

REMERCIEMENTS

Monsieur M. LARID a accepté de présider ce jury ; nous lui devons toute notre reconnaissance.

Nous adressons nos remerciements à Messieurs R. BELKESSA ainsi que M. BOUDOUMA d'avoir examiné ce travail.

Tout au long de la réalisation de ce mémoire de fin d'étude ; Monsieur M. BOUTIBA a bien voulu nous suivre, s'intéresser à ce travail et nous faire profiter de ses observations, nous lui devons de par son enseignement, notre intérêt pour les travaux maritimes.

Aussi, avons nous souvent trouvé un accueil bienveillant auprès des enseignants du département d'aménagement, sans oublier l'aide du personnel du laboratoire de géologie. Nous espérons qu'ils trouveront ici l'expression de notre gratitude.

Nous tenons à présenter nos remerciements à Melle H. BENHOCINE du L.E.M. qui nous a fait bénéficier de son expérience.

Nous espérons avoir tiré profit de l'aide et des conseils de Mr. N. MECHTI du L.E.M. que nous remercions vivement.

Nous ne pouvons pas oublier, tout le personnel de la direction des Travaux Publics de la Wilaya de Béjaïa, ainsi que l'accueil du personnel du bureau d'étude de la S.A.E.T.I.

Nous ne remercierons jamais assez Mr. ANOUNE le directeur de l'E.N.O.F. de la wilaya de Béjaïa d'avoir mis à notre disposition certains documents.

La frappe de ce manuscrit a été assuré par Mr. F. DEBBAH.

Nous tenons à remercier l'ISMAL de nous avoir permis, d'effectuer des sorties sur le terrain, autant de fois qu'il le fallait.

Que tous trouvent dans l'achèvement de ce travail, l'expression de nos remerciements les plus vifs.

S O M M A I R E

I. Introduction

II. Cadre géographique

III. Cadre géologique

IV. Analyse des données océanographiques

1. Les vents
2. Marée et niveau d'eau
3. Les courants
4. La houle au large

V. Etude de la réfraction de la houle

1. Introduction
2. Principe de calcul
3. Choix des directions et périodes
4. Houles au voisinage des côtes
5. Bilan énergétique
6. Déferlement de la houle
7. Calcul des vitesses du courant de dérive

VI. Reconnaissance du site

1. Introduction
2. Etude bathymétrique

VII. Etude sédimentologique

1. Analyse granulométrique
2. Analyse modale

VIII. Présentation du site

1. Etat actuel du site
2. Causes de l'érosion
3. Conclusion

IX. Aménagement

1. Ouvrage de protection
2. Le franchissement
3. Etude de la carrière d'Adrar ou Farnou

X. Conclusion générale

I - INTRODUCTION

La S.A.E.T.I. prévoit le dédoublement de la RN° 9 en route expresse 2 x 2 voies, en utilisant l'ancienne route comme deuxième chaussée. Le dédoublement de la voie actuelle se fait côté mer.

Notre étude a pour but, de protéger cette nouvelle route par la mise en place d'un ouvrage de protection, qui viendra après une étude sérieuse du sol, de l'hydrodynamique marine de la région, du transit sédimentaire et de tous les facteurs naturels qui pourraient avoir un effet immédiat ou ultérieur, et sur la route, et sur l'ouvrage en question.

L'érosion est un phénomène qui agresse les côtes, Aokas n'en échappe pas et voit son rivage reculer, ce problème n'est pas spécifique à la région d'Aokas, mais il concerne toute la zone côtière de Béjaïa.

Nous espérons alors apporter une solution appropriée à ce problème ou du moins, l'atténuer car il menace l'un des plus beaux sites de notre pays.

II - CADRE GEOGRAPHIQUE

La région d'Aokas se trouve à 12 km de Béjaïa, entre Tichy et Souk El-Tenine. Notre zone d'étude est située à $2^{\circ} 27'$ et $2^{\circ} 29'$ méridien Est et les parallèles $36^{\circ} 31,06'$ et $36^{\circ} 31,29'$ hémisphère Nord.

III - CADRE GEOLOGIQUE

III.1 - La Carte géologique (fig :1) au 1/50.000 de Ziama (N°48) indique dans la région d'Aokas des :

- Calcaires dolomitiques du Lias
- Dunes et plages actuelles
- Alluvions récentes.

De plus le L.N.H.C (Laboratoire national d'Hydraulique et de Construction), a effectué des sondages géotechniques à gauche du tunnel existant (dans le sens Béjaïa - Aokas) et ceux-ci ont révélé au long de 60 m linéaire, un calcaire gris fin massif, parfois fissuré, contenant souvent des veinures calciques.

III.2 - Reconnaissances géotechniques : Source D.T.P (Direction des Travaux Publics de Béjaïa)

Le LNHC a ouvert 2 puits sur les accotements, le plus près possible de la chaussée existante.

a) Puits N°1

Le puits N°1, a révélé une couche de tout venant d'oued (0 à 20 cm) et un sable gris à blanchâtre grossier sur toute la profondeur du puits soit 4.00 m.

b) Puits N°2

Le puits N°2 n'a pu être mené à plus de 60 cm, existence d'un substratum pratiquement sous la chaussée.

III.2.1 - Essai de laboratoire

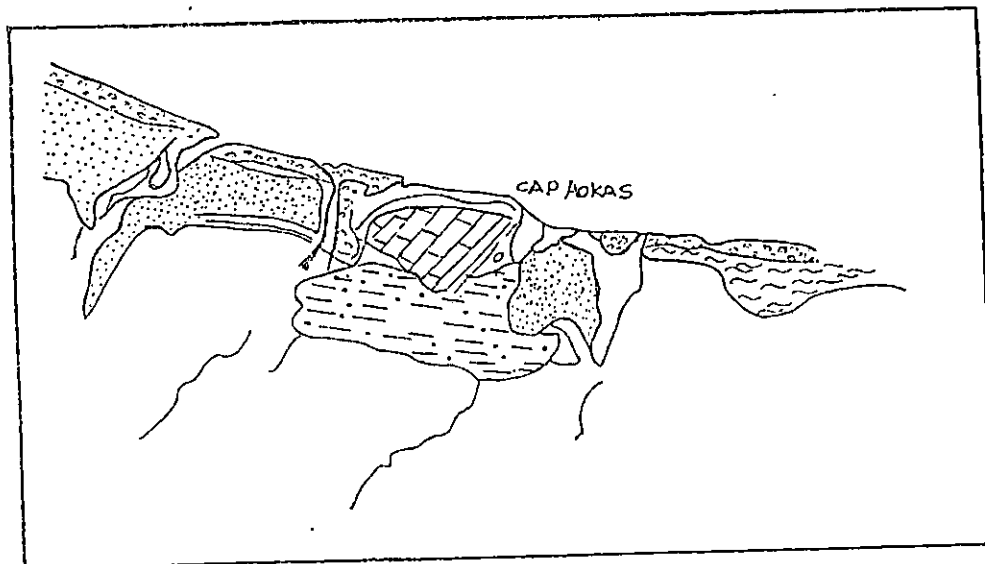
Les essais sont réalisés sur les échantillons prélevés sur le puits N°1.

a) Compression sur éprouvettes

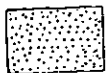
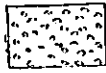
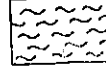
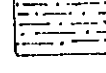

La résistance à la compression varie de 176 à 440 bars. Ces dispersions sont dues probablement aux veinures calciques.

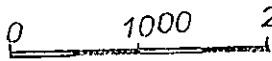
FIG: 1

CARTE GÉOLOGIQUE DE CAP AOKAS



LEGENDE

-  *alluvions récentes*
-  *dunes et Plages actuelles*
-  *alluvions marecageuses*
-  *shiste siliceux et marno calcaires*
-  *calcaire dolomitique du lias*

ÉCHELLE: 1/50000 

**RESULTATS DES ECRASEMENTS DES CAROTTES
PRELEVEES SUR LE SONDAGE DU TUNNEL AOKAS**

Tableau N°1

PROFOND	SECTION HAUTEUR	POIDS	CHARGE	RESISTANCE (bars)	DENSITE
3.00 m	56,7 -17 cm	2600 g	19.000	335	2,69
9.00 m		2500 g	15.000	264	2,59
14.00 m		2500 g	10.000	176	2,59
17.00 m		2600 g	16.000	232	2,69
22.00 m		2600 g	22.000	387	2,69
27.00 m		2500 g	13.000	229	2,59
30.00 m		2550 g	20.000	352	2,64
35.00 m		2660 g	16.000	282	2,69
40.00 m		2600 g	25.000	440	2,69
44.00 m		2500 g	18.000	317	2,59
52.00 m		2600 g	10.000	176	2,69
58.00 m		2500 g	15.000	264	2,59

Tableau récapitulatif des essais

Tableau N°2

Désignation	Resultats
Proctor modifié γ_d (t/m ³) w OPM (%)	1,86 2,7
Indice CBR Σ 95 % de l'OPM	3,3
Equivalent de sable (%)	93

Les résultats sont consignés dans le tableau N° 1.

B) Equivalent de sable :

Cet essai a atteint 93 %. Ce qui dénote le caractère sableux du matériau.

C) Essai Proctor :

L'essai proctore modifié effectué sur le sable, a abouti aux résultats suivants :

- Teneur en eau optimum : 2,7 %
- Densité sèche à l'OPM : 1,86 t/m³

C'est un matériau qui ne présente pas de sensibilité à l'eau, et dont la densité est moyenne.

D) Essai CBR

L'essai réalisé a l'OPM proctor a aboutit à un indice CBR à 95 % de l'ordre de 3,2.
Les résultats de ces essais, sont récapitulés dans le tableau N° 2.

IV - ANALYSE DES DONNEES OCEANOLOGIQUES

IV.1 - Les vents

Les vents sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (Moulin.1978).

Le S.S.M.O. (Sommary of Syneptic Meteorological Observations), dispose de données pour les années 1963 à 1970.

A partir de ces données, nous avons déterminé les fréquences d'apparition du vent, par direction et par vitesse et ceci pour une durée trimestrielle et annuelle. (Fig. 2 et 3)

Il ressort de cette étude que les vents dominants sont les vents de l'Ouest, qui interviennent pour 25 % du temps avec une vitesse de 0,8 m/s.

Pour le deuxième et troisième trimestre, ce sont les vents du Nord - Est qui prédominent pour plus de 20 % du temps.

En plus de ces vents, nous avons celui de la Soummam qui est chenalisé par la vallée de la Soummam en lui donnant son orientation Sud - Ouest - Nord - Est.

IV.2 - Marée et niveau d'eau

La marée, est une oscillation périodique des océans, due à l'attraction des astres sur les molécules liquides, de période et d'amplitude variable, dans le temps et d'un lieu à l'autre (J. Chapon - 1984).

La marée peut être aussi provoquée par des phénomènes tels que, la pression atmosphérique et le vent mais le niveau ne dépasse guère 50 cm. Le long des côtes algériennes, la marée est très faible, elle atteint une dizaine de cm.

Sur la base des différentes informations du L.E.M. le niveau de la mer à Béjaïa est estimé comme suit :

- Niveau maximal	: + 50 cm NGA (Niveau Général Algérien)
- Niveau moyen des basses mers	: - 10 cm NGA
- Moyenne haute-mer de vives eaux	: + 10 cm NGA
- La plus basse-mer	: - 34 cm NGA

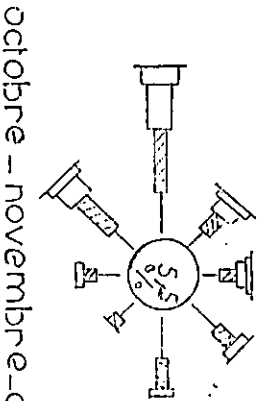
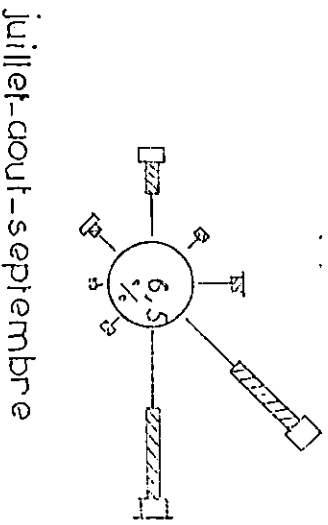
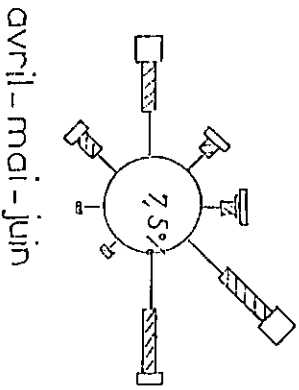
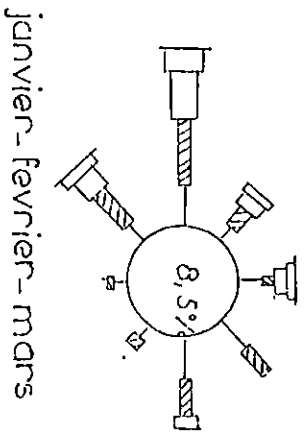
Ces variations étant faibles, elles n'ont pas d'effet sur notre zone.

FIG: 2

ROSES DES VENTS

FREQUENCES D'APPARITION

periode d'observation:
1963-1970



ECHELLE: %de frequence
0 5 10 15 20

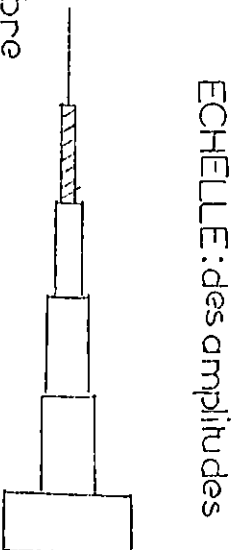
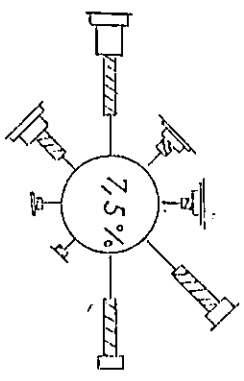
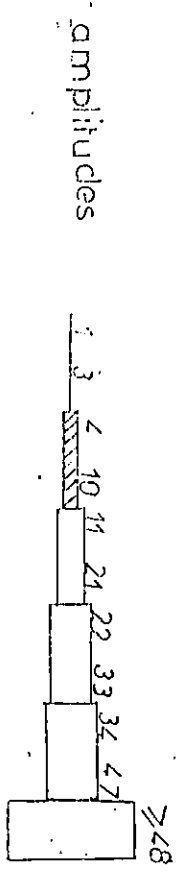


FIG : 3

REPARTITION DES MOYENNES ANNUELLES
DES VITESSES ET DES FREQUENCES
DU VENT



ECHELLES : % de frequence 0 5 10 15 20



IV.3 - Les courants

Les courants marins sont causés par :

- L'action des forces internes (pesanteur, pression).
- Par l'action des externes (vents, attraction des astres).

A ces forces s'ajoutent, les effets des forces induites (frottements internes du fluide et force de coriolis due à la rotation de la terre). (J.Chapon 1984).

C.Millot (1985) considère le courant comme étant un flux, qui est généré par des processus adventifs des tourbillons cycloniques et anticycloniques.

IV.3.1 - Courant de dérive littorale

Selon Guilcher .1954, le courant de dérive littorale, est la résultante au rivage, de tous les mouvements d'eau dirigés vers la terre, et qui n'abordent pas la côte en incidence normale.

Ce courant agit dans les zones de déferlement, par une remise en suspension des sédiments.

Les sédiments sont alors, acheminés dans un sens préférentiel déterminé principalement par la direction de propagation des vagues.

Dans la région d'Aokas la vitesse du courant induit par ces houles est donnée par la formule suivante :

$$V = K. \frac{gH^2}{T} . l. \sin 2 \alpha \quad (\text{Léopold Berthois, 1969})$$

- avec :
- K : coefficient qui dépend de la rugosité du fond il est pris égale à 2,6
 - g : accélération de la pesanteur = 9,81 m/s
 - T : période des houles
 - l : pente du fond
 - α : angle d'incidence des houles

(voir application numérique ultérieurement).

IV.3.2 - Courant de retour

Les houles dont l'incidence est frontale, provoquent un courant de retour ; c'est un courant qui s'effectue en direction du large, il joue un rôle surtout dans la migration des particules en suspension vers le large, participe à la formation des bancs d'avant - plage, et assure la dissémination des sédiments littoraux, sur la plate-forme continentale.

IV.3.3 Conclusion

Les principaux courants qui régissent la dynamique sédimentaire sont; le courant de dérive littorale qui est responsable d'un transfert latéral de sédiments, et le courant de retour induit par les houles frontales.

IV.4 - DETERMINATION DE LA HOULE AU LARGE

IV.4.1 - Introduction

Les données de houles au large, s'étalent sur une période de 1963 à 1979, et sont tirées du S.S.M.O. de l'Est de l'Algérie. Ces valeurs sont classées mensuellement, puis soumises à une analyse statistique pour déterminer, les secteurs de houles prédominants et les amplitudes respectives.

IV.4.2 - Principe de l'analyse des données du S.S.M.O.

Les observations de la houle sont classées par le S.S.M.O., par mois et par an en précisant les éléments suivants :

- hauteur des houles par direction, suivant la force du vent
- hauteur des houles toutes directions confondues, suivant la force du vent
- hauteur des houles avec leurs périodes respectives, toutes directions confondues

Le tableau suivant donne le nombre d'observation de la houle pour chacun de ces cas.

Tableau N°3 nombre d'observations de l'état de mer/mois.

Source S.S.M.O.
Durée 6 ans

Période	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	TOTAL
Observation par secteur de vent		629		691		601		675		626		616	7815
	684		727		665		601		626		643		
Observation toutes directions par secteur de vent		673		741		661		731		716		647	8470
	726		769		743		681		699		683		
observation avec période de houle	802		834		822		750		786		746		9340
		757		817		750		791		782		703	

Le nombre d'observations total souligne une bonne régularité au cours des différents mois de l'année. Le nombre total d'observation pour le troisième cas est plus élevé, cela est dû aux observations de l'état de la mer sans faire état de vent

A partir du tableau N°3 et des amplitudes relevées, on établit une loi de régression linéaire donnant une fonction de la hauteur de la houle, et sa fréquence de dépassement. Pour calculer la probabilité n annuelle, de voir une houle d'amplitude donnée apparaître, au moins une fois sur n année, on considère l'hypothèse selon laquelle l'état de la mer change trois fois par jour.

$$P_n = \frac{1}{3 \times 365 \times n}$$

IV.4.3 - Direction de la houle au large

Le résultat de cette analyse, est précisée par le tableau dans lequel, on constate que les houles d'Ouest (voir fig.4), Nord-Ouest et Est sont les plus observées, et que la direction dominante est l'Ouest. La prépondérance de ce secteur, est plus nette pour le premier, deuxième et quatrième trimestre, par contre on remarque une légère diminution pendant le troisième trimestre durant lequel, les houles de direction Est et Nord-Est dominent.

Tableau N°4 : Fréquences d'observation mensuelles par direction au large (1 mois = 100 %)

Direction Mois	Ouest	Nord/Ouest	Nord	Nord/Est	Est
	Janvier	30,8	14	11,50	7,2
Février	39,6	14,50	8,4	6,0	12,4
Mars	35,5	20,4	8,5	5,5	12,9
Avril	39,4	18,6	6,4	8,8	15,2
Mai	31,7	13,1	8,6	15,9	17,3
Juin	30,1	14,6	10,1	15,3	19,5
Juillet	20,1	17,1	12,3	19,8	22,5
Août	18,5	16,9	12,4	19,9	24,9
Septembre	17,7	15,8	12	14,2	29,2
Octobre	30,4	11,1	8,2	11	19
Novembre	40,1	19,6	4,2	3,6	7,9
Décembre	38,6	19,2	6,7	4,5	6,0
% Annuel	13,2	16,3	9,1	10,9	16,8

IV.4.4 - AMPLITUDE DE LA HOULE AU LARGE

IV.4.4.1 - Relation amplitude de la houle et direction .

L'état de la mer est caractérisé, par des degrés qui correspondent aux amplitudes suivantes :

Tableau N° 5 Etat de la mer en relation avec les amplitudes

Degrés	Amplitudes	Applications
Calme	< 0,25	
0°	0,25 m à 0,75 m	ridée ou belle
1°	0,75 m - 1,75 m	modérée
2°	1,75 m - 2,75 m	agitée
3°	2,75 m - 3,75 m	Forte
4°	> 3,75	très forte ou supérieure

A partir des données du S.S.M.O., nous avons pu ressortir les fréquences d'apparition des différents degrés d'agitation par direction, ceci nous a permis d'établir les roses des houles par saison et par an (fig. 4 et 5).

Tableau N° 6 : Fréquences par direction des différents états de la mer au large

Etat de la mer au large (degrés)	Direction de la houle				
	Ouest	Nord/Ouest	Nord	Nord/Est	Est
Calme	2,60 %	1,9 %	2,3 %	2,3 %	3,2 %
0°	8,00 %	4,2 %	2,8 %	4,3 %	6,6 %
1°	14,20 %	6,7 %	3,3 %	3,7 %	6,1 %
2°	4,40 %	2,3 %	0,5 %	0,4 %	0,7 %
3°	1,1 %	0,8 %			
4°	0,6 %	0,3 %			
Total	31,14 %	16,29 %	9,08 %	10,9 %	16,79 %

FIG. 4

ROSES DES HOULES

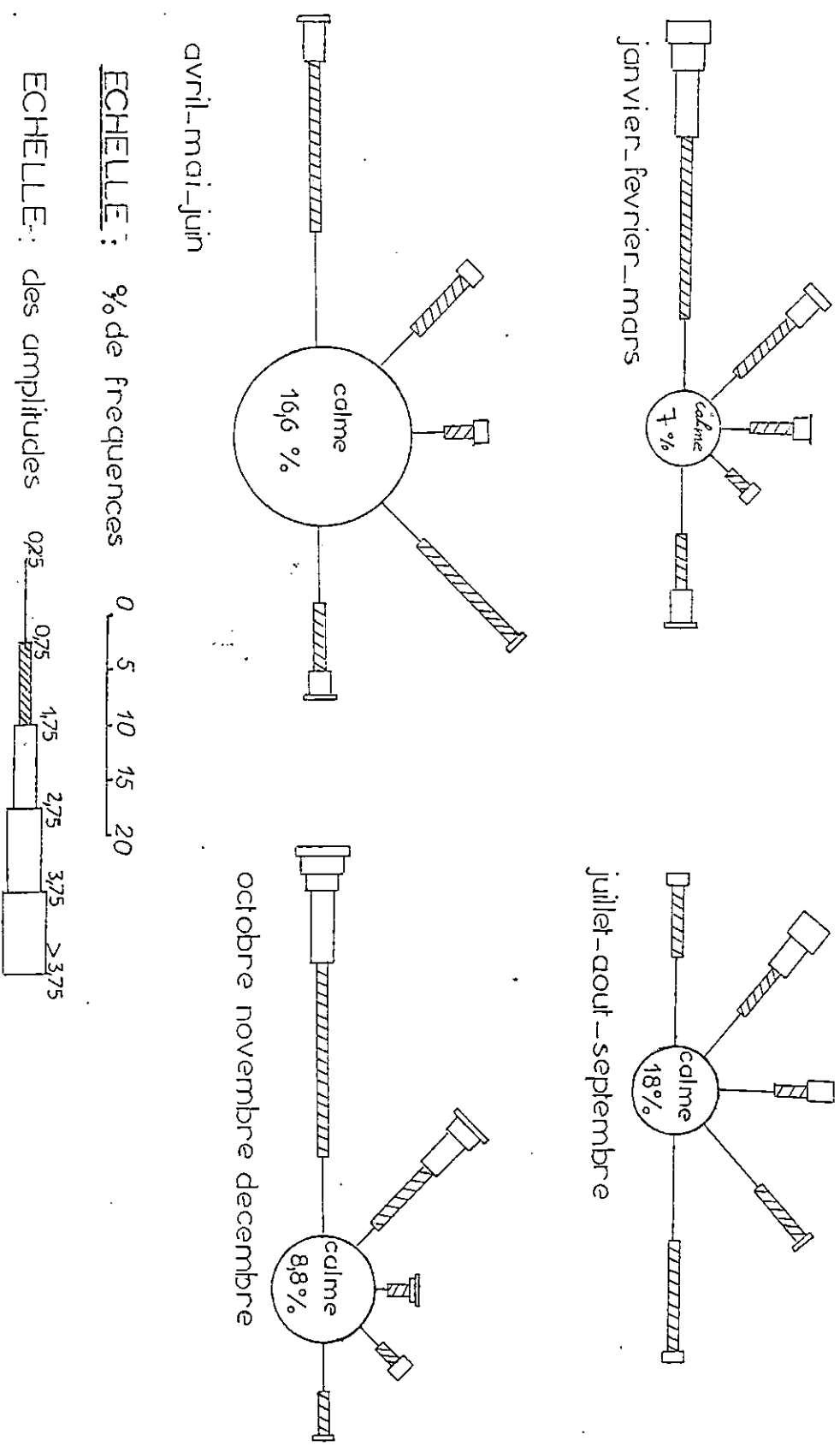
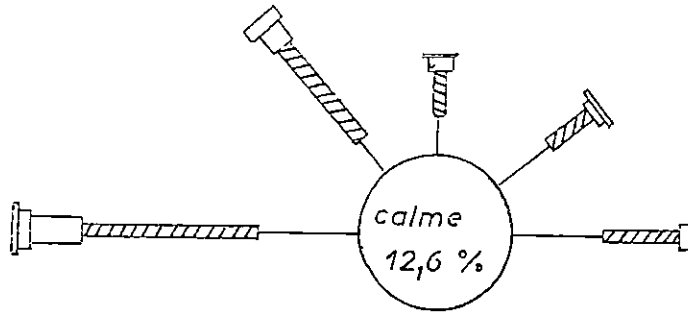


FIG: 5

ROSE DES HOULES ANNUELLE



ECHELLES : % de frequence 0 5 10 15

amplitudes . 0,25 0,75 1,75 2,75 3,75 > 3,75

nombre d'observations : 7815

Le tableau N°6, présente les résultats de l'étude de la relation amplitude-direction. En effet, on constate que les houles du secteur Ouest, sont les plus fortes tandis que les houles inférieures à 2,50 m d'amplitude sont les plus fréquentes pour les secteurs Nord-Ouest et Est.

IV.4.4.2- Relation amplitude-période de la houle au large :

La relation amplitude - période est exprimée dans le tableau suivant.

Tableau N° 7 : Relation amplitude période de la houle au large.

Etat de la mer (degrés)	Période de la houle (s)					
	< 6	6 à 7	8 à 9	10 à 11	11 à 12	13 s
Calme	5,10 %	0,1 %				
0°	20,00 %	1,6 %	0,20 %	0,10 %		
1°	23,60%	12,7 %	2,60 %	0,60 %	0,20 %	
2°	3,0 %	5,7 %	3,90 %	1,1 %	0,3 %	
3°	0,4 %	1,2 %	1,40 %	0,7 %	0,3 %	0,10 %
4°	0,30 %	0,3 %	0,70	0,18 %	0,10 %	
Total	52,40 %	21,60 %	8,80 %	3,3 %	0,90 %	0,10 %

Remarque : On constate d'après ce tableau, que pour les houles de courtes amplitudes correspondent des périodes courtes comprises entre 6 et 7 s.

