

laboratoire de géomorphologie
de l'école pratique des hautes
études
Naturalia et Biologia

UN AGENT DE LA GEODYNAMIQUE
LITTORALE : LA HOULE

par Yves - F. THOMAS
contrat CNEXO 71/360

Centre National pour l'Exploitation
des Océans

1972

INTRODUCTION

L'étude de l'évolution géomorphologique des domaines infra et intertidaux, ainsi que lorsqu'il y a lieu, le dimensionnement des ouvrages de défense des côtes, constituent un préalable à l'implantation d'infrastructures (infrastructures portuaires) ou d'activités diverses (exploitation des agrégats) sur la frange maritime du milieu littoral.

Il en résulte une nécessaire connaissance de la cinématique des eaux marines à proximité du, voire à même le rivage.

L'objet de cette étude est la présentation du facteur houle, agent de la dynamique des fonds. Aussi traiterons nous successivement :

- l'observation de la houle
- le traitement de l'information
- l'intérêt géodynamique des études de houle

après quoi, il sera présenté un exemple de régime de houle :

- le littoral aquitain.

OBSERVATION DE LA HOULE

Les paramètres définissant une houle (direction, hauteur, période) ou informations sont obtenues par l'utilisation de diverses techniques de mesure. L'étude des informations présuppose la connaissance de ces dernières.

INVENTAIRE DES INFORMATIONS

Une classification des informateurs peut être obtenue en tenant compte

- de leur situation par rapport au phénomène observé :

informateur terrestre
informateur marin
informateur aérien

- de leur poste fixe ou mobile, d'où il résultera que les séries d'observations seront pour un même point continues ou discontinues :

informateur fixe
informateur mobile

- de leur technique d'investigation, qui déterminera les degrés de sensibilité et de fidélité des séries d'observation :

informateur visuel
informateur automatique.

On présente ci-après un tableau classant les divers informateurs d'après ces derniers éléments ; y sont également reportés la nature de l'informateur et le type de l'information collectée. (tableau 1)

LES TECHNIQUES D'INFORMATION

Les moyens d'investigation essentiellement utilisés sont au nombre de quatre :

- l'observation visuelle directe des périodes, hauteurs et directions par

les sémaphores
les bateaux-feu et pilotes
les plateformes
les navires sélectionnés.

tableau 1

situation de l'informateur	poste de l'informateur	moyen d'investigation	nature de l'informateur	type d'information
terrestre	fixe	visuel	sémaphore	D H
		automatique	radar	D
marin	fixe	visuel	bateau-feu, bateau-pilote, plateforme	D H T
		automatique	capteur de pression, sondeur inversé perche à résistance électrique	H T
	mobile	visuel	navires sélectionnés	D H T
		automatique	enregistreur de houle de bord	H T
aérien	mobile	visuel	avion remontant perpendiculairement aux crêtes de houle	D
		automatique	photographie aérienne	D

N. B. : les lettres D, H et T désignent respectivement la direction, la hauteur et la période de la houle.

- la mesure automatique des périodes et hauteurs par capteur de pression ;
- la détermination automatique de la direction par radar ;
- la prise de vue d'un état de la mer par photographie aérienne et son étude ultérieure pour la détermination de la direction.

TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Il convient ici de rappeler le traitement des données de houle, tel qu'il est le plus souvent proposé dans les ouvrages traitant d'hydraulique maritime, de sédimentologie et de géomorphologie littorale.

D'une façon générale, il s'agit d'une présentation statistique simple des paramètres fondamentaux (direction, période, hauteur), cependant, des expressions plus sophistiquées sont parfois proposées (diagrammes de réfraction, tracé des orthogonales).

REPRESENTATIONS GRAPHIQUES

Direction de la houle.

L'étude par radar de la provenance de la houle permet de dresser des histogrammes des directions pour différents éloignements de la houle par rapport à la côte (figure 1). Cette représentation est particulièrement satisfaisante dans la mesure où elle met clairement en évidence l'effet de réfraction.

Cependant, la représentation la plus fréquente est encore la rose directionnelle d'après observations visuelles, sur cette dernière, un second critère est parfois associé à la direction : l'amplitude par exemple (figure 2).

Période de la houle, hauteur de la houle.

Les histogrammes de période (figure 3) et de hauteur des vagues (figure 4) sont certainement des représentations les plus classiques, ces formes graphiques ont pour intérêt leur simplicité d'exécution et leur bonne lisibilité.

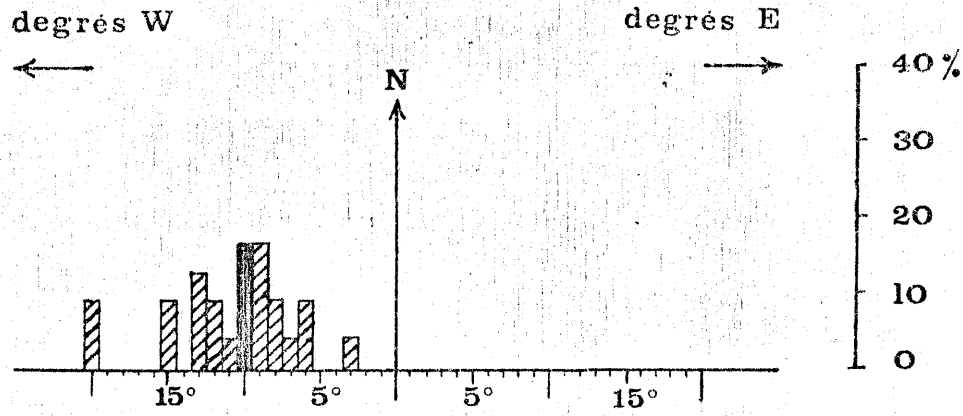
La présentation graphique de l'extrapolation de la hauteur des houles annuelle, decennale, centenaire (figure 5) est également fréquente, cette dernière représentation est précieuse car c'est d'après l'étude du régime historique de la houle que sont proportionnés les ouvrages de défense.

Enfin, moins fréquente, mais fondamentale est l'expression graphique de la corrélation période - hauteur (figure 6), document nécessaire lorsqu'il convient de déterminer la vitesse du courant alternatif de houle, le travail de la houle au déferlement.

