGITATION PAR LE MODELE REDUIT PHYSIQUE.....	48*
III-2-1-	DESCRIPTION DU MODELE.....	48**
III-2-2-	GENERATION ET MESURE DE LA HOULE.....	48*
*	a) Conditions d'essais.....	49*
	b) Essais de l'agitation.....	49*
III-2-3-	RESULTATS DES ESSAIS.....	49*
III-3-	ETUDE DE LA DIFFRACTION PAR LA METHODE DE WEIGEL.....	52
CONCLUSION.....		52**
CONCLUSION GENERALE.....		57

BIBLIOGRAPHIE**

ANNEXE.

INTRODUCTION

Tout aménagement nécessite une longue reconnaissance du terrain avant d'entreprendre les travaux. Ces études vont de la nature du sol, donc expertise géologique et sédimentologique, au coût et bénéfice du projet.

Pour la réalisation d'un projet de port ou d'aménagement du littoral, la connaissance des facteurs climatiques et hydrodynamique, à savoir le climat de houle, sur le site choisi serait le point de départ d'une telle étude.

Aussi dans le souci de compléter notre formation de technicien supérieur dispensée par l'Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (I.S.M.A.L), le Laboratoire d'Etudes Maritimes (L.E.M) nous a proposé le cas du projet d'aménagement d'un port. En effet, dans le cadre du réaménagement du port de ZEMOURI nous nous sommes intéressées à la propagation de la houle dans le site et à l'agitation qu'elle pourrait provoquer dans le port, suivant la configuration de ses ouvrages de protection.

Après avoir présenter notre zone d'étude , nous avons jugé utile de faire un bref rappel des définitions se rapportant à la houle puisque nous nous proposons d'en étudier la propagation.

Les données de base que nous utiliserons pour ce faire, consistent en des observations s'étalant sur 20 ans, effectuées par l'Institut Météorologique Royal Néerlandais (K.N.M.I) reprises de la note technique n° 2 de SO.GRE.A.H (1982; Société Grenobloise des Aménagements Hydrauliques).

A partir de ces données de houle au large , nous déduirons ses caractéristiques près du rivage, en tenant compte de sa réfraction , c'est à dire donc en faisant des plans de vagues. Une étude de la diffraction, par le modèle mathématiques et par les abaques de WEIGLE, nous permettra de déterminer l'agitation en différents points du port.

Enfin, nous comparerons nos résultats aux résultats obtenus lors des essais sur modèle réduit physique, dont nous présenterons brièvement le principe.

PARTIE A: PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE

I- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Zemmouri est situé à 60 Km environ à l'Est d'Alger, dans la wilaya de Boumerdes, entre 3x15' et 3x45' de longitude Est et 36x45' et 37x de latitude Nord, au fond d'une baie portant le même nom, avec à l'Est le CAP DJINET et à l'Ouest le CAP MATIFOU (Carte I)

La zone est à vocation agricole on note l'existence d'un petit port de pêche (entre 3x34' longitude Est et 36x48' de latitude Nord), abritant surtout des sardiniers.

II- HISTORIQUE DU PORT DE ZEMMOURI

Construit en 1955, le port ouvert sur le nord présentait quelques problèmes, notamment celui de l'ensablement du côté Est du port et celui de l'agitation ; problème non moins important, qui entraîna d'ailleurs un accident grave une nuit de l'année 1982 où sept pêcheurs trouvèrent la mort.

Suite à quoi, la Direction d'Infrastructure de Base de la Wilaya d'Alger a confié l'étude du réaménagement du port de pêche à SO.GRE.AH (Société Grenobloise des Aménagements Hydrauliques) et ce, le 10 Avril 1982. Le L.E.M (Laboratoire d'Etudes Maritimes) complète cette étude et la SO.NA.TRA.M (Société nationale des Travaux Maritimes) se charge des travaux de réalisation.

III- DESCRIPTION DU PORT

III- 1- Ancienne structure (Plan I)

Le port, en plus du problème de son étroitesse, était mal protégé par une jetée Nord de 9 m de longueur avec à son extrémité un phare ; et une jetée Ouest de 34m de longueur. Le port s'ouvrait alors sur le Nord.

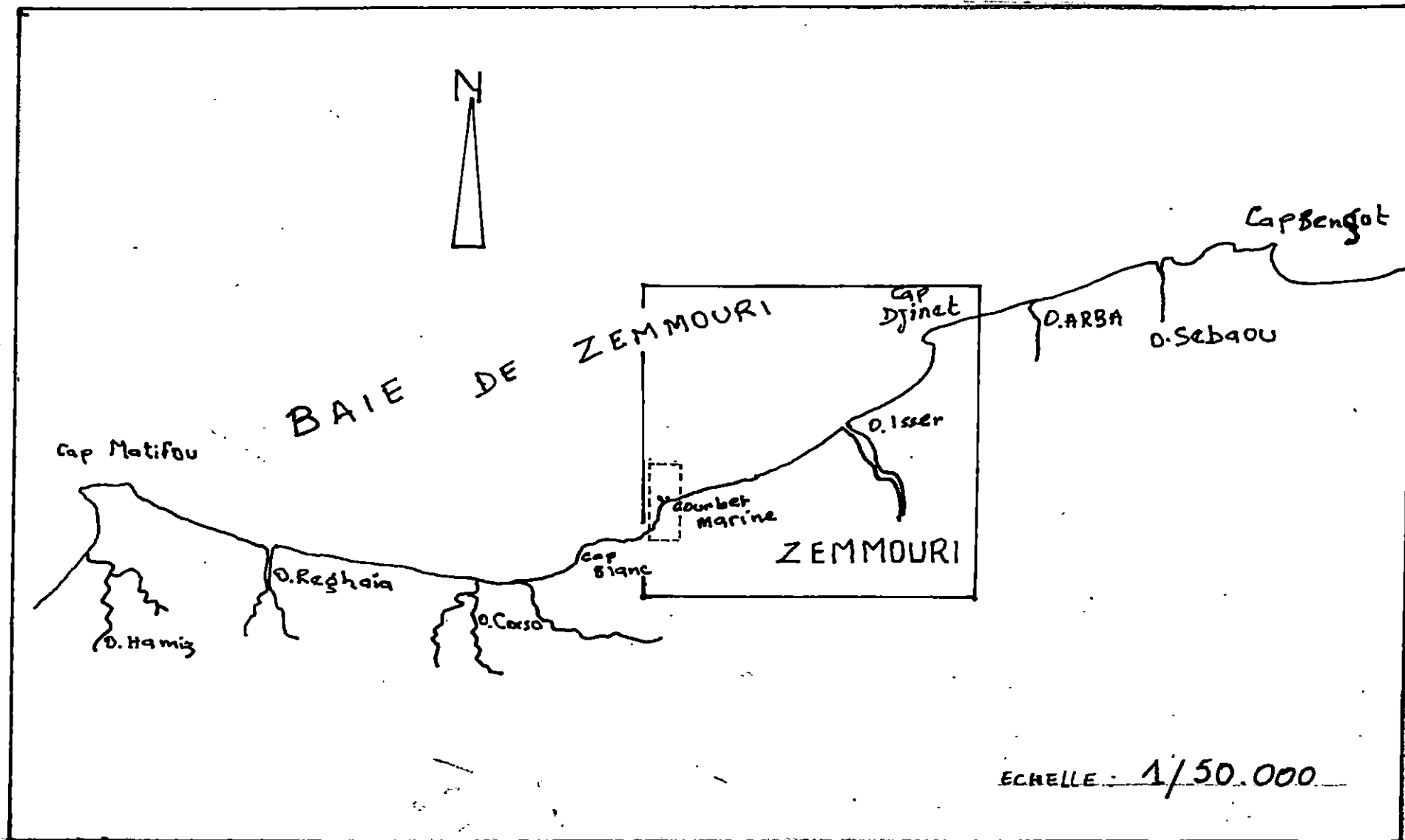
Il était dépourvu de nombreuses infrastructures (appontement, quais,...) ; l'absence de ces dernières et la faible bathymétrie du port ont fait que celui-ci ne peut abriter que des sardiniers (47 sardiniers) et des petits métiers au nombre de 22. Le port est doté d'une unité ENAPECHE à l'état d'abandon comme l'est aussi l'atelier de réparation navale. Il compte également une unité ECOREP qui est, elle, en activité.

III-2- Nouvelle structure envisagée du port (plan II)

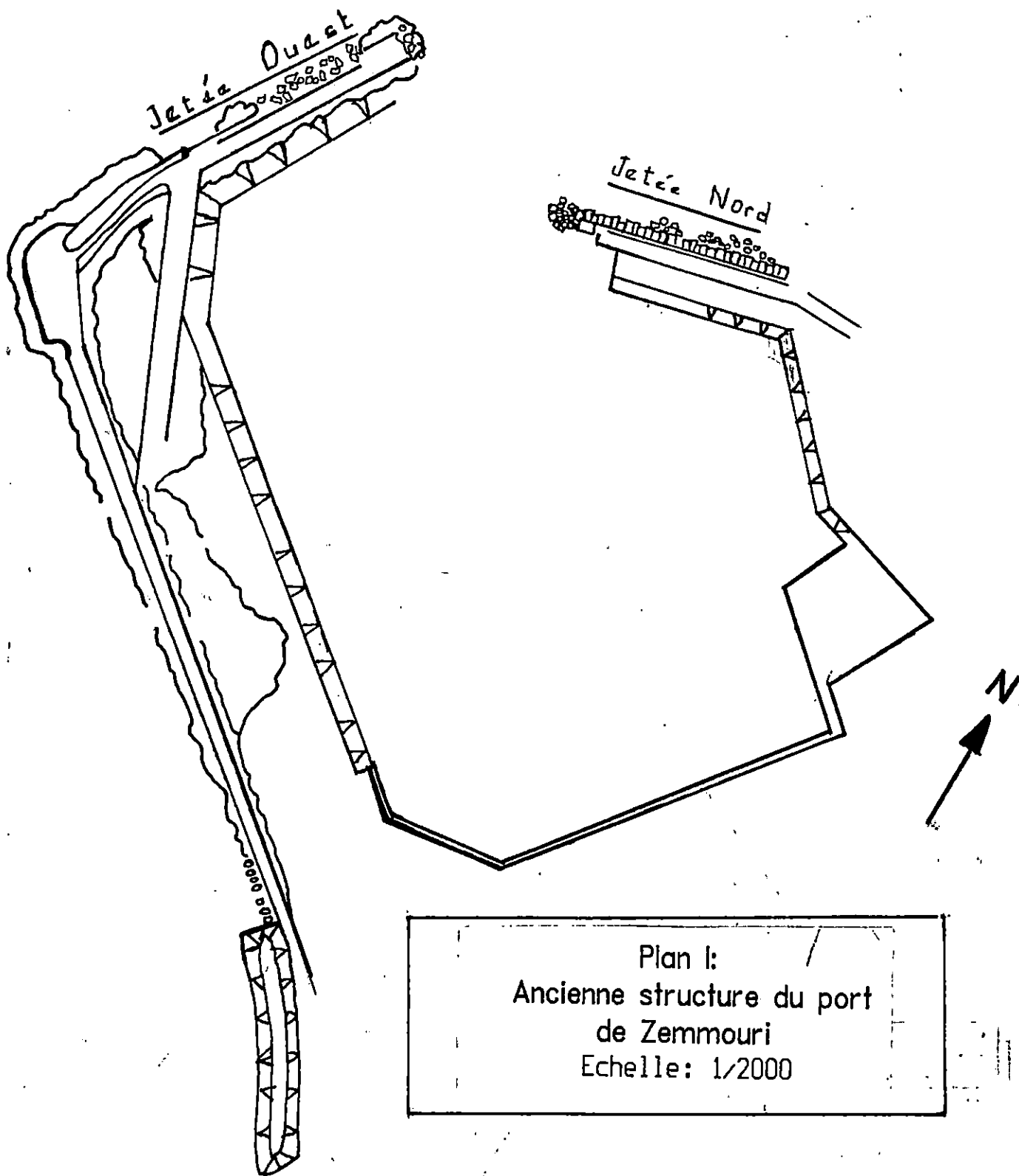
Un nouvel aménagement du port a été retenu. La SO.NA.TRA.M a déjà réalisé quelques constructions qui seront utiles pour le développement de la pêche dans la région.

Tout d'abord, pour une meilleure protection du port, une jetée Nord de 400 m de longueur faisant un angle d'environ 45x avec l'ancienne jetée Nord (qui servira de quai d'avitaillement) a été construite, ainsi qu'une jetée Ouest d'une longueur de 80m. Une digue de protection contre l'ensablement éolien du côté Ouest est en cours de construction. Elle sera longue de 80 m et haute de 4m.

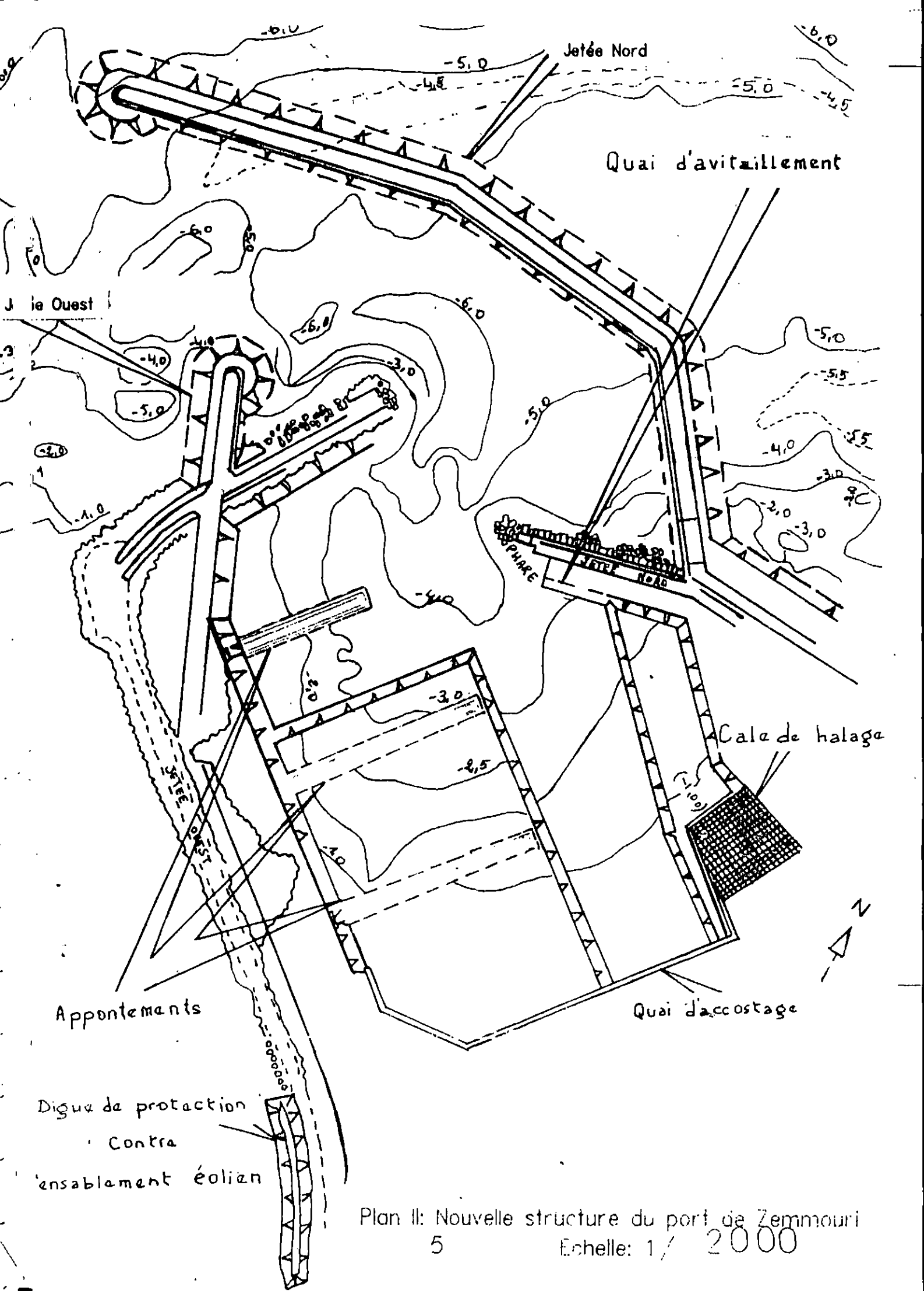
Sont également prévus, une cale de halage, des quais d'avitaillement, des appontements et un treuil électrique.



CARTE I: Situation géographique de Zemmouri



Plan I:
Ancienne structure du port
de Zemmouri
Echelle: 1/2000



Plan II: Nouvelle structure du port de Zemmouri
 5 Echelle: 1 / 2000

Le tableau (1) établi grâce aux renseignements recueillis auprès de l'ingénieur du L.E.M. chargé de suivre l'évolution du projet, nous indique les taux de réalisations dans les travaux envisagés et concrétisés par SO.NA.TRAM en 1992.

TRAVAUX A REALISER	TAUX DE REALISATION (%) fin 91	TAUX DE REALISATION (%) 1992
- PISTE D'ACCES	83	100
- JETEE NORD	75	95
- JETEE OUEST	80	100
- MERLAN	94	94
- PREFABRICATION BETON	80	95
- MISE EN PLACE B,C,R, 9,7	69	100
- MISE EN PLACE B,C,R, 14,5	00	100
- DRAGAGE DE MATERIAUX	33	50
- BETON DE COURONNEMENT	00	95
- BETON POUR APOUTEMENTS	00	00
- BETON MUR DE QUAI	88	88
- BETON D'AVITAILLEMENT (prefabrication)	00	100
- CALE DE HALAGE	00	00

TABLEAU 1. TAUX DE REALISATION A EXECUTER PAR SO.NA.TRA.M (Fin 1991 et en 1992).

IV- CADRE MORPHOLOGIQUE

La morphologie côtière de la zone est caractérisée par des plages et des dunes. La zone littorale de 12 km de longueur présente un secteur largement ouvert sur la mer ; les Caps de Zemmouri et de Djinet ne constituent pas une protection contre les houles et les courants marins.

Au Nord du port, on note l'existence d'un canyon. Ce dernier étant considéré comme étant le plus important sur le plateau continental Algérien (LECLAIRE, 1972).

Il se situe à environ 1,8 km au large de Zemmouri où la tête principale remonte jusqu'à 45 m de profondeur. La Direction Générale du Canyon est orientée vers le Nord-Ouest ; deux autres têtes se situent légèrement à l'Est de la tête principale (BELKESSA, 1991).**

IV- 1-Sédimentologie*

Le Cap de Zemmouri subit une importante érosion du côté Nord-Est ; de ce fait le port est exposé à un apport de sédiments érodés, lesquels sédiments proviennent essentiellement du côté Est. Cela est dû à l'inclinaison de la côte entre les Caps Djinet et Zemmouri.**

Cette orientation de la côte permet aussi aux courants de houles d'augmenter leur vitesse par réflexion ; par conséquent un transport de sédiments de l'EST vers l'OUEST.**

L'étude granulométrique menée par BELKASSA (1991) dans la zone, a montré que du sable très grossier (1 à 2 mm) compose essentiellement la zone ainsi que des sables à moyens (0,5 - 1mm)

En ce qui concerne le port, les matériaux remontés lors du dragage sont des sables fins, des marnes mélangées à de la vase et des roches (d'origine volcanique).

IV-2- BATHYMETRIE

Les profondeurs dans le port entre les anciennes jetées Nord et Ouest varient entre - 2 et - 5m ; à la passe d'entrée elles varient entre - 4 et - 6m.

À l'arrière de la jetée Ouest on note la présence de massifs rocheux ce qui fait varier la profondeur entre - 1 et - 4 m tandis que les profondeurs à l'arrière de la nouvelle jetée Nord vont de - 2 à - 6 m (plan II).

V- CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES DE LA ZONE.

V-1- LES VENTS (SO.GRE.A.H 1982)

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents ; Aussi, pour une étude de site le régime des vents doit être une donnée locale que l'on définit par sa fréquence, son intensité et sa direction à partir de l'exploitation des données d'observations étalées sur une assez grande période.

D'après les roses de répartitions fréquentielles des vents (Fig 1) ces derniers provenant des directions Est, Nord-Est et Ouest sont les plus fréquents. Toutefois, les plus forts, donc dominants, nous proviennent de l'Ouest, du Nord-Ouest et du Nord, leur vitesse variant de 8,5 à 13m/s. Un vent plus fort de direction Ouest atteint ou dépasse les 14 m/s. Cette direction reste donc la plus à craindre.

(Les vents continentaux, notons-le, n'ont pas d'influence sur l'hydrodynamique).