IV 4.4.3- Caractéristiques statistiques de la houle au large :

A partir de l'analyse des observations, faites à bord des navires par le S.S.M.O. et des amplitudes observées par direction, on établit une loi de régression donnant en fonction de la hauteur de la houle sa fréquence de dépassement.

Par ailleurs, on définit les probabilités d'apparition associées aux périodes de retour.

Tableau N° 8 : Probabilités d'apparition de la houle associées aux périodes et directions

Période de retour	Probabilités associées.
Biennale	$4,57.10^{-4}$
Quinquennale	$1,83.10^{-4}$
Décennale	$9,13.10^{-5}$
Vingtenale	$4,57.10^{-5}$
Cinquantennale	$1,83.10^{-5}$
Centennale	$9,13.10^{-6}$

Tableau N°9 : Caractéristiques de la houle au large

Période	DIRECTION			
	Nord	Nord-Est	Nord-Ouest	Toutes directions
Biennal	4,99 m	3,77 m	6,52 m	7,86 m
Quinquennale	5,91 m	4,38 m	7,50 m	8,81 m
Décennale	6,60 m	4,83 m	8,23 m	9,52 m
Vingtennale	7,29 m	5,29 m	8,97 m	10,24 m
Cinquantennale	8,20	5,90 m	9,94 m	11,18 m
Centennale	8,89	6,36 m	10,67 m	11,90 m

Ainsi, la loi de régression pour chaque direction observée, a permis de tracer, les courbes de fréquences de dépassement présentées ci-après (fig 6, a, b, c, d)

Fig: 6a

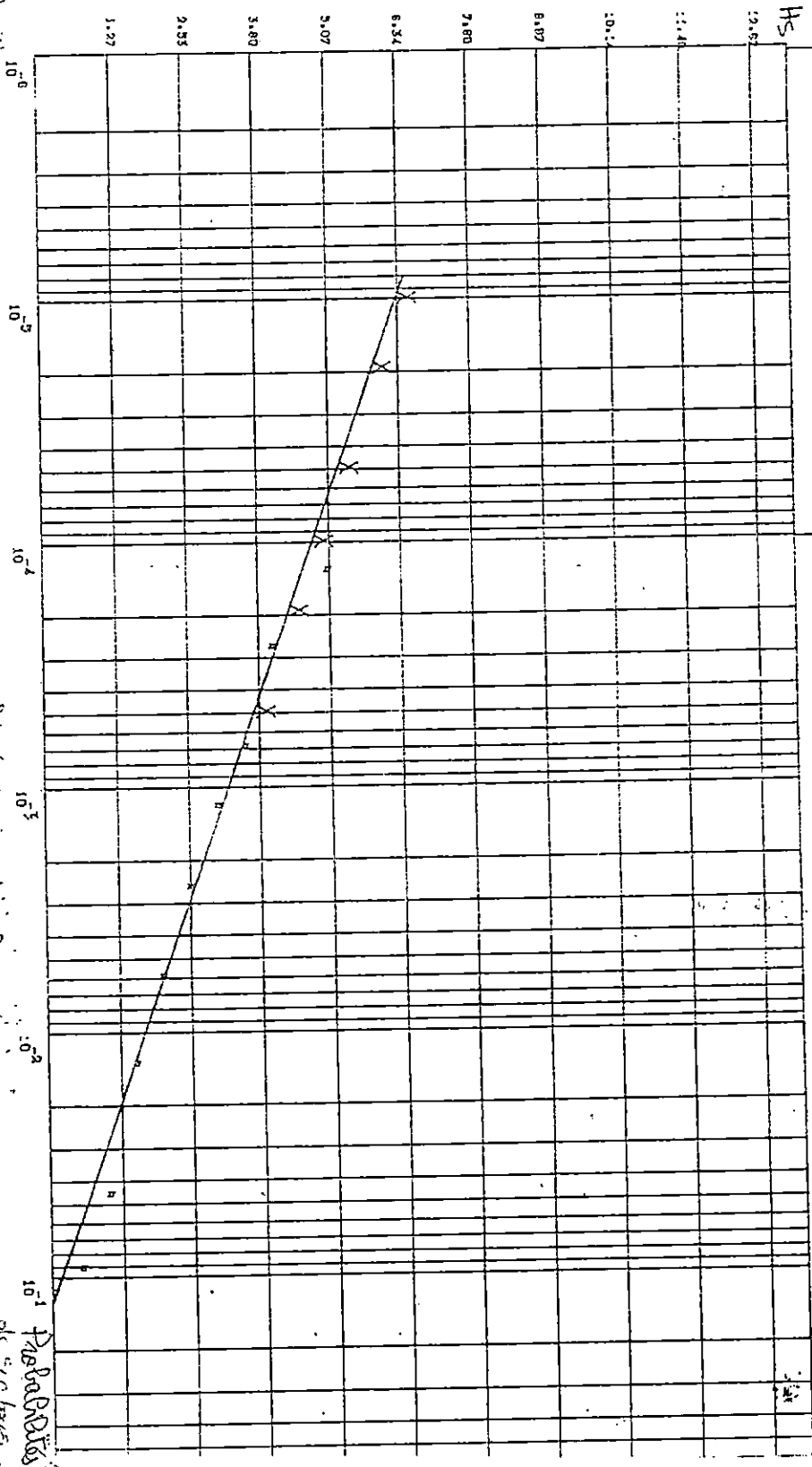
DIRECTION : NORD-EST

HOULE AU LARGE

Y = A * LOG(X) + B
 A = -0,86
 B = -1,33
 COEFFICIENT DE CORRELATION = -0,99

BIANNUELLE = 3,77 H
 QUINQUENNALE = 4,39 H
 DECENNALE = 4,83 H

VIINGTENNALE = 5,29 H
 CINQUANTENNALE = 5,90 H
 CENTENNALE = 6,38 H



Equation de la droite
 $H_s = -0,66 \ln(T) - 1,33$

Courbe de regression lineaire de Ra
 variation de Ra leure

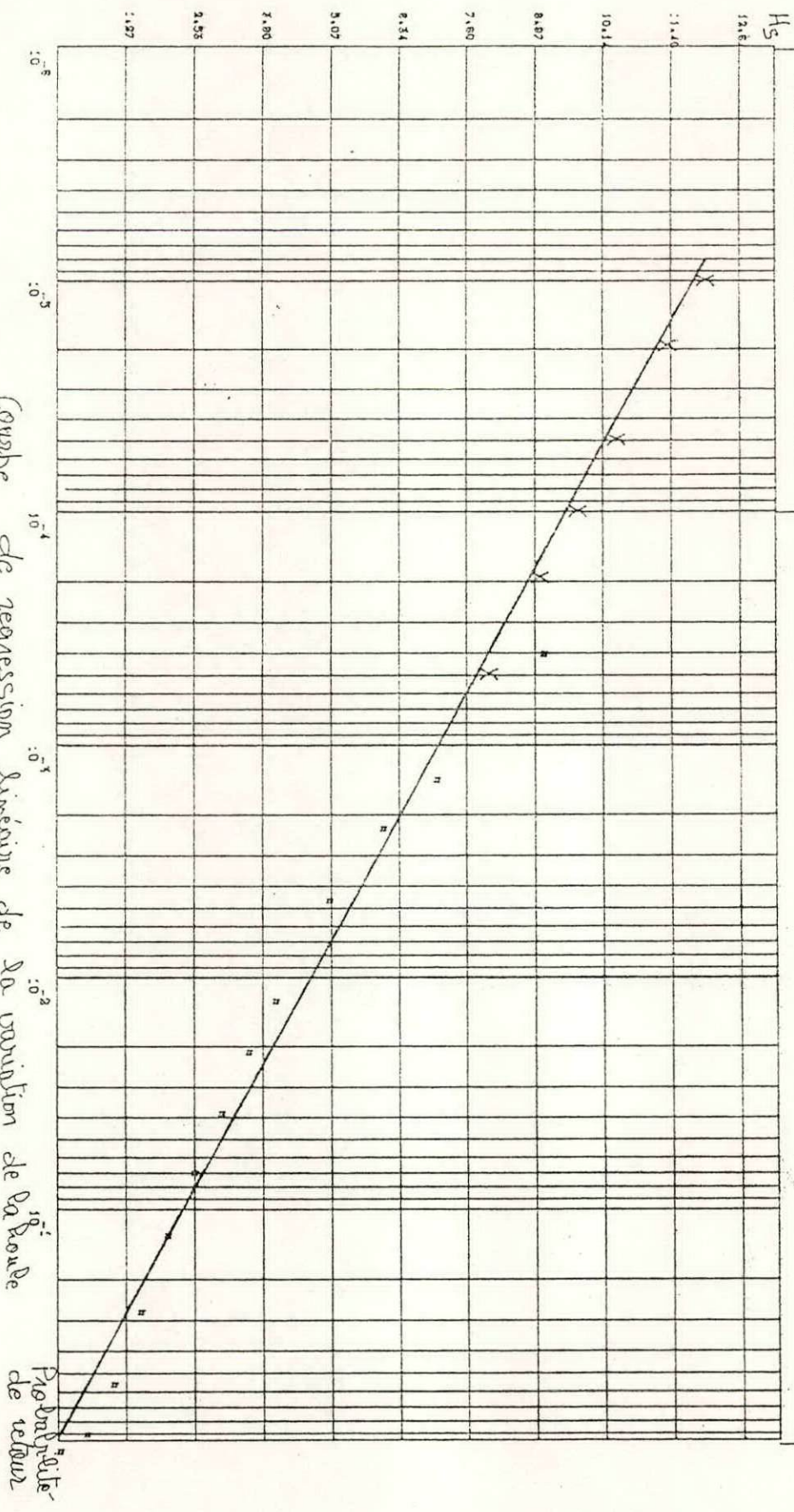
Parabolites
 de 10 ans

Fig: 6b

DIRECTION : TOUTE DIRECTION HOULE AU LARGE

Y = A * LOG(X) + B
 A = -1,03
 B = -0,08
 COEFFICIENT DE CORRELATION = -0,99

BIANNUELLE = 7,86 M
 QUINQUENNALE = 8,91 M
 DECENNALE = 9,52 M
 VINGTENNALE = 10,24 M
 CINQUANTENNALE = 11,18 M
 CENTENNALE = 11,90 M



Courbe de regression lineaire de la variation de la hauteur de vagues de retour

Fig: 6 c

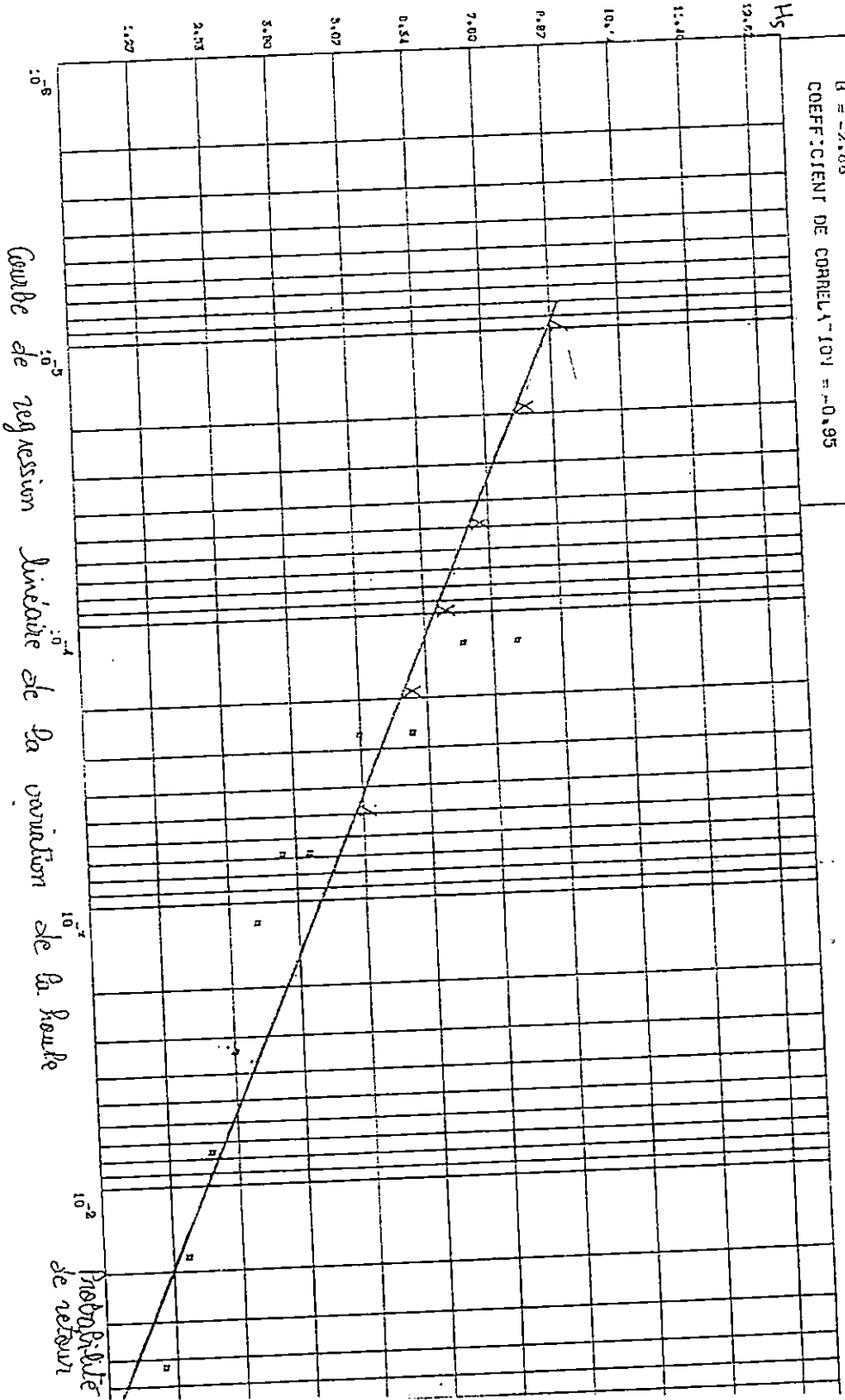
DIRECTION : NORD

HOULE AU LARGE

Y = A LOG(X) + B
 A = -1,00
 B = -2,65
 COEFFICIENT DE CORRELATION = -0,95

B: ANNUELLE = 4,99 M
 QUINQUENNALE = 5,91 M
 DECAENNALE = 6,60 M

VINGTENNALE = 7,29 M
 CINQUANTENNALE = 8,20 M
 CENTENNALE = 8,89 M



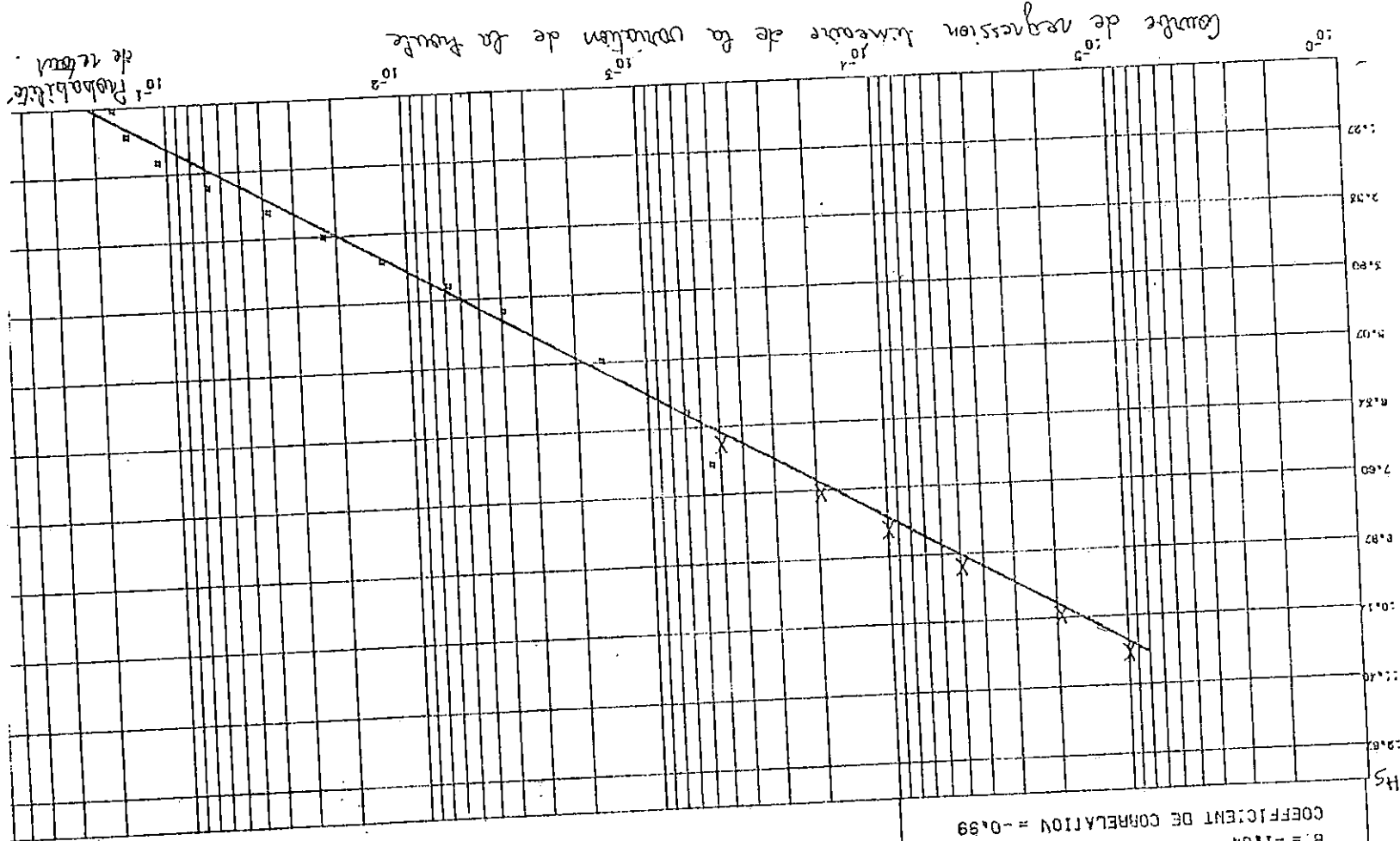
Courbe de regression lineaire de la variation de la Houle

Probabilité de retour

Fig. 6/1

DIRECTION : NORD-WEST — HOULE AU LARGE —

VINGTENNALE = 8.97 M
 CINGUANTENNALE = 9.94 M
 CENTENNALE = 10.67 M
 BIANNUELLE = 8.52 M
 QUINQUENNALE = 7.50 M
 DECENNALE = 8.23 M
 $Y = A \cdot \text{LOG}(X) + B$
 $A = -1.06$
 $B = -1.64$
 COEFFICIENT DE CORRELATION = -0.99



IV.4.4.4 - Equation des droites de régression linéaire

Les équations sont de la forme : $y = A \ln(x) + B$.

Avec : $Y =$ hauteur significative = H_s
 $x =$ probabilité associée aux périodes de retour = P_n
 $A =$ pente de la droite
 $B =$ L'ordonnée à l'origine quand $\ln(X) = 0$

Remarque : Le coefficient de corrélation des équations ainsi que les constantes sont donnés par l'ordinateur.

$K =$ coefficient de corrélation

a) Direction Nord :

$$A = -1,00$$

$$B = -2,66 \quad \implies H_s = -1 \ln(P_n) - 2,66$$

$$K = -0,95$$

b) Direction Nord-Est

$$A = -0,66$$

$$B = -1,33 \quad \implies H_s = -0,66 \ln(P_n) - 1,33$$

$$K = -0,99$$

c) Direction Nord-Ouest

$$A = -1,03$$

$$B = -0,08 \quad \implies H_s = -1,03 \ln(P_n) - 0,08$$

$$K = -0,99$$

Remarque : Dans tous les cas, le coefficient de corrélation est très proche de 1, donc les résultats obtenus sont acceptables.

Fréquences des houles à la côte

Tableau N°14 a

Direction Nord - Est (N 65) Prof=15 m					Total d'observation		
Période	Amplitude au large	Nombre de cas	K	Amplitude au voisinage de la côte	H observé	nbre d'obs > à H	Fréquences
6 s	0	188	0,82	0	0	851	$1,1 \cdot 10^{-1}$
	0,5	335	0,82	0,41	0,25	663	$8,49 \cdot 10^{-2}$
	1	225	0,82	0,82	0,75	328	$4,2 \cdot 10^{-2}$
	1,5	60	0,82	1,23	1,25	43	$5,5 \cdot 10^{-3}$
	2	24	0,82	1,64	1,75	19	$2,43 \cdot 10^{-3}$
8 s	2,5	10	0,78	1,95	2,25	9	$1,15 \cdot 10^{-3}$
	3	4	0,78	2,34	1,75	2	$2,56 \cdot 10^{-4}$
	3,5	3	0,78	2,73	3,25	1	$1,28 \cdot 10^{-4}$
	4	1	0,78	3,12	3,75		
10s	5	1	0,66	3,30	4,25		

Tableau N°14 b

Direction Nord (N O °) Prof=15 m					Total d'observation		
Période	Amplitude au large	Nombre de cas	K	Amplitude au voisinage de la côte	H observé	nbre d'obs > à H	Fréquences
6 s	0	178	0,91	0	0	711	$9,1 \cdot 10^{-1}$
	0,5	219	0,91	0,45	0,25	533	$6,8 \cdot 10^{-2}$
	1	178	0,91	0,91	0,75	314	$4,02 \cdot 10^{-2}$
	1,5	80	0,91	1,36	1,25	136	$1,74 \cdot 10^{-2}$
	2	31	0,91	1,82	1,75	56	$7,16 \cdot 10^{-3}$
8s	2,5	16	0,90	2,25	2,25	25	$3,20 \cdot 10^{-3}$
	3	4	0,90	2,70	1,75	5	$6,40 \cdot 10^{-4}$
	3,5	0	0,90	3,15	3,25	5	$6,40 \cdot 10^{-4}$
	4	3	0,90	3,6	3,75	2	$2,56 \cdot 10^{-4}$
10s	5	0	0,89	4,45	4,25	2	$2,56 \cdot 10^{-4}$
	6	1	0,89	5,34	4,75	2	$2,56 \cdot 10^{-4}$
	7	0	0,89	6,23	5,25	2	$2,56 \cdot 10^{-4}$
	8	1	0,89	8,01	5,75	1	$1,28 \cdot 10^{-4}$
	9				6,25	1	$1,28 \cdot 10^{-4}$

Tableau N°14 c

Période	Direction N.O (330°) Prof=15 m				Total d'observation		
	Amplitude au large	Nombre de cas	K	Amplitude au voisinage de la côte	H observé	nbre d'obs > à H	Fréquences
6 s	0	149	0,85	0	0	1273	$1,63 \cdot 10^{-1}$
	0,5	329	0,85	0,42	0,25	1124	$1,44 \cdot 10^{-1}$
	1	298	0,85	0,85	0,75	795	$1,0 \cdot 10^{-2}$
	1,5	218	0,85	1,27	1,25	497	$6,36 \cdot 10^{-2}$
	2	114	0,85	1,7	1,75	165	$2,11 \cdot 10^{-2}$
8s	2,5	67	0,75	1,87	2,25	98	$1,25 \cdot 10^{-2}$
	3	49	0,75	2,25	1,75	29	$3,71 \cdot 10^{-3}$
	3,5	20	0,75	2,62	3,25	12	$1,53 \cdot 10^{-3}$
	4	17	0,75	3,6	3,75	5	$6,40 \cdot 10^{-4}$
10s	5	7	0,67	3	4,25	4	$5,12 \cdot 10^{-4}$
	6	1	0,67	4,02			
	7	4	0,67	4,69			

V - ETUDE DE LA REFRACTION

V.1 - Introduction

Le phénomène de réfraction, se traduit géométriquement, par la déformation des crêtes et énergétiquement, par une variation des amplitudes de la houle. (H.Lacombe, 1965).

Afin d'étudier ce phénomène, on établit un plan de vague, qui nous permet d'obtenir une figure en reportant la position des crêtes de houles à un instant donné, sur une carte des fonds, on peut donc voir comment l'énergie de la houle se concentre, ou s'épanouit à l'approche d'un ouvrage. Il nous permet aussi, d'évaluer l'angle que font les crêtes de houle avec les ouvrages ou avec la côte (voir les épures de réfraction en annexe).

L'étude de la réfraction de la houle venant du large, est faite sur un modèle réduit mathématiquement (L.e.m 1992) la grille bathymétrique utilisée est constituée de :

- 90 points en x
- 66 points en y
- un maillage de 200 mètres

Les quatre directions 0° Nord, 65° Nord-Est, 45° Nord-Est et 330° Nord-Ouest ont été étudiées en fonction de 3 périodes 6s.8s.10s

V.2- Principe de calcul

Les calculs de réfraction de la houle entre le large et la côte, sont effectués à l'aide d'un programme informatique.

V.2.1- Principe de l'ordinateur

Le programme admet certaines hypothèses dont les principes sont :

- Les phénomènes de réflexion et de diffraction ne sont pas pris en compte
- La houle est monochromatique (Période est constante)
- Le mouvement de la houle est régulier
- Il n'y a pas de courant
- La percolation est négligée
- L'énergie entre deux orthogonales est conservée
- L'effet de courbure du globe terrestre est négligée

- Le liquide est incompressible et non visqueux
- L'effet de marée n'est pas pris en compte
- La bathymétrie est la plus régulière possible de plus la théorie de Stokes n'est applicable que si le paramètre d'ursell.

$$U = L^2.H/d^3 \leq 15$$

L : longueur d'onde de la houle

H : amplitude de la Houle

d : profondeur au point considéré

La valeur calculée pour le programme informatique, est une hauteur relative H/H_0

Où

H : creux de la houle au point considéré

H_0 : creux de la houle au large

H/H_0 est le produit de 3 paramètres auxquels les calculs aboutissent.

Paramètre 1 : coefficient de réfraction pure, tenant compte du fait que les courbes bathymétrique ne sont pas rectilignes, et non parallèles entre elles, le paramètre est noté K_r .

Paramètre 2 : coefficient de Shoalling, tenant compte de la variation de la profondeur durant la propagation de la houle, entre le large et la côte. le paramètre est noté K_s .

Paramètre 3 : coefficient de frottement, tenant compte de la rugosité du fond dont l'effet est, de diminuer la vitesse de propagation et la longueur d'onde, le paramètre est noté K_f

Ainsi le creux de la houle obtenu par réfraction est.

$$H = (K_r \cdot K_s \cdot K_f) \cdot H_0$$

Les valeurs portées sur les épures de réfraction orthogonales, représentées sur les diverse épures de réfraction sont égales à :

$$H/H_0 = K_r \cdot K_s \cdot K_f = K$$

K_r : Coefficient de réfraction pure $=\sqrt{B_0/B}$

B_0 : espacement de deux orthogonales au large

B : espacement de deux orthogonales au point considéré

K_s : coefficient de Shoaling

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{M} \frac{C_0}{C}} \quad \text{avec } M = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 4\pi d/L}{\text{Sh}(4\pi d/L)} \right)$$

C_0 = célérité de houle au large

c = célérité de la houle au point considéré

d = profondeur

L = longueur d'onde

V.2.1.1 - Présentation des résultats

Les résultats, sont présentés sous forme de listing en fonction de la direction et période pour chaque point.

t : le temps correspondant avec l'intervalle de $2T$ (s)

S : la distance parcourue

x et y : coordonnées du point étudié

A : angle d'incidence de la houle pour une hauteur relative

U : coefficient d'ursèle

K_s : coefficient de shoaling

K_{RA} : coefficient de réfraction

K_r : coefficient de frottement

Les profondeurs sont calculées et introduites dans le programme, à chaque nœud de maillage.