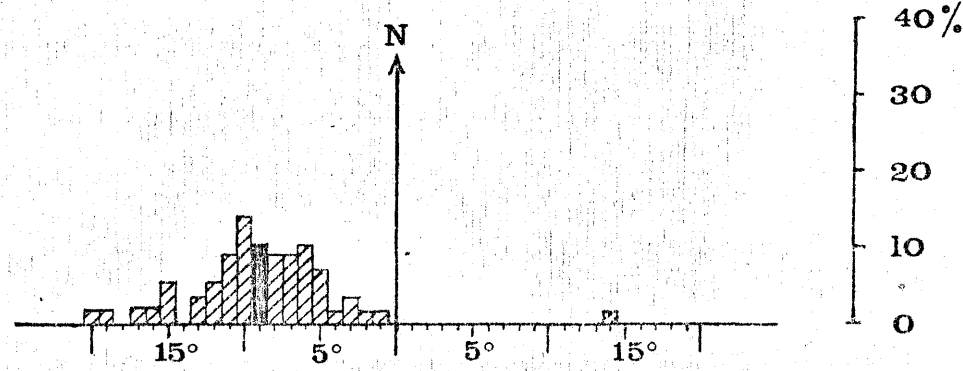
Distance en mètres
des houles observées

LE TOUQUET

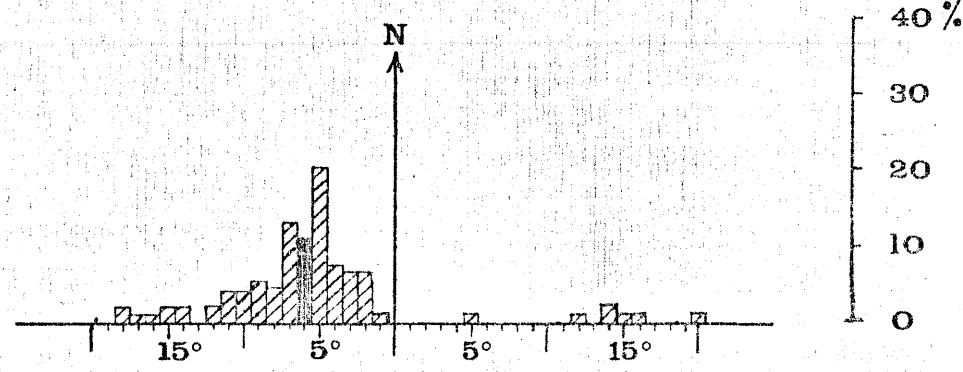
800 - 950
(24 observations)



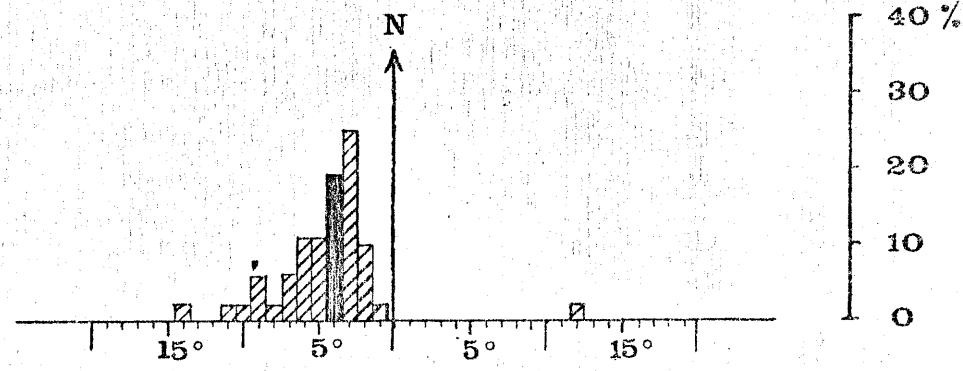
600 - 800
(57 observations)



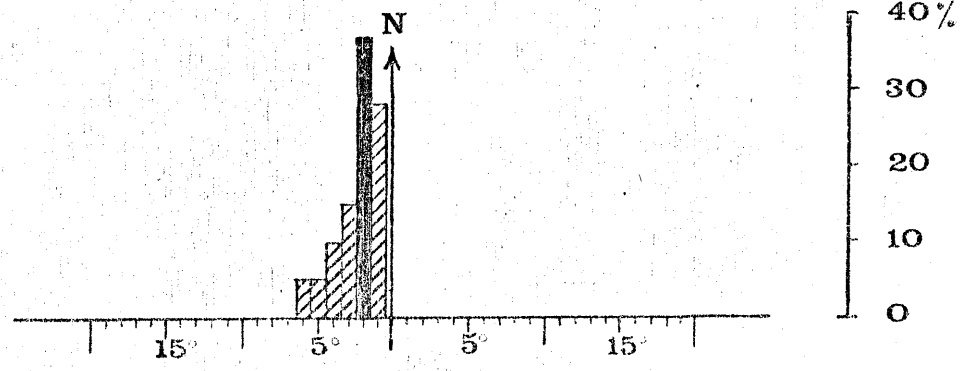
400 - 600
(106 observations)



200 - 400
(52 observations)



0 - 200
(39 observations)



Nota: la classe médiane est figurée en noir.

Figure 1.

(document E.P.H.E. d'après des données numériques
du L.N.H.)