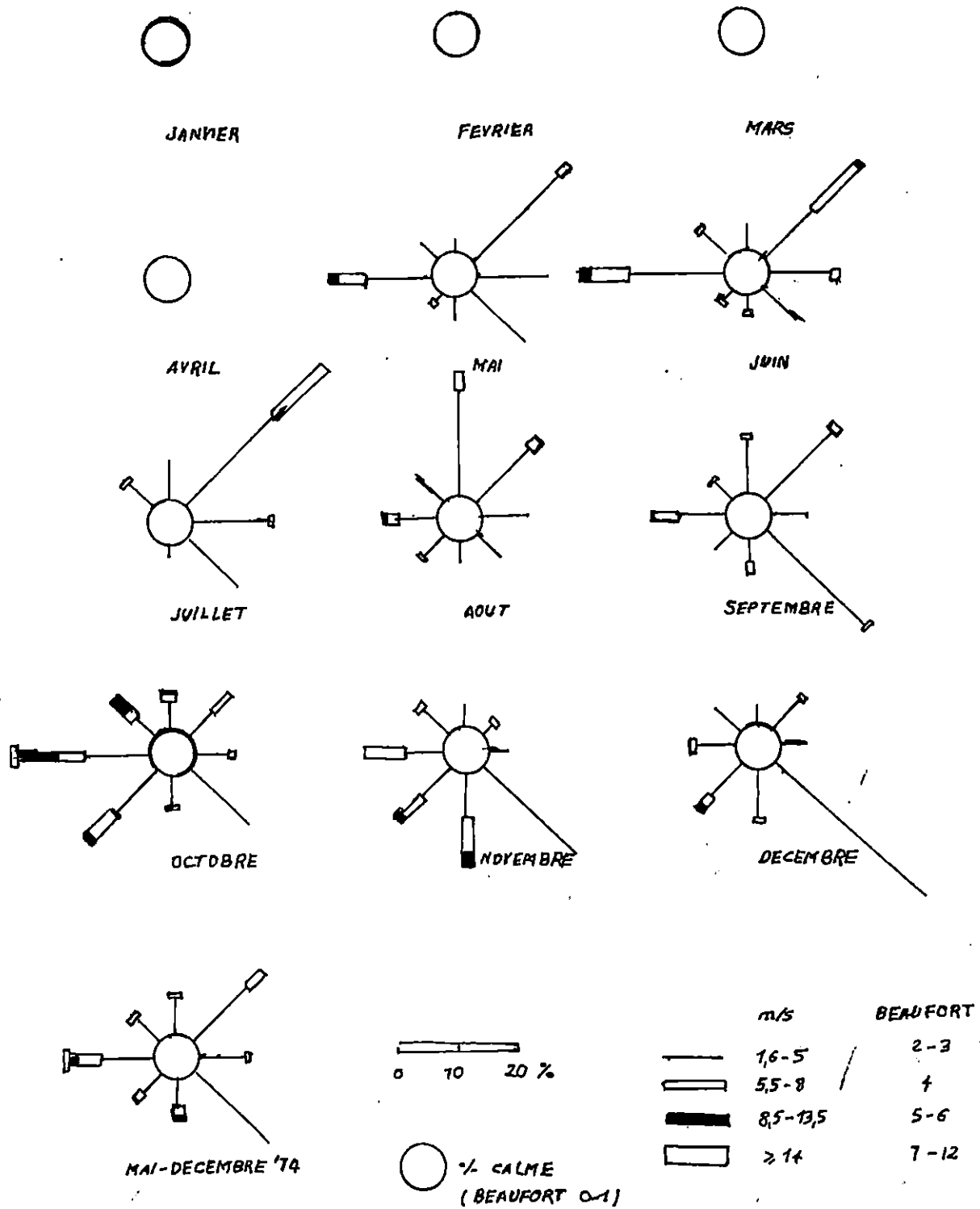


Fig. 1 : Roses fréquentielles des vents (in SOGREAH 1982).

V-2- LES COURANTS

La baie de Zemmouri étant largement ouverte à l'Ouest, elle est soumise en permanence à l'influence du courant. En période hivernale le renforcement de ce courant sous l'effet des vents d'Ouest contrôle la circulation des eaux (SAMSON KECHACHA , 1981).

En période estivale, les vents d'EST dominant et freinent le courant atlantique. Ces courants Nord Est sont très importants .En effet il existe des dunes hydrauliques permanentes à 1km environ au large de la côte , formées essentiellement grace aux apports qui arrivent de l'Est.

Par conséquent, entre ces dunes et la côte se créé un "couloir" où les courants côtiers sont très importants.

PARTIE B: RAPPELS THEORIQUES
SUR LA HOULE

I- DEFINITION DE LA HOULE

On appelle "houle" un système de vagues plus ou moins régulier, dans lequel la hauteur est faible relativement à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale (GUILCHER, 1965).

La houle est une oscillation périodique formée par des crêtes et des creux. Elle se propage sans déformation tant que la profondeur est grande par rapport à sa longueur d'onde (LARRAS, 1979).

Il existe des houles libres dont le profil est assez proche des houles régulières monochromatiques, ce sont des "houles formées" venant du large mais provenant d'une seule direction.

Les "houles croisées" sont des houles provenant de plusieurs directions. Les houles en cours de formation sous l'action du vent sont des "houles forcées" appelées "houles du vent" ou "houles locales".

La houle est caractérisée par :

- Sa longueur d'onde (L) qui est la distance horizontale entre deux crêtes ou creux successifs ; elle est de l'ordre de quelques mètres à des centaines de mètres (120 à 150 m en méditerranée).
- Sa hauteur (H) : dénivellation maximale entre une crête et un creux successifs. En temps de tempêtes elle est de quelques mètres.
- Son amplitude (a) : demi hauteur
- Sa période T : temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe, elle varie de 3 à 20 secondes.
- Sa célérité (c) : vitesse moyenne de propagation des crêtes vers la côte, elle est de l'ordre de 5 à 30 m/s.
- Sa cambrure (γ) : rapport du creux total (ou hauteur) à la longueur d'onde.

$$\gamma = H/L$$

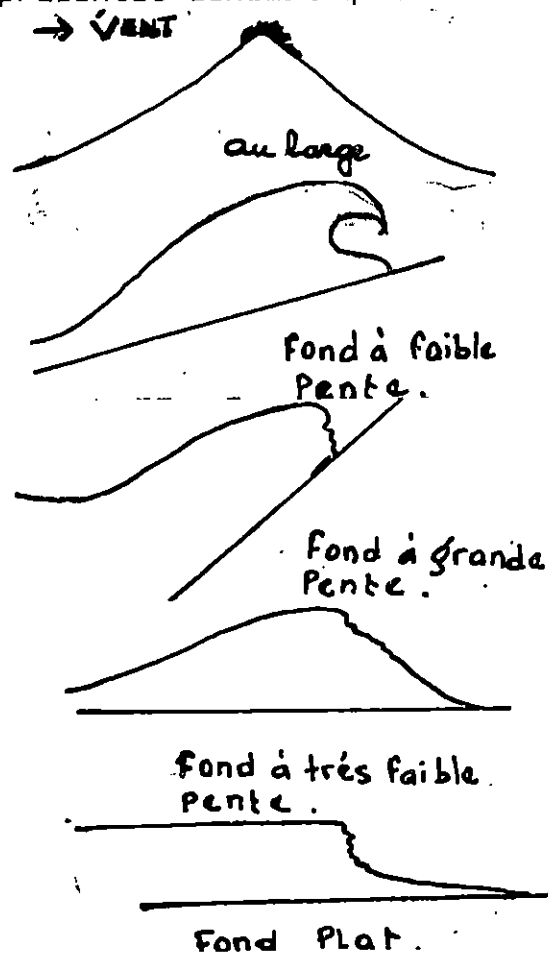
Théoriquement elle ne devrait pas dépasser 14 % mais elle est toujours plus faible, car la houle déferle avant d'atteindre cette valeur.

II- DEFORMATION DE LA HOULE AU COURS DE SA PROPAGATION*

En se rapprochant de la côte, la profondeur diminue ; cela entraîne une déformation de la houle au cours de sa propagation. La longueur d'onde est réduite, tandis que l'amplitude et la cambrure augmentent quand la profondeur diminue. Seule la période reste constante.

a) Déferlement :

Phénomène au cours duquel l'onde est partiellement ou totalement détruite. Il est caractérisé par un haut degré de turbulence et une grande dissipation d'énergie. Les différents types de déferlement sont représentés schématiquement dans la figure 2.



Au large, la cambrure limite est atteinte par action du vent. Déferlement sous forme de "mascaret".

Sur la pente faible, pour une faible cambrure, nous avons un déferlement "plongeant".

Lorsque la pente augmente on a un déferlement "rouleau", sous forme de rouleaux.

Pour une faible cambrure, la vague s'écroule en glissant sur sa face avant : déferlement "Glissant".

Sur un fond plat, pour les ondes très longues : "Mascaret".

Fig. 2. - Différents types de déferlement.*

b) La réfraction

La houle, en abordant les obstacles, se déforme et donne naissance à des courants qui contribuent à l'érosion et à l'engraissement des côtes. Les crêtes des vagues en eau peu profonde, n'étant pas parallèles aux isobathes (courbes de niveau du fond), subissent une rotation pour le devenir. Cette modification d'orientation des crêtes, par influence du fond, constitue la réfraction (fig.3. a et b)

Le changement de direction est donné par :

$$\frac{\sin a}{\sin a^{\circ}} = \frac{C}{C^{\circ}} = \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} \quad (\text{LACOMBE, 1960})$$

OU :

a : est l'angle entre les crêtes et les isobathes à une profondeur donnée d_1 .

C : est la célérité à la même profondeur (d_1)
 a° et C° : les mêmes données en profondeur (d_2)

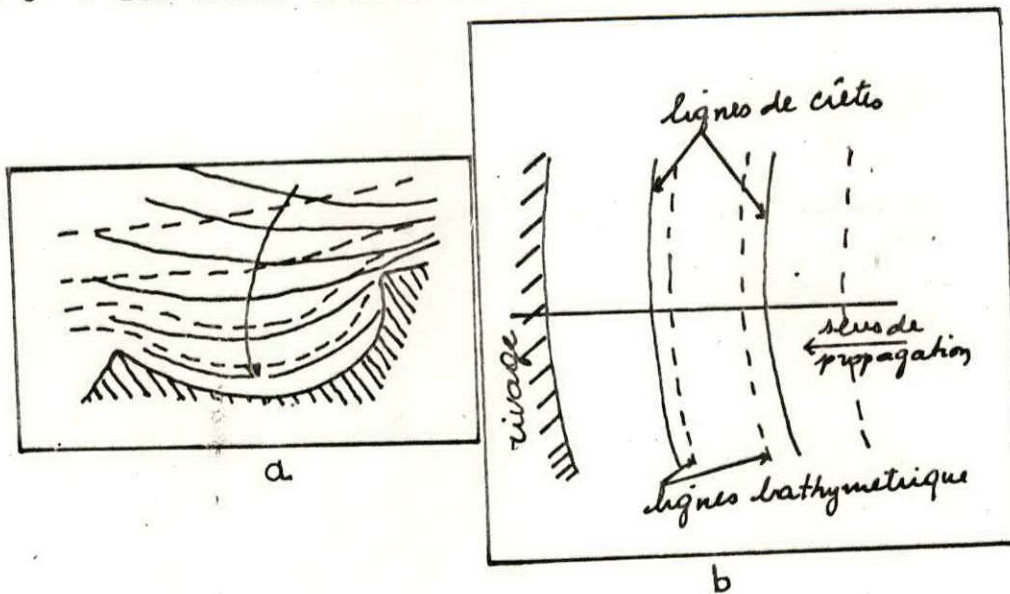


fig.3. (a et b) : Modification d'orientation des crêtes de vagues par influence du fond.

c) La réflexion

Lorsque une vague est renvoyée par un obstacle (exemple : une paroi) suivant que cette dernière soit verticale ou inclinée, nous avons une réflexion partielle ou totale. Le coefficient de réflexion "r" d'une paroi est fonction de l'angle "α" du talus.

A partir des travaux publiés de GRESLOU et MAHE (1955), nous avons pu prendre quelques courbes qui donnent le pouvoir réfléchissant pour diverses pentes de plans inclinés lisses et pour diverses valeurs de la cambrure au large (figure 4).

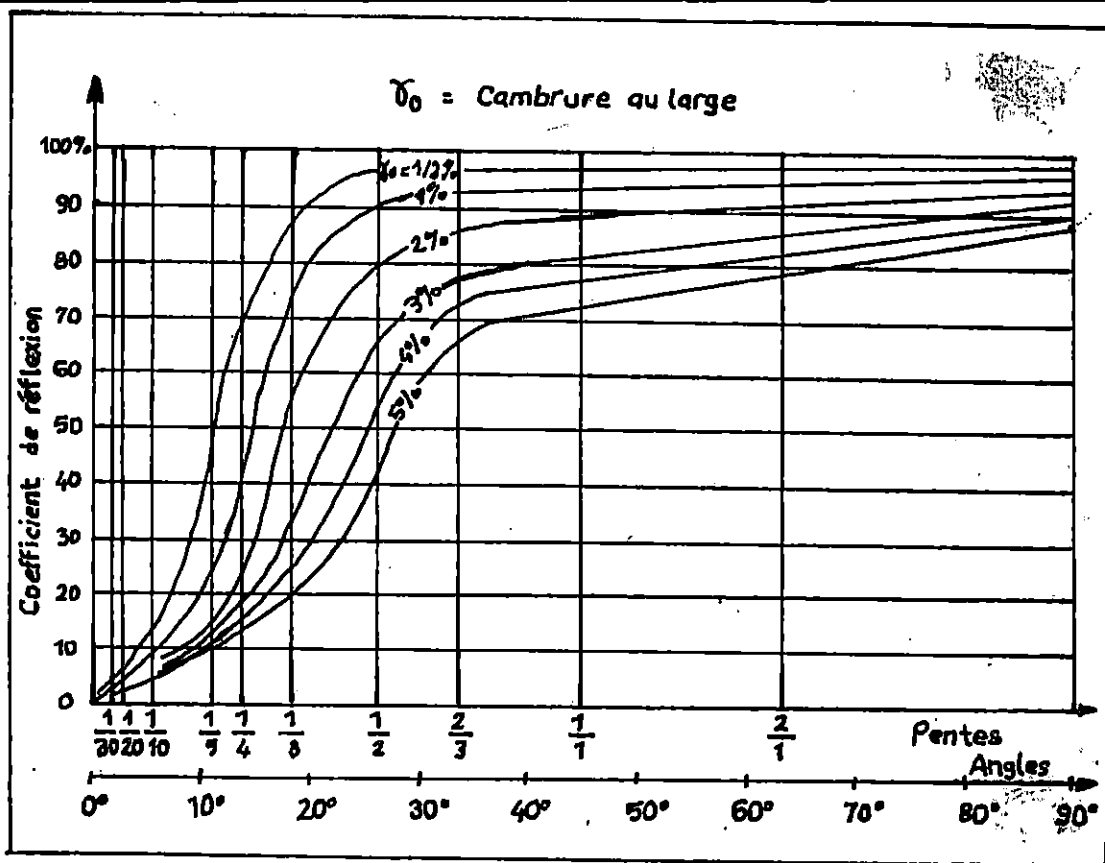


Figure 4.:

Pouvoir réfléchissant pour diverses pentes de plans inclinés lisses et cambrure au large.

Le coefficient de reflexion "r" dépend aussi de la nature de la surface du talus.

$$r = \frac{k}{\gamma_0} \cdot \frac{2 \alpha \sin^2 \alpha}{2\pi} \quad (\text{BONNEFILLE, 1980})$$

k : coefficient du revêtement du talus.

γ_0 : cambrure au large ; α : angle du talus

d) La diffraction

Lorsqu'un ouvrage n'arrête qu'une partie du front de la houle, des oscillations se manifestent derrière l'ouvrage. La houle contourne l'obstacle : on dit qu'il y'a diffraction.

PARTIE C : METHODOLOGIE

INTRODUCTION

L'objet de notre étude est de déterminer l'agitation dans le port de ZEMMOURI. Avant cette étape "ultime", nous déterminerons la houle au large en se basant sur les données du KNMI. (Institut Météorologique Royal Néerlandais) Connaissant la houle au large, nous déterminerons ses caractéristiques à la côte.

Au large comme à la côte, nous procéderons à une étude statistique afin de connaître les hauteurs significatives de la houle probable associées aux périodes de retour.

Dans ce qui suivra, nous verrons donc comment la houle est réfractée puis diffractée, comment elle aborde le port, quelle est son énergie, peut-on parler d'agitation importante et y aurait il lieu de s'en inquiéter ?

I- DETERMINATION DE LA HOULE

Les données de houle que nous avons analysées proviennent de la note technique n°2 de SO.GRE.A.H. (1982)

Ces données s'étalent sur 20 ans et couvrent une zone entre 2° et 4° de longitude Est et 37° et 38° de latitude Nord.

I-1 NATURE DES DONNEES

Les données brutes sont constituées de 20.000 observations visuelles faites à bord de navires. Elles proviennent du "KNMI" (Institut Météorologique Royale Néerlandais).

Les observations consistent en des hauteurs de houle. Toutes ces hauteurs sont des hauteurs significatives. Elles sont accompagnées des périodes correspondantes.

Les observations sont regroupées par secteur de 10 degrés entre 270° et 060°N. Les houles qui arrivent de directions extérieures à ces derniers secteurs ne peuvent atteindre notre site ; elles sont par conséquent considérées par leur nombre mais leur amplitude (H/2) sera considérée comme nulle.

I-2 DETERMINATION DE LA HOULE AU LARGE

L'analyse des données nous a permis de connaître la houle au large. Cette analyse a été faite comme suit :

I-2-1 - Analyse des données

Nous avons regroupé dans les tableaux I à XVI (annexe) les hauteurs de houle observées, les effectifs ou nombre d'observation, les effectifs cumulés ou fréquences absolues et enfin les fréquences relatives. Ces dernières étant le quotient des effectifs cumulés par l'effectif des observations, toute direction confondues.
L'effectif des observations (dit grand total) est de 19.669 .

Les fréquences relatives permettront de déterminer les directions desquelles arrivent les houles les plus fréquentes sinon les plus fortes.

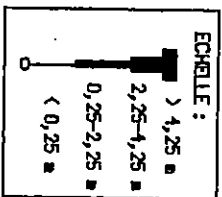
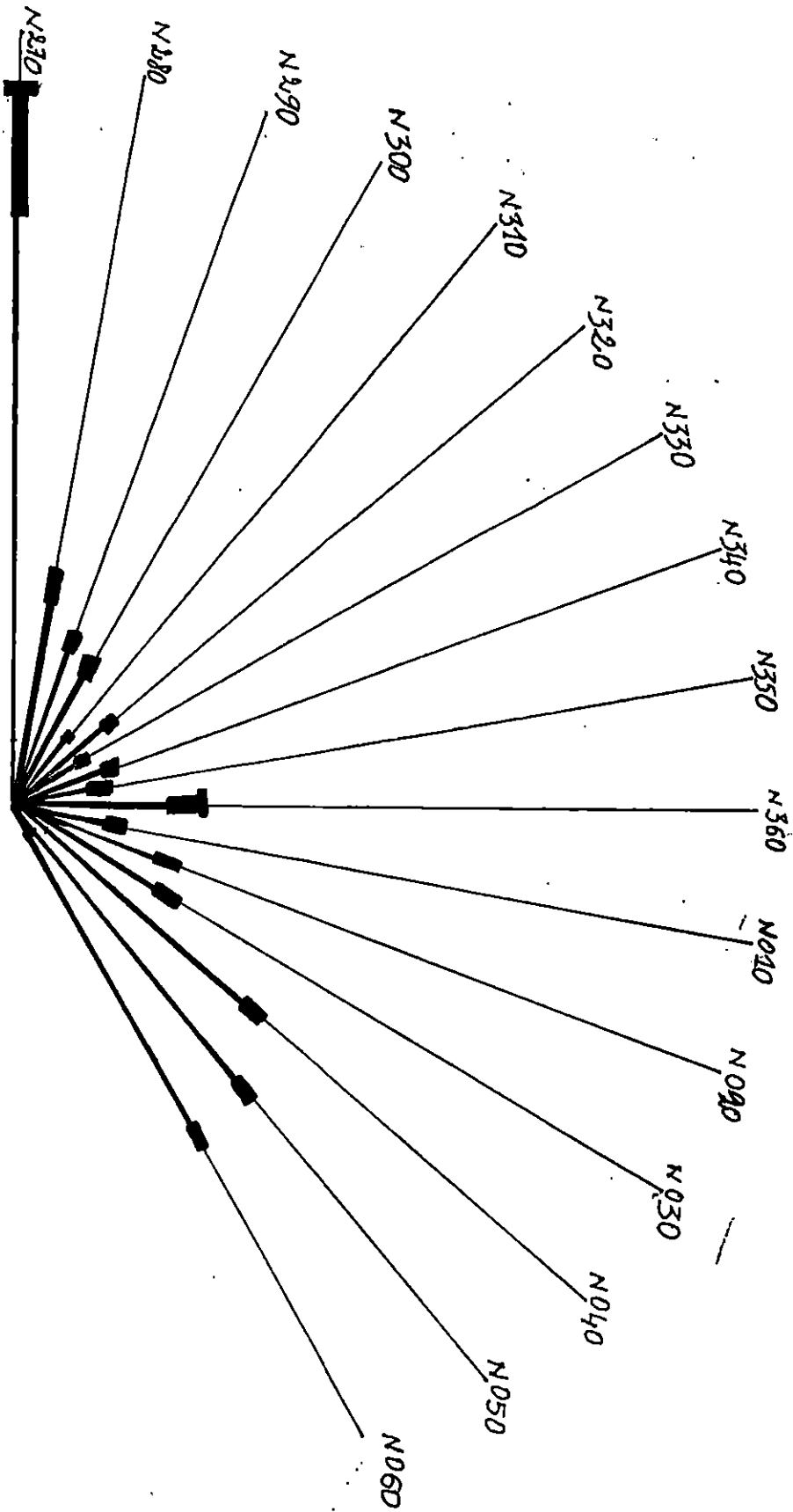
Nous avons choisie de reprendre graphiquement les résultats de cette analyse par une rose des houles (figure 5). Ainsi, d'après la rose ci-contre, trois directions de houle apparaissent Le Nord-Est, le Nord et l'Ouest

Dans la seconde représentation (figure 6 in SOGREAH, 1982) sont portées, pour chaque direction les périodes de houle et les pics représentant l'énergie apportée par cette dernière.