V.3 - Choix des directions et périodes

4 directions accompagnées de trois périodes de la houle sont étudiées.

Tableau N°10

Direction de la houle	Périodes
NORD (0°N)	6 - 8 - 10 s
NORD-OUEST (330° OON)	6 - 8 - 10 s
NORD-EST (45° OON)	6 - 8 - 10 s
NORD-EST (65° OON)	6 - 8 - 10 s

les périodes choisies sont celles susceptibles d'agir sur le site.

Résultats : On établit les épures de réfraction (voir annexe), pour chaque direction et pour chaque période considérée. Le coefficient de réfraction K_r est mesuré à une distance de 850 m de la côte et à (-15 m) de profondeur. Ce choix, nous est imposé par la condition de validité du coefficient d'ursell, on pourra ainsi déterminer les caractéristiques de la houle avant déferlement.

Le tableau ci-dessous indique, que les houles atteignant le site, sont peu ou pas réfractées, le coefficient de réfraction pour les 4 directions et pour les trois périodes est compris entre 0,66 à 0,91.

Les houles qui ont un impact important sur le site, sont les houles du secteur Nord (0°, 00N) et celle du secteur Nord-Ouest (330° 00N), d'où la nécessité de les prendre en considération, pour une meilleure analyse des phénomènes d'évolution de la côte, et la répartition énergétique.

Tableau N°11 : Caractéristiques de la houle avant déferlement

DIRECTIONS (Deg)	PERIODES (S)	Coefficient de réfraction à 850 m de la côte	Angle d'arrivée (degré)
330° 00 N	6	0,85	337
	8	0,75	343
	10	0,67	348
0° 00 N	6	0,91	2,5
	8	0,90	4
	10	0,89	5
45° 00 N	6	0,90	41
	8	0,88	39
	10	0,83	37
65° 00 N	6	0,82	56
	8	0,78	52
	10	0,66	45

V.4 - Houle au voisinage de la côte

De par l'examen de la corrélation entre H_s et T_s , on constate qu'aux faibles houles correspondent de faibles périodes. Les observations enregistrées dans la région d'AOKAS, ont aboutit aux résultats suivants :

Tableau N° 12 : Corrélation entre la hauteur significative et la période.

H_s (m)	T_s (s)
< 2,25 m	6s
3 m à 4,75 m	8s
> 5m	10s

Afin d'estimer la houle à la côte pour chaque direction, il sera tenu compte de cette corrélation H et T , en prenant pour données de base celles du S.S.M.O.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de la houle à la côte par direction avec toutes périodes confondues.

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

$$P_n = 1/3. 365.n$$

Tableau N°13 : Caractéristiques de la houle à la côte

Période de houle	DIRECTION			
	Nord	Nord-Est 45°	Nord-Ouest 65°	Nord-Ouest
Biennal	4,11 m	2,96 m	2,57 m	4,17 m
Quinquennale	4,86 m	3,42 m	2,99 m	4,78 m
Décennale	5,42 m	3,80 m	3,30 m	5,23 m
Vingtennale	5,98 m	4,16 m	3,61 m	5,68 m
Cinquantennale	6,13 m	4,64 m	4,02 m	6,28 m
Centennale	7,29 m	5,00 m	4,34 m	6,73 m

Les courbes de régression sont données ci-après :

(fig 7a,b,c,d) on procède de la même manière que pour la houle au large.

L'équation de la courbe de régression linéaire est de la forme : $y = A \ln(x) + B$

- Direction Nord Ouest

$$A = -0,65 ; B = -0,85 ; K = -0,99 \implies$$

$$H_s = -0,65 \ln(P_n) - 0,85$$

- Direction Nord

$$A = -0,91 ; B = -2,12 ; K = -0,96 \implies$$

$$H_s = -0,091 \ln(P_n) - 2,12$$

- Direction Nord-Est (45°)

$$A = -0,52 ; B = -1,04 ; K = -1,00$$

$$H_s = -0,52 \ln(P_n) - 1,04$$

- Direction Nord-Est (65°)

$$A = -0,45 ; B = -0,90 ; K = -0,99$$

$$H_s = -0,4$$

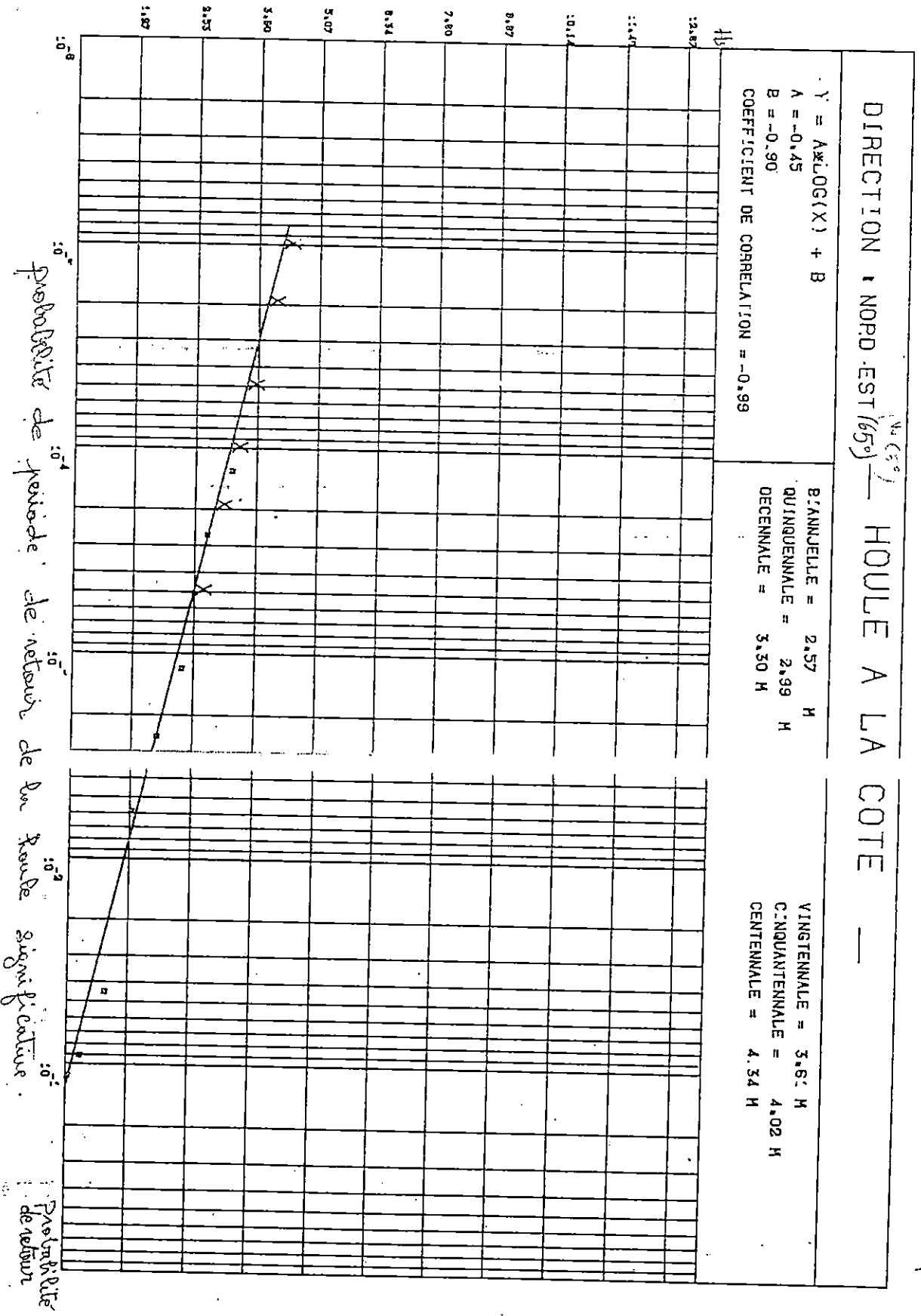


Fig. 55'

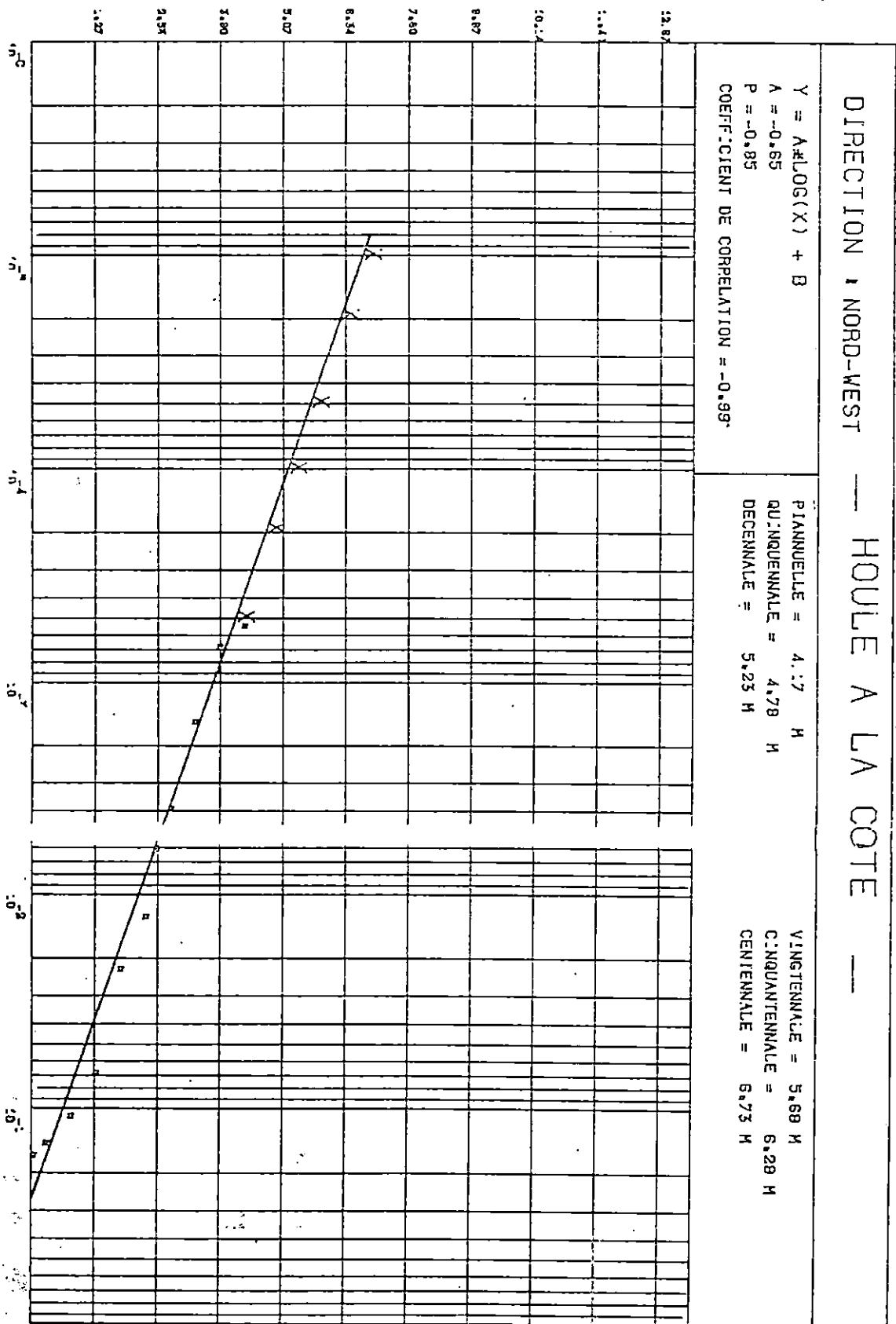


Fig: 6c

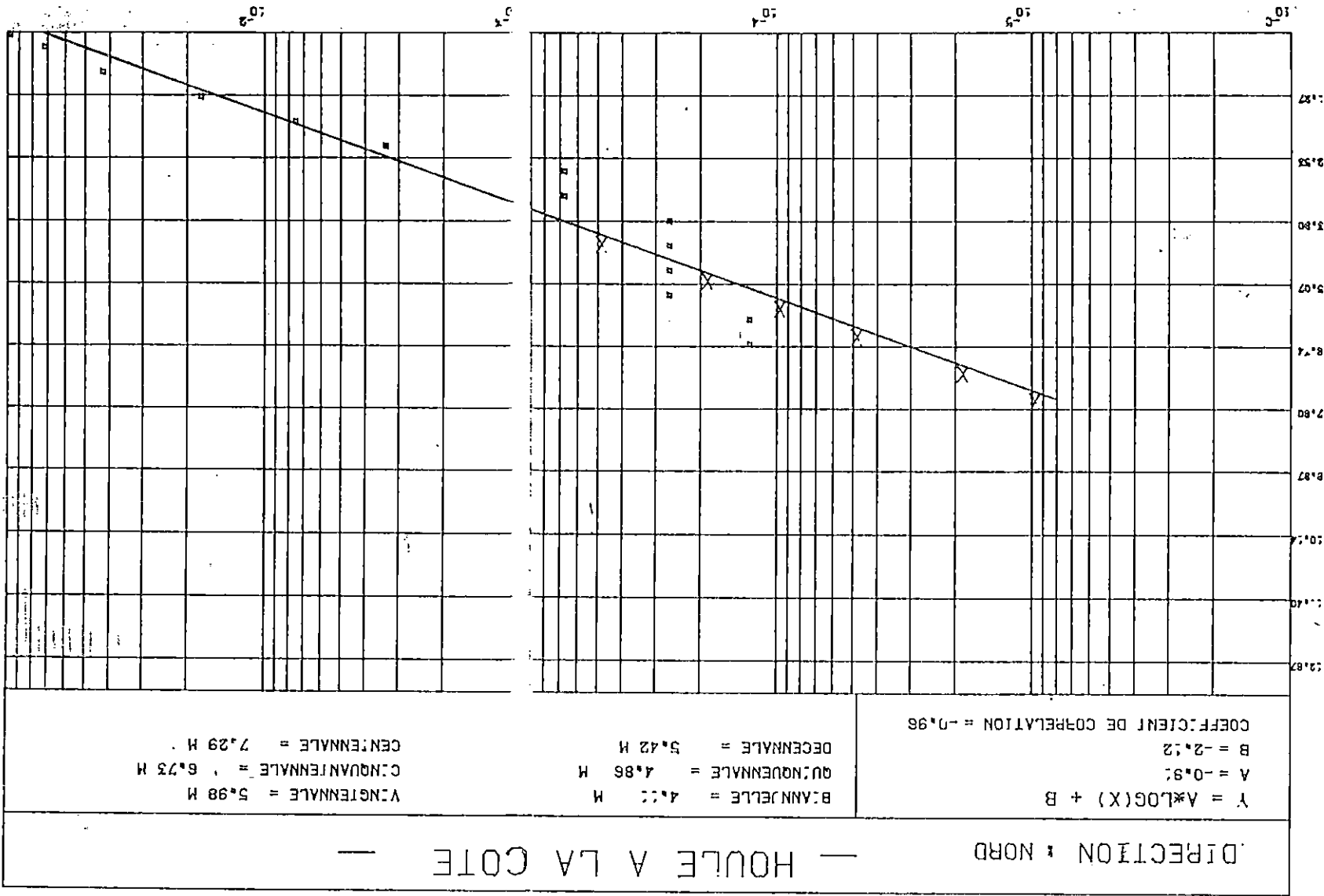


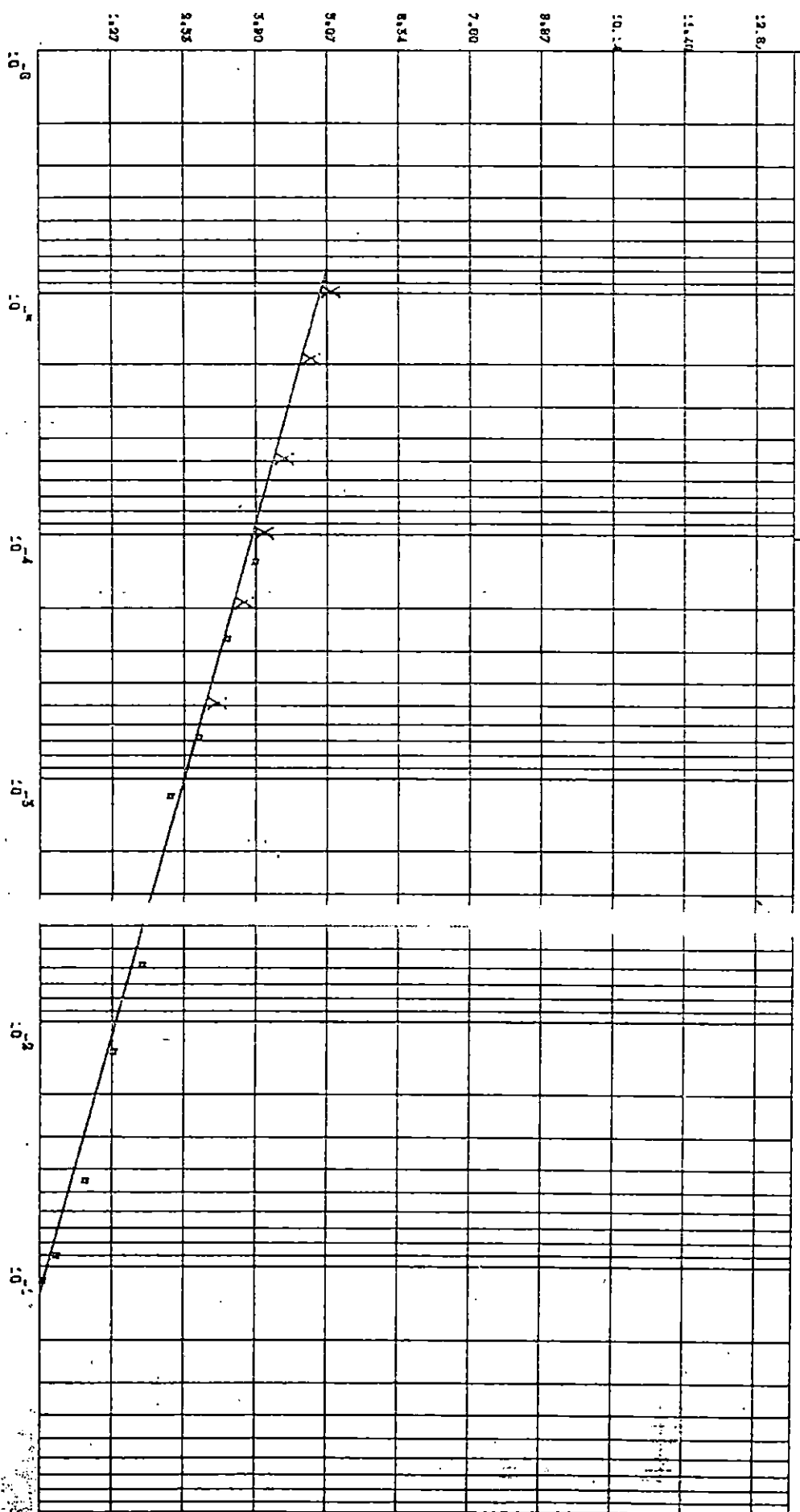
Fig: 6 J

DIRECTION : NORD-EST (45°) — HOULE A LA COTE —

Y = A * LOG(X) + B
 A = -0,52
 B = -1,04
 COEFFICIENT DE CORRELATION = -1,00

BIANNUELLE = 2,96 M
 QUINQUENNALE = 3,42 M
 DECENNALE = 3,80 M

VINGTENNALE = 4,18 M
 CINGQUANTENNALE = 4,64 M
 CENTENNALE = 5,00 M



V.5 - ESTIMATION DU TRANSIT SEDIMENTAIRE

(Bilan énergétique annuel)

V.5.1 - Introduction

Les ordres de grandeurs du déplacement de sédiments parallèlement à la côte, pourraient être évalués à partir de différentes formules, dont la plus utilisées est :

$$Q = \frac{K}{C} g \cdot Hs^2 \cdot T \cdot t \cdot f(\alpha) \quad (\text{J-Chapon 1984})$$

Avec : Q = volume de sable transporté en m^3/an
 C = cambrure de la houle égale à 3%
 K = coefficient de transport, pour un sable, pris égale

à $2,5 \cdot 10^{-6}$

Hs = amplitude significative de la houle
 T = période de la houle en seconde
 t = durée d'action de la houle en seconde
 $f(\alpha)$ = fonction de l'obliquité de la crête de la houle avec la côte
 g = accélération de la pesanteur (9.81 m / s^2).

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

* Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par :

$$H^2 \cdot T \cdot t$$

* L'obliquité de la houle (α).

V.5.2 - Calcul du bilan énergétique annuel : $Hs^2 \cdot T \cdot t$.

Pour cela, on doit calculer, la moyenne des fréquences pour chaque période et pour chaque direction :

Tableau N°15 : Moyennes des fréquences par période et par direction

PERIODE \ DIRECTION	6 s	8 s	10s
N.O. 330°	$8.60 \cdot 10^{-2}$	$1.59 \cdot 10^{-3}$	
N 0°	$4.47 \cdot 10^{-2}$	$4.48 \cdot 10^{-4}$	$1.70 \cdot 10^{-4}$
N.E. 65°	$4.91 \cdot 10^{-2}$	$3.20 \cdot 10^{-4}$	
N.E. 45°	$4.20 \cdot 10^{-4}$	$3.41 \cdot 10^{-4}$	
MOYENNE	$5.10 \cdot 10^{-2}$	$6.30 \cdot 10^{-4}$	$1.70 \cdot 10^{-4}$

V.5.2.1 - Calcul de Hs annuelle pour chaque période et chaque direction :

Sachant que : $H_s = B + A \ln P$;

et A et B étant les constantes des courbes de régression :

* Pour T = 6 s

Directions :

N.E. (45°) =====> $H_s = -1.04 - 0.52 (\ln 0.051) = 0.51$
 N.E. (65°) =====> $H_s = -0.90 - 0.45 (\ln 0.051) = 0.44$
 N (0°) =====> $H_s = -2.12 - 0.91 (\ln 0.051) = 0.58$
 N.O. (330°) =====> $H_s = -0.85 - 0.65 (\ln 0.051) = 1.08$

=====> Moyenne pour 6 s =====> $H_s = 0.65$

* Pour T = 8 s

Directions :

N.E. (45°) =====> $H_s = -1.04 - 0.52 (\ln 0.00063) = 2.79$
 N.E. (65°) =====> $H_s = -0.90 - 0.45 (\ln 0.00063) = 2.41$
 N (0°) =====> $H_s = -2.12 - 0.91 (\ln 0.00063) = 4.58$
 N.O. (330°) =====> $H_s = -0.85 - 0.65 (\ln 0.00063) = 3.94$

=====> Moyenne pour 8 s =====> Hs = 3.43

* Pour T = 10 s

Directions :

N (0°) =====> Hs = -2.12 - 0.91 (Ln 0.00017) = 5.78

=====> Moyenne pour 10 s =====> Hs = 5.78

V.5.2.2 - Calcul du temps t:

$$\text{avec : } t = \frac{365 \cdot 24 \cdot 3600}{100} \cdot f (\%)$$

et f = fréquence d'observation, pour chaque période et chaque direction

* Pour calculer la fréquence d'observation, on utilise les données des tableaux N°14 (a, b, c) tirées du S.S.M.O.

Direction Nord - Ouest

$$- 6 \text{ s } \text{-----}> f = \frac{149+329+298+114+218}{7815} \cdot 100 = 14.18$$

$$- 8 \text{ s } \text{-----}> f = \frac{67+49+20+17}{7815} \cdot 100 = 1.96$$

$$- 10 \text{ s } \text{-----}> f = \frac{7+1+4}{7815} \cdot 100 = 0.15$$

Direction Nord

$$- 6 \text{ s } \text{-----}> f = \frac{178+219+178+8+31}{7815} \cdot 100 = 8.78$$

$$- 8 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow f = \frac{16+4+3}{7815} \cdot 100 = 0.29$$

$$-10 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow f = \frac{2}{7815} \cdot 100 = 0.025$$

Direction Nord - Est

$$- 6 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow f = \frac{188+335+225+60+24}{7815} \cdot 100 = 10.65$$

$$- 8 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow f = \frac{10+4+3+1}{7815} \cdot 100 = 0.23$$

$$-10 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow f = \frac{\quad}{7815} \cdot 100 = 0.013$$

* Calcul du temps t pour les directions :

- Nord - Ouest

$$- 6 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow t = \frac{365.24.3600}{100} \cdot 14,18 = 4471804,80 \text{ s}$$

$$- 8 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow t = \frac{365.24.3600}{100} \cdot 1,96 = 618105,60 \text{ s}$$

$$-10 \text{ s} \text{ -----} \rightarrow t = \frac{365.24.3600}{100} \cdot 0,15 = 47304 \text{ s}$$

- Nord :

$$. 6 \text{ s} \text{ -----} t = 2768860,80 \text{ s}$$

. 8 s ----- t = 91454,40 s

.10 s ----- t = 7884 s

- Nord - Est :

6 s ----- t = 3358584 s

. 8 s ----- t = 72532,80 s

.10 s ----- t = 4099,68 s

Tableau N° : 16 Représentation du bilan énergétique

	CLASSEMENT D'AMPLITUDE	0 - 2.25	3 - 4.75	> 5	TOTAL PAR SECTEUR
	Hs annuelle (m)	0.65	3.43	5.78	
Secteur	T(s)	6 s	8 s	10 s	
Nord - Ouest	(%)	14.18	1.96	0.15	
	$m^2 \cdot s^2 \cdot 10^6$	11.34	58.17	15.8	85.31
Nord	%	8.78	0.29	0.025	
	$m^2 \cdot s^2 \cdot 10^6$	7.02	8.61	2.64	18.27
Nord-Est	%	10.65	0.23	0.013	
	$m^2 \cdot s^2 \cdot 10^6$	8.51	6.83	1.37	16.71
Total					121

Tableau récapitulatif du bilan énergétique

V.5.2.3 - Conclusion

Le bilan énergétique à 15 m de profondeur, a été estimé à $121,00 \cdot 10^9 m^2 \cdot s^2$. Ce résultat nous permettra d'établir le transit sédimentaire, et d'évaluer ainsi le volume déplacé.

V.5.3 - L'obliquité de la houle (α)

Sachant que $f(\alpha) = \sin(7/4) \cdot \alpha$

5.3.1 - Evaluation de l'angle α et la fonction $f(\alpha)$ pour chaque direction et pour chaque période :

(α est tiré du tableau n°11)

Pour déterminer théoriquement le transit le long de la côte, directement lié la houle au large, il est nécessaire d'évaluer l'angle (α) et la fonction $f(\alpha)$ qui en découle. L'obliquité de la houle avec la ligne de rivage, étant supposée mesurée pour la profondeur de 15 à 20 m, les valeurs de α et $f(\alpha)$, sont données dans le tableau ci-dessous. Il est supposé que la côte, fait un angle de 72° avec la direction du nord. Elle est orientée Nord-Ouest, Sud-Est. L'obliquité des crêtes de la houle, est calculée par réfraction pour des fonds de -15 m.