ROSE DE HOULES A DUNKERQUE
ANNEES 1966-1967-1968

- 8 -

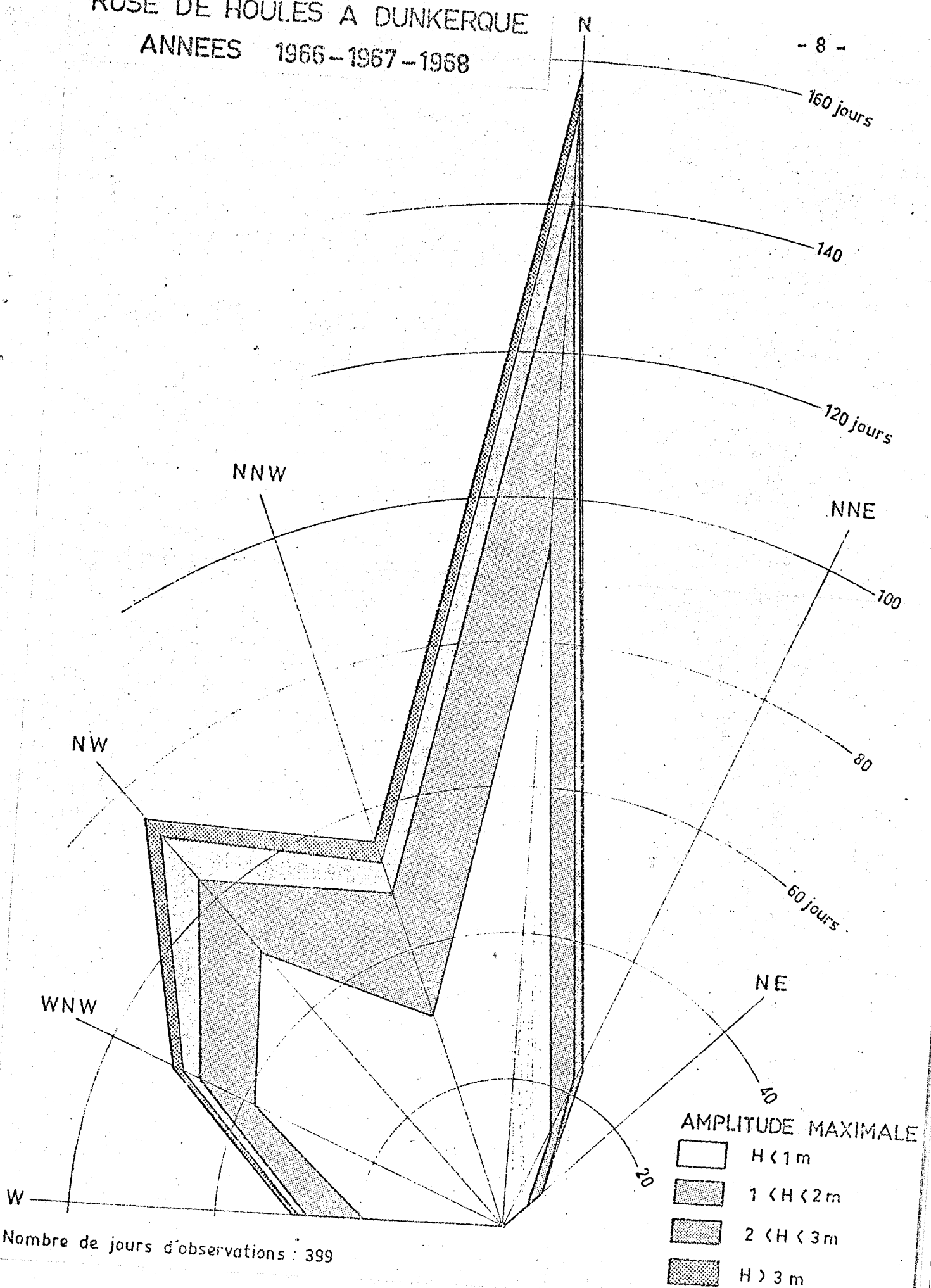
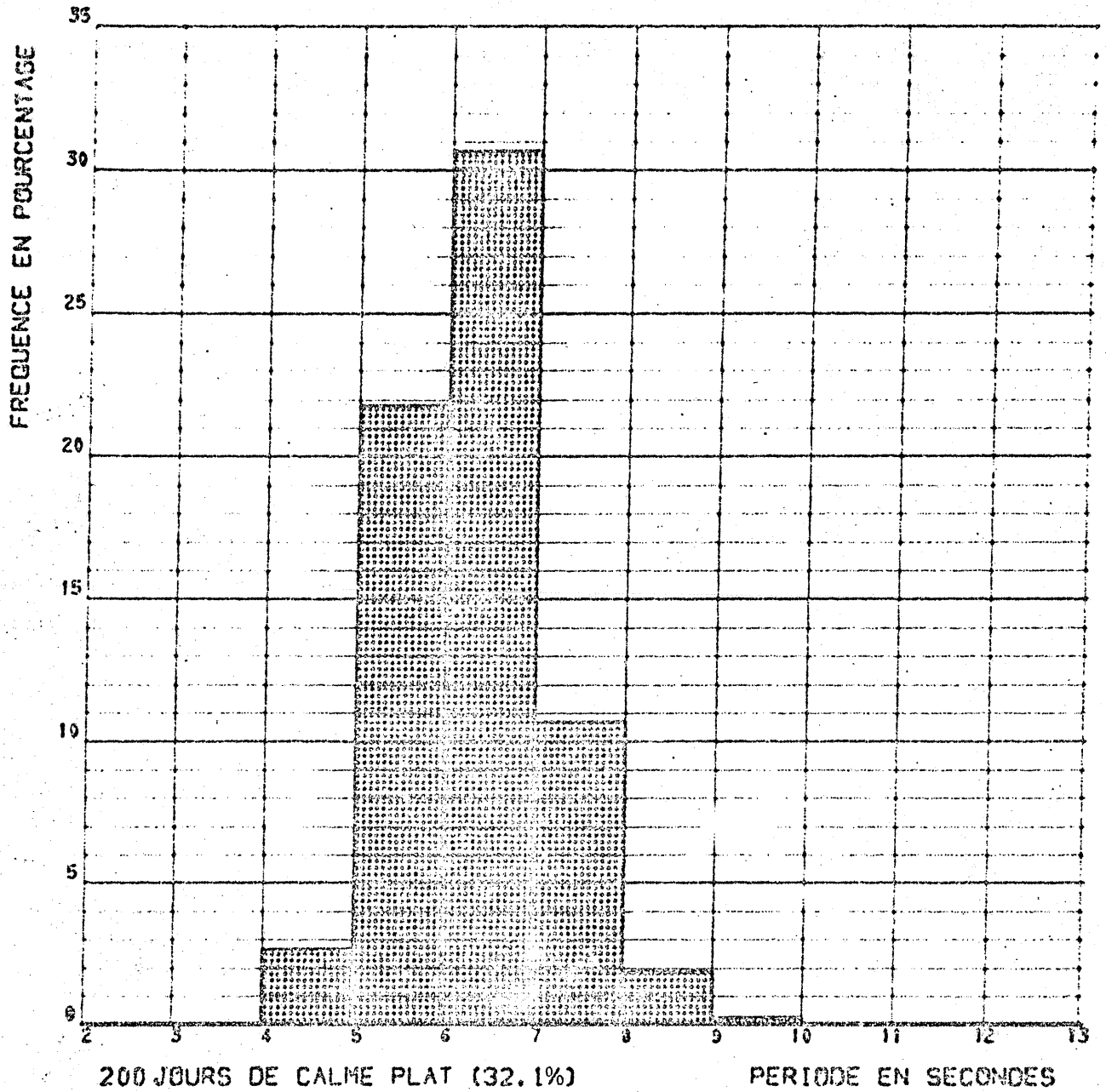


Figure 2.