Le secteur allant de 270° N à 060°N est subdivisé en trois secteurs :

270°N - 310°N : les houles ont des périodes allant de 6 à 11s l'énergie qu'elles apportent est relativement importante.

Fig. 85 : Rose récapitulative des fréquences d'apparition de la houle exprimée en hauteurs significatives (Hs) ('KNMI' 1961-1980)



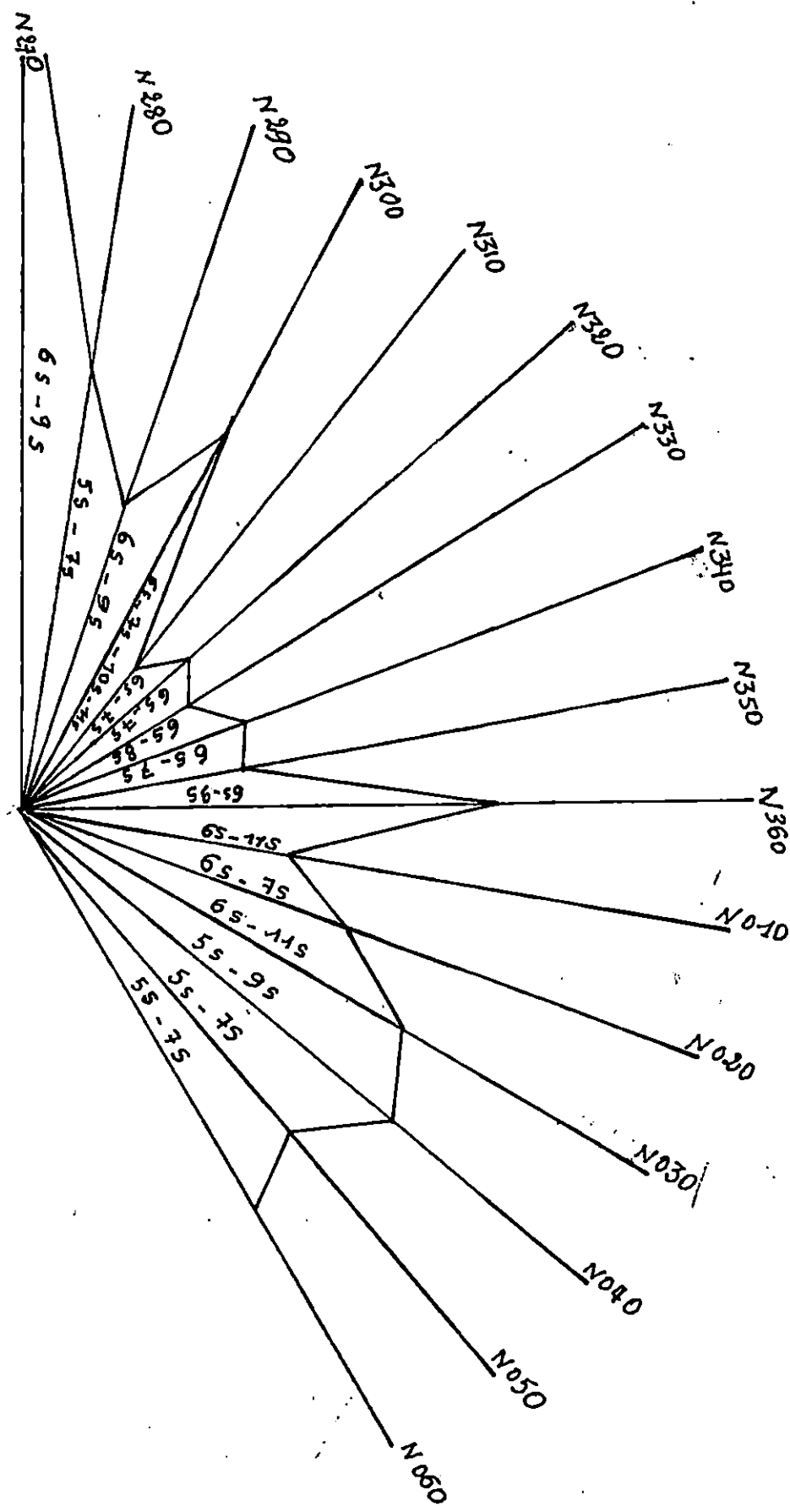


Fig. 76 : Répartition de l'énergie de l'ensemble des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes

310xN - 360xN : les périodes vont de 6 à 9s. Les houles apportent une énergie faible.

360xN - 060xN : Energie relativement importante, les périodes vont de 5 à 10s

Les directions retenues pour cette étude sont : le Nord, l'Ouest et le Nord-Ouest.

Il est vrai que les houles arrivant du Nord-Est sont importantes mais le port étant protégé de ce côté-ci, nous avons pensé qu'il serait plus intéressant de savoir comment évoluent les houles du côté Ouest et Nord-Ouest, le port s'ouvrant sur l'Ouest.

1-2-2 - Calcul des risques et des hauteurs associées aux périodes de retour.

A partir des hauteurs de houle relevées, on établit une loi de régression linéaire donnant en fonction de la hauteur, sa fréquence de dépassement pour chacune des trois directions retenues (N, N-W et W).

La probabilité P_n de voir une houle d'amplitude donnée apparaître au moins une fois sur n années est définie par :

$$P_n = \frac{1}{4 \times 365 \times n}$$

Nous supposons que la mer change d'état 4 fois en 24 heures.

Les probabilités ainsi calculées sont données dans le tableau 2.

RISQUE (ou n)	PROBABILITES (P n)
ANNUEL	6,8 1 10 ⁻⁴
BIENNAL	3,4 10 ⁻⁴
QUINQUENNAL	1,4 10 ⁻⁴
DECENNAL	6,8 10 ⁻⁵
VINGTENNAL	3,4 10 ⁻⁵
CINGUANTENNAL	1,4 10 ⁻⁵

TABEAU 2 - PROBABILITES ASSOCIEES AUX PERIODES DE RETOUR.

L'équation des droites de regression linéaire est de la forme :

$$y = a \text{ Ln } (X) + b \quad (1)$$

où:

- y : est la hauteur significative Hs,
- a : La pente de la droite
- X : la probabilité associée aux périodes de retour
- b : L'ordonnée à l'origine quand Ln (X) = 0

Les coefficients de corrélation, ainsi que les valeurs de a et b obtenus pour chaque droite de regression (Fig. 7,8,9) linéaire suivant une direction déterminée sont regroupés dans le tableau suivant :

DIRECTION	COEFFICIENT DE CORRELATION	a	b
360°N	0,9603	- 0,8387	- 2,4482
290°N	0,9868	- 0,9936	- 3,5560
270°N	0,9924	- 0,9297	- 1,7865

TABLEAU 3 - Coefficients de corrélation et constantes obtenus pour les droites de regression suivant les trois directions : N, W, N-W.

L'équation (1) nous a permis de calculer les hauteurs de la houle probable associées aux périodes de retour.

Nous pouvons également lire ces hauteurs sur les graphes suivants (figures 7,8 et 9).

Le tableau "4" regroupe les hauteurs calculées

Port de Zemmouri. Houle au large.
 Direction: 360°N

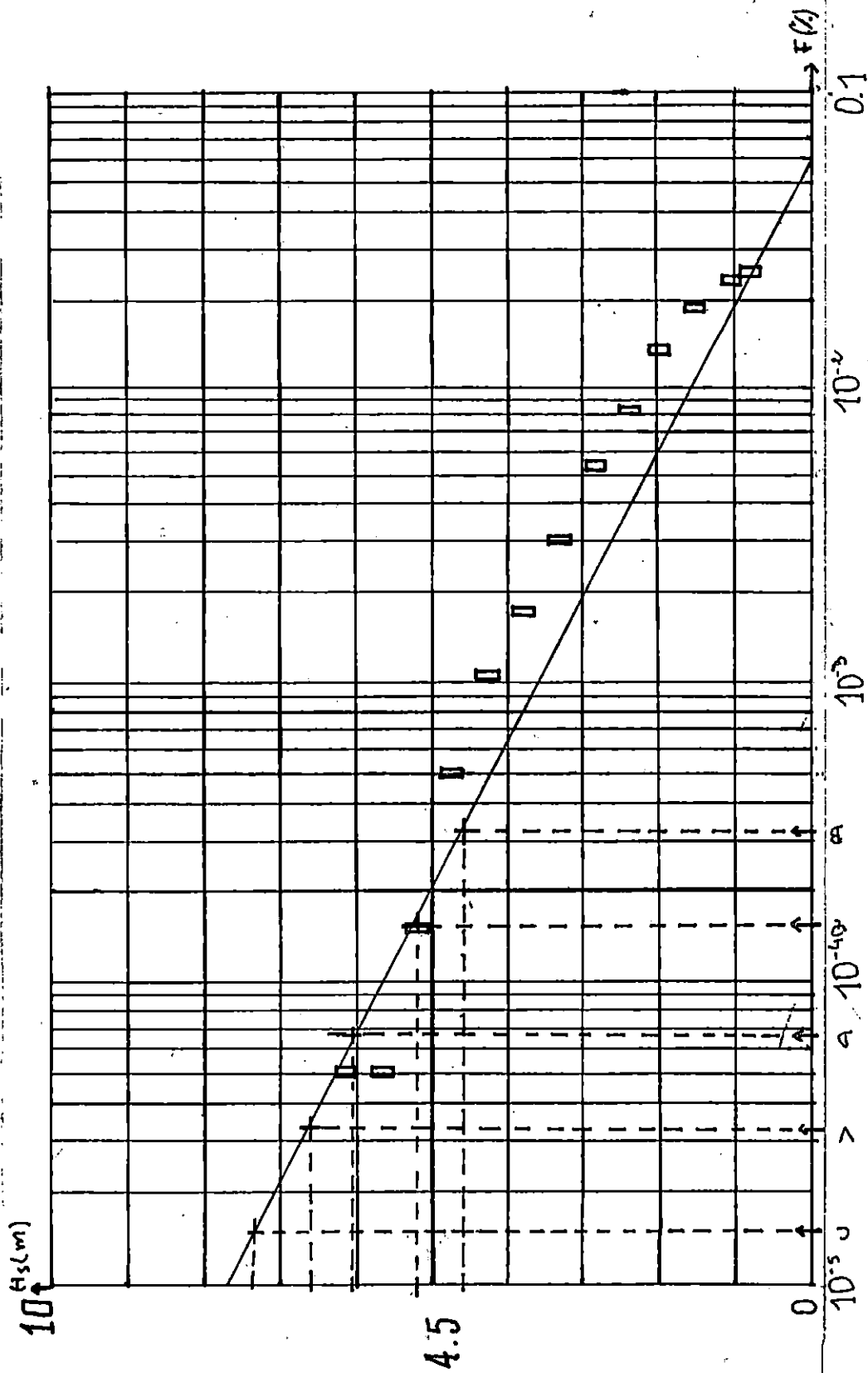


Fig. 7 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle au large.

Equation de la droite: $H_s = -a \ln(P_n) - b$
 Coefficient de corrélation $k = 0,9603$

Port de Zemmouri.- Houle au large.
 Direction: 290°N

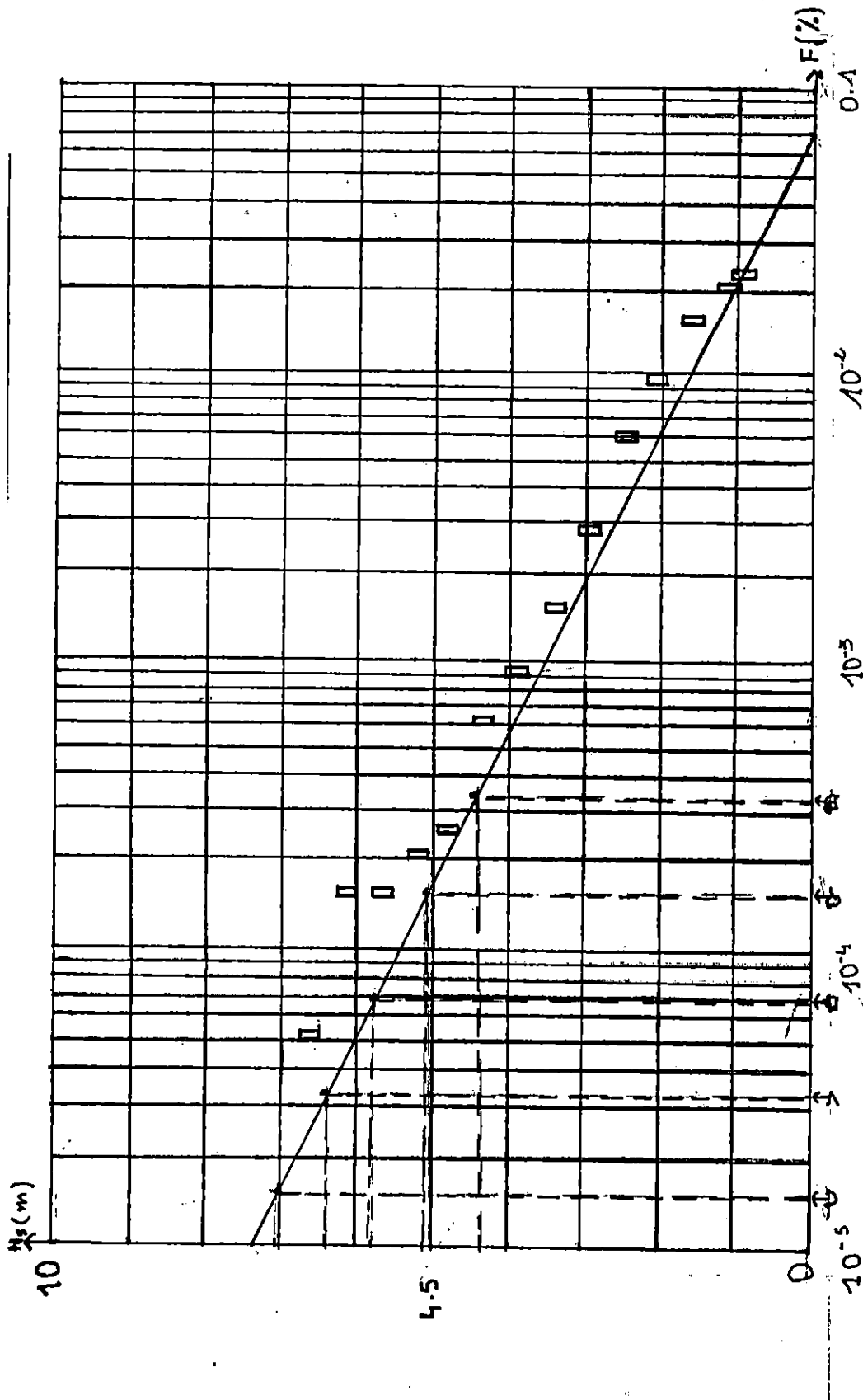


Fig. 8 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle au large.

Equation de la droite: $H_s = -a \ln(F) - b$
 Coefficient de corrélation $k = 0,9868$

Port de Zemmouri. Houle au large.
 Direction: 270°N

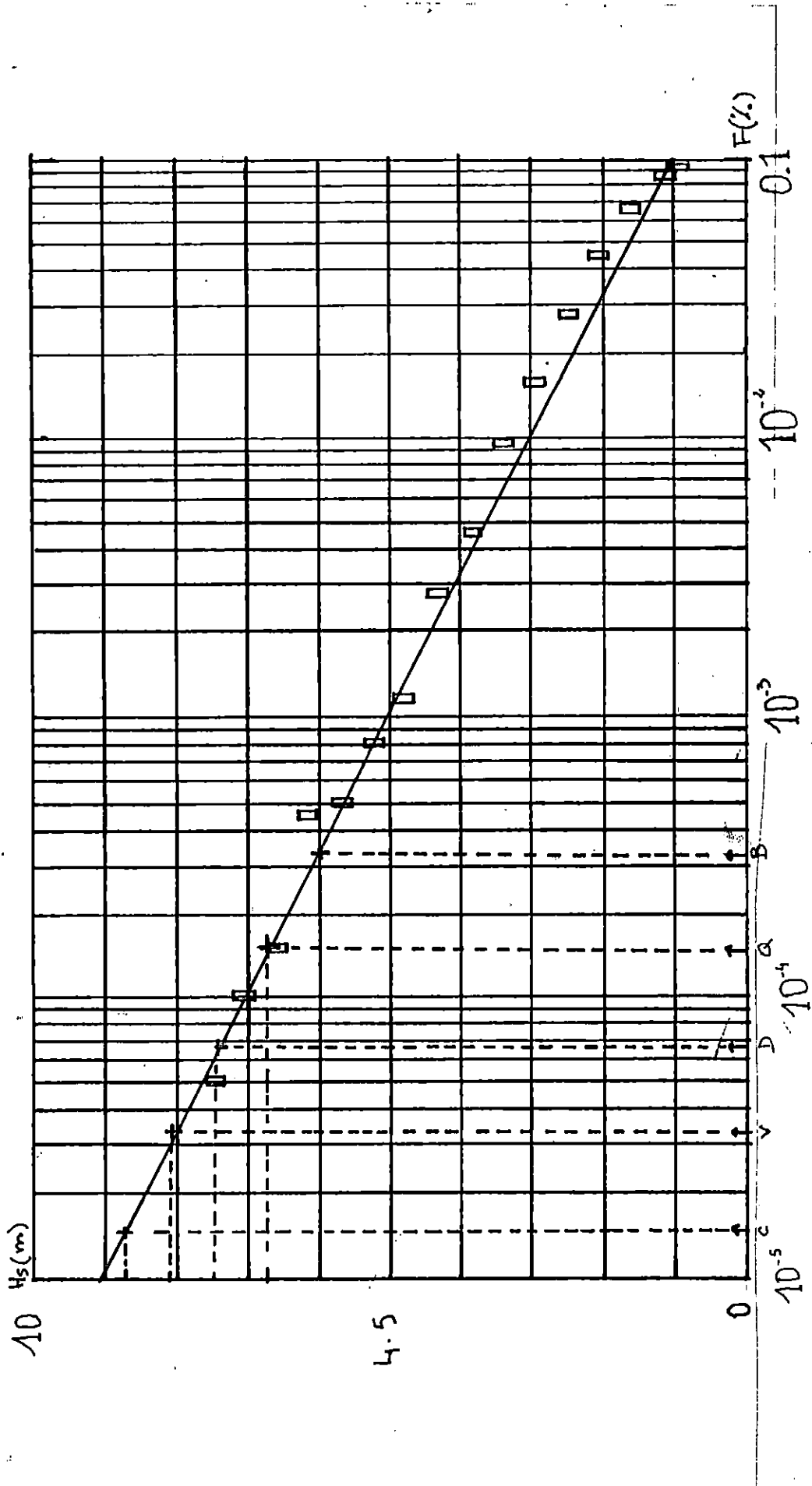


Fig. 9 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle au large.

Equation de la droite: $H_s = -a \ln(F)$
 Coefficient de corrélation $k = 0,9924$

Directions Risques	360°N	290°N	270°N
ANNUEL	3,66 m	3,69 m	4,99 m
BIENNAL	4,25 m	4,30 m	5,66 m
QUINQUENNAL	4,99 m	5,20 m	6,50 m
DECENNAL	5,60 m	5,90 m	7,18 m
VINGTENNAL	6,18 m	6,40 m	7,83 m
CINQUANTENNAL	6,93 m	7,10 m	8,66 m

TABLEAU 4 - Hauteurs des houles probables associées aux périodes de retour.