Tableau N°17 Evaluation de α et $f(\alpha)$

Période / Direction		6 s	8 s	10 s
Nord-Ouest	α	7	13	18
	$f(\alpha)$	0.21	0.39	0.52
Nord	α	2.5	4	5
	$f(\alpha)$	0.076	0.12	0.15
Nord - Est	α	4	6	8
	$f(\alpha)$	-0.12	-0.18	-0.24

Remarque : Le signe (+) correspond par hypothèse à un transit Ouest - Est.

V.5.3.2 - Estimation du transit sédimentaire

Le bilan du transit sédimentaire est récapitulé ci-après.

Tableau N° 18 Estimation du transit sédimentaire

	CLASSES D'AMPLITUDE	0 - 2.25	3 - 4.75	>5	Total par Secteur
	Hs annuelle (m)	0.65	3.43	5.78	
Secteur	T(s)	6	8	10	
Nord-Ouest	Q (m ³ /an)	1945	18546	6717	27208
Nord	Q (m ³ /an)	436	845	324	1605
Nord-Est	Q (m ³ /an)	-835	-1005	-269	-2100

Ainsi, le volume déplacé vers l'Est est de 28800 m³/an

Le volume déplacé vers l'Ouest est de 2100 m³/an

V.5.3.3 - Conclusion :

Le volume résultant ou transit dominant est de l'ouest vers l'Est, et il est de l'ordre de 26700 m³/an.

V.6 - Etude du déferlement de la houle

V.6.1 - Définition

Lorsque la profondeur diminue, la cambrure de la vague augmente jusqu'à atteindre une valeur limite, à ce moment elle devient instable et la lame se détruit.

V.6.2 - La houle de projet

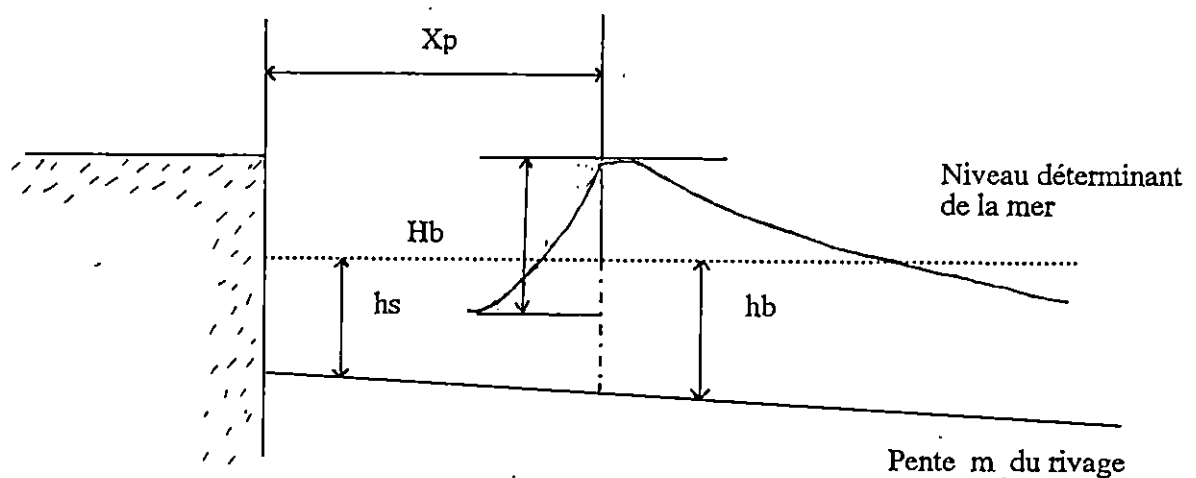
Pour dimensionner notre ouvrage on doit déterminer la houle de projet, qui est représentée dans ce cas (petites profondeurs), par la plus grande vague qui risquerait de déferler directement sur l'ouvrage.

V.6.3 - Calcul du déferlement par la méthode des abaques

V.6.3.1 - Détermination de la hauteur de la lame déferlante H_b

Cette hauteur est déterminée en fonction de :

- h_b = La hauteur d'eau à l'endroit où le déferlement s'amorce.
- X_p = Distance entre l'ouvrage et l'endroit où la houle déferle.
- m = La pente de la plage = 0.05.
- h_s = Hauteur d'eau au pied de l'ouvrage $\approx h_b$.



Avec : $X_p = (4 - 9.25.m). H_b$

A partir de l'abaque de (Weggel), donnant la variation du rapport hb/H_b , en fonction de la pente du fond près du rivage et de la période, et par approximations successives on détermine H_b comme suit :

* Calcul pour toutes directions confondues.

- Période $T = 6$ s :

On prend une valeur de départ, par exemple :

$$H_b = 2 \text{ m}$$

$$h_s = 2 \text{ m}$$

$$X_p = (4 - 9.25. 0,05) . 2 = 7,075 \text{ m}$$

$$h_b = 2 + (7,075 . 0,05) = 2,35 \text{ m}$$

$$H_b \quad 2$$

$$\frac{h_b}{gT^2} = \frac{2,35}{9,81 . (6)^2} = 0,0056, \text{ grâce à l'abaque on aura :}$$

$$\frac{h_b}{H_b} = 1,03 \implies H_b = \frac{2,35}{1,03} = 2,28 \text{ m}$$

=====> Il y a un désaccord entre les deux valeurs de H_b .

On fixe alors une autre valeur pour H_b

$$H_b = 1,30$$

$$X_p = (4 - 9,25 . 0,05) . 1,30 = 4,60$$

$$h_b = 2 + (4,60 . 0,05) = 2,23$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{1,30}{9,81 . (6)^2} = 0,0037 \implies \frac{h_b}{H_b} = 0,98 \implies H_b = \frac{2,23}{0,98} = 2,27 \text{ m}$$

$$\implies H_b = 1,30 \text{ m}$$

- Période $T = 8$ s

$$H_b = 2,40 \text{ m}$$

$$X_p = (4 - 9,25 \cdot 0,05) = 8,50 \text{ m}$$

$$h_b = 2 + (8,50 \cdot 0,05) = 2,42 \text{ m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,40}{9,81 \cdot (8)^2} = 0,0038 \implies \frac{h_b}{H_b} = 0,99$$

$$\implies H_b = \frac{2,42}{0,99} = 2,44$$

$$\implies H_b = 2,44 \text{ m}$$

- Période $T = 10$ s

$$H_b = 2,50 \text{ m}$$

$$X_p = (4 - 9,25 \cdot 0,05) \cdot 2,50 = 8,50$$

$$h_b = 2 + (8,84 \cdot 0,05) = 2,44 \text{ m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,50}{981} = 0,0025 \implies \frac{h_b}{H_b} = 0,95$$

$$\implies H_b = \frac{2,44}{0,95} = 2,56$$

$$\implies H_b = 2,60 \text{ m}$$

Résultats :

$T = 6$ s	$\implies H_b = 1,30$ m
$T = 8$ s	$\implies H_b = 2,40$ m
$T = 10$ s	$\implies H_b = 2,60$ m

V.6.3.2 - Conclusion :

De ces trois résultats, on retiendra la plus grande hauteur qui correspond à $H_b = 2,60$ m et comme période $T = 10$ s

V.7 - Calcul des vitesses du courant de dérive littorale

V.7.1 - Introduction

La zone de maximum de débit sableux, coïncidera avec celle du maximum de vitesse de courant. (Leopold Berthois, 1969).

Leopold Berthois préconise la formule suivante, pour le calcul de la vitesse du courant de dérive.

$$V = K \sqrt{\frac{g \cdot H^3}{T}} \cdot i \cdot \sin 2 \alpha$$

V = vitesse

H = amplitude des lames déferlantes

T = la période des lames

i = la pente moyenne de la plage

α = l'angle des lames, avant réfraction, avec la ligne de rivage

g = accélération de la pesanteur

k = coefficient sans dimension qui dépend de la proportion d'énergie de la houle transmise, de la turbulence générale des lames, et enfin de la rugosité des fonds. K est souvent égal à 2,6.

V.7.2 - Calcul des vitesses du courant par secteur et par période

a) Direction Nord - Ouest :

$$i = 0,05, \quad \alpha = 7^\circ$$

- Période T = 6 s =====> Hb = 1,30 m

$$V = 2,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot (1,30)^3}{6}} \cdot 0,05 \cdot \sin 2 \cdot 7$$

$$V = 0,044 \text{ m/s}$$

- Période T = 8 s =====> Hb = 2,44 m, $\alpha = 13^\circ$

$$V = 2,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot (2,44)^3}{8}} \cdot 0,05 \cdot \sin 2 \cdot 13$$

$$V = 0,11 \text{ m/s}$$

- Période $T = 10$ s =====> $H_b = 2.56$, $\alpha = 18^\circ$

$$V = 2.6 \sqrt{\frac{9.81 \cdot (2.56)^2}{10}} \cdot 0.05 \cdot \sin 2.18$$

$$V = 0.14 \text{ m/s}$$

a) Direction Nord

- Période $T = 6$ s =====> $H_b = 1.30$ m , $\alpha = 2.5^\circ$

$$V = 2.6 \sqrt{\frac{9.81 \cdot (1.30)^2}{6}} \cdot 0.05 \cdot \sin 2.2,5$$

$$V = 0.016 \text{ m/s}$$

- Période $T = 8$ s ; $H_b = 2.44$; $\alpha = 4^\circ$

$$V = 2.6 \sqrt{\frac{9.81 \cdot (2.44)^2}{8}} \cdot 0.05 \cdot \sin 2.4$$

$$V = 0.035 \text{ m/s}$$

- Période $T = 10$ s ; $\alpha = 4^\circ$

$$V = 2.6 \sqrt{\frac{9.81 \cdot (2.56)^2}{10}} \cdot 0.05 \cdot \sin 2.5$$

$$V = 0.042 \text{ m/s}$$

c) Direction Nord - Est

- Période $T = 6$ s , $\alpha = 4^\circ$

$$V = 2.6 \sqrt{\frac{9.81 \cdot (1.30)^2}{6}} \cdot 0.05 \cdot \sin 2.4$$

$$V = 0.025 \text{ m/s}$$

- Période T= 8 s , $\alpha=6^\circ$

$$V= 2,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot (2,44)^2}{8}} \cdot 0,05 \cdot \sin 2 \cdot 6^\circ$$

$$V= 0,052 \text{ m/s}$$

- Période T= 10 s , $\alpha=8^\circ$

$$V=2,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot (2,56)^2}{10}} \cdot 0,05 \cdot \sin 2 \cdot 8$$

$$V= 0,066 \text{ m/s}$$

Tableau N°19 Tableau récapitulatif des vitesses

Période		6 s	8 s	10 s	Total par secteur
Nord	α (Deg)	7	13	18	
	V(m/s)	0,044	0,11	0,14	0,30
Nord	α (Deg)	2,5	4	5	
	V(m/s)	0,016	0,035	0,042	0,10
Nord	α (Deg)	4	6	8	
	V(m/s)	0,025	0,052	0,066	0,15

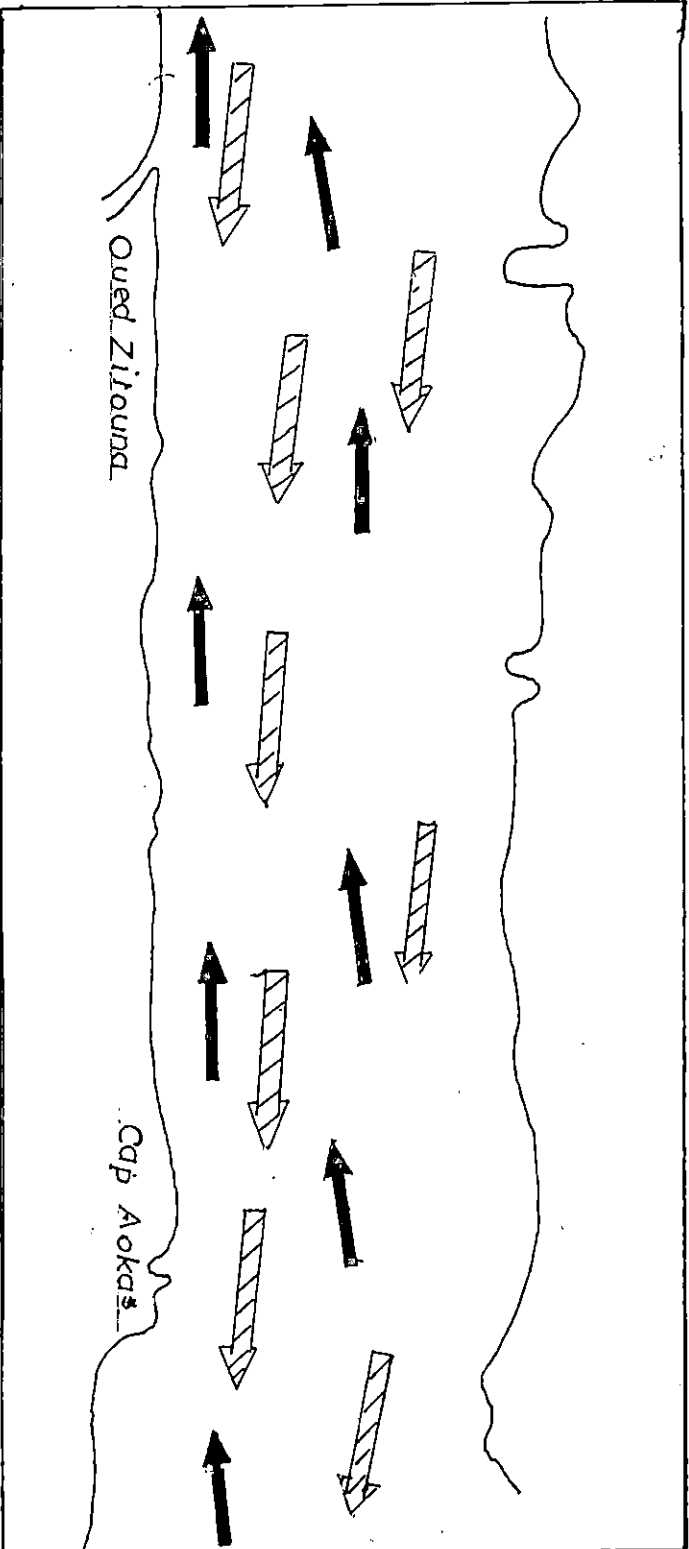
V.7.3 - Conclusion

Les vitesses du secteur Nord - Ouest sont les plus importantes. Ceci explique bien la direction du transit qui se fait de l'Ouest vers l'Est. (fig.7)

FIG:7



VITESSES DES COURANTS DE DERIVES



LEGENDE



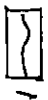
direction N-W

VITESSE = 0,30 m/s

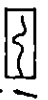


direction N-E

VITESSE = 0,15 m/s



trait de côte



ligne de
deferlement

ECHELLE: 1/40000

VI - RECONNAISSANCE DU SITE

VI.1 - Introduction

Les cartes bathymétriques, constituent un document de base pour l'implantation de tout ouvrage, un levé bathymétrique de la zone a été effectué sur une distance de 1500 m environ à partir de la côte, soit jusqu'à une profondeur de 21 m.

VI.2 - Commentaire de la carte bathymétrique (fig.8)

L'allure des isobathes montre, une pente régulière de 0,05 %. A l'ouest nous n'observons pas de formes complexes. En effet, cette zone semble uniforme et monotone, cependant nous remarquons une incision du fond entre l'isobathe 1 et 11, qui correspondrait, à l'ancien chenal d'écoulement de l'oued Zitouna dévié actuellement vers l'Ouest.

A l'Est, la zone semble être le siège d'un hydrodynamisme plus important, dont l'intensité se traduit à la côte, par un resserrement des isobathes et un sur-creusement large de 200 m à partir de l'isobathe 4.

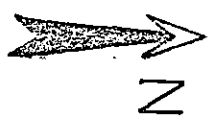
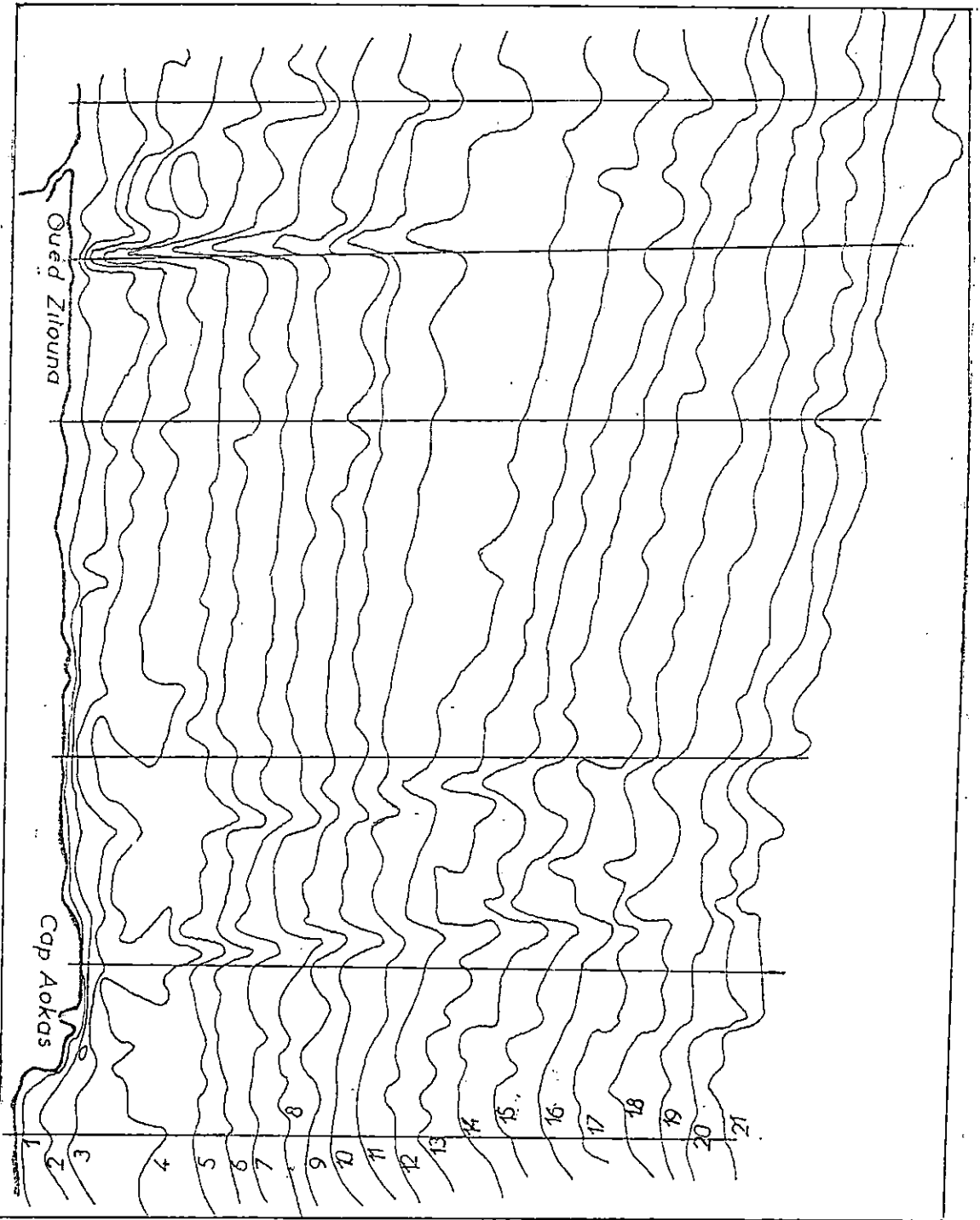
Cette concentration d'énergie à ce niveau, serait due à la présence du Cap Aokas.

VI.3 - COMMENTAIRE DES PROFILS (fig. 9).

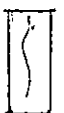
Les six profils montrent en général un fond de faible pente et régulier, sauf pour les profils 2,4,5,6 où la profondeur à la côte est assez importante.

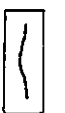
FIG: 8

CARTE BATHYMETRIQUE



LEGENDE

 jzobalhe

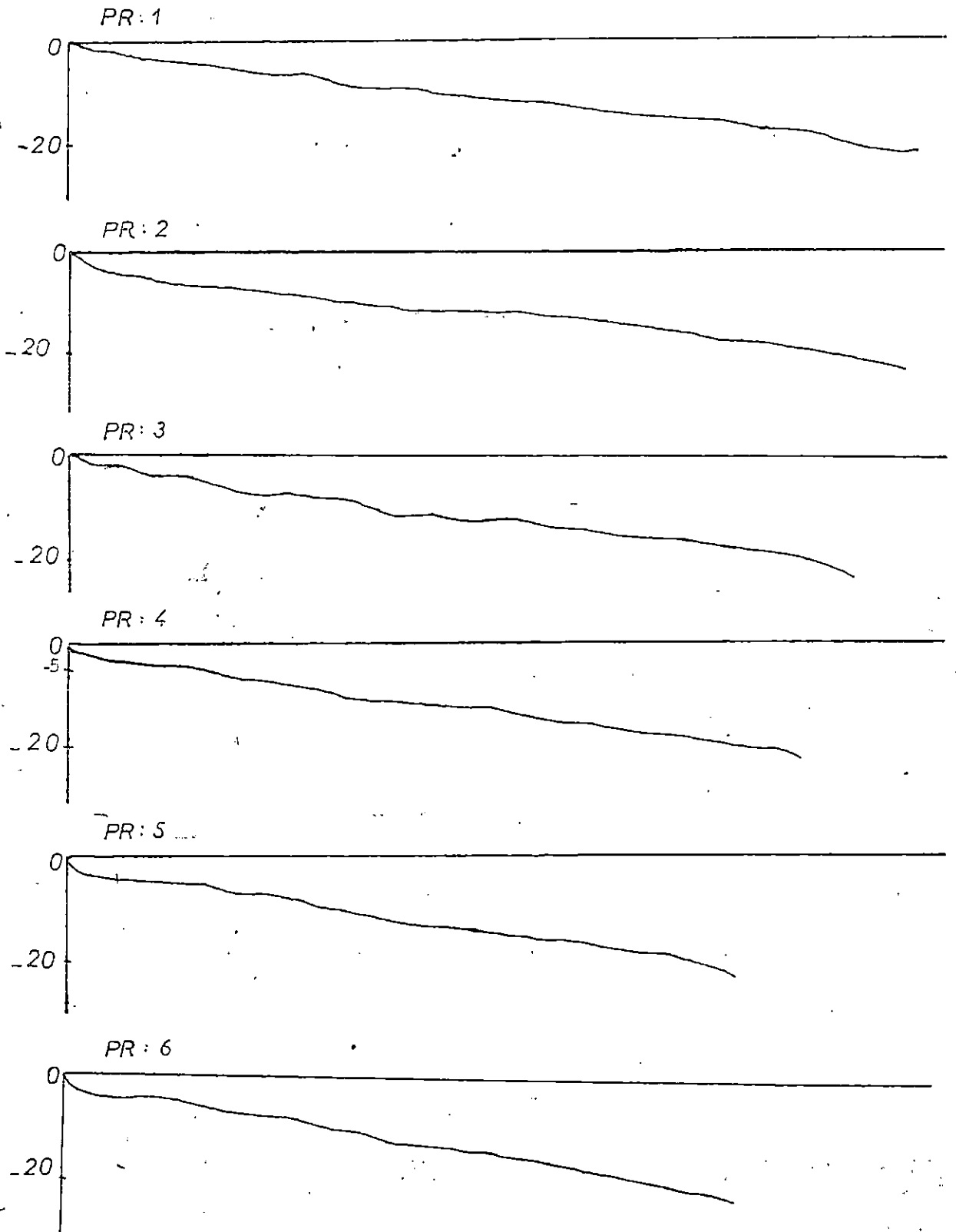
 rrair de côte

ECHELLE

0 100 200

FIG: 9

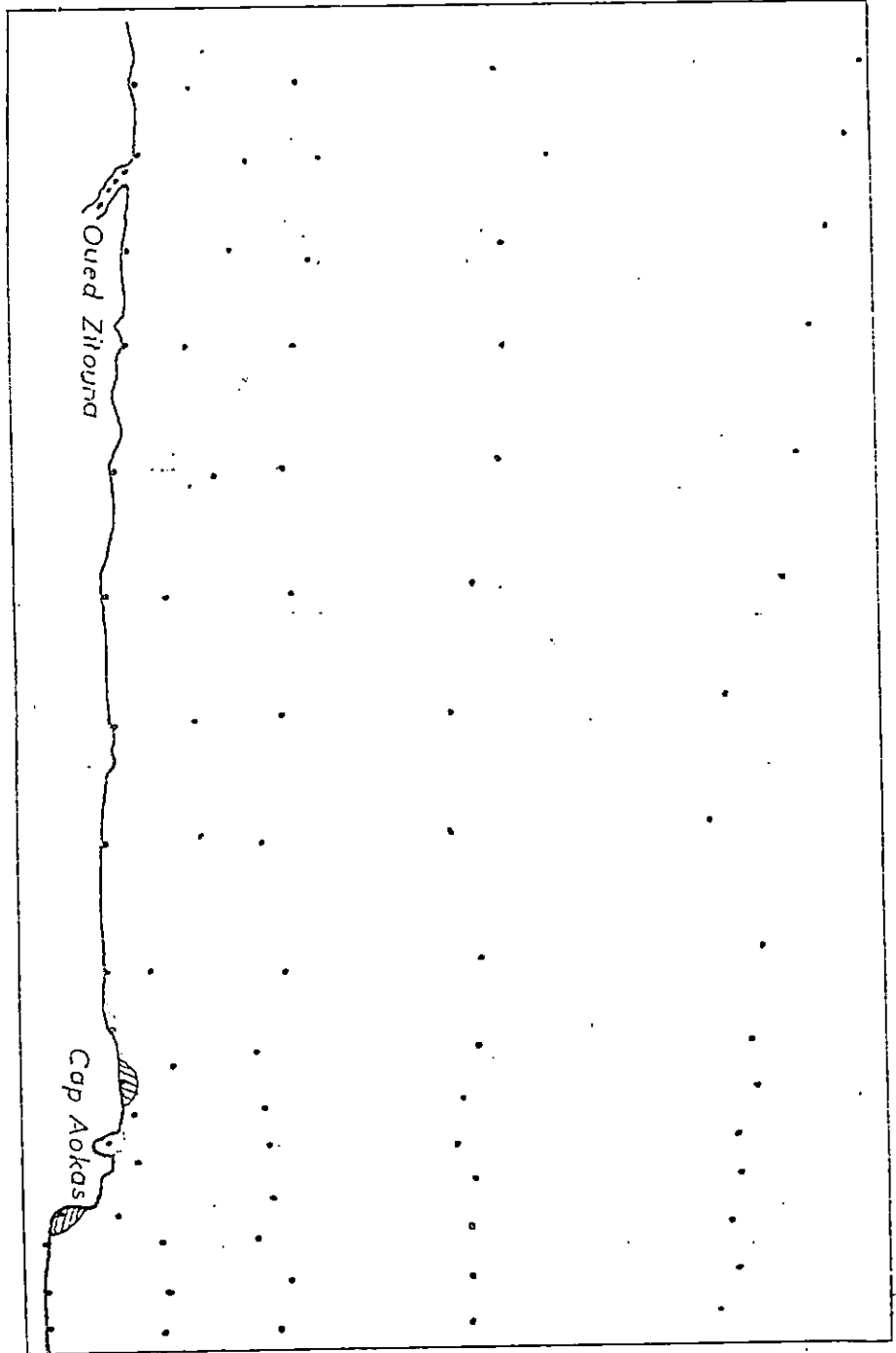
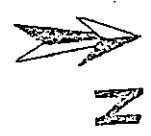
PROFILS BATHYMETRIQUES



ECHELLE : 1/10000

FIG:10

CARTE DE POSITIONNEMENT DES
PRÉLEVEMENTS



VII - ETUDE SIDIMOLOGIQUE

VII.1 - Introduction

En Septembre 1991, une campagne sédimentologique a été effectuée au niveau des eaux côtières de la région d'Aokas, où 84 échantillons de sable ont été prélevés. (FIG:10)

VII.2 - Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique, a pour but de déterminer la distribution en poids, des particules d'un matériaux suivant leurs dimensions.