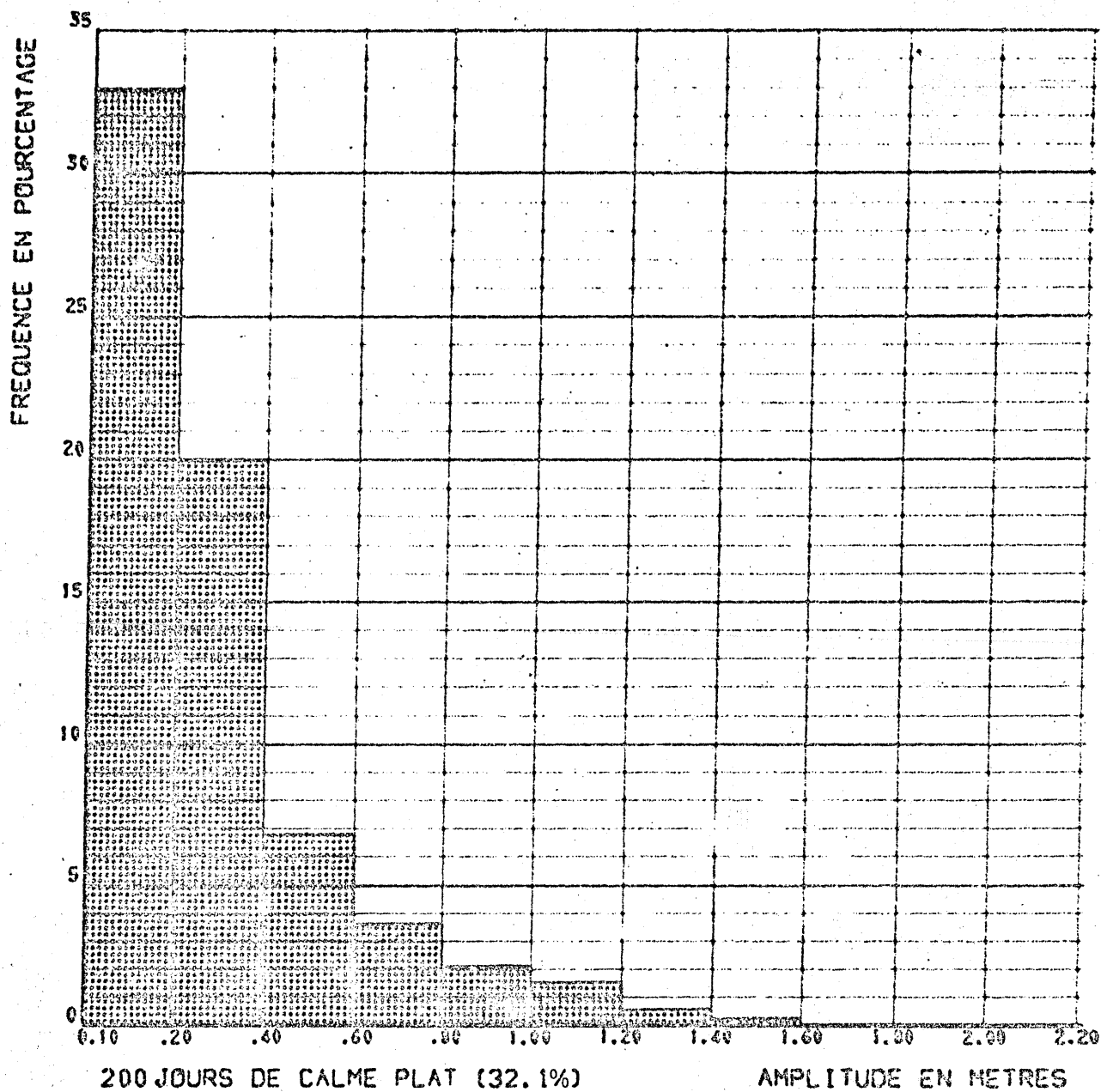
(document L.N.H.)



ENREGISTREMENT DE LA HOULE A DUNKERQUE
DU 22-4-50 AU 8-3-53 (622 JOURS D OBSERVATION)
HISTOGRAMME DE LA PERIODE MOYENNE

Figure 3.

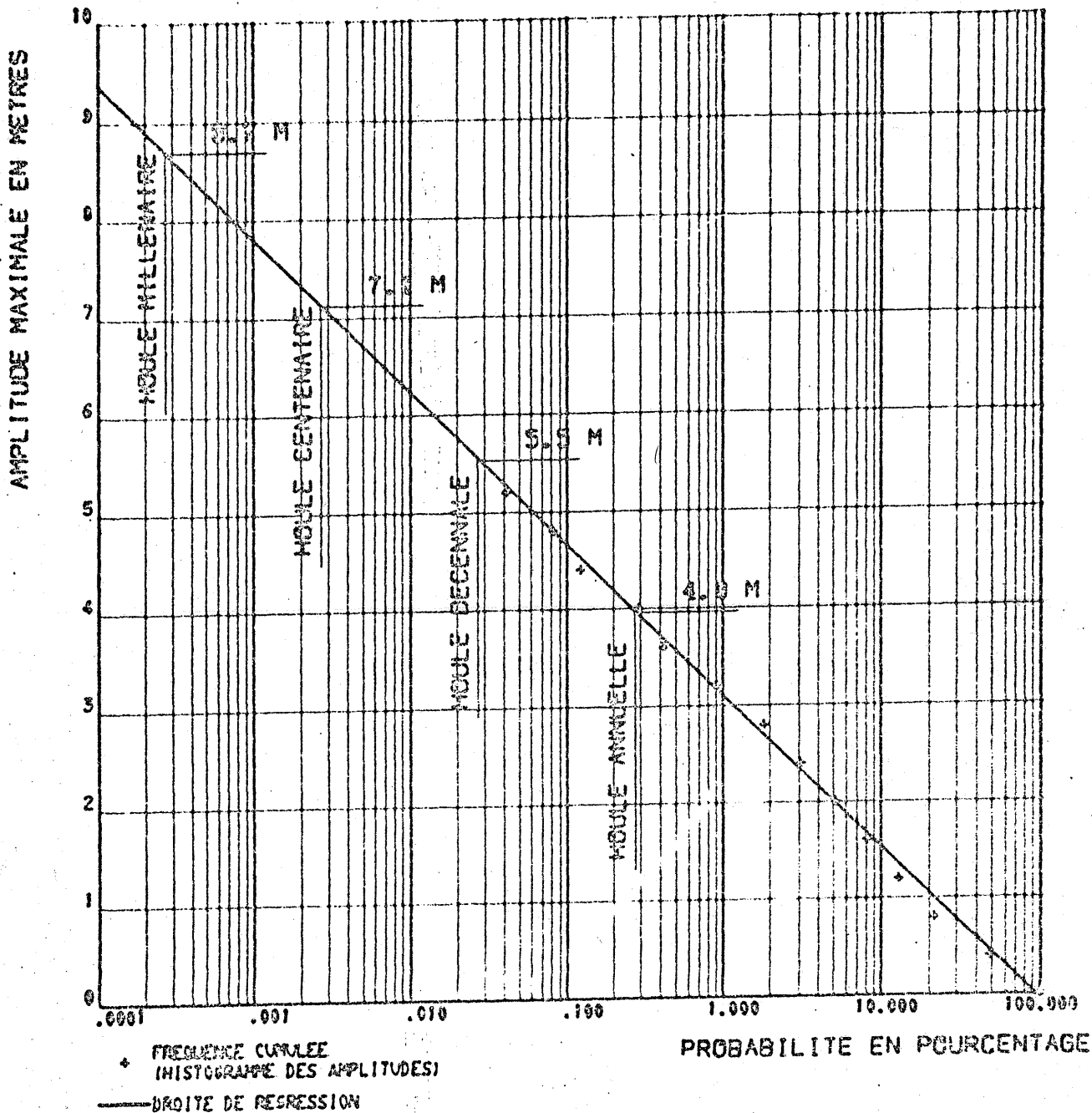
(document L.N.H.)