II- Détermination de la houle au voisinage de la côte

Connaissant la houle au large, il nous est possible d'en déduire ses caractéristiques près du rivage quand elle est réfractée.

II- 1 - Etude de la réfraction

L'étude de la réfraction est réalisée suivant un modèle mathématique. L'utilisation de l'ordinateur nous a permis d'obtenir très rapidement les coefficients de réfraction.

Le programme utilisé est dit "VAG", il a été conçu par le service technique central des ports maritimes et des voies navigables.

II- 1 - 1 - Domaine d'application du programme "VAG"

Le programme traite du transfert d'une houle venant du large jusqu'à un point prédéfini, suivant la théorie linéaire de STOKES au premier ordre.

Ce programme a été scindé en deux programmes distincts : "T.VAG" et "VAG".

Les hypothèses sur lesquelles se basent ce programme se résument comme suit :

- On suppose que la houle est régulière, monochromatique.
- Ni réflexion, ni diffraction ni même le phénomène de déferlement ne sont pris en compte.
- Les frottements sur les fonds sont négligés.
- Lorsque le niveau de la mer descend en dessous de deux mètres, le programme s'arrête.

II- 1 - 2 - Méthode de calcul et mise en oeuvre du programme.

L'exécution du programme se fait en deux phases :

1^{er} phase : Elle consiste en la définition des fonds par le programme "T.VAG" qui permet la rentrée de fonds, prépare le quadrillage qui servira aux calculs et stocke les résultats sur un fichier disque. Toutes les coordonnées x et y sont données en millimètres mesurés sur la carte origine .

- La grille bathymétrique utilisée pour notre travail se compose de :

- * 60 points en x
 - * 60 points en y
- et d'un maillage de 100 m.

Le quadrillage doit être voisin de la longueur d'onde de la houle.

La carte utilisée est à l'échelle 1/25000.

2^{ème} phase : Intervient alors le programme "VAG" pour le calcul du plan de vagues suivant les périodes et les directions précisées pour effectuer ce calcul, le programme reprend le fichier "T.VAG"

Le programme de calcul est basé sur la théorie de STOKES au 1^{er} ordre qui nous donne la relation :

$$C = L/T = gT/2\pi \times \text{Th} (2\pi d/CT)$$

La célérité variant dans le même sens que la profondeur tend vers :

$$C_0 = gT/2\pi \quad \text{pour } d \longrightarrow \infty$$

Pour de grandes profondeurs la variation de C avec d est très faible ; la célérité (C) peut alors être considérée comme constante et égale à C₀.

Les lignes de crête de la houle sont des droites parallèles et équidistantes.

Si la profondeur est faible et que les isobathes ne sont pas perpendiculaires à la direction de la houle, la célérité variant, les lignes de crête comme les orthogonales à ces lignes se déforment.

En démarant d'une grande profondeur, on peut calculer le tracé de chaque orthogonale, et enfin les lignes de crêtes, c'est à dire un plan de vague.

Le calcul d'une orthogonale est terminé lorsque celle-ci arrive près du rivage ($d < 2m$) ou encore lorsqu'elle traverse le segment d'arrêt situé à l'emplacement de l'ouvrage au niveau duquel on veut obtenir la hauteur de la houle (à la passe d'entrée du port dans notre cas).

II - 1 - 3 - Présentation des résultats de la réfraction

Sur un papier listing présentant les résultats du calcul effectué pour chaque direction nous pouvons lire :

- Les coordonnées x et y de nos points .
- L'angle d'incidence de la houle par rapport au Nord .
- La longueur d'onde
- La profondeur

Et pour chaque point de calcul, entre les orthogonales les coefficients de réfraction.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 5, 6 et 7. Les Kr nous permettront de déduire les Hs à la côte.

Direction 270°N

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	281,95	5,01	1,04

T = 6 s

5-a

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	288,37	5,01	1,04

T = 8 s

5-b

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	294,04	5,00	0,77
2 - 3	289,28	5,00	1,27
3 - 4	298,09	5,00	1,48
4 - 5	301,15	5,56	1,13

T = 11 s

5-c

- Tableaux 5 (a, b et c) résultats de la réfraction pour la direction 270°N

* Remarque : On ne considère que les orthogonales qui arrivent au port. Pour les calculs de Hs nous faisons la moyenne des Kr.

Direction 290°N

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	297,06	5,00	1,02
2 - 3	300,93	5,49	0,96

T = 6 s

6-a

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	302,96	5,00	1,47
2 - 3	308,90	5,58	0,87

T = 11 s

6-b

TABLEAUX 6 (a, b) : résultats de réfraction pour la direction 290°N

Trajectoire	Degré	D (m)	Kr
1 - 2	334,96	5,00	1,09
2 - 3	341,62	5,11	1,10

T = 9 s

Tableau 7 : résultat de la réfraction pour la direction 360°N

Les coefficients de réfraction (Kr) sont reportés sur les épures de réfraction mis en annexe.

Interpretation :

Pour les houles de direction 270°N, nous constatons une concentration des orthogonales à l'entrée du port. Le coefficient de réfraction est en moyenne de 1,16. Ces houles abordent la jetée Ouest avec une différence de 18° par rapport à la direction initiale, soit de direction 288°N.

Les houles partant initialement de la direction 290°N subissent une rotation de 12° pour arriver sur le port de la direction 302°N. Les orthogonales sont dans l'ensemble plus concentrées, le coefficient moyen de réfraction est de 1,17.

- Subissant une rotation de 22°, les houles qui partaient de 360°N abordent le port suivant la direction N.N.W(338°N) et les orthogonales sont très peu concentrées.

Conclusion :

Nous pouvons dire que les houles qui peuvent atteindre le port proviennent d'un secteur allant de 288°N à 338°N

II. 2. DETERMINATION DE LA HOULE A LA COTE
SOIT L'EXPRESSION

$$\frac{H_c}{H_o} = K_r * K_f * K_s$$

Elle nous permet de déterminer la hauteur de la houle à la côte (Hc), avec :

- Ho : Hauteur significative au large
- Kr : Coefficient de réfraction.
- Kf : Coefficient de frottement
- Ks : Coefficient de SHOALING

Le programme "VAG" ne prenant pas compte de Ks séparément de Kr, l'expression (2) se résume en :

$$\frac{H_c}{H_o} = K_r * K_f \quad (K_f = 1)$$

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants : (Tableaux 8, 9 et 10).

II. 3. CALCUL DES HAUTEURS SIGNIFICATIVES PROBABLES ASSOCIEES AUX PERIODES DE RETOUR.

Comme pour la houle au large, nous calculons les probabilités associées aux périodes de retour pour la houle à la côte, en appliquant toujours la même formule de calcul, c'est-à-dire :

$$P_n = \frac{1}{4 \times 360 \times n}$$

Puis nous procédons au tracé des droites de regression dont l'équation déjà citée est :

$$y = a \ln (x) + b$$

Sur ces droites nous ferons les interpollations pour avoir les houles annuelles, biennales, quinquennales, decennales, vingtennales et cinquantenales, ainsi calculées (Figures 10, 11 et 12).

K, a et b sont donnés par l'ordinateur, dans notre cas, ils correspondent à ce qui suit : (Tableau 11)

Direction 360° N

Hs au large (m)	Hs à la côte (m)	Fréquence
0,00	0,00	$2,51 \cdot 10^{-2}$
0,25	0,27	$2,34 \cdot 10^{-2}$
0,75	0,81	$1,87 \cdot 10^{-2}$
1,25	1,36	$1,34 \cdot 10^{-2}$
1,75	1,90	$8,34 \cdot 10^{-3}$
2,25	2,45	$5,39 \cdot 10^{-3}$
2,75	2,99	$3,05 \cdot 10^{-3}$
3,25	3,54	$1,75 \cdot 10^{-3}$
3,75	4,08	$1,07 \cdot 10^{-3}$
4,25	4,63	$5,08 \cdot 10^{-4}$
4,75	5,15	$1,53 \cdot 10^{-4}$
5,25	5,72	$5,08 \cdot 10^{-5}$
5,75	6,26	$5,08 \cdot 10^{-5}$

Tableau 8: Hauteurs significatives au large et à la côte pour la direction 360° N

Direction 290° N

Hs au large (m)	Hs à la côte (m)	Fréquence
0,00	0,00	2,26 . 10 ⁻²
0,25	0,29	2,06 . 10 ⁻²
0,75	0,87	1,56 . 10 ⁻²
1,25	1,46	9,41 . 10 ⁻³
1,75	2,04	5,95 . 10 ⁻³
2,25	2,63	2,80 . 10 ⁻³
2,75	3,21	1,53 . 10 ⁻³
3,25	3,80	9,15 . 10 ⁻⁴
3,75	4,38	6,10 . 10 ⁻⁴
4,25	4,97	2,54 . 10 ⁻⁴
4,75	5,55	2,03 . 10 ⁻⁴
5,25	6,14	1,53 . 10 ⁻⁴
5,75	6,72	1,53 . 10 ⁻⁴
6,25	7,31	5,08 . 10 ⁻⁵

Tableau 9: Hauteurs significatives au large et à la côte pour la direction 290° N

Direction 270° N

Hs au large (m)	Hs à la côte (m)	Fréquence
0,00	0,00	9,37 . 10 ⁻²
0,25	0,29	8,78 . 10 ⁻²
0,75	0,87	6,66 . 10 ⁻²
1,25	1,45	4,46 . 10 ⁻²
1,75	2,03	2,77 . 10 ⁻²
2,25	2,61	1,62 . 10 ⁻²
2,75	3,19	9,61 . 10 ⁻³
3,25	3,77	4,58 . 10 ⁻³
3,75	4,35	2,80 . 10 ⁻³
4,25	4,93	1,17 . 10 ⁻³
4,75	5,51	8,13 . 10 ⁻⁴
5,25	6,09	5,08 . 10 ⁻⁴
5,75	6,67	4,58 . 10 ⁻⁴
6,25	7,25	1,53 . 10 ⁻⁴
6,75	7,83	1,02 . 10 ⁻⁴
7,25	8,41	5,08 . 10 ⁻⁵

Tableau 10: Hauteurs significatives au large et à la côte pour la direction 270° N

Port de Zemmouri. Houle à la côte.
 Direction: 360°N

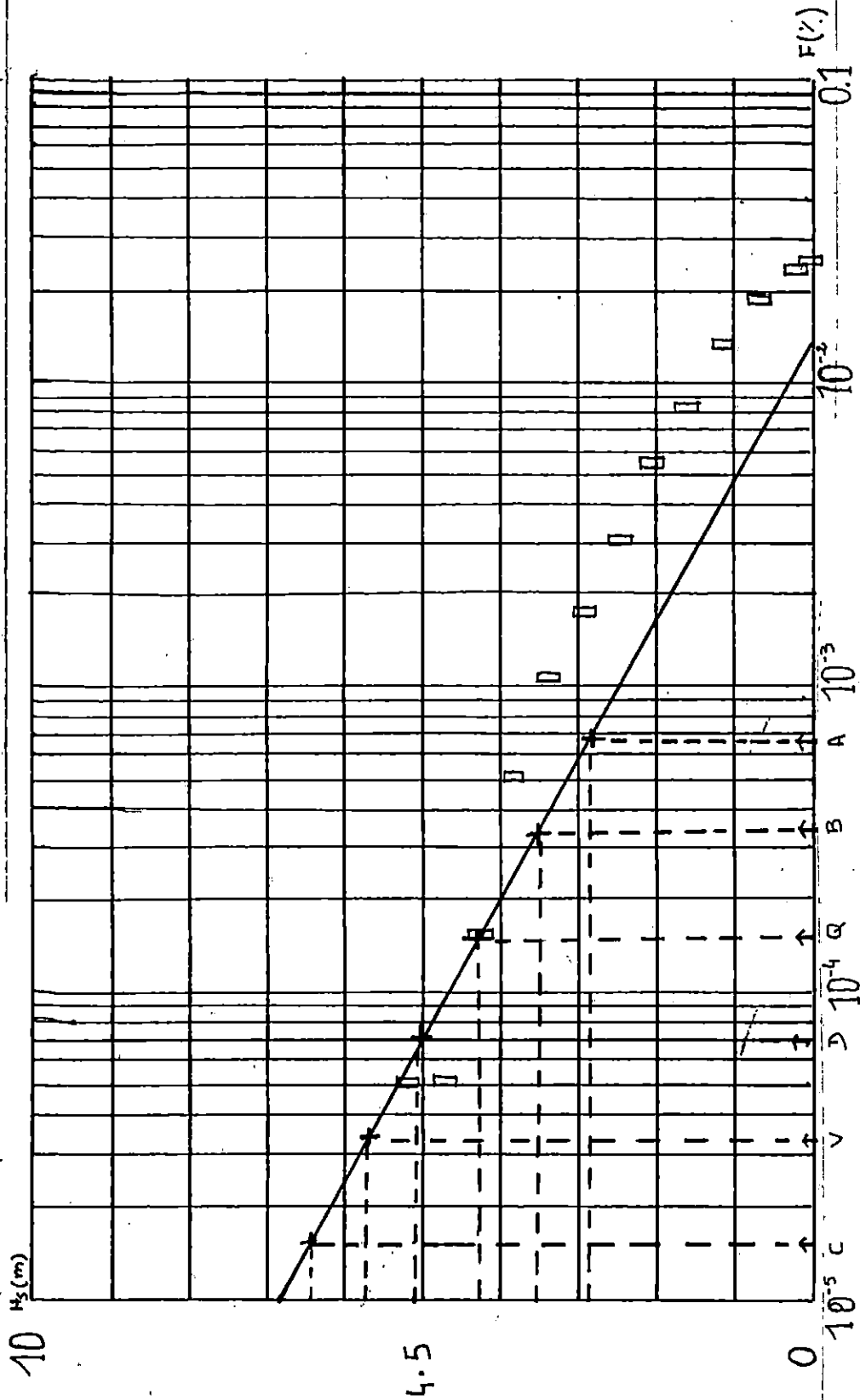


Fig. 10 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle à la côte.

Equation de la droite: $H_s = -a \ln (P_n)$
 Coefficient de corrélation $k = -0,9602$

Port de Zemmouri. Houle à la côte.
 Direction: 290°N

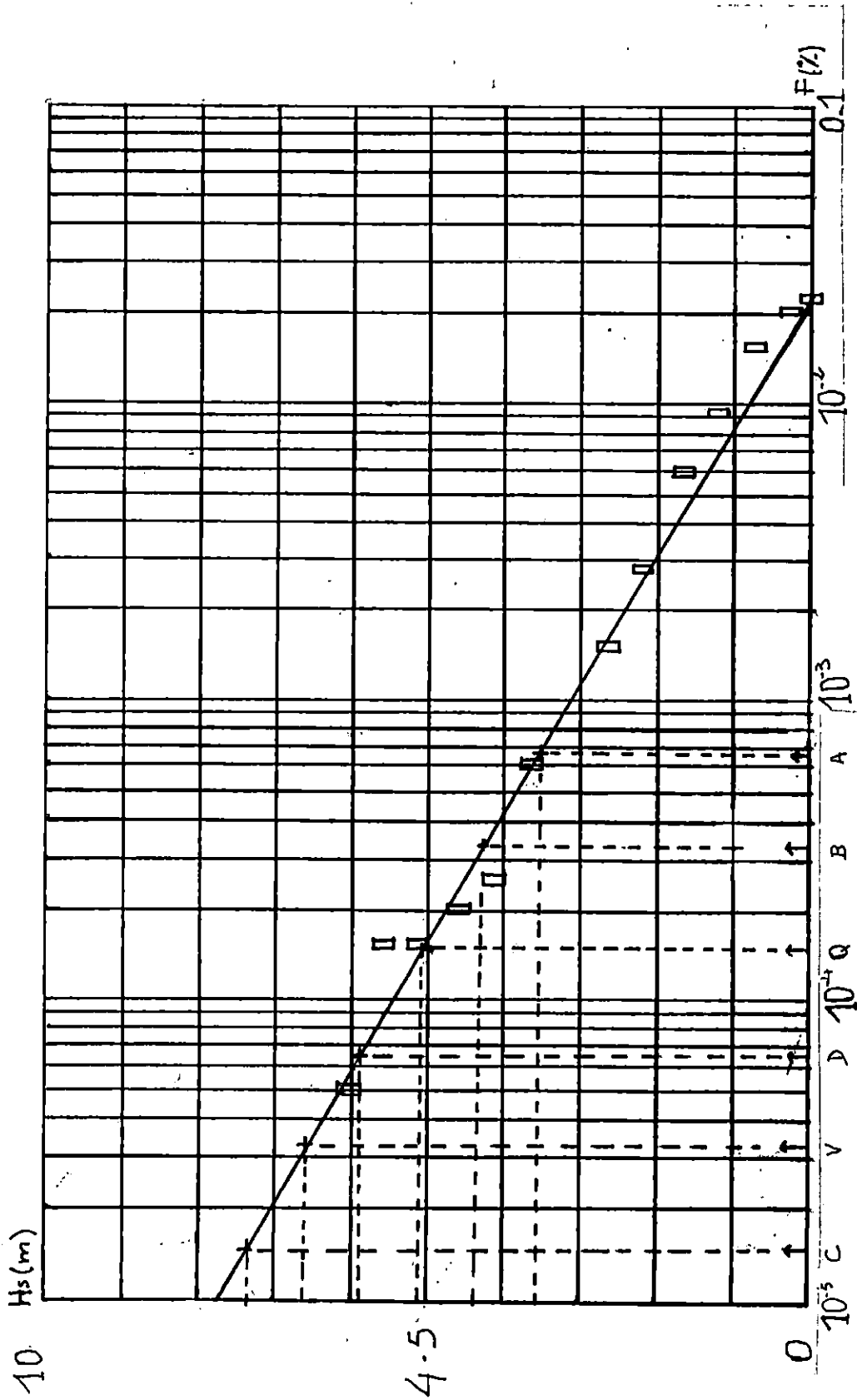


Fig. 11 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle

Equation de la droite: $H_s = -a \ln(F) - b$
 Coefficient de corrélation $k = 0,9869$

Port de Zemmouri. Houle à la côte.
 Direction: 270°N

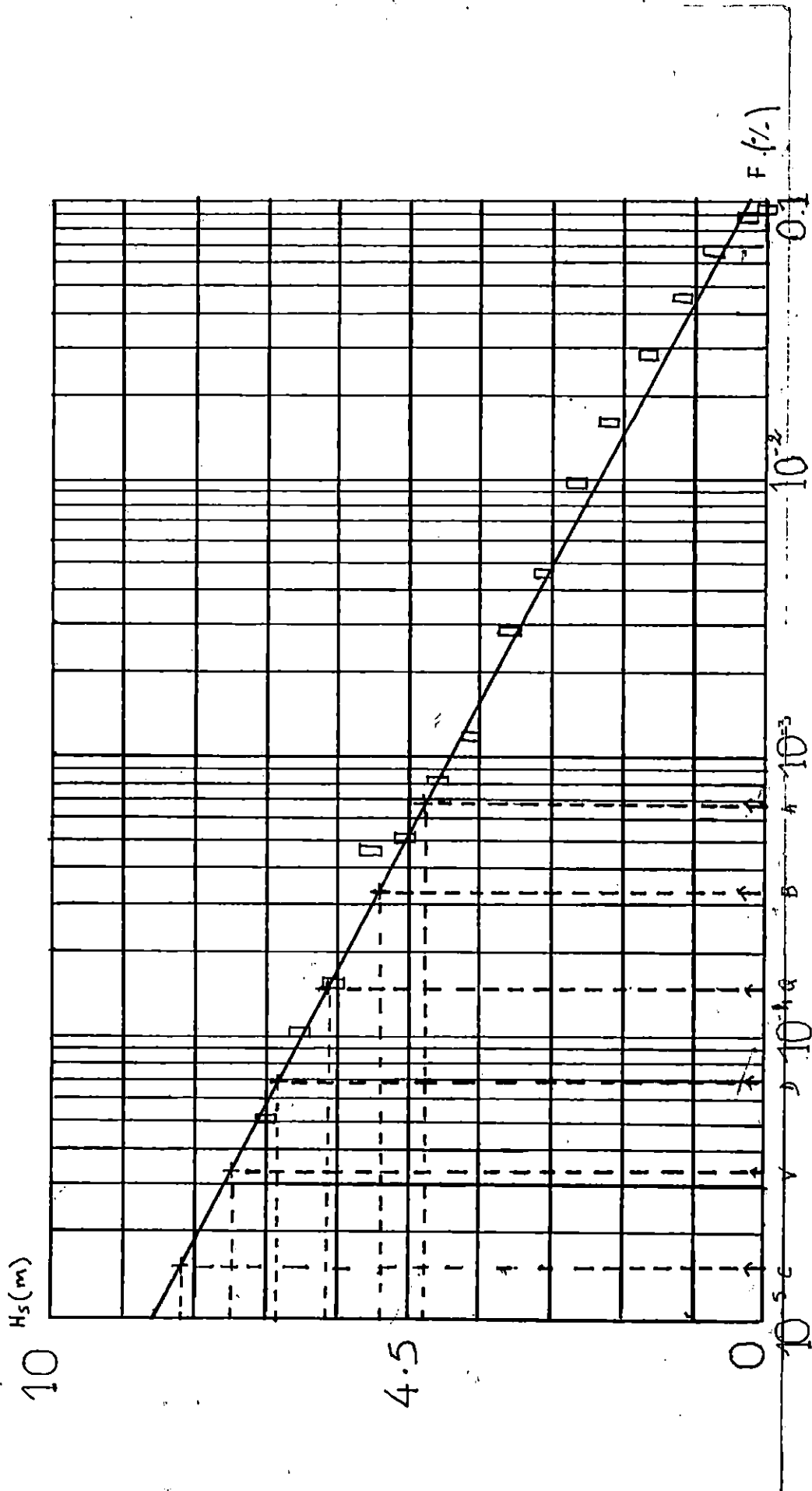


Fig. 12 : Droite de régression linéaire de la variation de la houle

Equation de la droite: $H_s = -a \ln (P_n) - b$
 Coefficient de corrélation $k = 0,9924$

Direction	a	b	K
360°N	- 0,9130	- 2,6673	* 0,9602
290°N	- 1,1624	- 4,1637	* 0,9869
270°N	- 1,0785	- 2,0723	* 0,9924

TABLEAU 11 - Constantes a et b et coefficient de corrélation obtenus pour chaque direction à la côte.