Celle-ci a été faite, au laboratoire de géologie de l'ISMAL selon la méthode classique.

Les poids recueillis dans chaque tamis selon une cumulation indirecte, sont convertis en pourcentages pondéraux, pour établir les courbes granulométriques cumulatives pour chaque échantillon.

VII.2.1 - Les courbes granulométriques

Les courbes granulométriques, représentent la distribution de la population des grains selon leurs diamètres. Celles-ci sont dressées en coordonnées semi-logarithmiques, afin de permettre une représentation plus précise des particules fines, dont l'influence est capitale dans le comportement des sols (George Filliat 1981).

Ces courbes se repartissent en trois groupes :

VII.2.1.1 - Les courbes unimodales (Fig.11)

Les courbes unimodales sont au nombre de 51, et indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire, elles ont une allure en "S" et sont bien dressées indiquant ainsi un bon tri et un bon classement. Leur médiane moyenne est égale à 181,96 μm . Ces types de courbes, s'étalent surtout au large de la côte d'Aokas. Ceci serait dû à la diminution de la capacité de transport et du remaniement.

VII.2.1.2 - Les courbes bimodales (Fig.12)

Les courbes bimodales sont au nombre de 14 et témoignent de l'existence de deux stocks sédimentaires leur médiane moyenne est égale à 170,68 μm .

FIG: 11

COURBES UNIMODALES

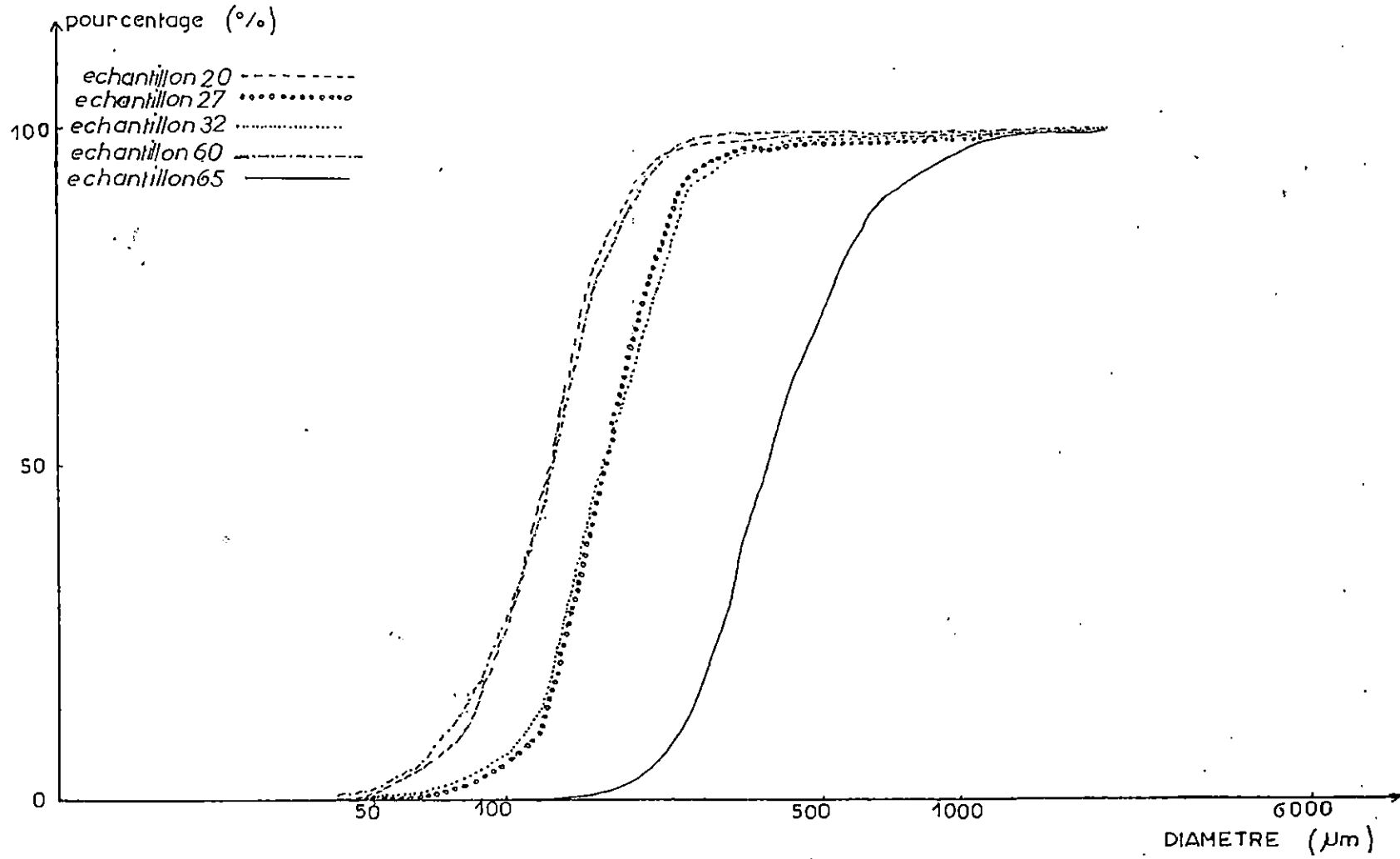
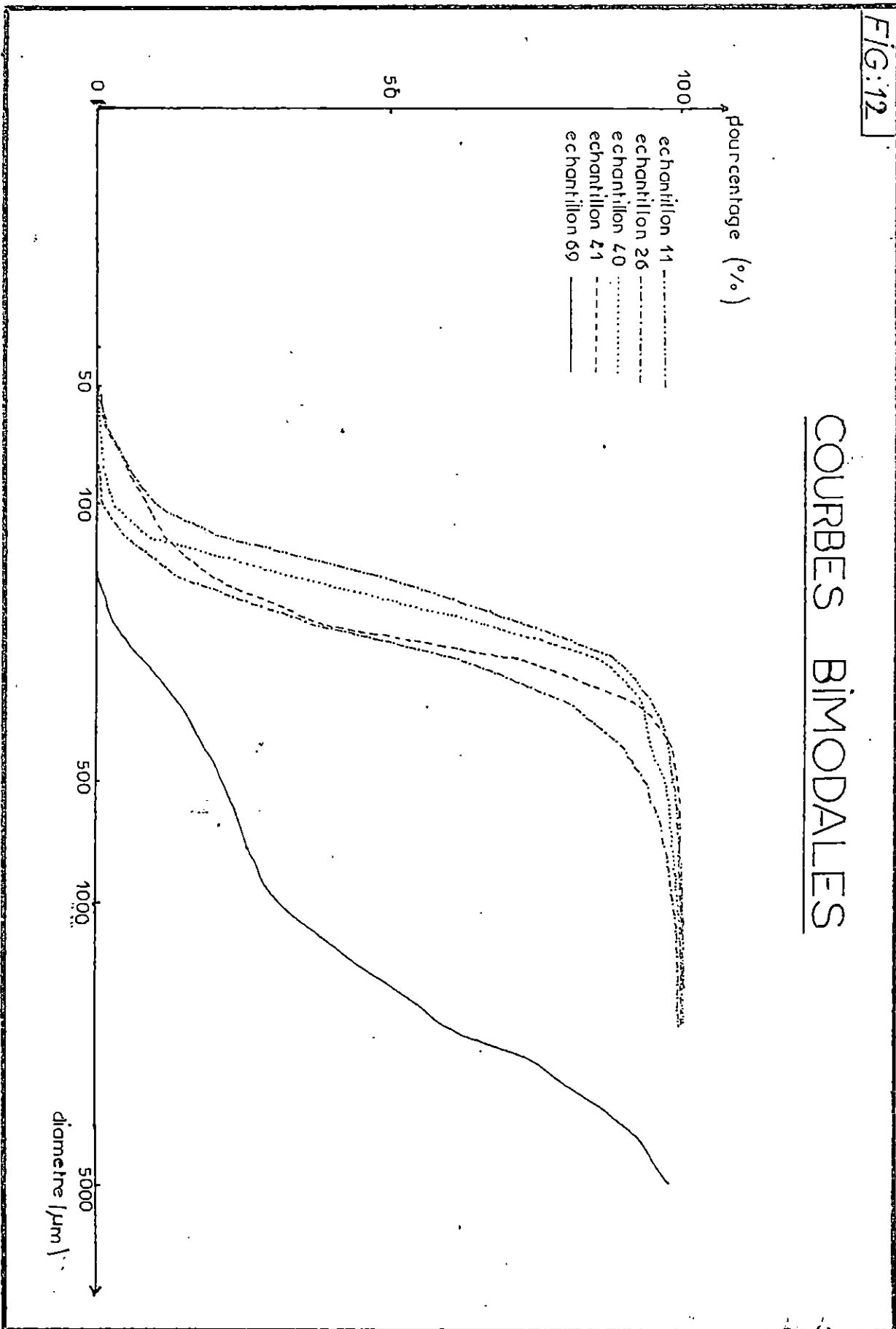


FIG:12

COURBES BIMODALES



VII.2.1.3 - Les courbes plurimodales (Fig.13)

Elles sont aux nombres de 11, elles indiquent la présence de plusieurs populations dynamiques au sein du sédiment, leur médiane moyenne est égale à 1604,06 μm (1,6 mm).

Les courbes bimodales et plurimodales se développent essentiellement au niveau de la côte, ce qui témoigne d'une forte agitation à cet endroit.

VII.2.2 - INDICES ET PARAMETRES SEDIMENTOLOGIQUES

VII.2.2.1 - Carte des médianes (fig.14)

La médiane représente le diamètre du grain dont l'ordonnée est à 50 %, du poids total du sédiment.

Elle nous permet aussi, de calculer les énergies moyennes de transport, d'érosion et de dépôt.

Les valeurs des médianes obtenues dans le secteur d'étude, varient de 132 μm à 4096 μm (sable moyen - sable grossier).

Les valeurs fortes occupent une aire relativement restreinte au niveau de la côte.

VII.2.2.2 - Carte de décile supérieur (P 90) (fig 15)

Le décile supérieur, représente le diamètre du grain dont l'ordonnée est à 90 %, celui-ci permet de situer les zones de dynamisme maximal.

En effet, celles-ci semblent se localiser à la côte au niveau du cap, et à proximité de celui-ci, où nous remarquons des pics vers le large de la courbe isoteneur 300 μm , qui correspondraient à des maximums d'énergie.

A l'Est, les énergies semblent plus faibles.

FIG: 13

COURBES PLURIMODALES

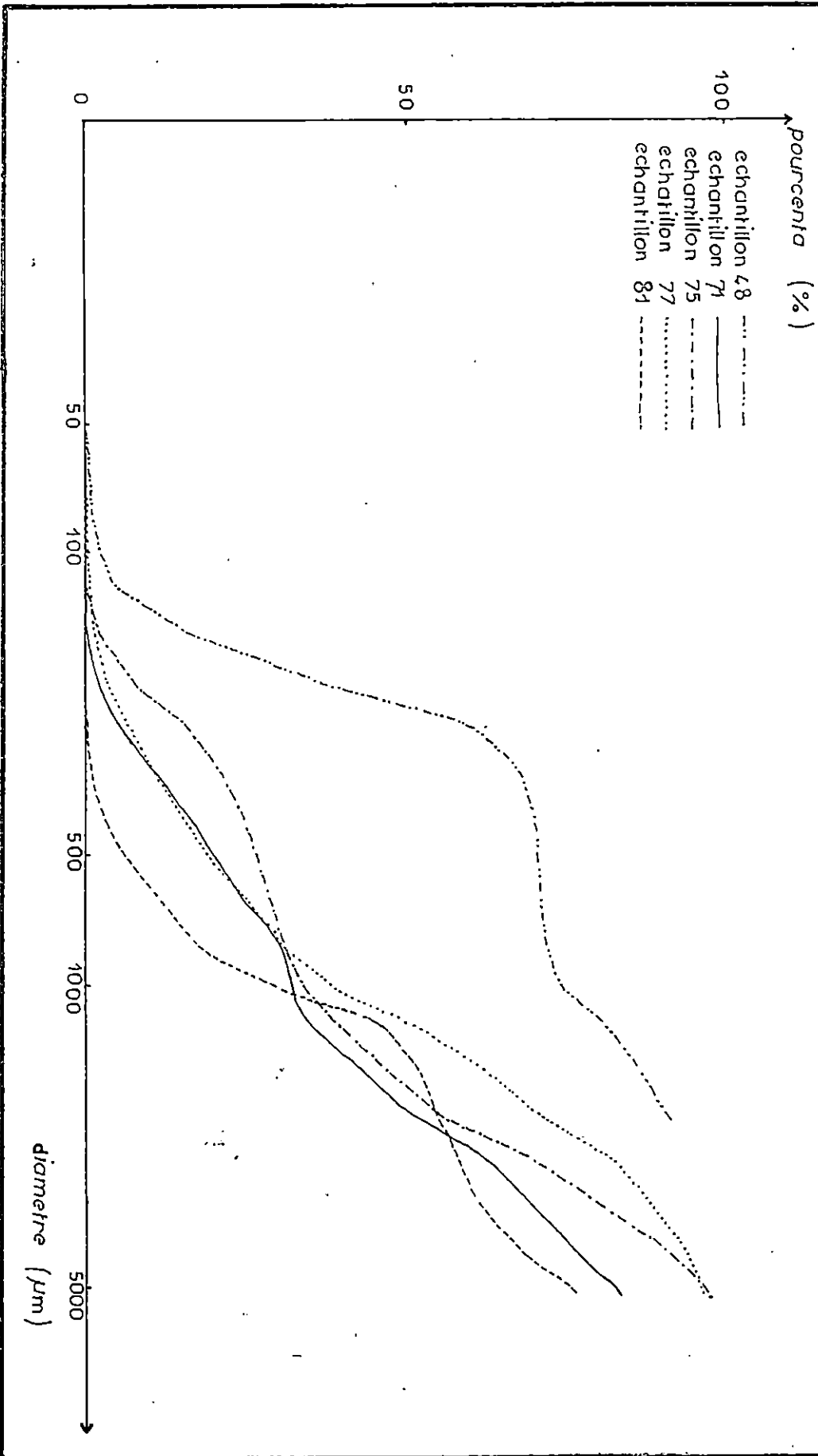
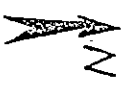
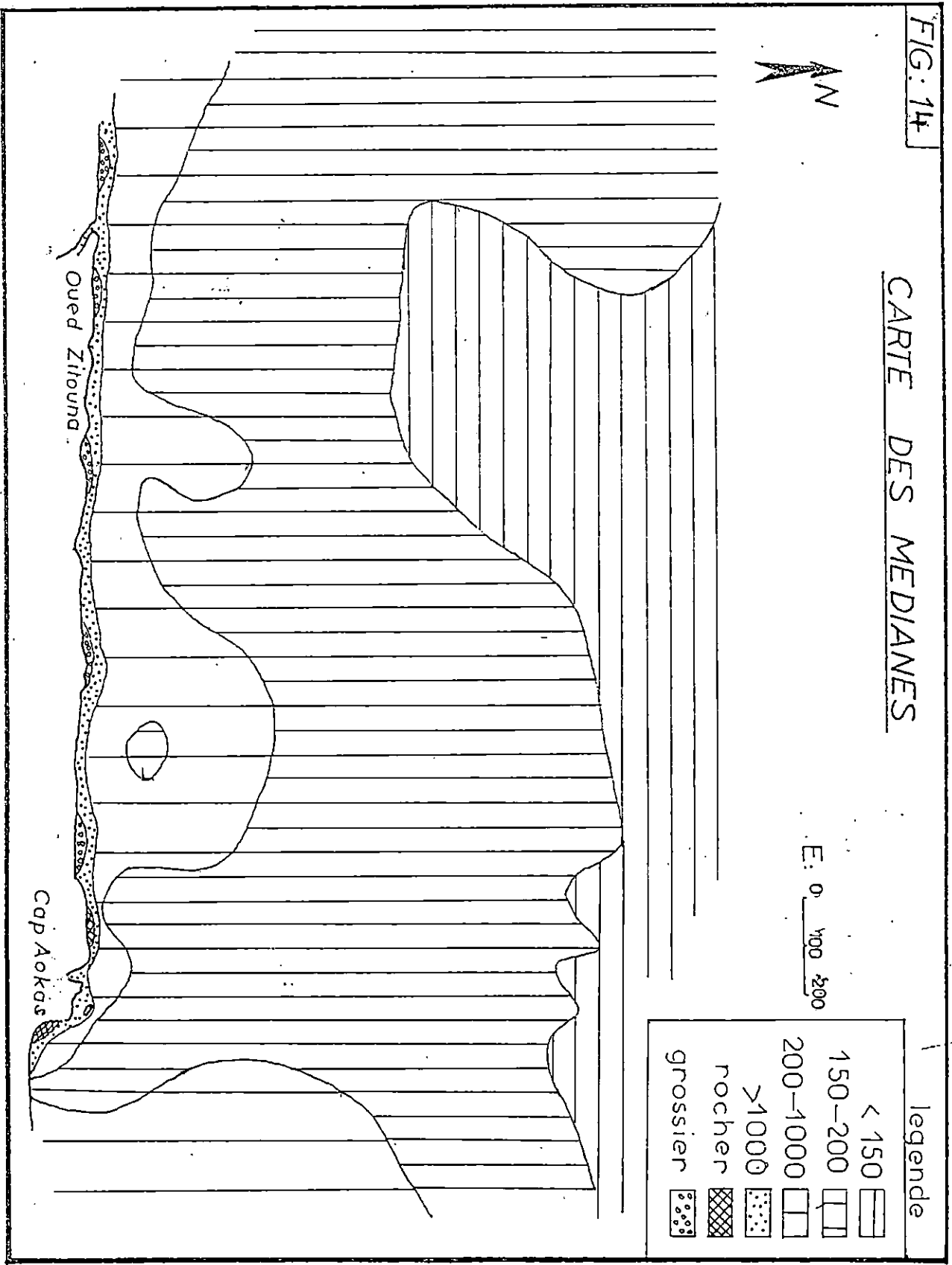


FIG. 14

CARTE DES MEDIANES



E: 0 100 200



legende

< 150

150-200

200-1000

>1000

rocher

grossier

FIG: 15

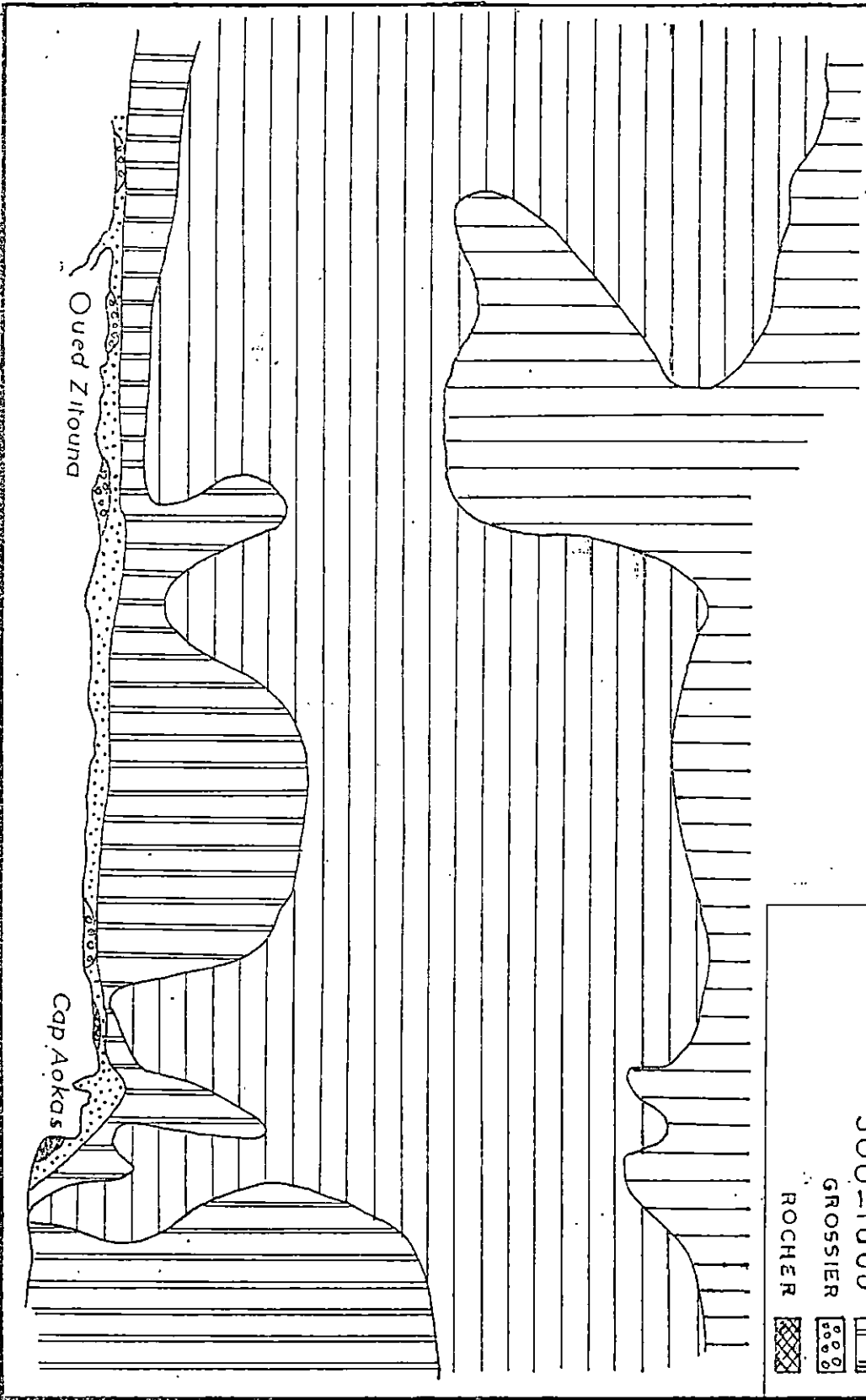
CARTE DU DECILE SUPERIEUR

P 90

legende



> 1000		< 200	
200-300		300-1000	
GROSSIER		ROCHER	



VII.2.3 - Analyse modale

VII.2.3.1 - Introduction

La carte de la répartition des modes, permet d'apporter des précisions quant à la sédimentologie régionale, elle montre le mélange de populations sédimentaires d'origines différentes, et peut expliquer leur modalité de mise en place (PAUC 1973).

Les modes utilisés, sont tirés de la courbe cumulative, c'est l'abscisse correspondant au point d'inflexion de la courbe.

L'histogramme de fréquence (fig 15) des modes, établi grâce à la fréquence d'apparition du même mode, nous a permis de définir 3 classes modales :

Mode	M1	de	40	-	à	100 μ m	(Sable fin)
Mode	M2	de	100	-	à	315 μ m	(Sable moyen)
Mode	M3	de	315	-	à	6300 μ m	(Sable grossier)

VII.2.3.2 - Répartition du mode M1 (Fig. 17)

Ce mode décroît du large vers la côte, avec un max de 28 % au large et un minimum de 0,05 % à la côte, les apports semblent provenir de l'Est par un courant de dérive littorale, et de la côte par les courants de retour.

VII.2.3.3 - Répartition du mode M2 (Fig. 18)

Ce mode est présent en pourcentages importants, et couvre toute la zone. On note cependant une légère croissance des pourcentages, à partir du fond (-2 m) vers le large et une diminution brutale atteignant une valeur de 5 %, allant du fond (-2 m) vers la côte. Selon la carte, ce mode proviendrait de l'Est et de l'Ouest par les courants de dérive.

VII.2.3.4 - Répartition du mode M3 (Fig. 19)

On remarque une nette diminution de ce mode de la côte vers le large, où les teneurs atteignent 0,03 %.

A la côte, on note un max de 85 %. Cette particularité se retrouve surtout dans les cas d'érosion intense.