ENREGISTREMENT DE LA HOULE A DUNKERQUE
DU 22-4-60 AU 8-3-63 (622 JOURS D OBSERVATION)
HISTOGRAMME DE L AMPLITUDE MOYENNE

Figure 4.

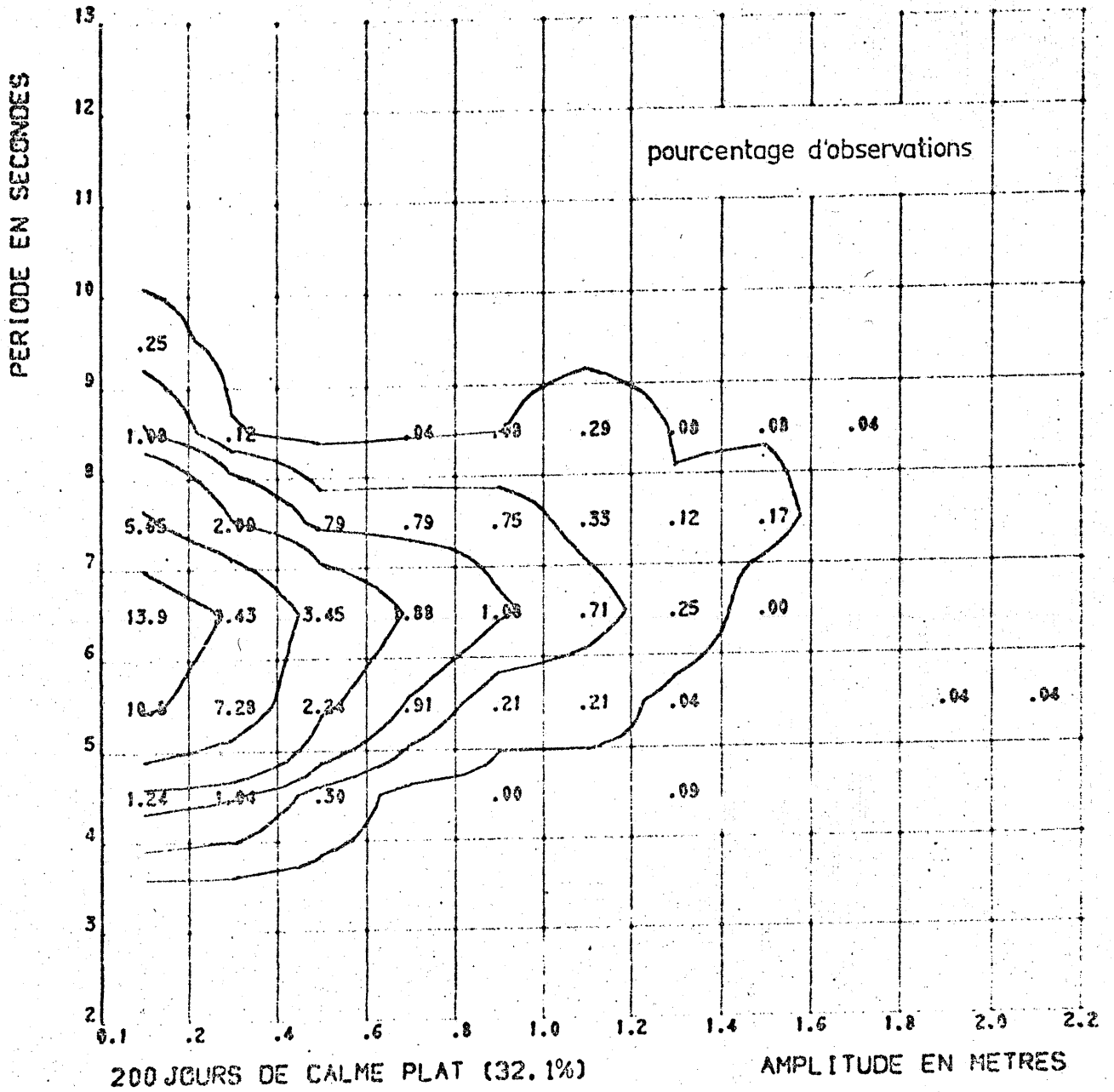
(document L.N.H.)



ENREGISTREMENT DE LA HOULE A DUNKERQUE
DU 22-4-60 AU 8-3-63 (622 JOURS D OBSERVATION)
EXTRAPOLATION A LA HOULE CENTENAIRE ET MILLENAIRE

Figure 5.

(document L. N. H.)



ENREGISTREMENT DE LA HOULE A DUNKERQUE
DU 22-4-60 AU 8-3-63 (622 JOURS D OBSERVATION)
CORRELATION AMPLITUDE MOYENNE - PERIODE MOYENNE

Figure 6.

(document L.N.H.)

Coefficient de réfraction.

Certaines représentations directionnelles fort sophistiquées permettent une connaissance exhaustive de la houle en un point déterminé du littoral dans la mesure où elles expriment pour chaque direction de provenance et chaque longueur de houle (classes de périodes) la valeur prise par le coefficient de réfraction (figure 7).

REPRESENTATIONS CARTOGRAPHIQUES

Pour une situation donnée, estimée caractéristique^(*) du point de vue du régime de la houle à la côte, il est possible de dresser un plan de houle (figure 8). L'examen des orthogonales permet alors de se faire une idée des conditions d'évolution d'un milieu sédimentaire.

Une représentation plus fine consiste à tracer des plans de vagues faisant apparaître non seulement le plus ou moins grand écartement des orthogonales et leur obliquité par rapport à la côte, mais encore la hauteur relative des vagues avant le déferlement (F. VERGER et al., 1972), de tels graphismes nécessitent bien entendu un recours aux calculateurs électroniques (J.P. LEPETIT, 1964) (figure 9).