Dans les trois cas, le coefficient de corrélation (K) tend vers 1. Les résultats sont donc fiables.

Les hauteurs de la houle au voisinage de la côte sont réunies dans le tableau suivant.

Direction Risque	360°N	290°N	270°N
ANNUEL	3,99 m	4,31 m	5,79 m
BIENNAL	4,62 m	5,12 m	6,54 m
QUINQUENNAL	5,43 m	6,15 m	7,49 m
DECENNAL	6,09 m	6,99 m	8,27 m
VINGTENNAL	6,72 m	7,79 m	9,02 m
CINQUANTENNAL	7,53 m	8,82 m	9,98 m

TABLEAU 12 : Hauteurs probables associées aux périodes de retour (risques).

II-4- ASPECTS DE LA REFRACTION ET TRACE DE VAGUES PAR LE CALCUL NUMERIQUE ET LES ABAQUES.

Une houle de direction quelconque et qui provient du large subit à l'approche du rivage un phénomène de réfraction à double aspect:

- L'un géométrique lié à la variation de célérité de phase. Il se traduit par une déformation et une rotation des crêtes et des orthogonales.
- L'autre aspect est d'ordre énergétique qui se traduit par la variation de la hauteur le long d'une orthogonale.

II-4-1- ASPECT GEOMETRIQUE.

Pour tracer les plans de vagues nous avons considéré une période moyenne propre à chaque direction. En fixant T nous obtenons la longueur d'onde au large par:

$$L_0 = 1.56 * T^2 \quad (\text{en mètres})$$

1,56: constante
L₀ : long.d'onde
T : période

partant d'une profondeur supposée assez grande où la longueur d'onde est L, nous portons la première crête. Puis au fur et à mesure que l'on se rapproche du rivage nous déterminons la nouvelle profondeur du point suivant par le calcul.

La longueur d'onde et la célérité variant avec la profondeur, nous repérons la nouvelle longueur d'onde sur l'abaque (figure 13). nous obtenons ainsi les plans de vagues présentés par les figures :14-15-16

Les houles étant de direction quelconque par rapport aux lignes bathymétriques, les longueurs d'onde différent d'un point à un autre d'une même crête. c'est pourquoi nous remarquons (figure 14, 15, 16) que ces lignes de crête deviennent plus serrées en approchant du rivage. La houle tourne de façon à ce que ses lignes de crête deviennent-ou tendent à devenir parallèles aux lignes bathymétriques.

Le long d'une orthogonale, le creux varie en raison inverse de la racine carré de la distance entre les orthogonales; ces creux relatifs ou hauteurs relatives sont caractérisés par les indices de réfraction Kr.

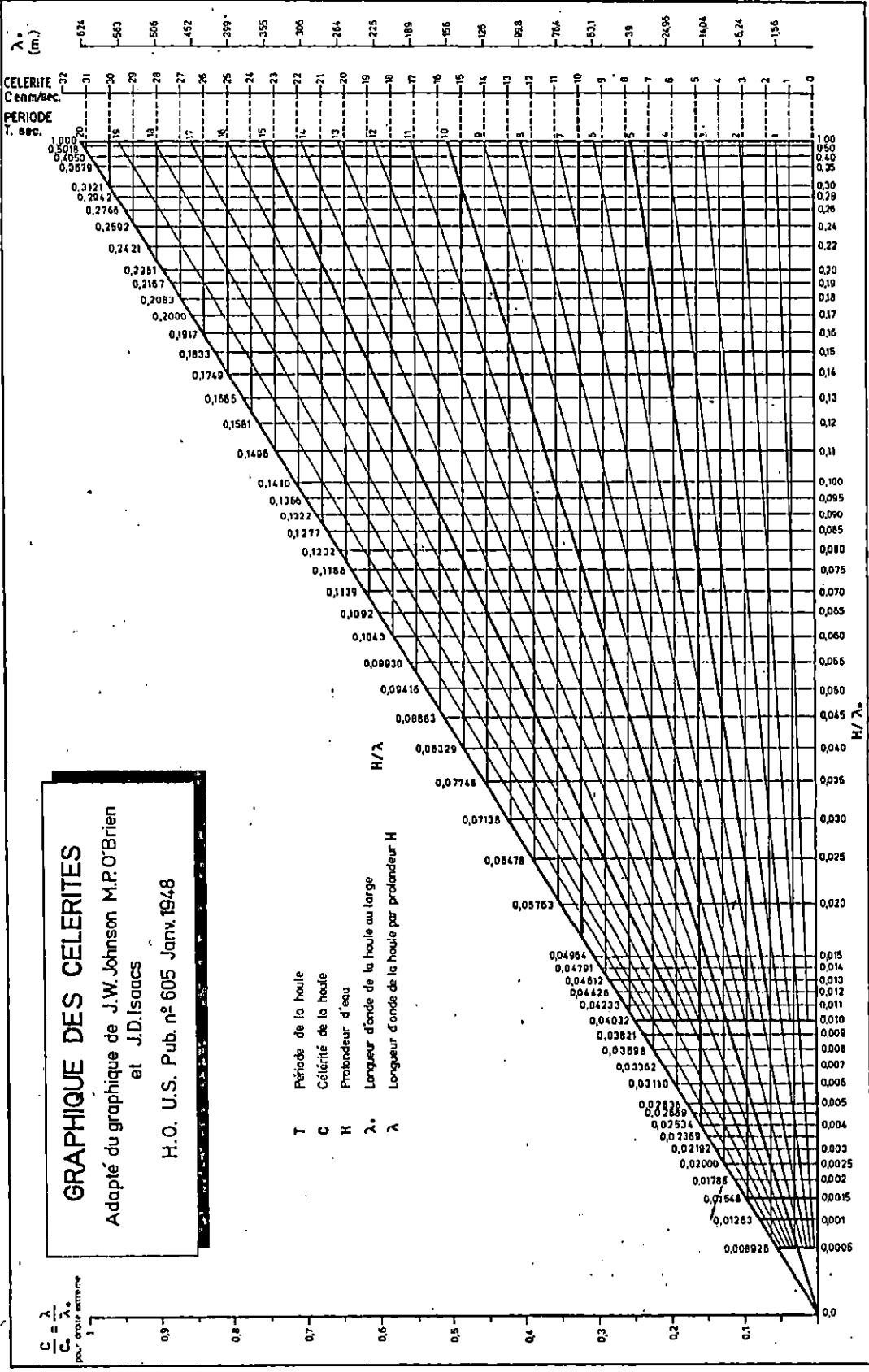


FIGURE #8 13

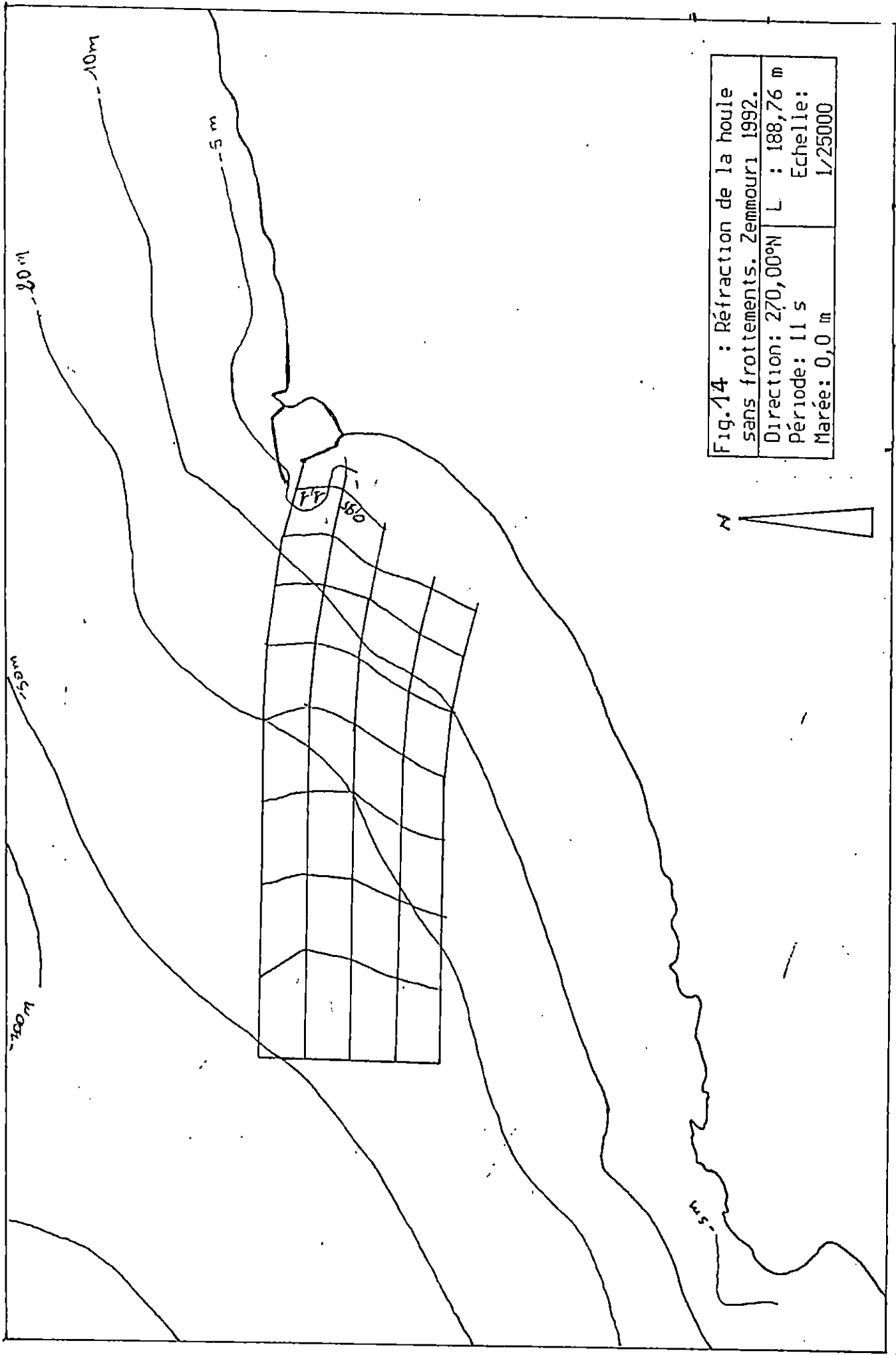


Fig. 14 : Réfraction de la houle sans frottements. Zemmouri 1992.

Direction: 270,00°N	L : 188,76 m
Période: 11 s	Echelle:
Marée: 0,0 m	1/25000

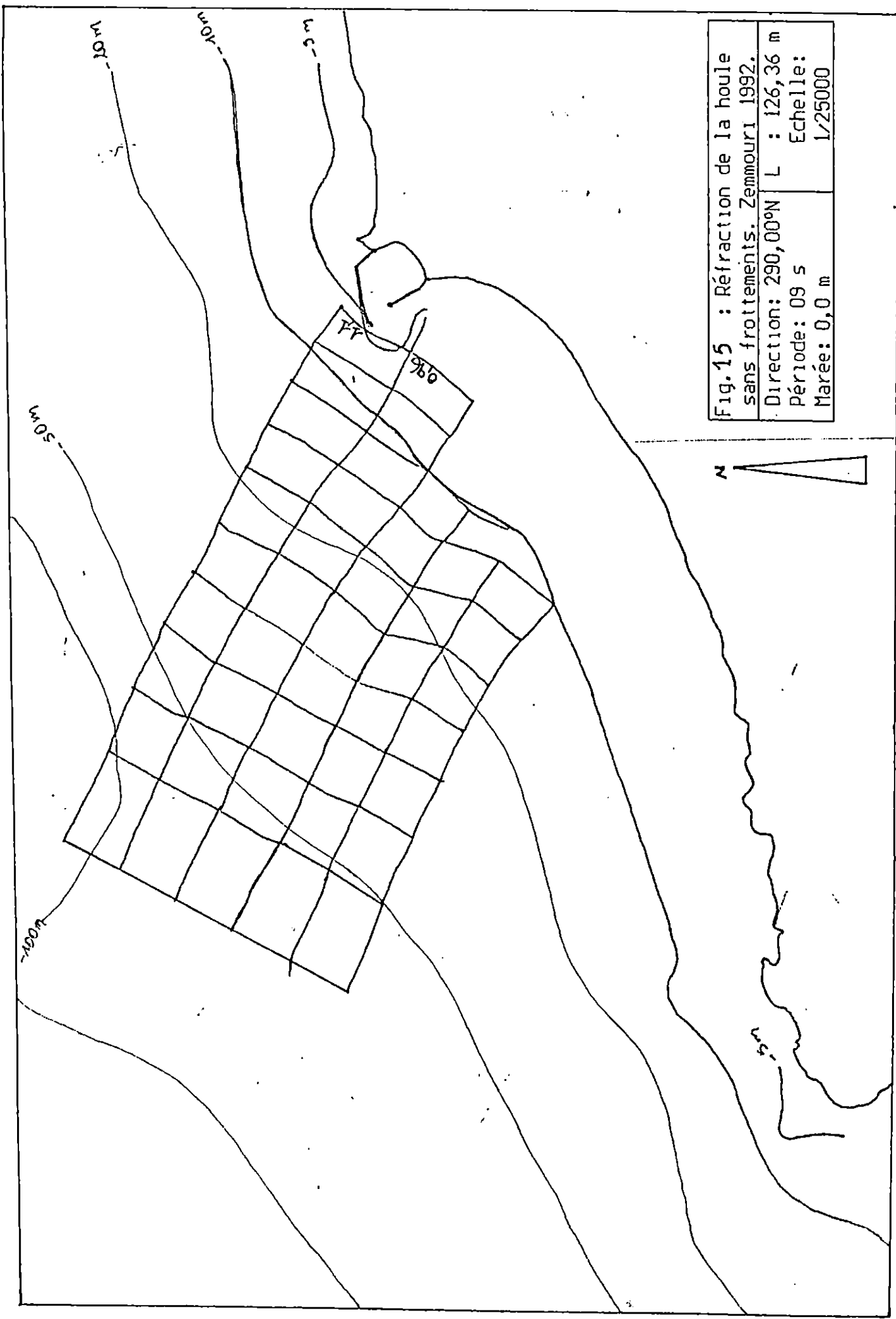
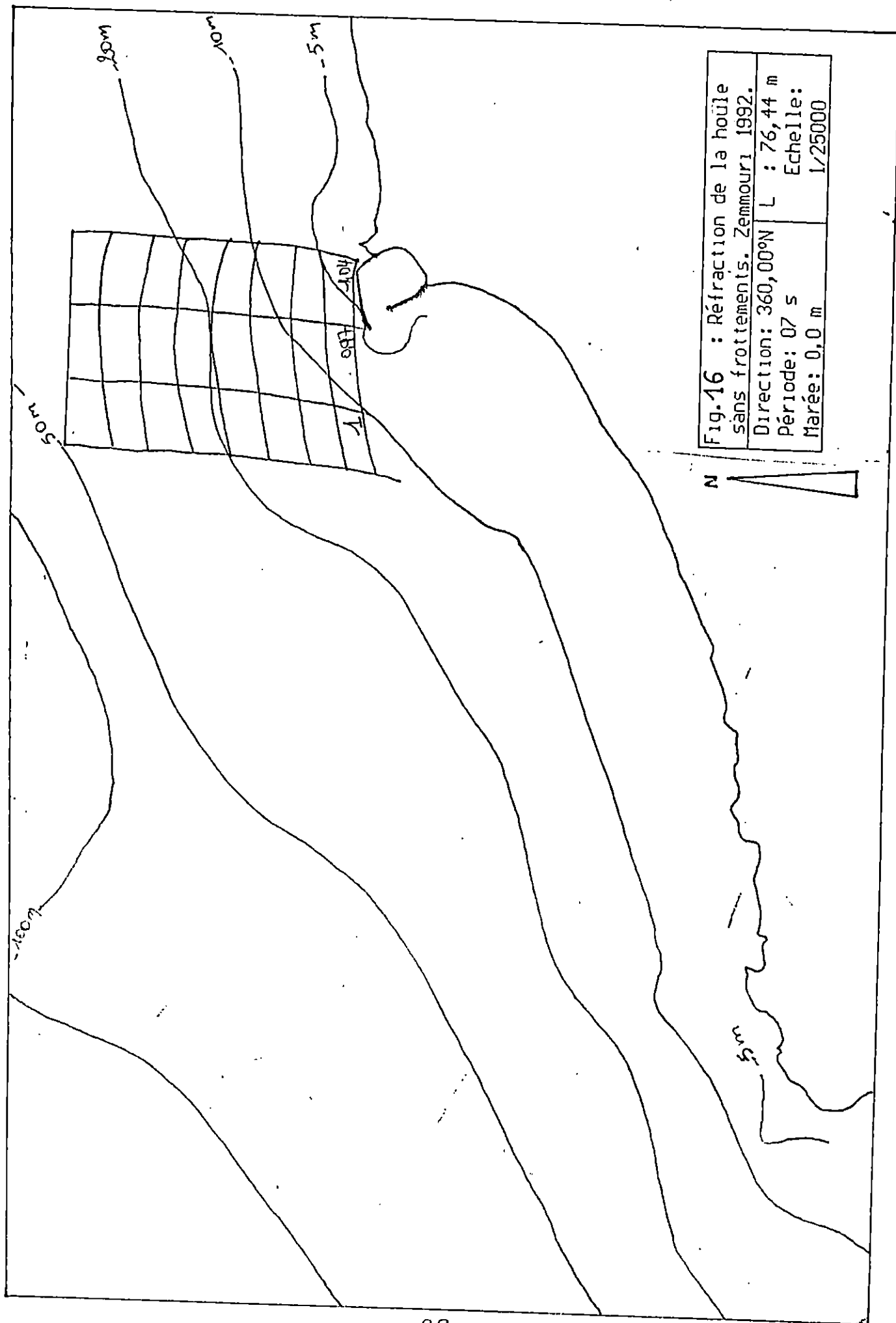


Fig.15 : Réfraction de la houle sans frottements. Zemmouri 1992.

Direction: 290,00°N	L : 126,36 m
Période: 09 s	Echelle:
Marée: 0,0 m	1/25000



II-4-2- ASPECT ENERGETIQUE.

L'étude de la variation de K_r se fait en supposant qu'il n'y a pas transfert d'énergie entre les "couloirs" orthogonales (espace compris entre deux orthogonales successives) et conservation de cette énergie le long de ces orthogonales; aussi avons-nous:

- au large :

$$Q_0 = 1/8 \rho g * H_0^2 * L_0 * C_{g0} \quad (3)$$

- à la côte :

$$Q = 1/8 \rho g * H^2 * L * C_g \quad (4)$$

En égalant ces deux quantités (3 et 4) et par simplification nous obtenons :

$$H^2 / H_0^2 = L_0 * C_{g0} / L * C_g.$$

Donc :

$$H / H_0 = \sqrt{L_0 / L * C_{g0} / C_g}$$

$\sqrt{C_{g0} / C_g}$ étant le coefficient de SHOALING.

Avec :

$$C_{g0} = 1/2 C_0 ; \quad (m/s)$$
$$C_0 = g * T / 2 ; \quad (m/s)$$

$$C_g = 1/2 C_0 \left(1 + \frac{4\pi d/L}{\text{sh } 4\pi d/L} \right) ; \quad (m/s)$$

$$C_0 = C_0 \text{Th} (2\pi \cdot d/L) ; \quad (m/s)$$

La vitesse de groupe C_g est la vitesse de propagation de l'amplitude. C'est aussi la vitesse à laquelle avance un front d'agitation en eau calme.

II-5- ENERGIE DE LA HOULE.