FIG: 16

HISTOGRAMME DE FREQUENCE

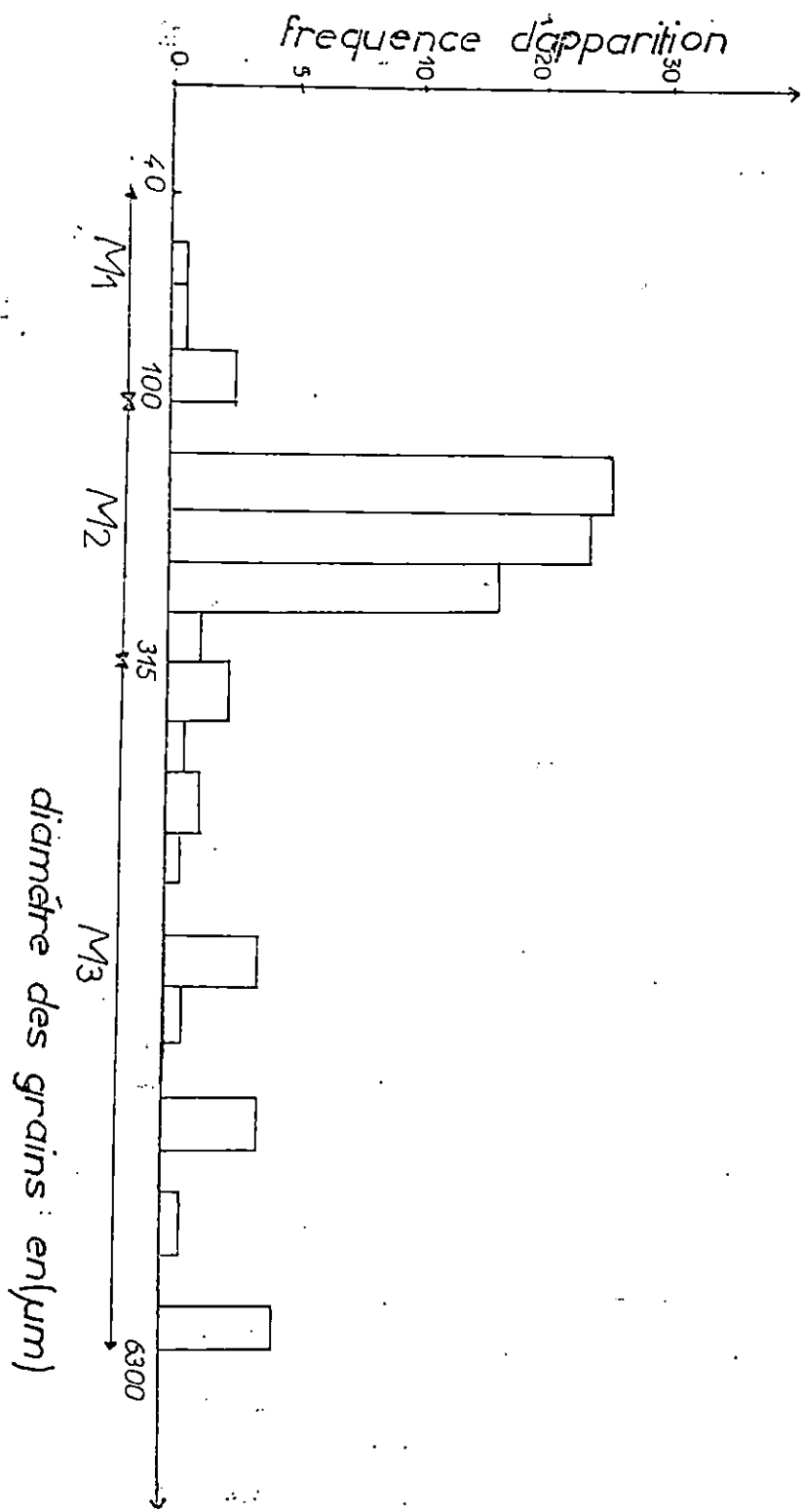


FIG: 17

CARTE DU MODE M₁

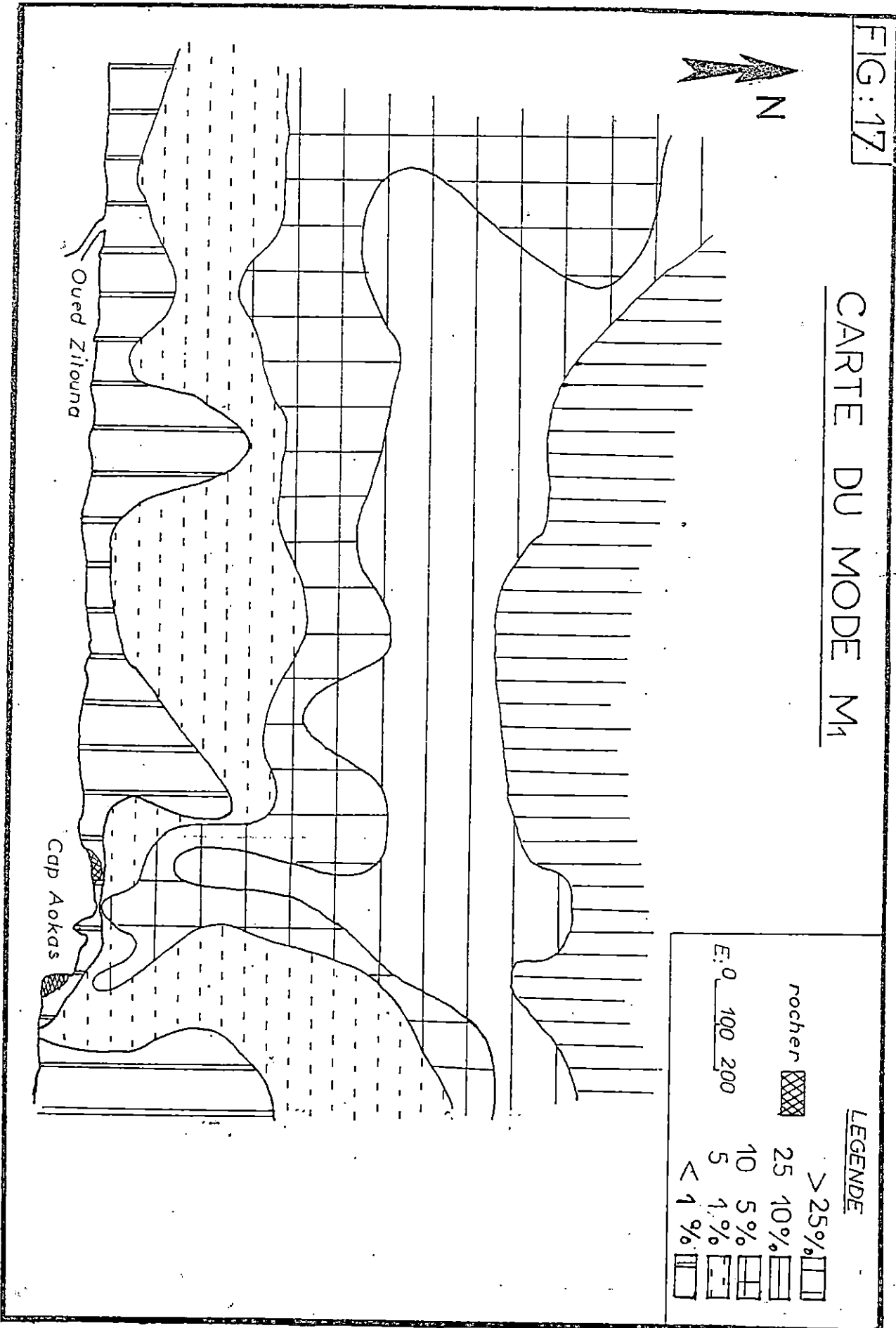
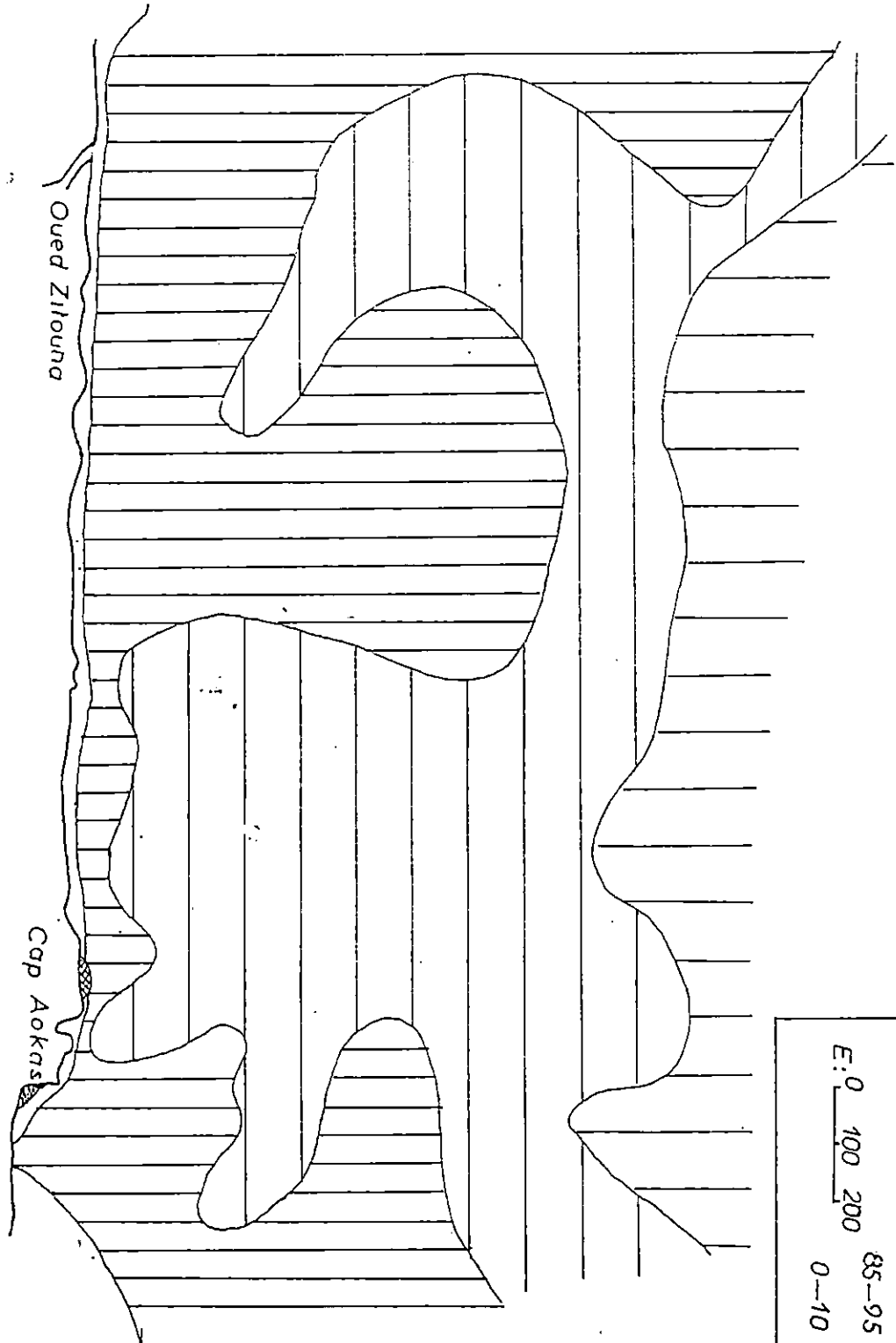
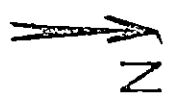


FIG:183

CARTE DU MODE M₂



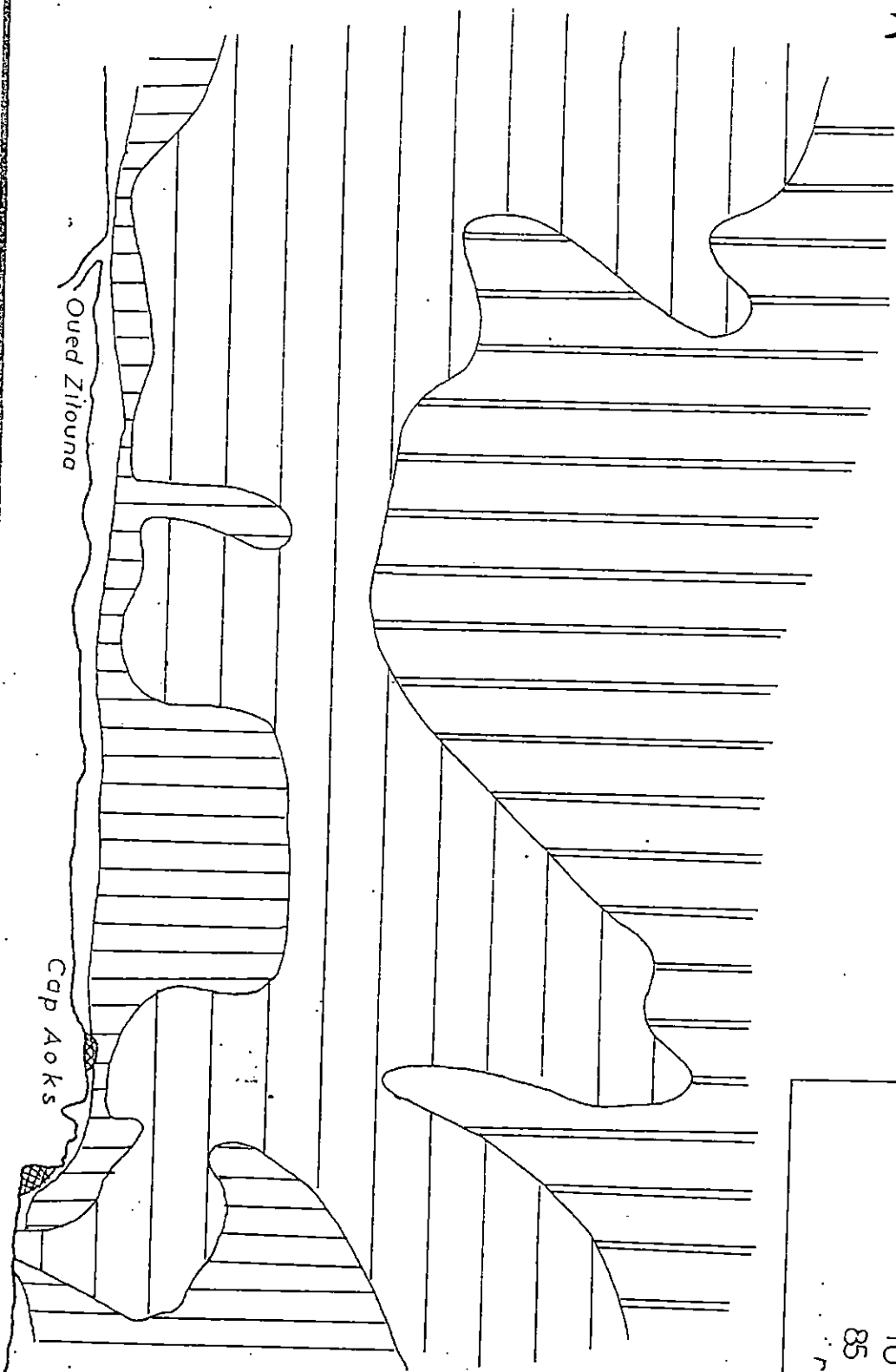
LEGENDE

0-75 %	
rocher	
75-85 %	
85-95 %	
0-10 %	

E: 0 100 200

FIG: 19

CARTE DU MODE M₃ S-G



Oued Ziouna

Cap Aok

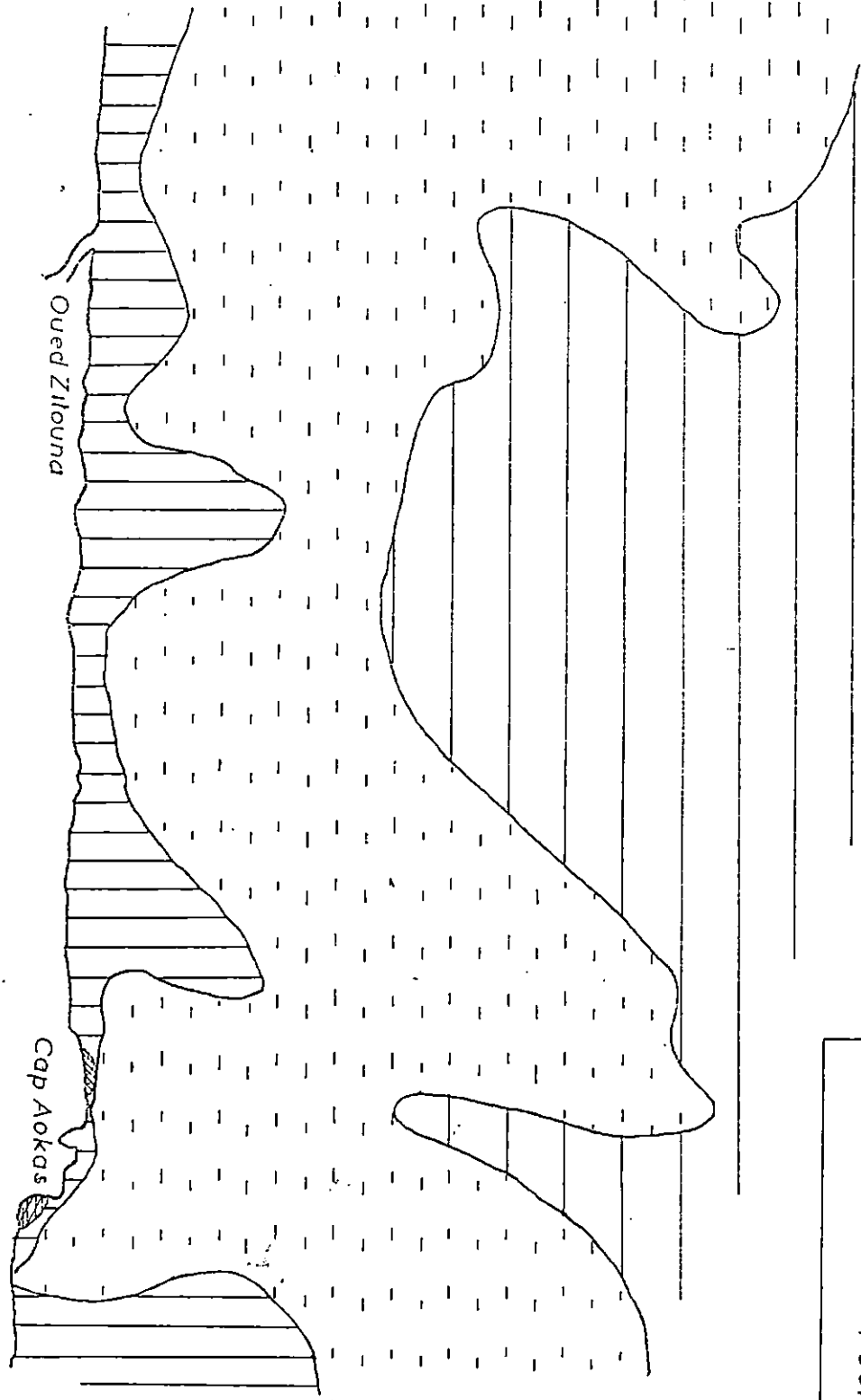
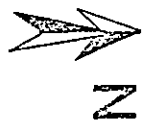
LEGENDE

E: 0 100 200 < 1%

- 1 10%
- 10 85%
- 85 100%
- rdcher

FIG:20

CARTE DES MELANGES



LEGENDE

- $M_1 + M_2$
 - $M_1 + M_2 + M_3$
 - $M_2 + M_3$
 - rocher
- E.0

VII.2.3.5 - Carte des mélanges (Fig.20)

De la côte vers le large on passe successivement des modes M2+M3, M1+M2+M3 et M1+M2.

On constate, que le mode M2 couvre toute la zone, ceci serait dû au fait que le M2 est un mode intermédiaire.

VII.3 - Conclusion

Cette analyse modale confirme la théorie selon laquelle :

“Les éléments fins sont réunis en suspension et entraînés vers le large, les sables remaniés et acheminés dans le sens préférentiel du transport, et les galets peuvent être remontés en haut de l'estran” (Claude Mignot 1982). Dans cette étude nous supposons l'existence de 3 origines, un apport à partir de la côte due aux courants de retour, ceux-ci étant générés par les houles du Nord.

Les deux autres apports seraient dus, à une dérive littorale orientée Oues-Est durant le 1er, 2ème et 4ème trimestre. Durant le 3ème trimestre ce serait une dérive orientée Est-Ouest (voir rose des houles).

La prédominance du transit Est-Ouest, malgré sa durée limitée dans le temps est due au fait que les prélèvements des sédiments se sont fait lors du 3ème trimestre.

VIII - PRESENTATION DU SITE

VIII.1 - Etat actuel du site

VIII.1.1 - Introduction

Notre zone est caractérisée, par la présence d'un cap dans lequel est taillée une falaise. De part et d'autre de ce cap, les plages sont considérablement perdu de leur matériel sédimentaire.

En effet, cette zone semble abriter, une activité érosive des plus intense qui provoque un recul important du rivage .

Sortie Est du tunnel

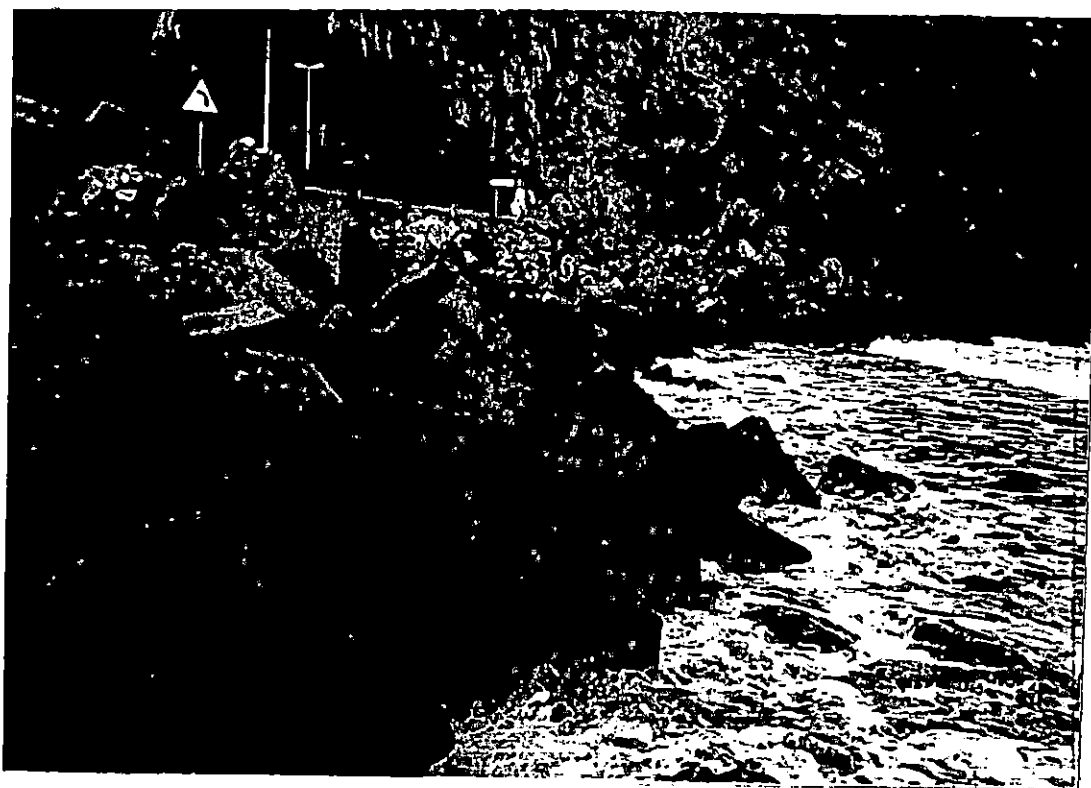


Photo N°1

VIII.1.2 - Historique

La route nationale N°9 reliant la wilaya de Béjaïa à la wilaya de Sétif, a été construite entre 1959 - 1961.

Celle-ci étant une route littorale, une coulée en béton et un mur en pierrage gabionné, ont été mis en place, afin de servir de protection à la route contre les agressions de la mer.

En 1990, la wilaya de Béjaïa ayant constaté l'accroissement considérable du trafic, (15.10^3 véhicules/jour) et l'avancée de la mer a décidé :

- Un dédoublement de la RN N°9 à la sortie de Tichy en route express 2 x 2 coté mer.
- De confier l'étude de la protection de la route ainsi dédoublée au L.E.M.
- De protéger provisoirement la route par la mise en place :
 - * d'enrochements naturels et artificiels de part et d'autre du cap
 - * d'un remblai, en tout venant d'Oued conforté par deux rangées de blocs artificiels de 70 T, et de blocs de 5 tonnes et ceci à 400 m avant l'entrée du tunnel en venant de Tichy.

VIII.1.3 - Etat actuel du Site

En septembre 1992 les actions marines se sont traduites par :

- Destruction du mur en pierrage gabionné photo N°2



Photo N°2

Affouillement à la base de la coulée en béton (photo N°3)



photo N°3

Abrasion des enrochements mis en place (photo N°4)



Photo N°4

- Des cicatrices d'Arrachements récents et des sillons délimitant les prochains glissements (Photo N°5)

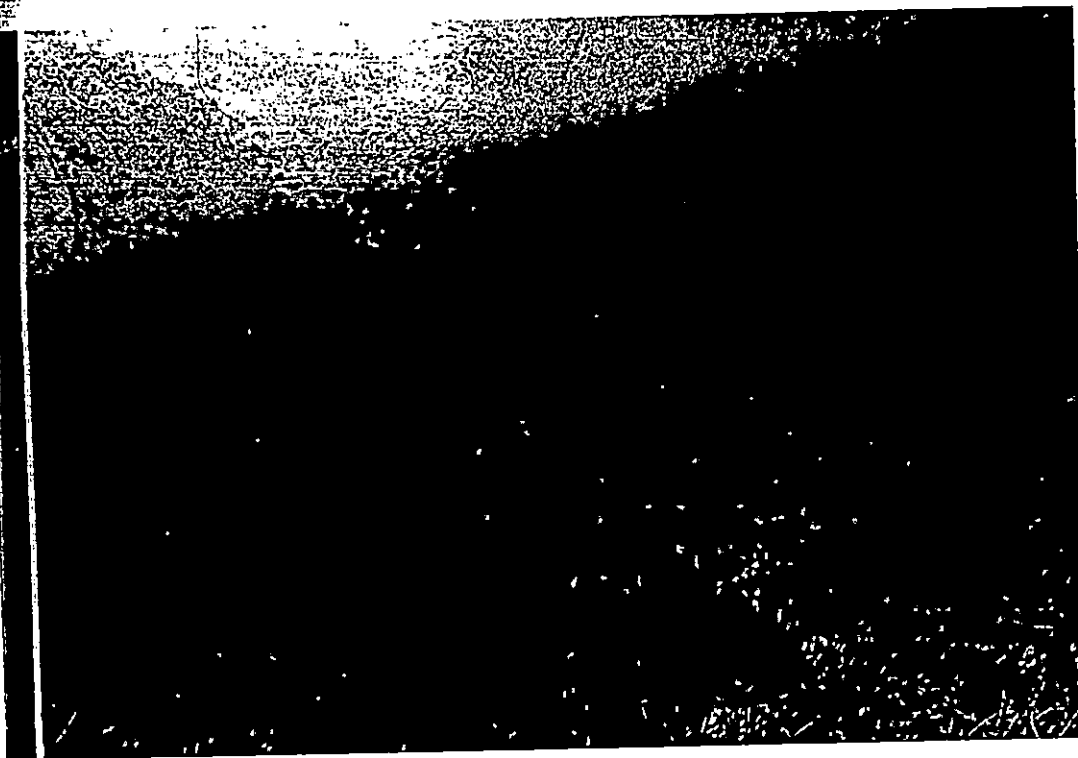


Photo N°5

En février 1993, l'état du site a grâvement évolué

Transformation des plages en grève (Photo N°6)



Photo N°6)

- Destabilisation des blocs et leur enfoncement dans le sable.
- Des glissements de talus de plus en plus proche de la route rendant dangereuse la chaussée pour les piétons.

VIII.2 - Cause de l'érosion

Cette évolution dangereuse, d'une portion de littoral semble être, le résultat d'un grâve déséquilibre du bilan sédimentaire dont l'homme ne serait pas étranger.

En effet, selon le chef de service de développement de la wilaya de Béjaïa; cette dernière ayant connu, durant la décennie 1980 - 1990, un développement en matière de l'urbanisme, a décidé l'ouverture de plus d'une dizaine de sablières, qui seraient actuellement fermées à l'exception de celle de Souk-El-Tenine.

En plus des plages, cette extraction de sable est aussi effectuée au niveau des oueds, ce qui rend difficile, toute tentative de rétablissement de l'équilibre du bilan sédimentaire par la mer.

Aussi cette exploitation sauvage des plages, a provoqué une nette avancée de la mer mettant en danger les habitations limitrophes, en inquiétant sérieusement les habitants de la région.

Ces mêmes habitants ont remarqué, une nette augmentation des cas de noyades durant la période estivale, car selon eux les extractions de sable se feraient même au niveau de la plage sous-marine.

VIII.3 - Conclusion

Perturbé par des extractions de matériaux, un équilibre naturel instable risque d'entraîner sur les rivages, des désordres conduisant à une évolution régressive souvent irréversible : modification du bilan sédimentaire dans le sens d'une plus grande pénurie, accroissement des profondeurs et raidissement des pentes, ce qui rapproche le déferlement du trait de côte et augmente sa puissance, accélère la dérive littorale et les courants sagittaux. (Roland Pascoff, 1968).

IX - AMENAGEMENT

IX.1 - Ouvrage de protection

IX.1.1 - Introduction

En vue de protéger la nouvelle route nationale N°9, nous proposons la mise en place d'un ouvrage de haute-plage, qui longera la portion du linéaire côtier attaqué soit 1,100 km.

IX.1.2 - Intérêt d'un ouvrage de haute-plage

Un ouvrage de haute plage, est un ouvrage longitudinal constitué :

- d'une carapace en enrochements qui supporte directement l'action de la houle .
- d'un noyau constituant le corps de la digue .
- d'un filtre disposé entre le noyau et la carapace, qui assure la transition entre ces deux couches .
- d'une butée de pied qui sert à empêcher, l'enfouissement de la carapace dans le sable, et son affouillement à la base.