* au sujet des difficultés de détermination d'une situation caractéristique, cf. infra p. 49

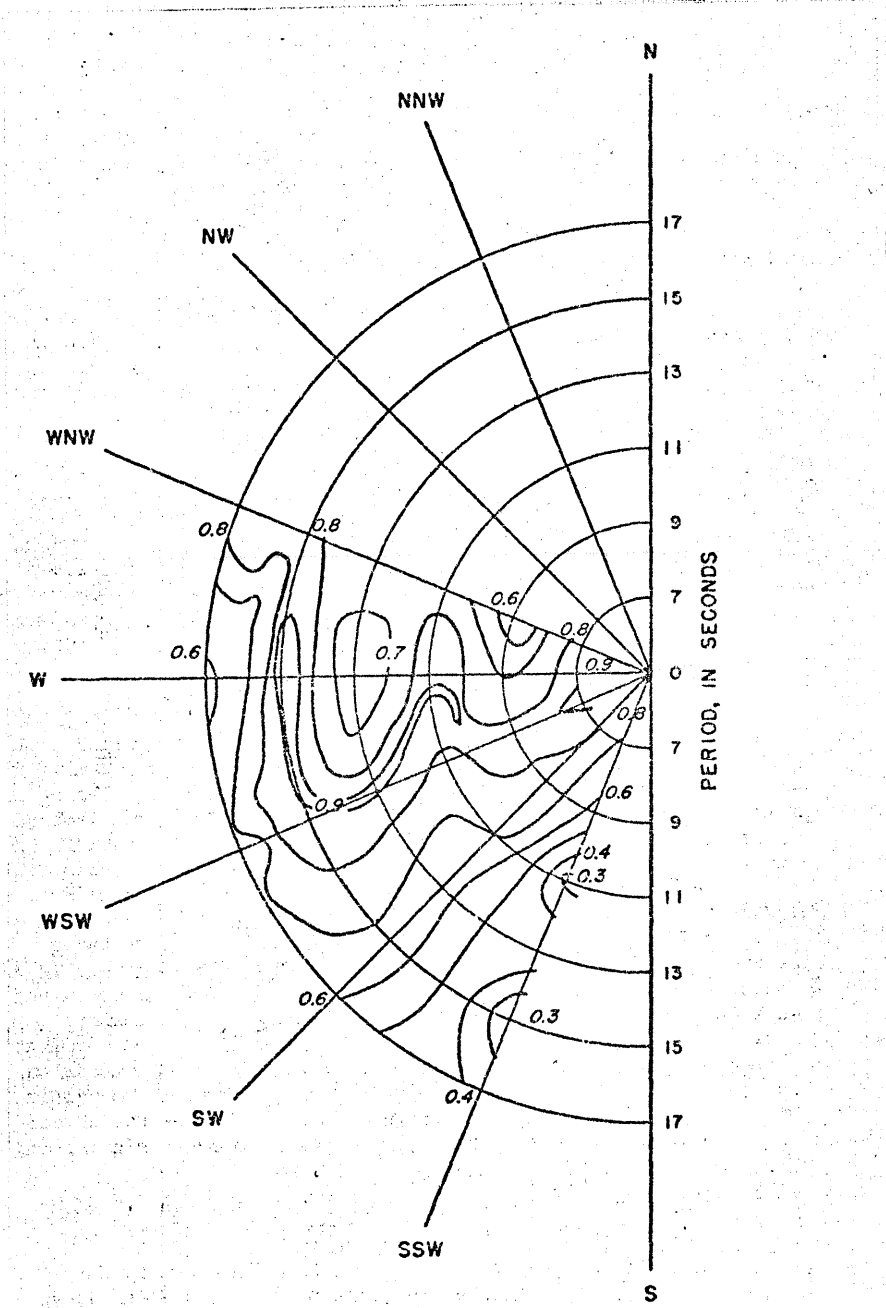


Figure 7.

UMPQUA RIVER, OREGON
SOUTH JETTY
REFRACTION COEFFICIENTS
AT JETTY STA. 86+80

(d'après A. Kidby et C. Price)