En plus de sa signification cinétique, la vitesse de groupe revêt une signification dynamique en relation avec l'énergie.

- L'énergie nécessaire pour donner cet aspect ondulé à la surface est dite potentielle (E_p),

- L'énergie nécessaire pour donner aux particules leur mouvement orbital est dite cinétique (E_c).

L'énergie totale contenue dans une crête sera donc:

$$E_t = E_p + E_c$$

$$E_t = \frac{1}{8} \rho * g * H^2 * L$$

Dans notre cas, les énergies totales calculées au large puis à la côte pour les trois directions sont (tableaux 13 et 14):

Directins et périodes moyennes			
	360x N T = 7s	290x N T = 9s	270x N T = 11s
Energies (Tf. m ⁻²)	4322,94	9747,08	9401,13

Tableau 13 : Energies en Tf.m⁻² calculées au large

Direction et périodes moyennes			
	360x N T = 7s	290x N T = 9s	270x N T = 11s
Energies (Tf. m ⁻¹)	3081,68	5269	4956,84

Tableau 14 : Energies en Tf.m⁻² calculées à la côte

Le tracé de ces plans de houle nous a permis de déterminer les points les plus proches de l'ouvrage où la houle vient se concentrer.

Ainsi, l'énergie transportée par la houle est considérable au large mais à mesure qu'elle se propage et aborde le rivage elle se dissipe et diminue presque de moitié pour les directions 270x et 290x N alors qu'elle diminue à peine pour la direction 360x N.

L'estimation des valeurs de l'énergie de la houle selon les secteurs étudiés, montre que cette portion de la côte subit une assez grande érosion. Pour les calculs de stabilité de l'ouvrage, l'énergie constitue un facteur non négligeable.

III. ETUDE DE L'AGITATION DANS LE PORT DE ZEMMOURI.

III. 1. Etude de la diffraction.

Le service de l'informatique du Laboratoire des Etudes Maritimes (L.E.M) a mis à notre disposition le programme permettant cette étude. Le principe du calcul a été mis au point au L.N.H. à CHATOU (méthode dite du LNH : Laboratoire National D'hydraulique).

III.1.1. Présentation du programme "diffra".

Le programme "diffra" calcule le potentiel d'une houle régulière à l'intérieur d'un port de configuration simple. Il permet de mettre en évidence certaines concentrations de houle dommageables pour l'ouvrage (notice d'utilisation du programme "diffra").

Les hypothèses posées pour ce programme sont :

- La houle est régulière, monochromatique
- Les phénomènes sont linéaires (houle de STOKES au 1er ordre).
- Seront pris en compte : la propagation qui est supposée rectiligne, et la réflexion.
- Le programme prend en compte deux sources de diffraction à savoir les deux jetées définissant la passe d'entrée.

C'est par cette étude de la diffraction qu'il nous sera possible de déterminer l'agitation dans le port que l'on a subdiviser en quatre bassins (Fig. 17).

III.1.2 Résultats de la diffraction et détermination de l'agitation.

Les résultats pour les différentes périodes et directions de l'onde incidente ont été obtenus en considérant :

- Les deux anciennes jetées (Nord et Ouest) en plus des nouvelles jetées (toujours Nord et Ouest).
- Les appontements et autres infrastructures envisagées.
- Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

Direction initiale: 270° N

T = 09s ; $\alpha_p = 288^{\circ}37' N$

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appaement
H = 1m	0,7	(0,2-0,5)	0,4	0,00
	0,5			
	0,8			
	1,1			

15. a

Direction initiale: 270° N

T = 06s ; $\alpha_p = 281^{\circ}95' N$

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appaement
H = 1m	0,8	(0,3-1,2)	0,4	0,00
	0,7			
	0,9			
	1,1			

15. b

Direction initiale: 270° N

T = 11s ; $\alpha_p = 295^{\circ}64' N$

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appaement
H = 1m	0,6	(0,2-0,5)	0,3	0,00
	0,5			
	0,4			
	1,00			

15. c.

Tableaux 15(a,b etc): Résultats de l'agitation.

Direction initiale: 360° N

$T = 09s$; $\alpha_p = 338^\circ$ N

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appotement
H = 1m	0,4	(0,1-0,2)	0,1	0,00
	0,3			
	0,2			
	0,2			

Tableau 16 : Résultats de l'agitation.

Direction initiale: 290° N

$T = 11s$; $\alpha_p = 305^\circ 93'$ N

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appotement
H = 1m	0,6	(0,2-0,4)	0,2	0,00
	0,4			
	0,5			
	0,5			

17. a

Direction initiale: 290° N

$T = 06s$; $\alpha_p = 298^\circ 99'$ N

Houle incidente	Agitation			
	Passe d'entrée	Avant port	Quai	Appotement
H = 1m	0,7	(0,2-1,1)	0,4	0,00
	0,5			
	0,9			
	1,2			

17. b

Tableaux 17(a et b): Résultats de l'agitation.

Pour savoir si les résultats obtenus dépassent ou non la limite compatible avec la tenue des navires, nous nous baserons sur les points suivants:

- Une profondeur de 6m autorise le passage des bateaux par des houles de 3m (L.E.M).

- De ce fait, l'amplitude relative ne devra pas dépasser une houle de tempête annuelle, décennale et cinquantennale; les valeurs sont présentées dans les tableaux 18, 19, 20.

Direction	Amplitude relative
360xN	$3m / 3.99m = 0.75$
290xN	$3m / 4.31m = 0.69$
270xN	$3m / 5.79m = 0.52$

Tableau 18 - Critères d'agitation retenus pour une houle de tempête annuelle.

Direction	Amplitude relative
360xN	$3 / 6.09 = 0.49$
290xN	$3 / 6.99 = 0.43$
270xN	$3 / 8.27 = 0.36$

Tableau 19 - Critères d'agitation retenus pour une houle décennale.

Direction	Amplitude relative
360xN	$3m / 7.53m = 0.39$
290xN	$3m / 8.82m = 0.34$
270xN	$3m / 9.98m = 0.30$

Tableau 20 - Critères d'agitation retenus pour une houle cinquantennale

Cependant, l'agitation à l'intérieur du port doit répondre plus sévèrement aux critères.

Partant de ces critères que nous nous sommes fixés, nous pouvons dire que l'agitation relevée pour les trois directions reste admissible puisque dans les trois cas, les amplitudes relatives n'atteignent pas les limites compatibles avec la tenue des navires, pour les houles annuelle, decennale et cinquantiennale.

Toutefois, pour la direction 270xN, l'agitation - bien que admissible - semble plus importante que pour les autres directions. Cela serait apparemment dû aux faibles profondeurs qui sont de -3 à -4 m, à l'arrière de la jetée Ouest.

Pour ce qui est de l'intérieur du port, les résultats sont satisfaisants, puisque l'agitation répond aux critères fixés et est de 0.30 , 0.40 , voire même nulle aux appontements.

III-2- ETUDE DE L'AGITATION PAR LE MODELE REDUIT PHYSIQUE.

Cette étude a été réalisée sur modèle réduit physique à l'échelle 1/60 , dans les halls d'essais du Laboratoire d'Etudes Maritimes. En fait, l'étude porte sur deux phases:

- 1- agitation
- 2- stabilité.

Nous nous intéresserons cependant à l'étude de l'agitation seulement. Le but des essais est de vérifier le plan masse de l'aménagement retenu, du point de vue agitation.

III-2-1- DESCRIPTION DU MODELE.

Le modèle a été construit dans un hall de 70x50m. Le fond du bassin, de dimensions 27x18m, est fixe et est constitué de sable recouvert d'une couche de mortier.

La topographie du fond marin est conforme au plan bathymétrique et complétée par le plan de dragage à l'intérieur du port et par une carte marine en ce qui concerne l'extérieur du port jusqu'à l'isobathe des 20m.

III-2-2- GENERATION ET MESURE DE LA HOULE .

Les essais sont effectués avec une houle irrégulière. La génération de cette houle se fait grâce à la lecture d'une bande perforée contenant des trains de houle enregistrés lors d'une tempête au large, près des Isser.

Le dispositif est relié à un générateur de signaux lequel envoie à son tour un signal à une servovalve. Cette dernière contrôle le va et vient d'un vérin hydraulique entraînant le batteur à houle. La houle est générée sur un front de 5.50m modèle, correspondant en nature à un front de 330m. L'amplitude de la houle peut être modifiée grâce à l'amplification du signal qui peut se faire au niveau du générateur de signaux.

Lecture de
l'enregistrement
en laboratoire

Générateur
de
signaux électro-
niques

Servo valve
de commande
du verin

verin hydraulique

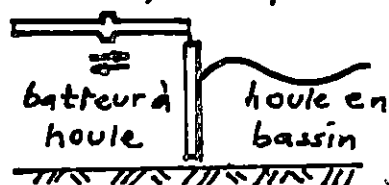


Fig 18 : Reproduction de la houle en modèle.

La période de la houle envisagée (celle ci varie de 6 à 13s), peut être obtenue par un réglage préalable de la vitesse de lecture de la bande perforée.

Pour mesurer la houle dans le modèle, des sondes sont placées dans le champ d'action du front de vague.

Pour mesurer l'agitation, des sondes sont également placées à l'intérieur de l'aménagement.

Le fonctionnement de ces sondes est basé sur le principe de la conductance entre deux électrodes. Elles recueillent les signaux au fur et à mesure que les vagues passent, puis les transmettent à une chaîne d'acquisition et de traitement.

a) Conditions d'essais

Les directions prises en compte pour cette étude sont: N 270°, N 315° et N 345°.

La hauteur significative des houles dont les périodes varient de 6 à 13s est augmentée progressivement jusqu'à l'obtention de la houle déferlante.

b) Essais de l'agitation

Ces essais ont été réalisés en considérant quatre variantes:

Variante 1: variante originale (état actuel).

Variante 2: la longueur de la jetée nord est prolongée de 100m suivant un angle de 30°.

Variante 3: C'est la variante 2, plus un dragage du coté de la jetée ouest.

Variante 4: C'est la variante originale, plus le dragage de la variante 3.

III-2-3 Résultats des essais:

Les résultats obtenus pour chacune des quatre variantes considérées, et à différents niveau du port sont regroupés dans le tableau ci dessous:

Localisation Agitation	Passe d'entrée						Avant Port	Quai	Appontement
	Sondes								
	5	6	7	8	9	10			
Variante (1)	0,75	2,34	1,63	0,58	1,06	0,68	0,46	0,10	0,33
Variante (2)	0,47	1,94	1,34	0,51	1,02	0,79	0,46	0,12	0,28
Variante (3)	0,49	1,40	1,04	0,58	0,52	0,67	0,45	0,09	0,29
Variante (4)	0,75	1,37	1,25	0,38	0,83	0,80	0,44	0,10	0,28

Tableau 21 : Résultats des essais d'agitation

Le plan de sonde est donné dans le plan de masse

Les sondes 5, 6, 7, 8, 9 et 10 représentées dans le tableau se situent dans l'axe de la passe d'entrée, les sondes 6 et 7 se trouvant avant le platier rocheux.

Le critère d'agitation retenu pour une houle de tempête annuelle de 5.30m est fixé à: $3 / 5.30 = 0.566$; sachant que par des profondeurs de 6m, le passage des bateaux est possible sans risque par des houles de 3m.

L'étude sur modèle physique a montré que pour la variante 1, l'amplitude obtenue est de l'ordre de 2.30m soit 43.3 %. Pour la variante 2, où le prolongement de la jetée Nord d'une centaine de mètres a été envisagé, améliore peu l'agitation qui devient de 1.95m soit 36.7 %. En combinant le prolongement de la jetée et le déroctage du platier rocheux à proximité de la passe d'entrée (variante 3) l'agitation donnée est de 1.40m soit 26.4 %. Quant à la variante 4, les résultats semblent plus satisfaisants puisque l'agitation relevée est de 1.37m soit 25.8 %. C'est donc cette variante qui a été recommandée.

La limite fixée pour le non-dommage aux embarcations étant de 0.60m, les résultats obtenus pour les directions 345x N et 315x N, dans le cas de la variante 4, restent satisfaisants. Cependant, ce critère est largement dépassé pour la direction 270x N, pour des houles supérieures à 3.50m.

III-3- ETUDE DE LA DIFFRACTION PAR LA METHODE DE NEIGLE.

Les abaques des figures 19,20 et 21 (in shore protection manuel 1973) nous permettent de lire directement les indices de diffraction. Ces derniers nous donnent l'agitation relative qui correspond au rapport entre l'amplitude locale de la houle et l'amplitude au large.

Dans le tableau 22 sont résumés les résultats de nos calculs et lectures de K sur abaques.

Les abaques que nous avons utilisés ne considèrent qu'une seule source de diffraction (musoir de la jetée nord).

L'intérêt de leur utilisation dans notre cas, réside dans ce que les résultats nous renseignent sur l'agitation à proximité du musoir de la jetée nord et à l'arrière de la jetée ouest. Agitation, du reste, admissible puisque les amplitudes relatives relevées confirment les résultats précédents et répondent aux critères imposés.

CONCLUSION.

En comparant les résultats de l'agitation par les trois méthodes (modèle mathématique, physique et abaque) nous remarquons qu'ils se rejoignent. A ceci près, que par le modèle physique, il a été mis en évidence une agitation relativement importante avant le platier rocheux se situant à deux mètres de profondeur à l'arrière de la jetée ouest. En effet les profondeurs étant faibles à ce niveau, en déferlant, la houle crée une surélévation du niveau d'eau.

Enfin, l'agitation obtenue par les modèles mathématique et physique dans les quatre bassins reste admissible.

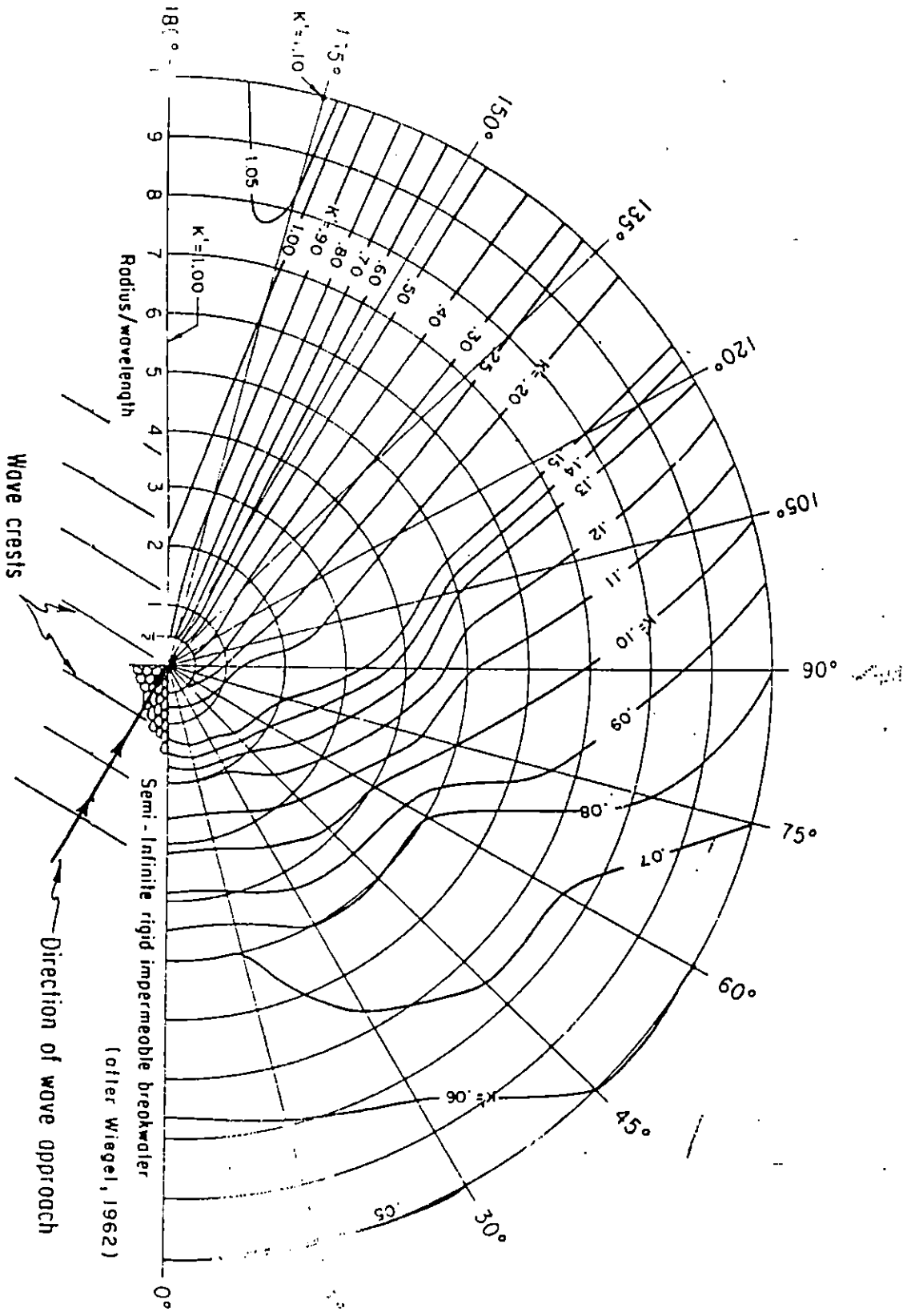


Figure 207. Wave diffraction diagram--150° wave angle.
 Diffraction d'après WIEGEL, 1962.

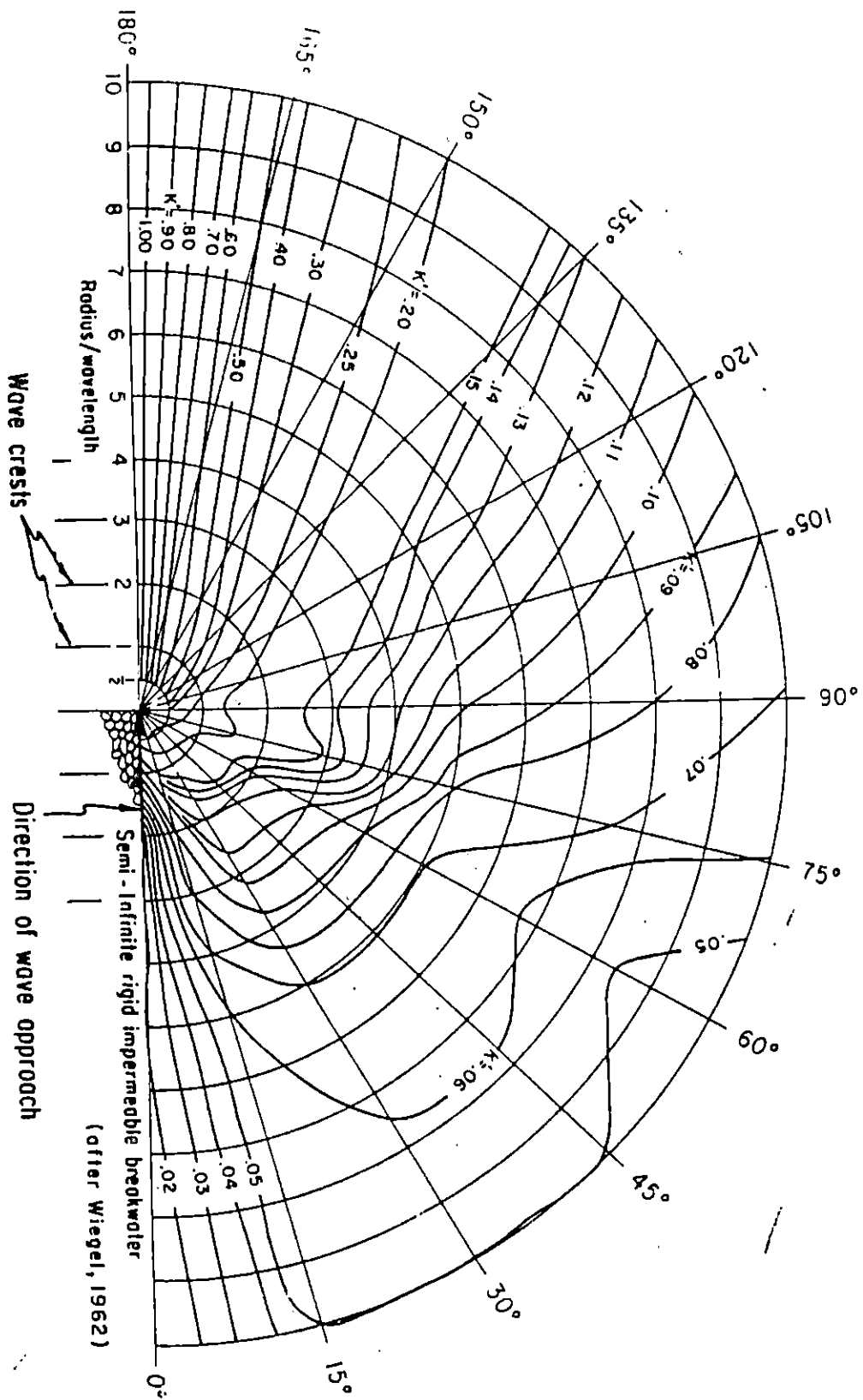


Figure 24. Wave diffraction diagram--180° wave angle.
 Diffraction d'après WEIGEL, 1962.