L'intérêt d'un ouvrage de haute-plage réside dans la :

- facilité de réalisation
- économique
- sa ruine non immédiate
- les blocs qui ont roulé rendent sa pente plus douce et ralentissent sa destruction.

IX.1.2.1 - Dimensionnement de l'ouvrage

Pour concevoir un ouvrage de haute-plage, nous devons tenir compte des conditions locales tel que : la houle, le terrain, les carrières, les conditions économiques et les techniques de construction.

La méthode que nous allons adopter pour le dimensionnement, est réservée à l'avant-projet, ensuite procéder à des vérifications sur modèle réduit.

a) La carapace :

La carapace est la partie de l'ouvrage qui est directement exposée à l'action de la houle, et que l'on caractérise par le poids unitaire des blocs naturels ou artificiels, qui la composent.

D'après Hudson on a :

$$w = \frac{\gamma_s \cdot H_b^3 \cdot \text{tg } \alpha}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3}$$

Hypothèses : Houle déferlante

$H_b = 2,6 \text{ m}$ =====> Hauteur de la houle .

$\gamma_s = 2,4 \text{ T/m}^3$ =====> densité du matériau
constitutif du bloc .

$\gamma_w = 1,034$ =====> densité de l'eau de mer

α = angle du talus d'enrochement par rapport à l'horizontale

$K_D = 3,5$ =====> coefficient adimensionnel dépendant
notamment de la nature du bloc,
• de la pente, du talus et du type d'aménagement

$$\text{tg } \alpha = 3/2$$

Application numérique :

$$w = \frac{2,4 \cdot (2,6)^3 \cdot 3/2}{3,5 \cdot \left(\frac{2,4}{1,034} - 1 \right)^3} =$$

$$w = 7,84 \text{ t}$$

a1) Catégorie d'enrochement :

Pour définir les catégories d'enrochements, on doit tenir compte des conditions d'exploitation des carrières, dont les limites encadreront les poids unitaires théoriques des différentes couches.

A cet effet le C.E.R.C. (Coastal Engineering Research Center) a proposé à partir de la loi de Terzaghi les limites à donner d'après le tableau ci-dessous :

Tableau N° 20 : Limites des catégories d'enrochements

Poids Unitaires	Destination	Limites en %
w	Carapace	125 à 75
w/10	1er sous-couche	130 à 70
w/200	2e sous-couche	150 à 50
w/400	Noyau	170 à 70

Pour la carapace nous aurons :

$$(7,84 \times 1,25 = 9,8 \text{ T}) \text{ et } (7,84 \times 0,75 = 5,88 \text{ T})$$

====> nous pourrons ainsi utiliser des enrochements situés entre 6 T et 10 T

a2) Nombre d'éléments de la carapace par unité de surface :

Le nombre de blocs à prévoir pour la carapace par mètre carré, est donné par la formule suivante :

$$N_r = n.K\Delta$$

avec n_r = nombre de blocs par m^2

P = porosité de la carapace en %

Application numérique :

$$N_r = 2.1,15(1-0,37) \left(\frac{2,4}{7,84} \right)^{2/3} = 0,66$$

(Règle de calcul)

$$N_r = 0,66 \text{ bloc}/m^2$$

a3) = Epaisseur de la carapace :

l'épaisseur de la carapace est donnée par la formule suivante :

$$e = n.K\Delta \left(\frac{W}{\delta_s} \right)^{1/3}$$

avec

- w = poids unitaire des blocs
- e = épaisseur de la carapace
- $K\Delta$ = coefficient de couche
- γ_s = poids spécifique des blocs
- n = nombre de couche

Application numérique :

$$e = 2.1,15 \left(\frac{7,84}{2,4} \right)^{1/3} = 3,4 \text{ m}$$

$$e = 3,4 \text{ m}$$

b) Poids des blocs du filtre :

Le filtre ou (sous-couche) est disposé entre le noyau et la carapace, celui-ci présente plusieurs fonctions à l'intérieur de l'ouvrage

- sert de fondation à la carapace extérieure
- agit en tant que filtre évitant le départ du matériau, constituant le noyau .
- sert de protection au noyau au cours de la construction de la digue.

$$W_1 = \frac{W}{10} = \frac{7,84}{10} = 0,784 \text{ T} \quad W_1 = 0,784$$

Les limites à prendre sont :

$$(0,784 \times 1,3 = 1,02 \text{ T}) \text{ et } (0,784 \times 0,70 = 0,55 \text{ T})$$

Nous pourrions prendre une gamme de 600 kg à 1 tonne.

b1) Epaisseur du filtre :

$$e_1 = n. K\Delta$$

$$e_1 = 2.1,15 (0,784/2,4)^{1/3}$$

$$e_1 = 1,60 \text{ m}$$

c) Le noyau :

Le noyau représente le corps de l'ouvrage. En générale, il est constitué de matériau tout venant de carrières (ceci est intéressant du point de vue économique) ou d'un talus naturel, d'un remblai routier ou portuaire. Son poids varie entre 0 et 500 kg.

Les qualités requises pour ce tout venant sont :

- Une granulométrie étalée afin d'éviter les tassements
- Une perméabilité suffisante pour assurer une bonne tenue de la carapace et des sous-couches.
- Un angle de frottement interne suffisant, afin d'éviter les effondrements lors de la construction.

d) La butée de pied :

La butée de pied, est une partie importante de l'ouvrage qui assure deux rôles :

- protège le pied de l'ouvrage contre les effouillements.
- sert de blocage en pied des blocs de carapace pour éviter leur glissement.

Cette partie de l'ouvrage est utile, d'autant plus que la côte d'AOKAS est peu profonde, donc le risque de dégradation par affouillement est important. Ceci s'explique, par le fait que la vitesse des particules d'eau sur le fond marin est plus grande que pour les ouvrages en eau profonde.

d1) Niveau supérieur de la butée :

Le niveau supérieur (ou risberme) sera égal à 1,3 fois le creux de la hauteur de la houle, sous le niveau des basses mers.

$$d = 1,3 \cdot \frac{H_b}{2} \implies d = 1,3 \cdot \frac{2,6}{2} = 1,7 \text{ m}$$

$$d = 1,7 \text{ m}$$

d2) Le poids unitaire des enrochements peut être prédéterminé, par aménagement de la formule de Hudson :

$$\text{avec : } \operatorname{tg} \alpha = 1/2$$

$$WB = 0,1/HD \cdot \frac{\gamma_s \cdot (Hb)^3 \cdot \text{tg} \alpha}{(\gamma_s / \gamma_w - 1)} \cdot H/d$$

$$WB = 0,1/3,5 \quad 2,6/1,7 = 0,96 T$$

$$WB = 0,96 T$$

$$* (0,96 \times 1,25 = 1,2 T) \text{ et } (0,96 \times 0,75 = 0,72 T)$$

Les limites à prendre seront : 750 kg et 1,2 T

e) Le franchissement :

Pour un ouvrage de haute-plage, la stabilité du talus côté mer est fondamentale, ce qui nous amène à examiner le franchissement. En effet, celui-ci peut être un facteur de destruction de la crête de la digue, et des fondations derrière la digue.

Pour calculer le franchissement on utilise la méthode du L.N.H. (Laboratoire national d'Hydraulique).

e1) Dimensionnement de la berme :

$$B = n \cdot K \Delta \left(\frac{V}{\gamma_s} \right)^{1/3} (+ 1,5 \text{ m} = \text{marge de sécurité})$$

Application numérique :

$$B = 2.1,15 \left(\frac{784}{2,4} \right)^{1/3} = 3,40$$

$$B = 3,40 + 1,5 = 4,90 \approx 5 \text{ m}$$

$$B = 5 \text{ m}$$

e2) Calcul de la côte d'arase :

On adopte une côte d'arase, située au minimum entre H et 1,5 H au-dessus du niveau maximal de l'eau.

$$Z = 1,5 H$$

$$z = 1,52,6 = 3,9 \implies Z = 4 \text{ m.}$$

* Pour une pente de 3/2 :
Le franchissement se définit, par le creux Hf compté par rapport au niveau zéro.

$$H_f = 1,65 \cdot B^{0,17} \cdot Z^{0,4} \cdot D^{0,29} \cdot T^{-0,26}$$

Handwritten note:
L'ordre de grandeur de
franchissement

avec : $D = 1,3 \cdot H$

$$D = 1,3 \cdot 2,6 = 3,38 \text{ m} \quad D = 3,38 \text{ m}$$

Application numérique :

$$H_f = 1,65 \cdot (5)^{0,27} \cdot (4)^{0,4} \cdot (3,38)^{0,29} \cdot (10)^{-0,26} = 2,96 \text{ m}$$

$$H_f = 2,96 \text{ m}$$

IX.2 - Conclusion :

Hf étant inférieur à Z, on peut donc dire que la digue est infranchissable.

IX.2.1 - Estimation des quantités de matériaux nécessaires pour l'ouvrage

Les quantités de matériau, nécessaires pour les différents constituants de l'ouvrage, sont calculées selon les différents profils et sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau N°21: Représentant les quantités de matériau nécessaire pour l'ouvrage

	Profil	Surface (m ²)	Distance (m)	Volume (m ³)	Volume total	Vt en enrochement
CARAPACE	P1	35,1	50	1755	37.587,6	2.368,12
	P2	52,8	108	5702,4		
	P3	53	118	6254		
	P4	42,5	123	5227,5		
	P5	36,7	103	3780,1		
	P6	58,2	89	5179,8		
	P7	72	82	5904		
	P8	45,6	83	3784,8		
FILTRE	P1	16,5	50	495	15.352,3	9.671,95
	P2	24,4	108	2635,2		
	P3	23,1	118	2725,8		
	P4	13,3	123	1635,9		
	P5	10	103	1030		
	P6	27,9	89	2483,1		
	P7	35,1	82	2878,2		
	P8	17,7	83	1469,1		
NOYAU	P1	94	50	2820	29.481,2	
	P2	57	108	6156		
	P3	30	118	3540		
	P4	16	123	1968		
	P5	8	103	824		
	P6	67	89	5963		
	P7	81,5	82	6683		
	P8	18,4	83	1727,2		

$$= V \left(1 - \frac{e}{100} \right)$$

IX.3 - Etude de la carrière de Adrar - Oufarnou

IX.3.1 - Introduction

Afin de satisfaire les besoins en matière de construction de la wilaya de Béjaïa, une grande carrière mécanisée a été implantée dans la dite wilaya. Cette carrière est située à environ 10 km à l'ouest de Cap Carbon, soit à 22 km d'Aokas.

IX.3.2 - Structure géologique du gisement : (Source ENOF de la wilaya de Béjaïa)

Le gisement de Farnou est constitué, par des terrains du lias inférieur qui sont représentés par des calcaires gris, gris clair, rosâtres, compacts, massifs à petits et gros cristaux dolomités.

Toute l'assise de calcaire, est traversée par des filonnets fins de calcites.

Une telle quantité de calcite, ne peut diminuer a haute qualité des roches de la carrière qui produit les agrégats.

IX.3.2.1 - Caractères physiques

a) Poids volumétrique :

Le poids volumétrique a été déterminé dans 480 échantillons, il varie de 2,408 à 2,721 T/m³.

b) Porosité :

La porosité des calcaires a été déterminée d'après 459 échantillons, elle varie de 0,07 jusqu'à 11,14 %. La porosité moyenne des calcaires est de 1,58 %.

IX.3.2.2 - Caractères mécaniques des calcaires

a) Dureté des calcaires

a.1) Résistance à la compression à l'état sec :

La résistance à la compression à l'état sec des calcaires a été exécutée sur 290 cylindres qui ont été soumis à la compression à l'état sec.

La résistance change et varie de 207 à 1584 kg/cm².

a.2) Résistance à la compression à l'état humide

Celle-ci a été déterminée sur 175 échantillons. La résistance varie de 230 jusqu'à 1225 kg/cm².

b) Test d'usure par frottement

Un échantillon prélevé sur le gisement de Farnou, a été broyé à l'usure, l'agrégat obtenu a été envoyé au laboratoire de la SONAREM pour un test d'usure par frottement, où les fractions suivantes ont été analysées.

50	-	37,5 mm
37,5	-	25 mm
25	-	12,5 mm
12,5	-	9,5 mm
9,5	-	3,15 mm

Les pertes de poids ont constitué 23,28 à 34,55 %.

IX.3.3 - Analyse chimique des calcaires de la carrière

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de Skikda. Les composants chimiques dans les calcaires sont les suivants :

- Si O₂ en traces jusqu'à 1,20 % en moyenne 0,23 %
- CaO de 45,87 % jusqu'à 55,66 % en moyenne 55,23 %
- MgO en traces jusqu'à 6,40 % en moyenne 0,38 %
- Al₂O₃ en traces jusqu'à 0,55 % en moyenne 0,20 %
- Fe₂O₃ de 0,06 % jusqu'à 0,40 % en moyenne 0,25 %
- SO₃ en traces jusqu'à 0,27 % en moyenne 0,03 %
- P.A.F. de 42,18 % jusqu'à 43,34 % en moyenne 42,79 %

- Total 98,18 % jusqu'à 99,66 % en moyenne 99,11 %

D'après sa composition chimiques l'assise utile est constitué en général, par des calcaires homogènes. En général les calcaires ne sont pas abrasifs, car la teneur en silice est très faible.

La teneur en éléments sulfureux est aussi faible .

Les éléments sulfureux, l'Al₂O₃ et le Fe₂O₃ sont présents en faible quantité, ce qui montre que les calcaires du gisement de Farnou sont dépourvus d'inclusions marno - argileuse.

IX.3.4 - Conditions technico-minières d'exploitation du gisement

Les conditions technico-minières d'exploitation du gisement, sont simples. Le gisement est associé au versant doux de la montagne d'Adrar ou Farnou.

Du point de vue économique, le gisement se trouve dans des conditions favorables. Il est situé près de la ville de Béjaïa, et se trouve à proximité d'une route goudronnée. Pour ce qui est de l'exploitation, il est recommandé d'effectuer l'exploitation du gisement de Farnou par carrière ouverte avec des gradins de 10 m de hauteur. Dans les limites du gisement, il n'y a aucune construction ou habitation qui pourrait être exposée aux explosions.

IX.3.5 - Conclusion

Toutes les données mentionnées ci-dessus, ainsi que les résultats des différentes analyses obtenus, montrent que les calcaires de Farnou sont des roches d'une haute qualité, et peuvent servir d'encrochements naturels pour la réalisation de notre ouvrage de haute plage.

CONCLUSION GENERALE

L'étude sédimentologique, bathymétrique et hydrologique a fait ressortir un certain nombre de résultats à savoir :

- Une prédominance des houles Nord et Nord - Ouest.
- Un bilan énergétique annuel de $121 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{an}$ responsable d'un transport de sédiments dominant vers l'Est de $28.800 \text{ m}^3/\text{an}$.

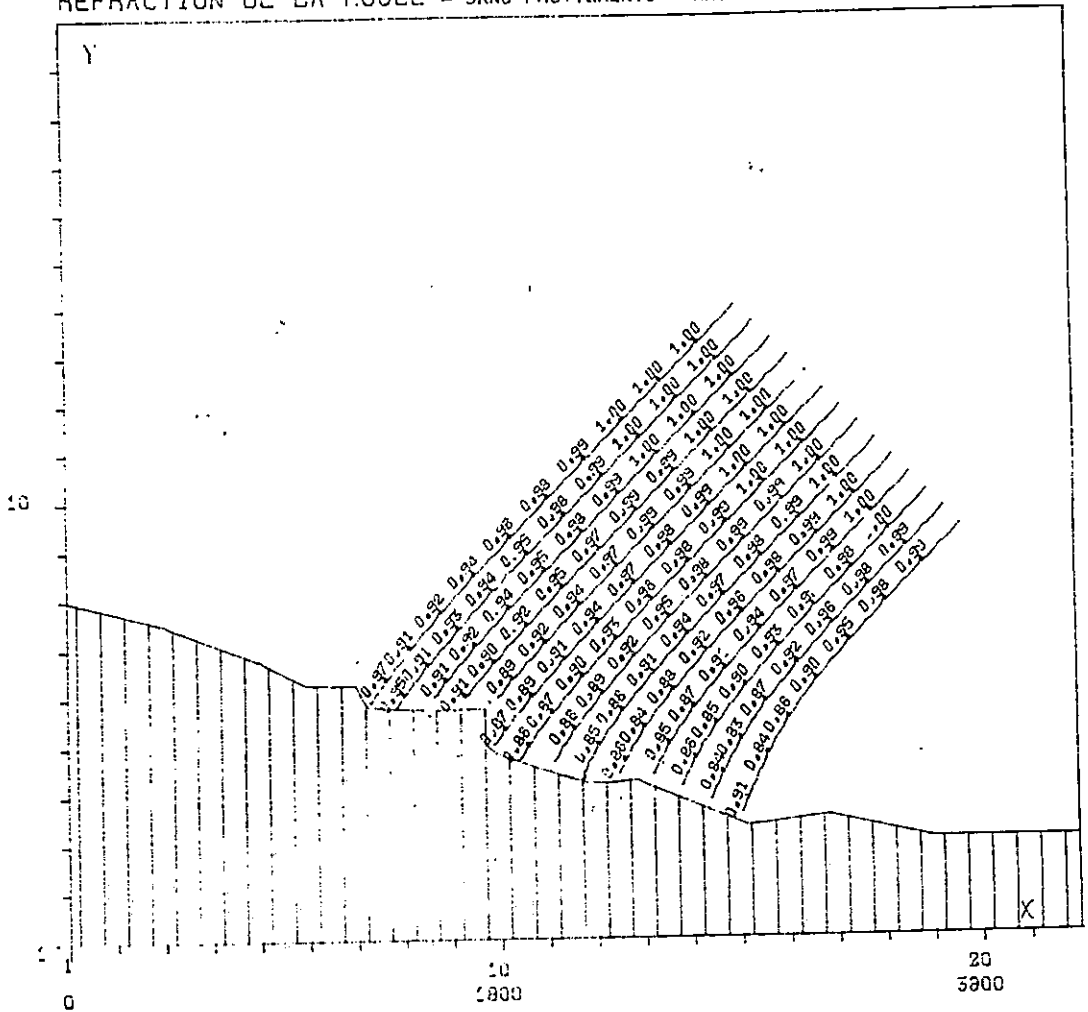
Ces résultats nous ont amenée à proposer un ouvrage de haute plage pour :

- Sa facilité de réalisation et de réparation.
- Son coût économique.
- Sa contribution à la stabilité du talus routier..

Nous espérons par ce choix apporter un plus.

ANNEXE

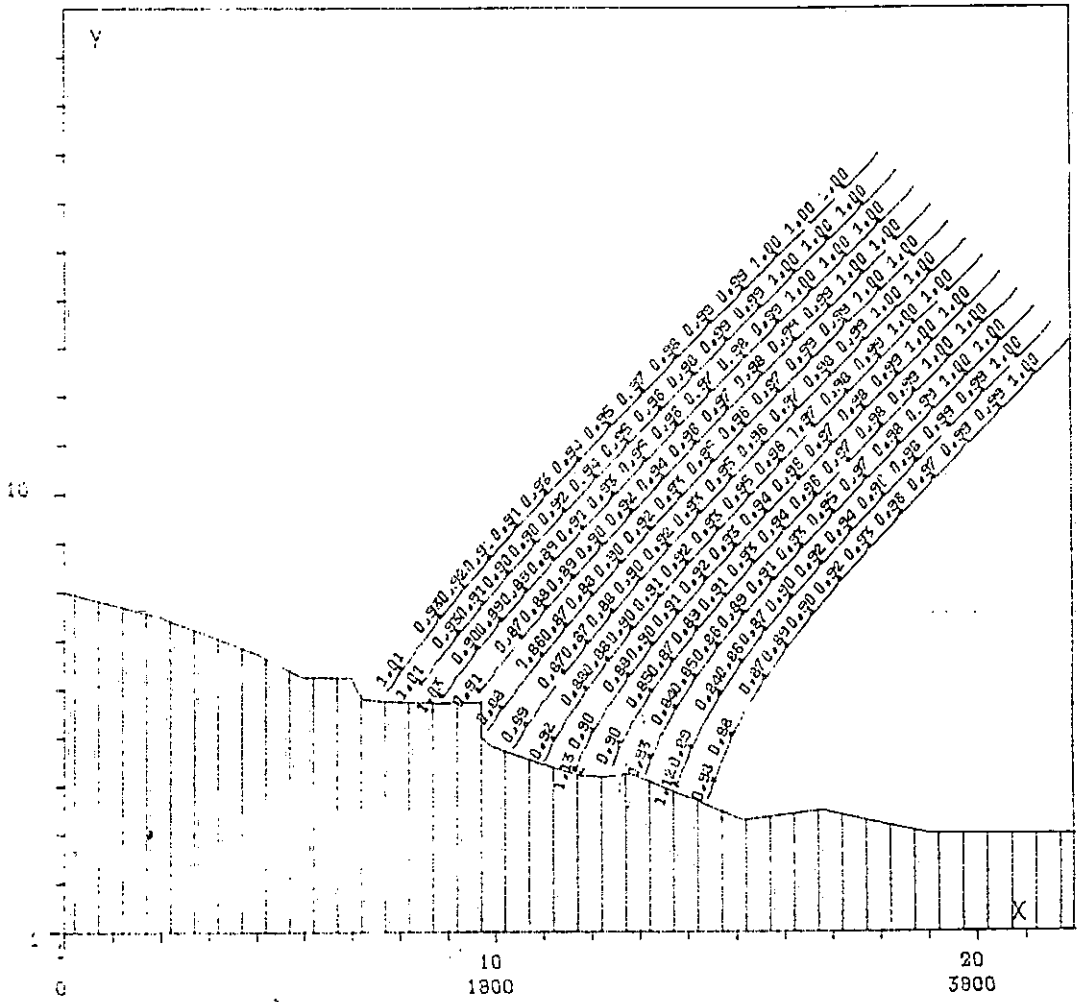
REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES .



N

LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Orientation : 45.00 Deg N	HO : 1.00 m
Periode : 6 s	
Maree : 0.0 m	1 maille = 200 metres

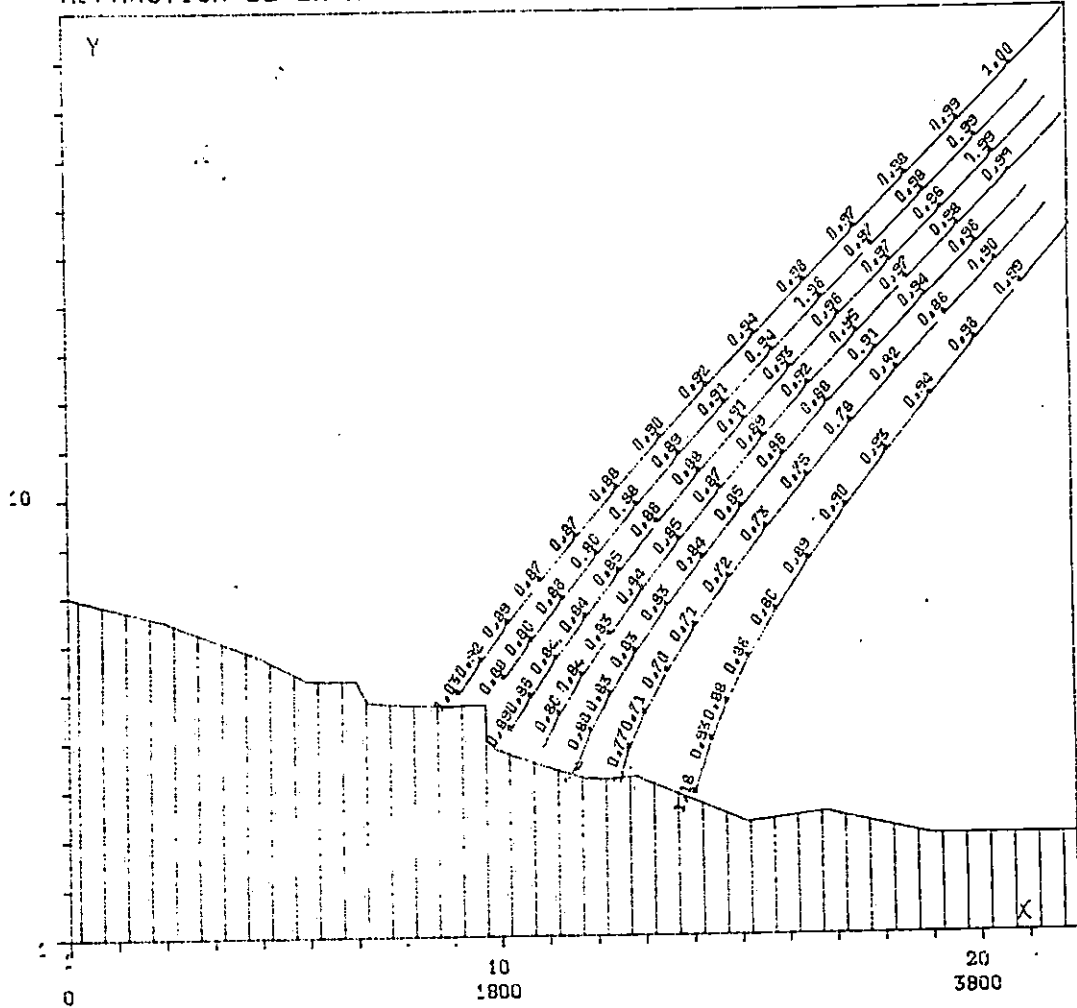
REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



MAILLES:
METRES

LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Direction : 45.00 Deg N	HO : 1.00 m
Periode : 8 s	
Marée : 0.0 m	1 maille = 200 metres

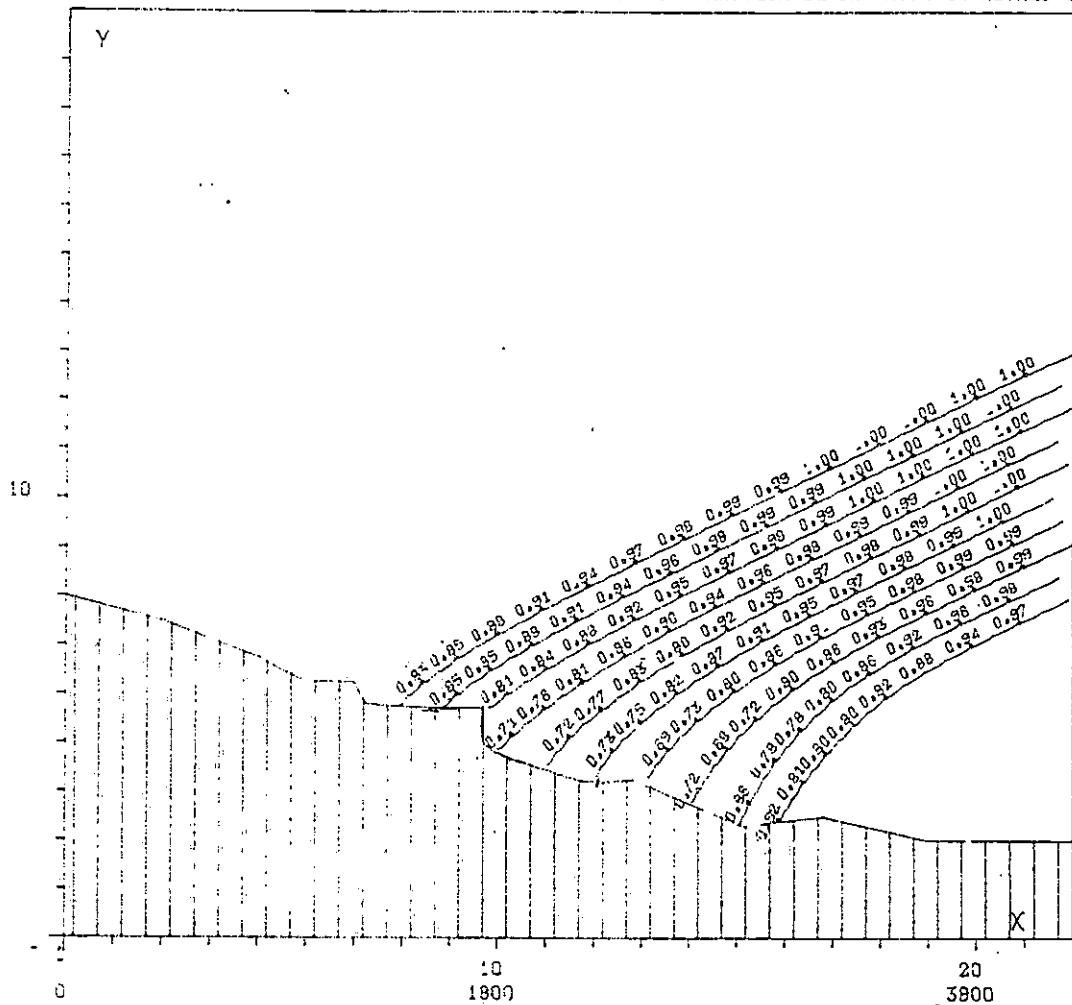
REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