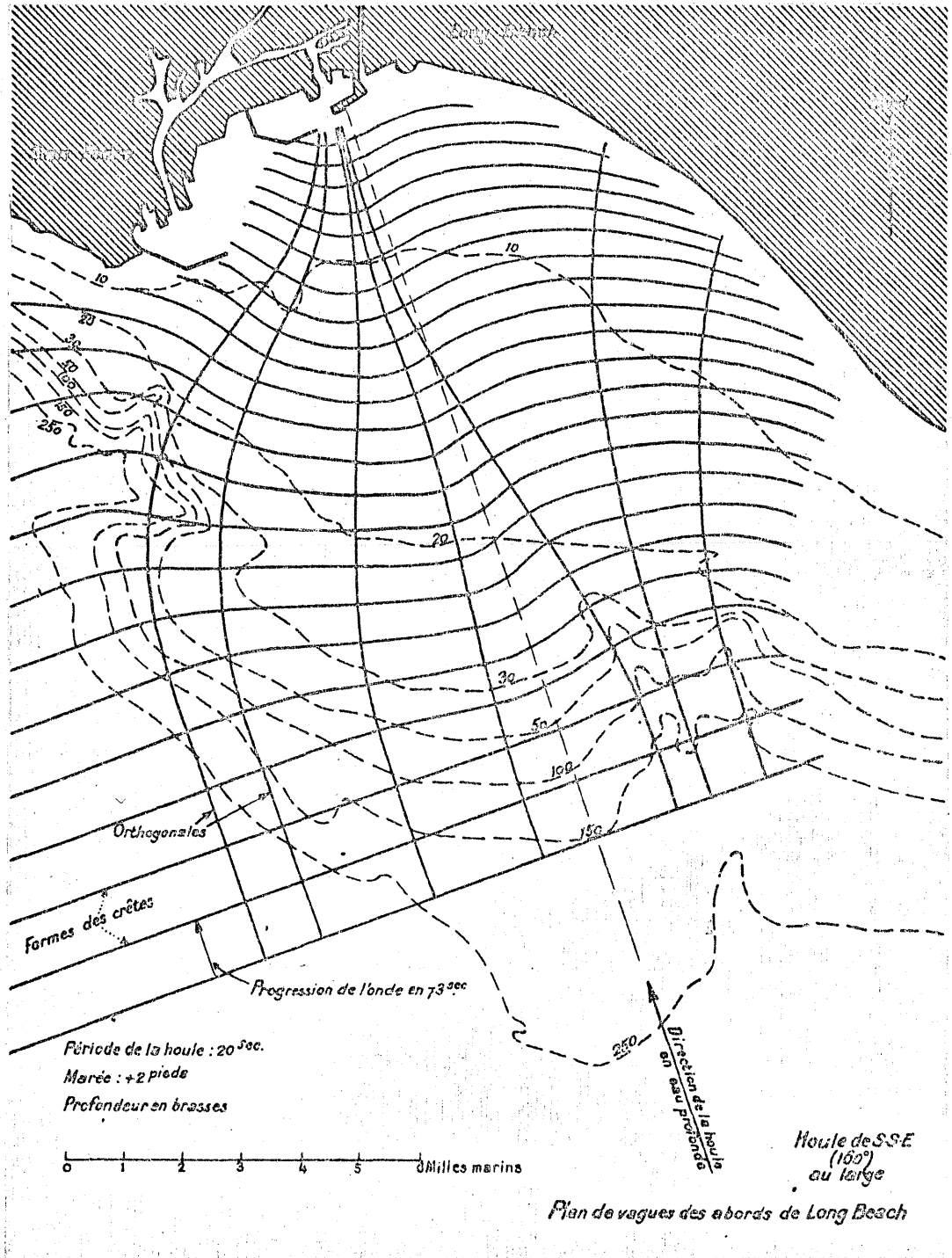
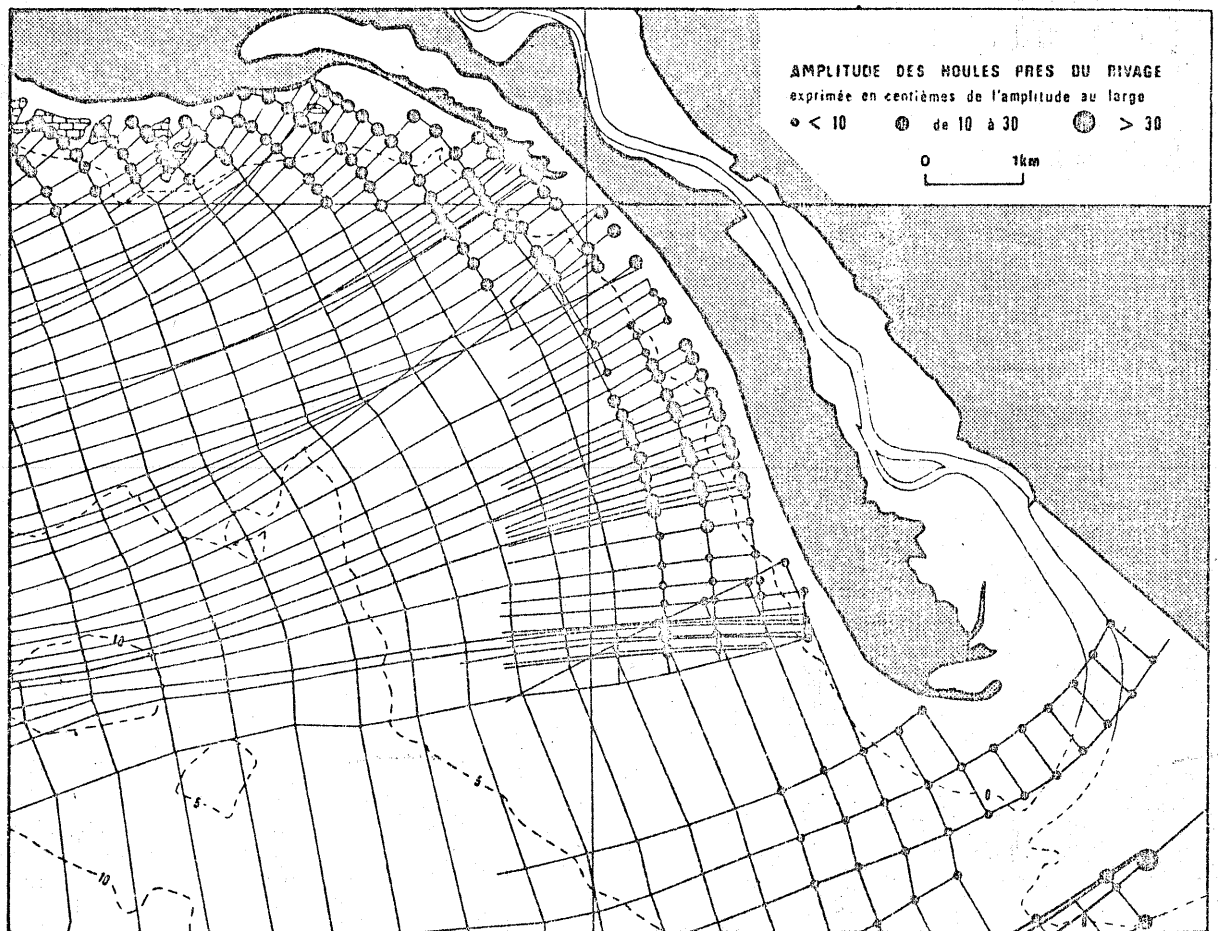


Figure 8 .

(d'après H. Lacombe)



- Les houles d'Ouest dans le Nord-Est du Pertuis Breton.
- Houle de période 10 secondes à pleine mer (+ 5 m).

Figure 9.

(d'après F. Verger et al.)

INTERET GEODYNAMIQUE DES ETUDES DE HOULE

La géodynamique d'un milieu littoral à faciès meuble non cohésif peut-être examiné à la lumière des relations obtenues en hydraulique maritime.

La connaissance des agents géodynamiques peut aider à dégager la nature et l'envergure des rapports entretenus entre ces derniers et le lit de granulats considéré.

Il convient d'envisager successivement les problèmes de dynamique marine qui relèvent de :

- la houle en eau peu profonde
- la houle au déferlement.

LA HOULE EN PROFONDEUR FINIE

En profondeur finie, i.e. pour des valeurs de la profondeur inférieures ou égales à un demi de la longueur d'onde de la houle au large, les orbites décrites par les particules d'eau ne sont plus circulaires, mais elliptiques. Il résulte pour les particules d'eau à proximité du fond, une vitesse alternative horizontale (U_0) dont le maximum est donné par :

$$U_0 = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{1}{\text{sh } 2\pi \frac{d}{L}}$$

avec :

H, hauteur

T, période

L, longueur d'onde

d, profondeur ;

ou, si l'on désire prendre la vitesse moyenne (U_m) sur une période :

$$U_m = \frac{4}{3\pi} \cdot U_0$$

Du fait de la non fermeture des trajectoires décrites par les particules du fluide, il existe un courant de masse (\bar{U}) donné par l'expression :

$$\bar{U} = 1,25 \frac{T}{L} \cdot U_0^2$$

U_0 et \bar{U} sont des expressions satisfaisantes de l'action de la houle lorsqu'il s'agit d'exprimer l'entraînement des sédiments.

L'EFFICIENCE DES COURANTS DE HOULE

Les critères de début d'entraînement.