Direction	Profondeur	Longueur d'onde (m)	Distance du musoir au point P (m)	Rapport P/L	K'
360° N	8,64	61,28	27,50	0,45	0,70
	5,83	47,32	25,00	0,53	0,60
290° N	9,55	77,52	32,50	0,42	0,60
270° N	7,61	91,37	30,00	0,30	0,70
	3,53	71,11	37,50	0,53	1,00

Tableau 22 : Indices de diffraction d'après WEIGLE (1973)

CONCLUSION GENERALE.

L'étude de l'agitation dans le port de Zemmouri a été faite suivant la variante retenue par le L.E.M et qui consiste en une jetée Ouest de 80m, une jetée Nord de 400m et une passe d'entrée d'une 60ne de mètres. Cette variante a été retenue car les essais sur modèle réduit physique ont montré qu'il a été fait un bon dimensionnement de ses ouvrages de protection et qu'il n'y avait pas d'agitation notable. Les résultats obtenus en appliquant le modèle mathématique rejoignent ceux du modèle physique et sont satisfaisants. Il n'y a donc pas lieu de s'inquiéter de l'agitation ni à la passe d'entrée, ni dans l'avant port, ni même à l'intérieur du port comme l'attestent les résultats.

Les pêcheurs craignaient une forte agitation des eaux juste à la passe d'entrée et surtout à l'arrière de la jetée Ouest à l'emplacement du platier rocheux, sur lequel ils risquaient d'être projeté par mer forte; ils proposèrent alors le déroctage de cette zone. Ce qui a été retenu par les ingénieurs chargés de l'étude. Toutefois, tout le platier rocheux ne peut être dérocté faute de moyens d'une part et inutilité d'une telle opération d'autre part. Il serait par contre utile de le signaler en prévoyant une balise de signalisation ou phare, afin que les pêcheurs ne connaissant pas la région puissent gagner l'abri sans risque.

Pour ce qui est de l'ensablement, la digue de protection située à l'ouest peut arrêter le transport éolien du sable vers le port, pourtant il faudra surveiller l'évolution de la plage qui risque d'être avec le temps fortement érodée.

Et si du côté Est la jetée Nord peut arrêter le sable et autres matériaux, ces derniers longeront la jetée au fur et à mesure qu'ils se déposeront, jusqu'à arriver au musoir de celle ci; le sable alors pourrait entraver la bonne circulation des embarcations. Un dragage tous les cinq ans au moins serait donc à envisager.

Pour bénéficier d'un plan d'eau important et pour abriter non seulement un plus grand nombre d'embarcations mais aussi de grandes embarcations (chalutiers), déroctage et dragage du port sont entrepris. Nous avons remarqué, pour cela, l'utilisation d'explosifs: cela ne serait-il pas sans risque pour la stabilité des ouvrages?

Enfin, en cas d'un éventuel projet d'expansion, ou autres aménagements, il serait intéressant de faire des enregistrements de houle et de courant dans la région de manière à pouvoir compter sur la fiabilité de données récentes.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDELBAKI A., 1989. La similitude physique en tant que moyen d'étude. Séminaire national sur les sciences et technologie de la mer. L.E.M, 28 pp.
- ABDELBAKI A. et ZABILA A., (1992). Port de pêche de Zemmouri: Etude hydraulique sur modèle réduit physique. Rapport du L.E.M., pp 1-21.
- BELKESSA R., (1991). Evolution morphologique et sédimentologique du bas ISSER et son embouchure. Thèse de magistère en géologie, I.S.M.A.L. , 162pp.
- BONNEFILLE R., (1980). Cours d'hydraulique maritime. Edition Masson, 159pp.
- BRADAI S. et AHCIL O., (1991). Analyse spectrale de la houle sur le littoral algérien. Proposition d'une équation de spectre. Mémoire d'ingénieur. ENTP, 200pp.
- CHAPON J., (1984). Travaux maritimes. Tome 1. Edition Eyrolles, 365pp.
- DEHOUSSE M.M., (1976). Cours de génie maritime. Université de Liège. Faculté des sciences appliquées, pp.
- DUBOS J., (1980). Statistique descriptive en science économique. Edition Dunod, pp 58-63.
- FEZOUÏ S. et MAHDID N., (1991). Contribution à l'étude de l'expansion du port de Tipaza. Mémoire de T.S. . I.S.M.A.L., 126pp.
- GROVEL A., KHALIFA O.A, RIOU Y., (1986). Projet d'implantation d'un port de plaisance dans la baie de Saint Brieuc. Contrat. CETE-ENCM, 1986. NANTES, pp 32.
- GUILCHER A., (1965). Précis d'hydrologie marine et continentale. Edition Masson et Cie, 382pp.
- GUYOT L., ARISTAGHES C. et AGOSTINI P., (1990). Notice d'utilisation du programme "DIFFRA". Service technique centrale des ports maritimes et voies navigables, 49pp.
- LACOMBE H., (1960). Cours d'océanographie physique. Edition Gauthier Villards, 392pp.
- LARRAS J., (1978). Physique des lames et de la houle. Edition Technip, pp.
- LECLAIRE L., (1972). La sédimentation holocènes sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (précontinent algérien). Mémoire muséum histoire naturelle. Paris. Série C, tome 24, 391pp.

MAZINGUE P., (1979). Etude de la répartition statistique des hauteurs de crêtes et de creux de vagues en houle côtière. Rapport de stage effectué au C.O.B., 27pp.

MILLOT C., (1985). Some features of the algerian current. Journal géophysique. Res. 90, C4 7/69. 7/76.

MOULIN J. et **CLAUSSE R.**, (1978). Météo, vents, nuages, tempêtes. Edition Maritime d'outre mer, 150pp.

SAMSON KECHACHA F.L., (1981). Variations saisonnières des matières nutritives de la baie d'Alger. Recherche des facteurs contrôlant le développement du phytoplancton. Thèse 3eme cycle USTHB. Alger, 98pp.

SOGREAH, (1982). Aménagement du port de pêche de Zemmouri. Etude de statistique des houles. Note techniques nx2. Grenoble (France), 80 pp.

SUSBIELLES G. et **BRATU CH.**, (1981). Vagues et ouvrages pétroliers en mer. Edition Technip, 501pp.

TAMSAOUI B., (1991). Perception du milieu d'activité et des ressources halieutiques chez les pêcheurs de la région algéroise (port de Bou Haroun et de Zemmouri). Mémoire d'ingénieur. I.S.M.A.L., 155pp.

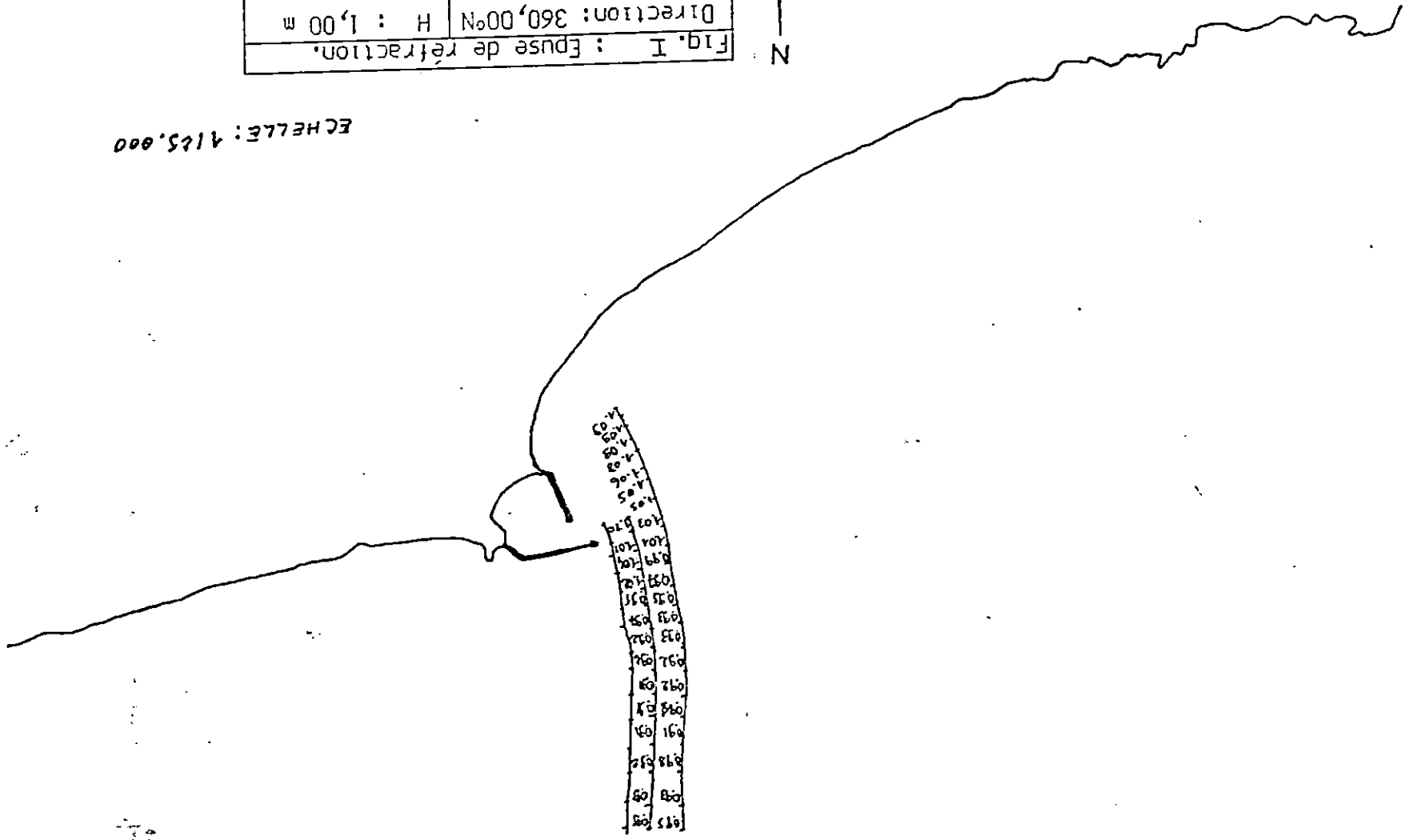
VANST F., **ARISTACHES C.** et **AGOSTINI P.**, (1990). Notice d'utilisation du programme "VAG", tracé de plan de vague. Service technique central des ports maritimes et voies navigables, 49pp.

ANNEXE

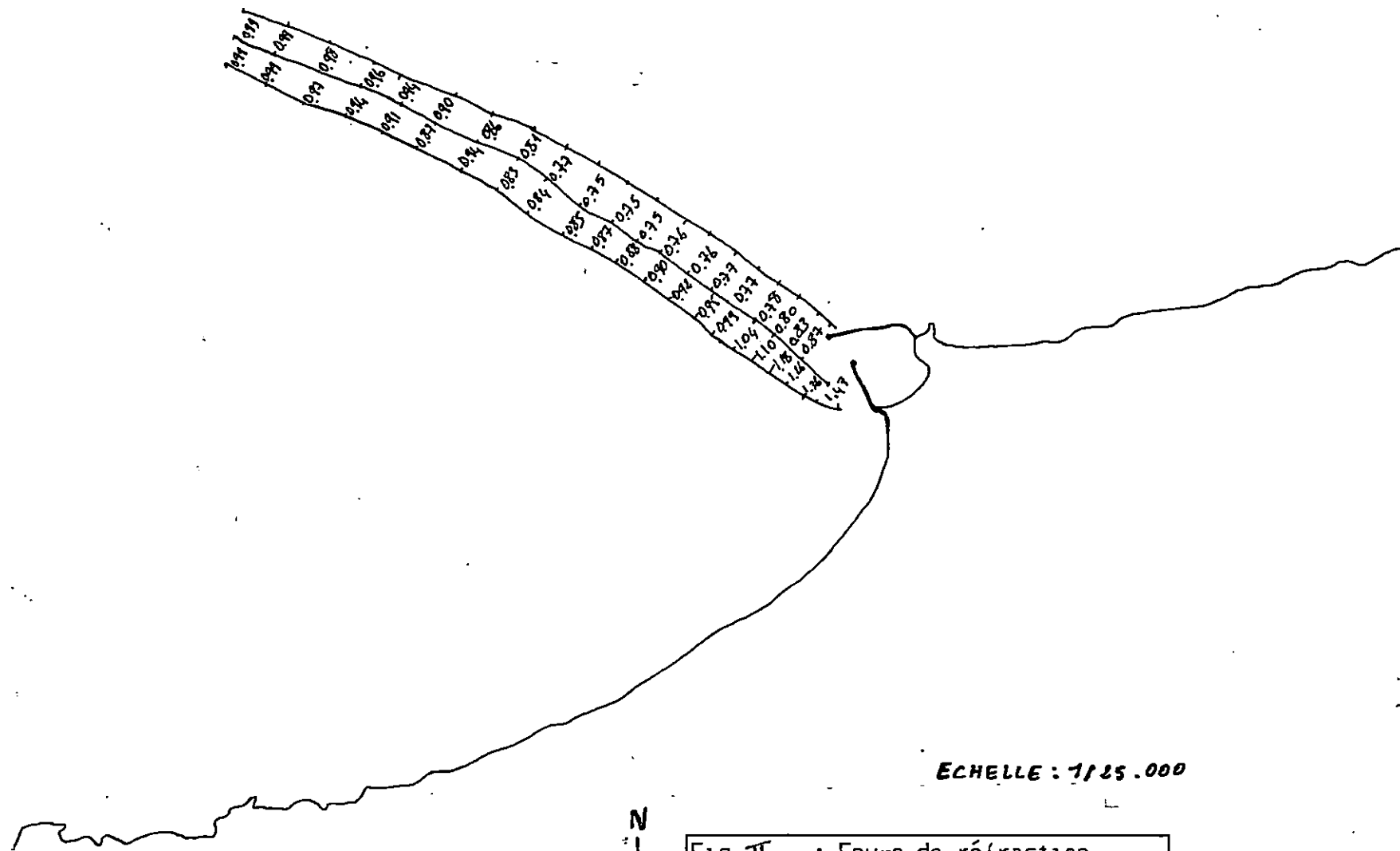
ECHELLE: 1/15,000

Fig. I : Epuse de réfraction.	
Direction: 360,00°N	H : 1,00 m
Période: 09 s	
Marée: 0,0 m	

N



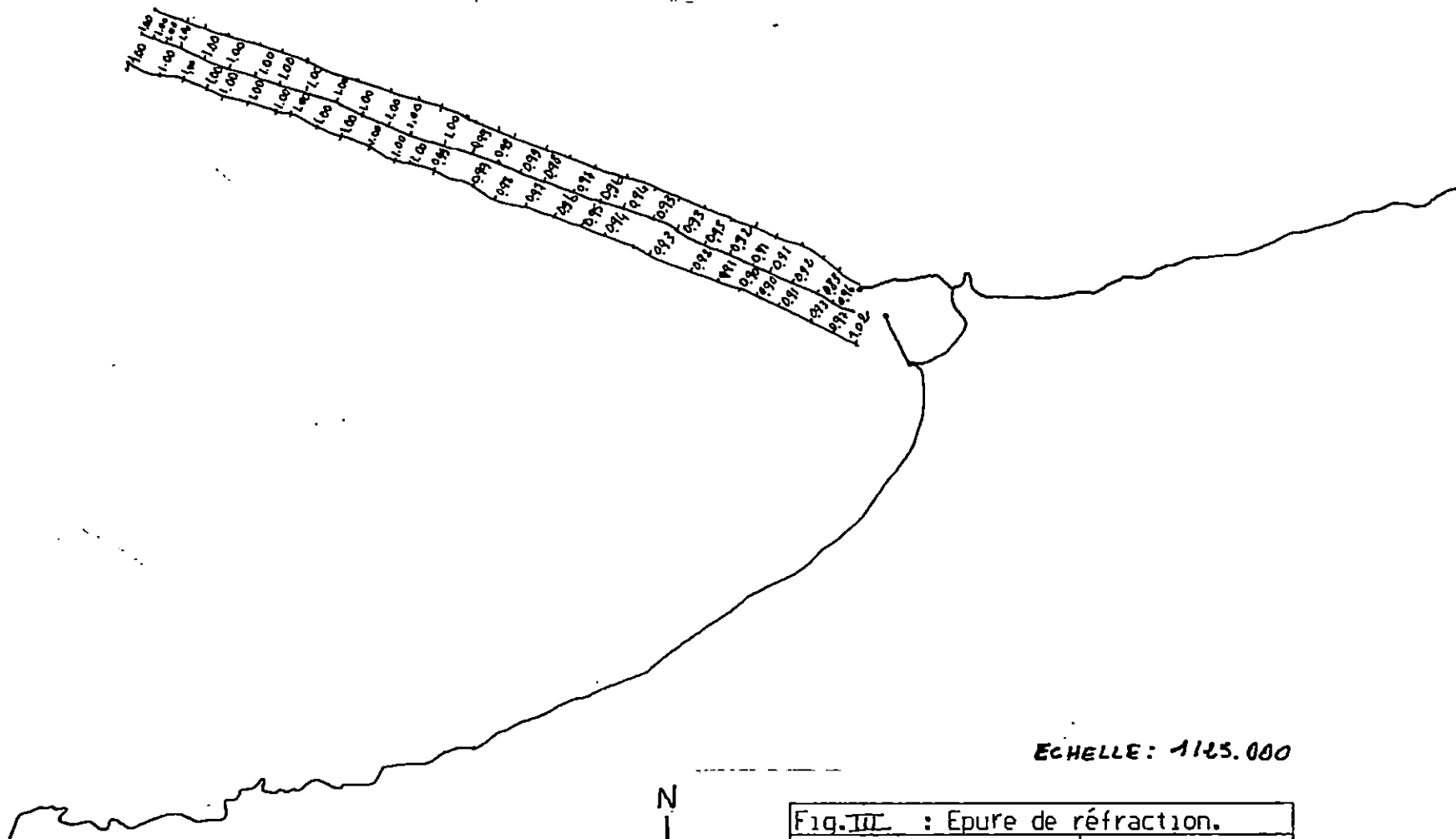
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00



ECHELLE : 1/25.000

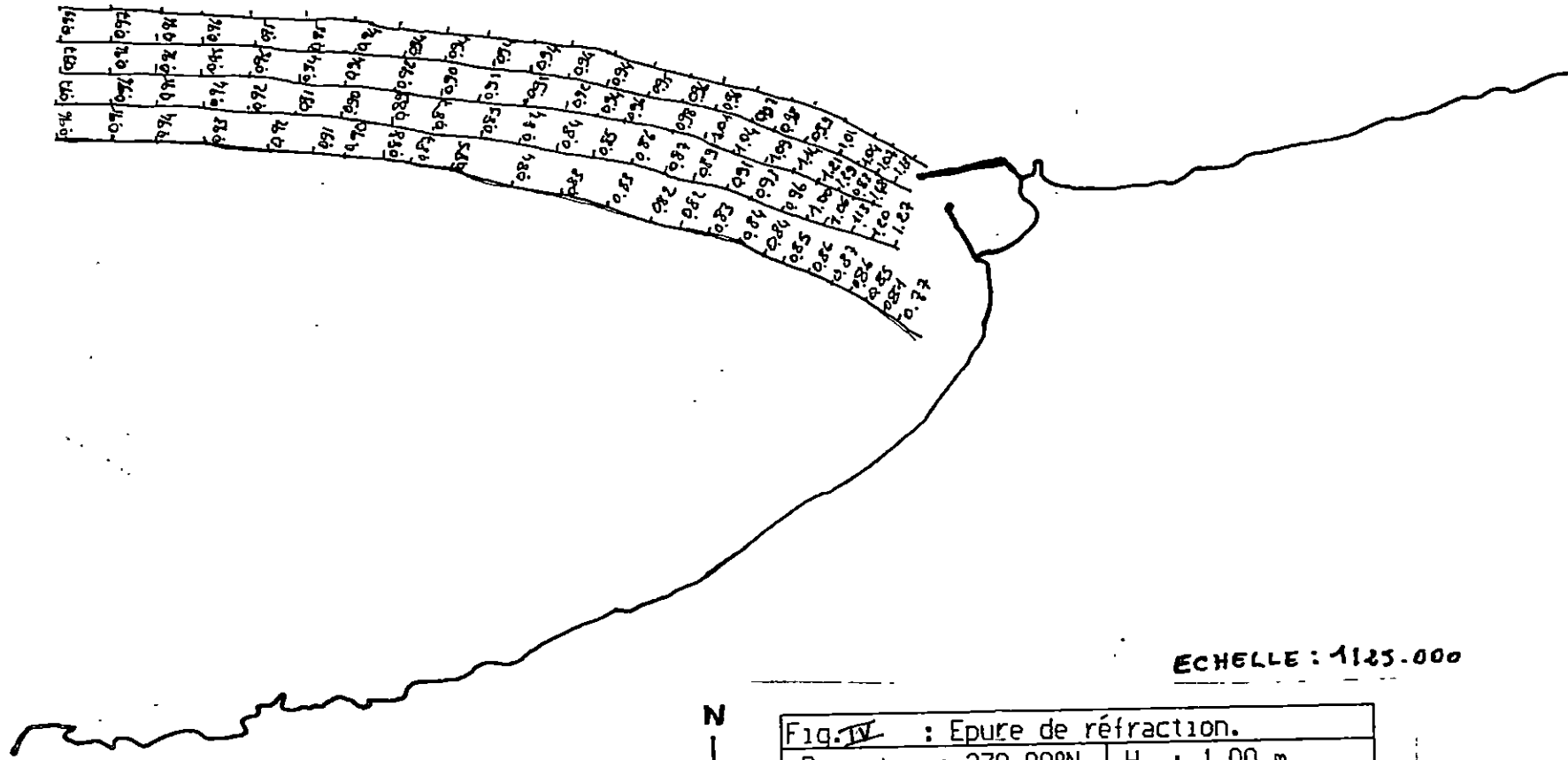


Fig. II : Epure de réfraction.	
Direction: 290,00°N	H : 1,00 m
Période: 11 s	
Marée: 0,0 m	