MAILLES METRES

LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Direction : 45.00 Deg N	MO : 1.00 "
Periode : 10 "	
Maree : 0.5 "	Maille = 200 metres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES

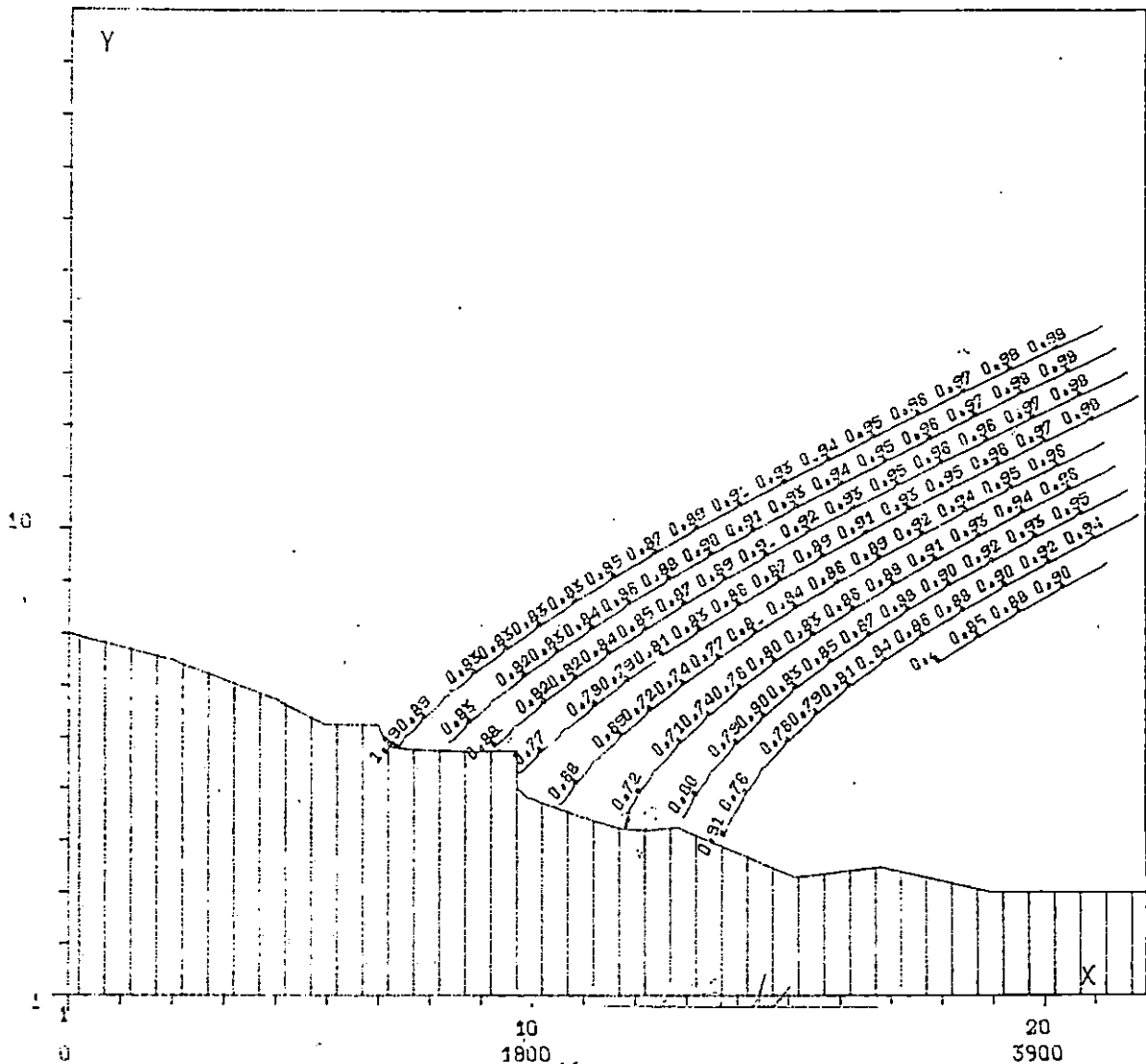


M-ILLE:
METRES



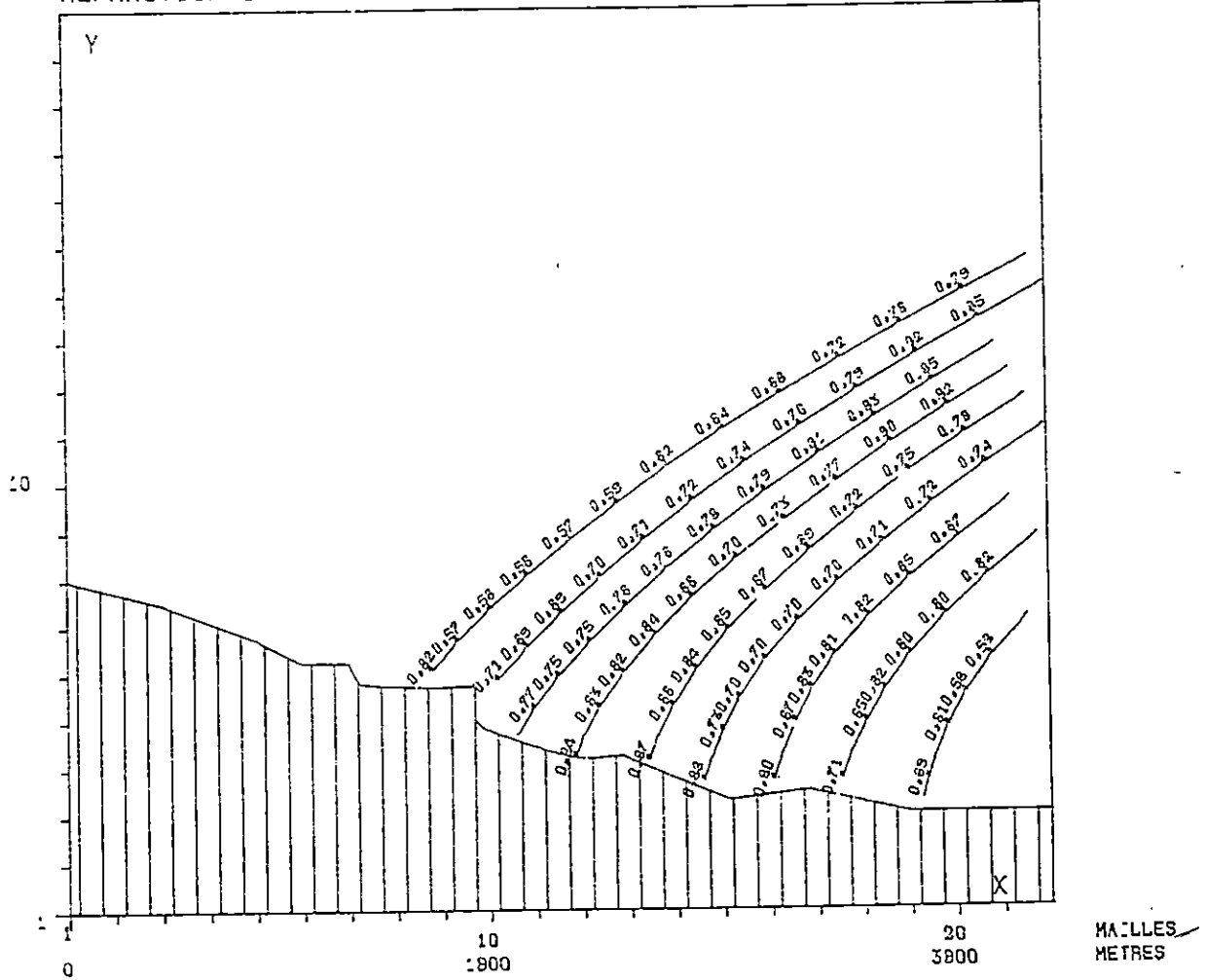
LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP ACKAS JUIN 92	
Direction : 65.00 Deg N	HD : 1.00
Periode : 8 s	
Marée : 0.0	Quantité = 200 litres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



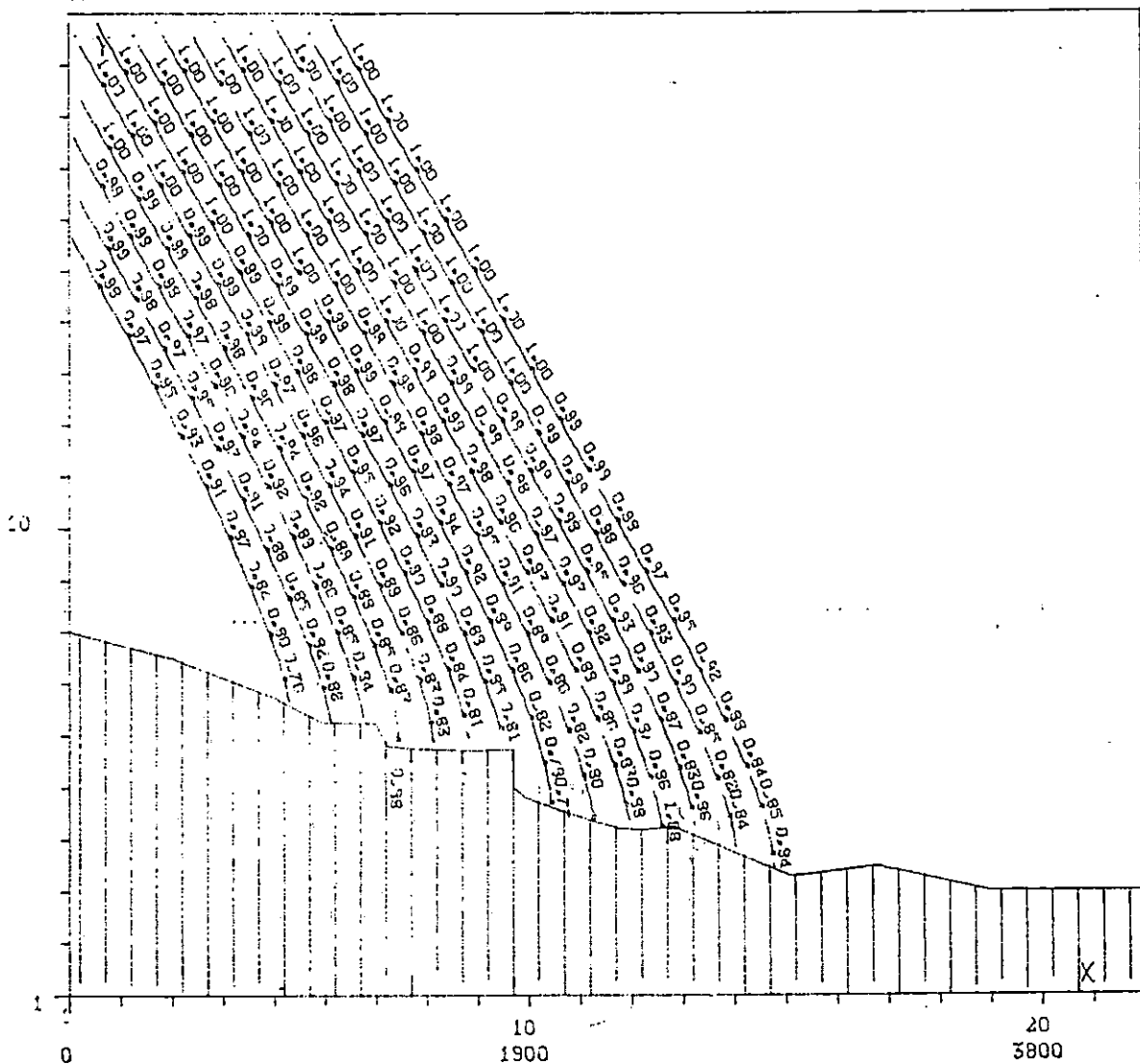
LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN. 92	
Orientation : 63.00 Deg N	HO : 1.00
Periode : 9	
Maree : G.D	maillage = 200 metres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Direction : 65.00 Deg N	H0 : 1.00 m
Periode : 10 s	
Maree : 0.0 m	Mailles = 200 metres

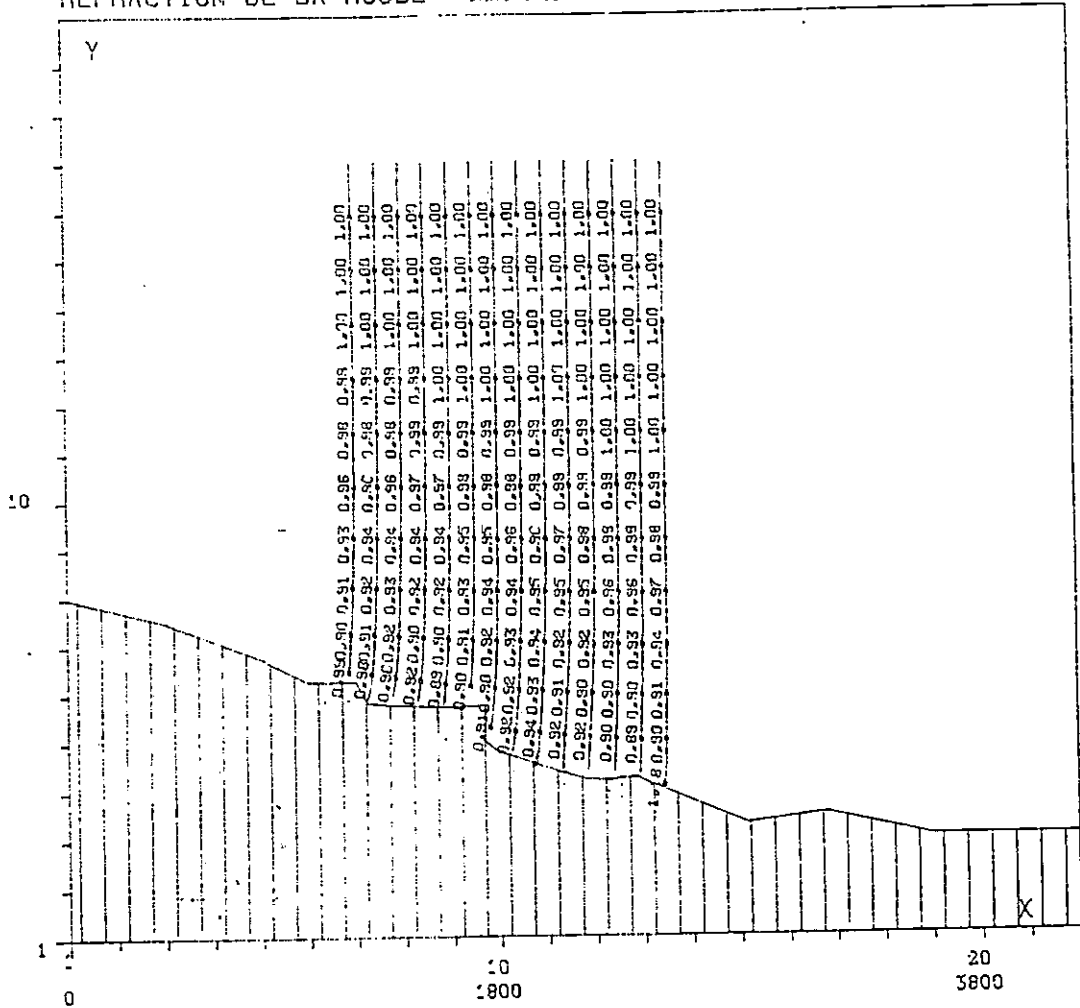
REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



MAILL
METRE

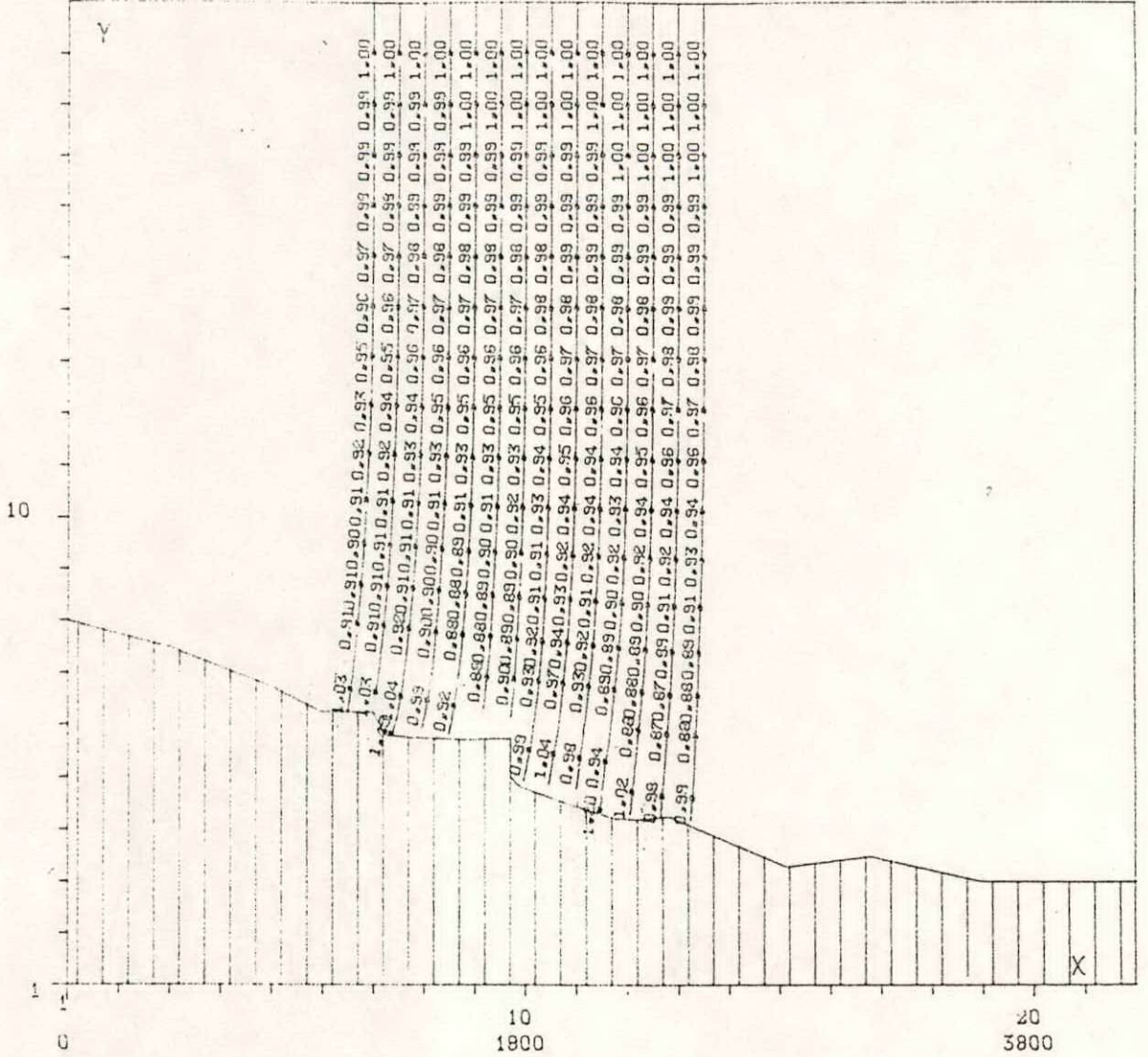
LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Direction : 330.00000 N	HO : 1.00
Periode : 6 s	
Marées : 0.0 m	Maille = 200 metres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROITEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES .



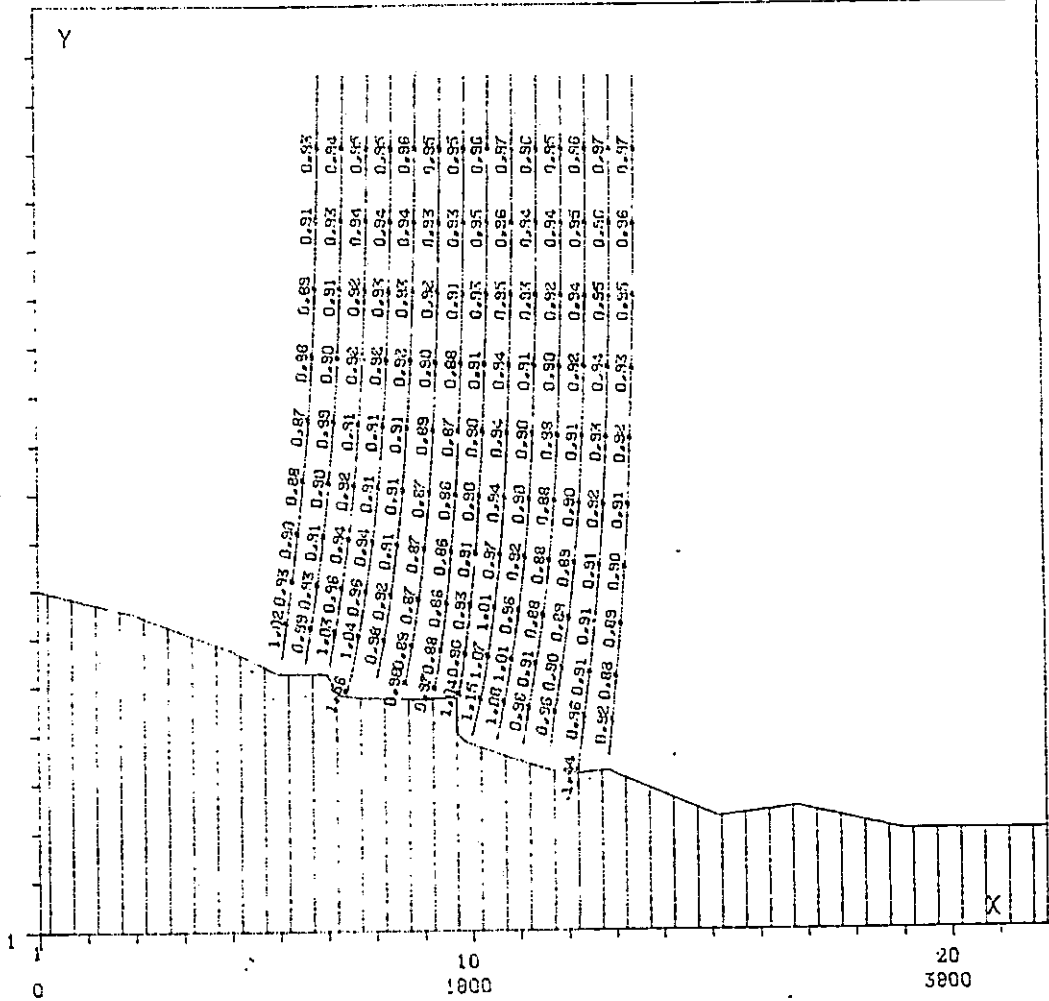
LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER		
CAP AOKAS JJIN 92		
Direction : 0.00	Deg N	HQ : 1.00
Periode : 6	s	
Maree : 0.0	m	Maille = 200 metres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTTEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AOKAS JUIN 92	
Direction : 0.00 Deg N	H0 = 1.00
Periode : 8 s	
Maree : 0.0	Maille = 200 metres

REFRACTION DE LA HOULE - SANS FROTIEMENTS - HAUTEUR DE LA VAGUE EN METRES



MAILLE
METRES

LAPORATOIRE D'ETUDES MARITIMES - ALGER	
CAP AGKAS JUIN 92	
Abraction : 0.00	Jeg N
Periode : 10	°
Marée : 0.0	±
HG = 1.00	
1 maille = 200 metres	

B I B L I O G R A P H I E

- Berthois, L. (1969) : "Océanographie sédimentologique" C.D.U. 329 p.
- Bonnefille, R. (1980) : "Cours d'hydraulique maritime" ed. Masson 171p (2e édition).
- Chapon, J. (1984) : "Travaux maritimes" ed. Eyrolles Tome I 365p
- Bernier, J, Chaloin, B, Coëffé, G et Feuillet, J. (1989) : "Dimensionnement des digues à talus C.D.E.R.E.F.165 p
- Filliat, G. (1981) : "La pratique des sols et des fondation" ed. du moniteur.
- Guilecher, A. (19) : " Cours d'océanographie" 1er fascicule C.D.U. 126 p.
- Guilecher, A. (1979) : "Précis d'hydrologie marine et continentale" ed. Masson 346 p (2e édition).
- Graillet, A. (1975) : " Ouvrages de protection dans la zone de déferlement de la houle" La houille blanche N°718.
- Lacombe, H (1965) : "Cours d'océanographie physique (théorie de la circulation générale. Houles et vagues). Ouvrage publié avec le concours du C.N.R.S. Paris - Gauthier - Villars. 392 p.
- Lacombe, H, (1971) : "Les mouvements de la mer. Courants, Vagues et Houles. Marées". ed. Doin 98 p.
- Migniot, C, (1982) : Etude de la dynamique sédimentaire marine, fluviale et estuarienne". Thèse de doctorat d'état.

- Millot. C, (1985) : "Some features of the Algerian current" jour. Géophysique. Res 90. /76.C4 7/69.
- Moulin. J et Clousse. R. (1978) : "Météo, vents nuages, tempêtes". ed. Maritimes d'outre-mer 150 p.
- Pauc. H. (1973) : " Les modes granulométriques et les phases de mise en place du recouvrement sédimentaire du plateau continental du Sud de l'île du levant". Amm. Hydr. 5e S.1.1,740 51.60.
- Rivierre. A. (1977) : " Méthodes granulométriques, techniques d'interprétation" ed. Masson. 170 p.
- Semroud. B. (1981) : "Evolution pétrologique du complexe magmatique Néogène de la région de Bougie". Thèse de doctorat d'état.

Paskoff R. (1968) : " L'érosion des côtes" qsj. Presses universitaires de France.

- La houle comment s'en protéger. Département de la Martinique.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1973) : "Shore protection Manuel" Tome I 154 p et tome II 15 p. Department of the corps of engineering.
- U.S. Naval Wether Service Command Summary of Synoptique Meteorological Observations (octobre 1970) volume 4.