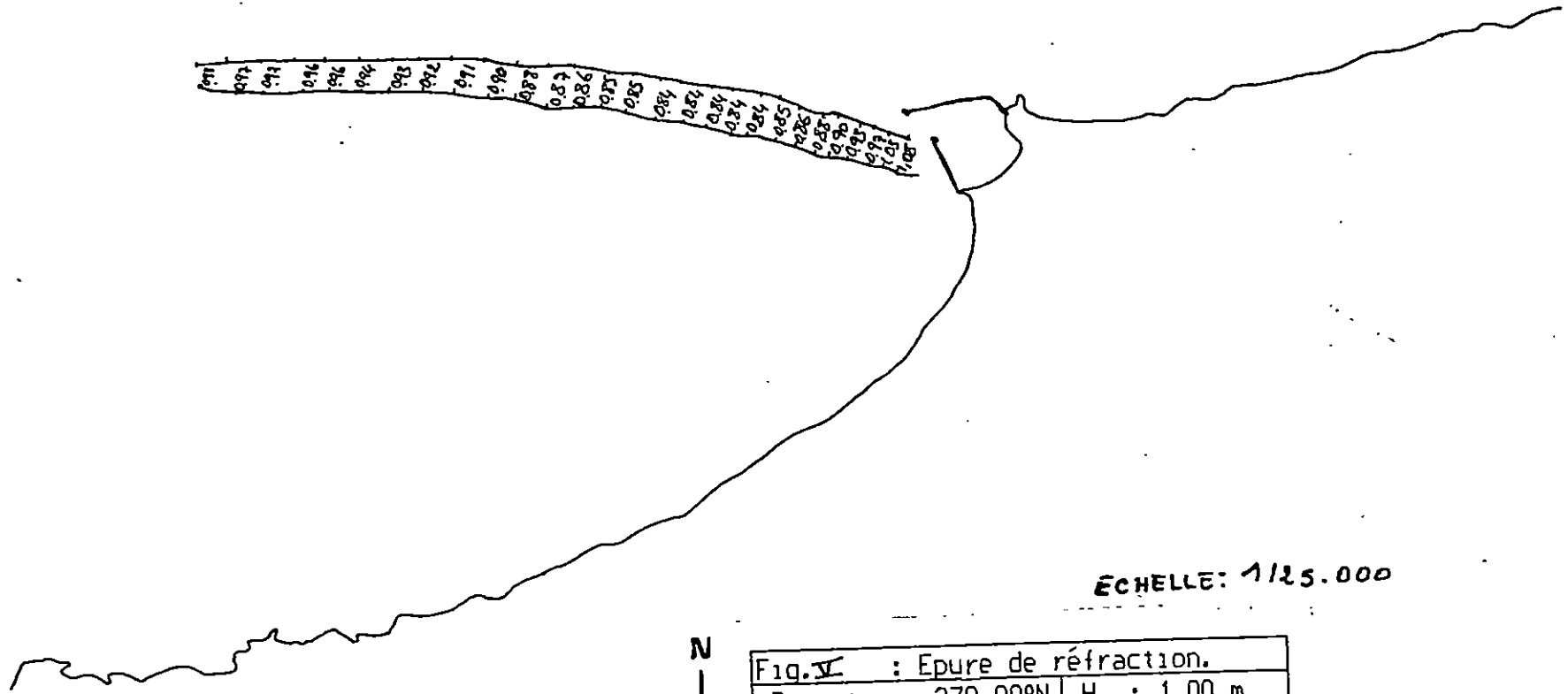
ECHELLE : 1/25.000

Fig.III : Epure de réfraction.	
Direction: 290,00°N	H : 1,00 m
Période: 06 s	
Marée: 0,0 m	



ECHELLE : 1:25.000

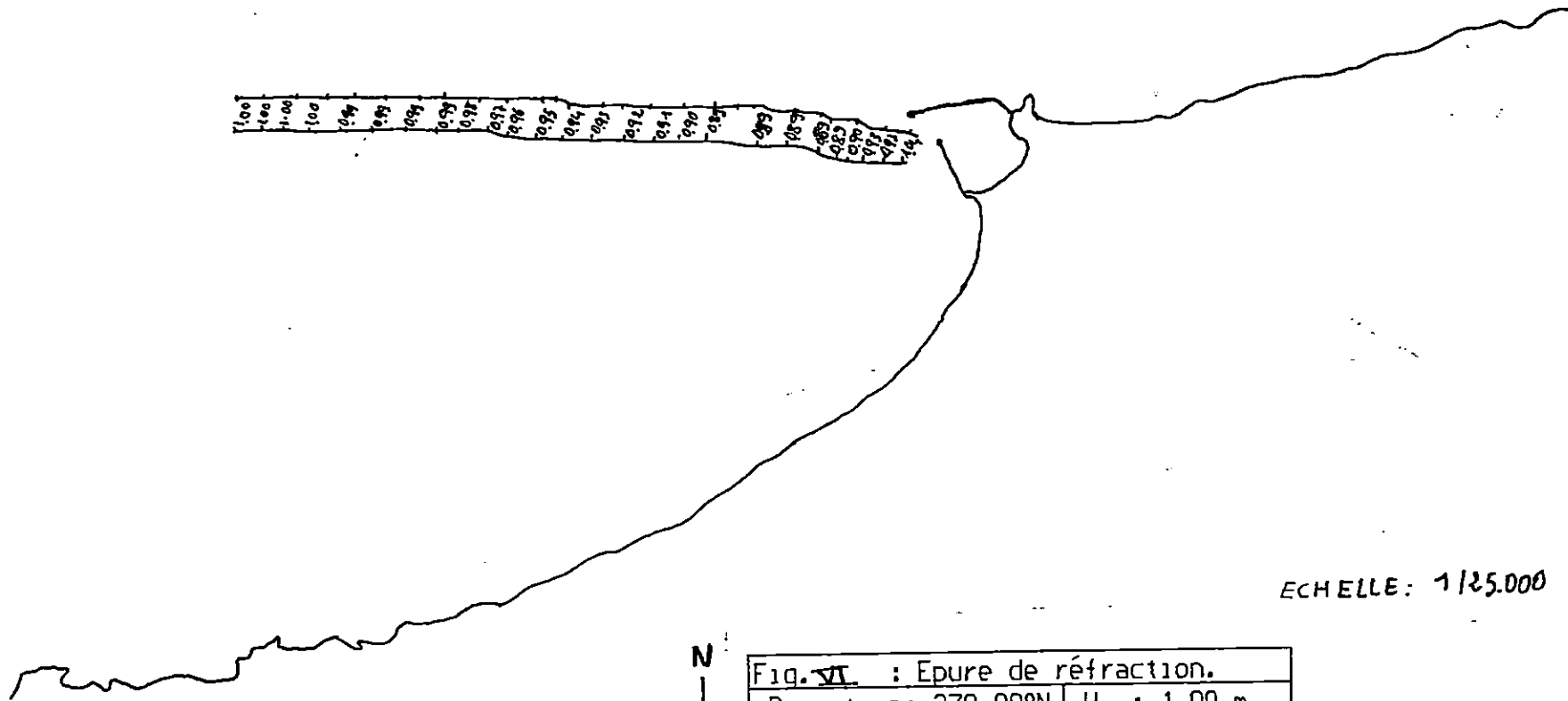
Fig. IV : Epure de réfraction.
 Direction: 270,00°N H : 1,00 m
 Période: 11 s
 Marée: 0,0 m



ECHELLE: 1/25.000



Fig. V : Epure de réfraction.	
Direction: 270,00°N	H : 1,00 m
Période: 09 s	
Marée: 0,0 m	



ECHELLE: 1/25.000



Fig. VI : Epure de réfraction.	
Direction: 270,00°N	H : 1,00 m
Période: 06 s	
Marée: 0,0 m	

Tableau n°1
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 270°
(1961-1988)

H observé (h)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieurs à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieurs à H	
0	116	1 844	9,37	10 ⁻²
0,25	417	1 726	8,78	10 ⁻²
0,75	431	1 389	6,66	10 ⁻²
1,25	333	878	4,46	10 ⁻²
1,75	227	545	2,77	10 ⁻²
2,25	129	318	1,62	10 ⁻²
2,75	99	189	9,61	10 ⁻³
3,25	35	98	4,58	10 ⁻³
3,75	32	55	2,88	10 ⁻³
4,25	7	23	1,17	10 ⁻³
4,75	6	16	0,13	10 ⁻⁴
5,25	1	18	5,88	10 ⁻⁴
5,75	6	9	4,58	10 ⁻⁴
6,25	1	3	1,53	10 ⁻⁴
6,75	1	2	1,62	10 ⁻⁴
7,25	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 2
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 286°
(1961-1988)

H observé (h)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	33	668	3,85	10 ⁻²
0,25	130	567	2,88	10 ⁻²
0,75	160	437	2,22	10 ⁻²
1,25	115	277	1,41	10 ⁻²
1,75	68	162	0,24	10 ⁻³
2,25	33	94	4,78	10 ⁻³
2,75	35	61	3,18	10 ⁻³
3,25	15	26	1,31	10 ⁻³
3,75	4	11	5,59	10 ⁻⁴
4,25	1	7	3,56	10 ⁻⁴
4,75	5	6	3,05	10 ⁻⁴
5,25	0	1	5,88	10 ⁻⁵
5,75	0	1	5,88	10 ⁻⁵
6,25	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 3
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 290°
(1961-1988)

H observé (h)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieurs à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieurs à H	
0	68	445	2,26	10 ⁻²
0,25	99	485	2,86	10 ⁻²
0,75	121	386	1,56	10 ⁻²
1,25	68	185	9,41	10 ⁻³
1,75	62	117	5,95	10 ⁻³
2,25	25	55	2,88	10 ⁻³
2,75	12	38	1,53	10 ⁻³
3,25	6	18	9,15	10 ⁻⁴
3,75	7	12	6,18	10 ⁻⁴
4,25	1	5	2,54	10 ⁻⁴
4,75	1	4	2,03	10 ⁻⁴
5,25	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,75	2	3	1,53	10 ⁻⁴
6,25	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 4
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 300°
(1961-1988)

H observé (h)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	39	434	2,21	10 ⁻²
0,25	187	395	2,01	10 ⁻²
0,75	119	288	1,40	10 ⁻²
1,25	71	169	0,59	10 ⁻³
1,75	47	98	4,98	10 ⁻³
2,25	15	51	2,59	10 ⁻³
2,75	16	36	1,83	10 ⁻³
3,25	6	28	1,02	10 ⁻³
3,75	10	14	7,12	10 ⁻⁴
4,25	2	4	2,03	10 ⁻⁴
4,75	0	2	1,02	10 ⁻⁴
5,25	0	2	1,02	10 ⁻⁴
5,75	0	2	1,02	10 ⁻⁴
6,25	1	2	1,02	10 ⁻⁴
14,75	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 5
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 318°
(1961-1980)

H observé (m)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieurs à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieurs à H	
0	15	221	1,12	10 ⁻²
0,25	57	206	1,65	10 ⁻²
0,75	53	149	7,58	10 ⁻³
1,25	34	96	4,88	10 ⁻³
1,75	34	62	3,15	10 ⁻³
2,25	10	28	1,42	10 ⁻³
2,75	6	18	9,15	10 ⁻⁴
3,25	2	12	6,10	10 ⁻⁴
3,75	3	10	5,08	10 ⁻⁴
4,25	3	7	3,56	10 ⁻⁴
4,75	2	4	2,83	10 ⁻⁴
5,25	1	2	1,02	10 ⁻⁴
5,75	0	1	5,08	10 ⁻⁵
10,75	1	1	5,08	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 6
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 320°
(1961-1980)

H observé (m)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	32	337	1,71	10 ⁻²
0,25	98	305	1,55	10 ⁻²
0,75	102	225	1,44	10 ⁻²
1,25	51	123	0,25	10 ⁻³
1,75	34	72	3,65	10 ⁻³
2,25	28	38	1,93	10 ⁻³
2,75	8	18	9,15	10 ⁻⁴
3,25	4	10	5,08	10 ⁻⁴
3,75	3	6	3,65	10 ⁻⁴
4,25	0	3	1,63	10 ⁻⁴
4,75	1	3	1,63	10 ⁻⁴
5,25	0	2	1,02	10 ⁻⁴
5,75	2	2	1,02	10 ⁻⁴

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 7
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 330°
(1961-1980)

H observé (m)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieurs à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieurs à H	
0	30	218	1,11	10 ⁻²
0,25	54	168	9,56	10 ⁻³
0,75	55	134	6,81	10 ⁻³
1,25	32	79	4,62	10 ⁻³
1,75	10	47	2,39	10 ⁻³
2,25	13	37	1,88	10 ⁻³
2,75	9	24	1,22	10 ⁻³
3,25	6	15	7,63	10 ⁻⁴
3,75	4	9	4,58	10 ⁻⁴
4,25	4	5	2,54	10 ⁻⁴
4,75	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,75	1	3	1,53	10 ⁻⁴
6,25	1	2	1,02	10 ⁻⁵
6,75	1	1	5,08	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 8
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 340°
(1961-1980)

H observé (m)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	17	283	1,44	10 ⁻²
0,25	76	266	1,35	10 ⁻²
0,75	62	196	9,96	10 ⁻³
1,25	45	134	6,81	10 ⁻³
1,75	47	89	4,52	10 ⁻³
2,25	17	42	2,14	10 ⁻³
2,75	13	25	1,27	10 ⁻³
3,25	7	12	6,10	10 ⁻⁴
3,75	1	5	2,54	10 ⁻⁴
4,25	1	4	2,03	10 ⁻⁴
4,75	1	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	1	2	1,02	10 ⁻⁴
5,75	1	1	5,08	10 ⁻⁵

Nombre total d'observation : 19 669

Tableau n° 9
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 350°
(1961-1980)

H observé (h)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observations Supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	26	247	1,26	10 ⁻²
0,25	42	227	1,15	10 ⁻²
0,75	65	185	9,41	10 ⁻³
1,25	49	128	6,10	10 ⁻³
1,75	28	71	3,61	10 ⁻³
2,25	20	43	2,19	10 ⁻³
2,75	14	23	1,17	10 ⁻³
3,25	3	9	4,58	10 ⁻⁴
3,75	3	6	3,05	10 ⁻⁴
4,25	2	3	1,53	10 ⁻⁴
4,75	0	1	5,00	10 ⁻⁵
5,25	0	1	5,00	10 ⁻⁵
5,75	0	1	5,00	10 ⁻⁵
6,75	1	1	5,00	10 ⁻⁵

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 10
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 360°
(1961-1980)

H observé (h)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	34	494	2,51	10 ⁻²
0,25	93	468	2,34	10 ⁻²
0,75	104	367	1,87	10 ⁻²
1,25	99	263	1,34	10 ⁻²
1,75	58	164	8,34	10 ⁻³
2,25	46	166	5,39	10 ⁻³
2,75	26	68	3,65	10 ⁻³
3,25	13	34	1,73	10 ⁻³
3,75	11	21	1,07	10 ⁻³
4,25	7	10	5,00	10 ⁻⁴
4,75	2	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	0	1	5,00	10 ⁻⁵
5,75	1	1	5,00	10 ⁻⁵

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 11
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 010°
(1961-1980)

H observé (h)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observations Supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	24	269	1,47	10 ⁻²
0,25	59	265	1,35	10 ⁻²
0,75	70	206	1,05	10 ⁻³
1,25	50	136	6,91	10 ⁻³
1,75	29	82	4,17	10 ⁻³
2,25	21	53	2,69	10 ⁻³
2,75	20	32	1,63	10 ⁻³
3,25	8	12	6,16	10 ⁻⁴
3,75	1	4	2,03	10 ⁻⁴
4,25	0	3	1,53	10 ⁻⁴
4,75	2	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	1	1	5,00	10 ⁻⁵
5,75	0	0		

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 12
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 020°
(1961-1980)

H observé (h)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	35	479	2,43	10 ⁻²
0,25	103	443	2,25	10 ⁻²
0,75	112	340	1,73	10 ⁻²
1,25	101	220	1,16	10 ⁻²
1,75	61	127	6,46	10 ⁻³
2,25	29	66	3,36	10 ⁻³
2,75	22	37	1,88	10 ⁻³
3,25	6	15	7,63	10 ⁻⁴
3,75	7	9	4,50	10 ⁻⁴
4,25	1	2	1,62	10 ⁻⁴
4,75	0	1	5,00	10 ⁻⁵
5,25	1	1	5,00	10 ⁻⁵
5,75	0	0		

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 13
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 030°
(1961-1988)

H observé (a)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	24	586	2,57	10 ⁻²
0,25	99	482	2,45	10 ⁻²
0,75	153	383	1,95	10 ⁻²
1,25	93	238	1,17	10 ⁻²
1,75	72	137	6,97	10 ⁻³
2,25	32	65	3,58	10 ⁻³
2,75	13	33	1,48	10 ⁻³
3,25	9	20	1,82	10 ⁻³
3,75	7	11	5,59	10 ⁻⁴
4,25	1	4	2,63	10 ⁻⁴
4,75	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	2	3	1,53	10 ⁻⁴
5,75	0	1	5,88	10 ⁻⁵
16,75	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 14
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 040°
(1961-1988)

H observé (a)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	53	245	4,36	10 ⁻²
0,25	231	792	4,63	10 ⁻²
0,75	247	561	2,85	10 ⁻²
1,25	159	314	1,60	10 ⁻²
1,75	29	155	7,88	10 ⁻³
2,25	28	66	3,36	10 ⁻³
2,75	18	38	1,93	10 ⁻³
3,25	9	20	1,82	10 ⁻³
3,75	7	11	5,59	10 ⁻⁴
4,25	2	4	2,63	10 ⁻⁴
4,75	2	2	1,82	10 ⁻⁴
5,25	6	0		
5,75	0	0		

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 15
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 050°
(1961-1988)

H observé (a)	Nombre d'Observation	Nombre d'Observation Supérieurs à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	67	981	4,99	10 ⁻²
0,25	274	914	4,65	10 ⁻²
0,75	311	648	3,25	10 ⁻²
1,25	184	329	1,67	10 ⁻²
1,75	7	145	7,37	10 ⁻³
2,25	31	69	3,51	10 ⁻³
2,75	22	38	1,93	10 ⁻³
3,25	7	16	8,13	10 ⁻⁴
3,75	5	9	4,58	10 ⁻⁴
4,25	2	4	2,83	10 ⁻⁴
4,75	1	2	1,82	10 ⁻⁴
5,25	1	1	5,88	10 ⁻⁵
5,75	0	0		

Nombre total d'observations: 19 669

Tableau n° 16
OBSERVATION DE HOULES DE SECTEUR 060°
(1961-1988)

H observé (a)	Nombre d'observation	Nombre d'observation supérieures à H	Fréquence d'apparition d'une Houle supérieure à H	
0	64	1 811	5,14	10 ⁻²
0,25	383	947	4,81	10 ⁻²
0,75	329	644	3,27	10 ⁻²
1,25	173	315	1,60	10 ⁻²
1,75	74	142	7,22	10 ⁻³
2,25	34	68	3,48	10 ⁻³
2,75	15	34	1,73	10 ⁻³
3,25	7	19	9,66	10 ⁻⁴
3,75	8	12	6,18	10 ⁻⁴
4,25	1	4	2,83	10 ⁻⁴
4,75	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,25	0	3	1,53	10 ⁻⁴
5,75	2	3	1,53	10 ⁻⁴
6,25	1	1	5,88	10 ⁻⁵

Nombre total d'observations: 19 669