De très nombreux auteurs se sont proposés de mettre en relation le mouvement d'oscillation d'une houle ou d'un clapotis et le début d'entraînement des sédiments meubles. Nous rappelons ci-dessous les résultats fondamentaux auxquels ils sont parvenus.

J. LARRAS, en 1956 a pu écrire la relation suivante :

$$U_c = 9,5 \left[(\delta - 1)^{1/3} / T^{1/2} \right] + W$$

avec :

U_c , plus petite vitesse instantanée de l'eau pour laquelle l'érosion alternative provoque de légères amorces de bourrelets au bout d'un temps pratiquement infini,

δ , densité des granulats

T , période de la houle

W , vitesse de chute libre des granulats dans le liquide.

J. GODDET, en 1960, a proposé la relation suivante :

$$U'_c = 27 (\rho' - \rho)^{2/3} \cdot d^{1/4} \cdot T^{3/8}$$

avec :

U'_c , plus petite vitesse instantanée du liquide pour laquelle l'érosion alternative provoque un mouvement de granulats au bout d'une durée de 10 minutes,

ρ' , masse volumique des granulats

ρ , masse volumique du liquide

d , diamètre des granulats

T , période de la houle.

R. BONNEFILLE et L. PERNECKER, ont, en 1966 proposé un critère utilisant les mêmes formules que pour le début d'entraînement des matériaux par un courant rectiligne uniforme.

De très nombreux autres critères ont été proposés. Signalons au nombre des auteurs, R.A. BAGNOLD (1946), M. MANOHAR (1955), P.S. EAGLESON, B. GLENNE et J.A. DRACUP (1961), A. SPATARU (1965).

Les transports littoraux normaux au rivage .

Rappelons la théorie relative aux transports littoraux normaux au rivage exposée par D.L. INMAN (1963) qui reprend les travaux antérieurs de R.A. BAGNOLD.

Le débit de charriage (l) par unité de temps et de largeur du lit est proportionnel à la puissance disponible du fluide (W). (Bagnold 1956 et 1964 ; Inman, 1963). Il est donné par :

$$I = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot v \cdot U = K \cdot W$$

avec :

ρ_s , densité des matériaux

ρ , densité du fluide

g , accélération de la pesanteur

v , volume en transit par unité de temps

U , vitesse à laquelle sont transportés les sédiments

K , facteur sans dimension relatif à l'efficacité du mécanisme

W , puissance disponible du fluide

sachant que W est égal au produit de la force tractrice exercée par le fluide (τ_0) par sa vitesse :

$$W = \tau_0 \cdot U_0$$

avec τ_0 proportionnel au carré de la vitesse du fluide :

$$\tau_0 = c \cdot \rho \cdot U_0^2$$

avec :

c , coefficient de traînée

ρ , densité du fluide

U_0 , vitesse alternative horizontale.

On peut donc écrire :

$$I = K \cdot c \cdot \rho \cdot U_0^3$$

Il ne s'agit là que d'un mouvement alternatif de matériaux, certes capables de modeler le fond, mais dont la résultante est nulle. Un transport net de sédiments n'étant susceptible de se produire que lorsqu'un courant U_θ de direction θ se superposera au courant alternatif de houle. Le débit solide du courant résultant étant donné par :

$$I_\theta = I \cdot \frac{U_\theta}{U_0}$$

La possibilité d'écrire :

$$I = K \cdot c \cdot \rho \cdot U_0^3$$

et

$$I_\theta = \frac{U_\theta}{U_0} \cdot K \cdot c \cdot \rho \cdot U_0^3$$

permet de juger de l'importance de l'action de la houle sur les fonds en n'utilisant que des quantités relatives, c'est à dire en écrivant :

$$I \sim U_0^3$$

Notons à ce sujet les travaux de I.N. Mac CAVE (1971) et B.GENSOUS (1971).

LA HOULE AU DEFERLEMENT

La non fermeture des trajectoires décrites par les particules du fluide lors de la propagation d'une houle en profondeur finie provoque un courant de masse (cf. supra).

Il résulte donc un afflux d'eau à la côte. L'évacuation vers le large de cette eau se fera, soit par un courant de retour près du fond, soit par l'intermédiaire d'un courant de déchirure (rip-current) après s'être déplacée le long de la côte sous forme d'un courant longitudinal (longshore-current).

Les courants longitudinaux déterminent largement l'évolution géodynamique des littoraux et doivent, en tant que tels être envisagés.

LE LONGSHORE CURRENT

De très nombreuses formulations analytiques destinées à exprimer la vitesse du longshore-current ont été données. Une revue de la littérature est réalisée par C. J. SONU et J. M. Mc CLOY (1966). Les facteurs généralement intégrés par ces relations sont :

la hauteur des vagues	H
la période des vagues	T
l'angle d'incidence de la vague	θ
la pente du fond	α
la hauteur d'eau au déferlement	d_b
un coefficient caractérisant la rugosité du fond	K

La vitesse et la direction du vent sont également pris en compte dans certaines relations.

Dans un travail récent, W. HARRISON (1968) a pu écrire une suite d'équations empiriques mettant en évidence l'influence respective de chacun des principaux facteurs.

Ils paraissent être, par ordre d'importance décroissante :

l'angle d'incidence de la houle au déferlement	θb
la période de la houle	T
l'amplitude au déferlement	Hb
la pente de la plage	α

L'équation finale qui est proposée est donnée par :

$$\bar{V} = 0,170\,455 + 0,037\,376 (\theta b) + 0,031\,801 (T) + 0,241\,176 (Hb) + 0,030\,923 (\alpha)$$

avec :

- \bar{V} , vitesse moyenne du courant en mètre par seconde
- θb , en degrés
- T en secondes
- Hb en mètres
- α en degrés.

La figure 10 permet de se rendre compte de la validité de la relation ainsi obtenue.

L'existence d'un courant parallèle à la côte se développant à l'intérieur de la zone de déferlement a pour corollaire un transport de matériaux par cheminement le long de la côte, c'est ce qu'exprime la figure 11, empruntée à R.L. WIEGEL (1964).

Cependant, la difficulté de trouver une bonne corrélation entre la vitesse du courant et le débit solide en granulats a entraîné l'utilisation d'une relation entre l'énergie de la houle au déferlement et le débit solide, raison pour laquelle nous envisagerons successivement :

- l'énergie de la houle au déferlement
- la relation : énergie de la houle au déferlement - débit solide.

L'ENERGIE DE LA HOULE AU DEFERLEMENT

En exprimant le poids spécifique de l'eau ρ o. g par ω et en se référant aux conditions en eau profonde, il est possible d'écrire :

$$E_t = \frac{\omega}{16} H_o^2 \cdot L_o$$

sachant que :

$$L_o = (g / 2 \pi) T^2$$

on peut écrire :

$$E_t = \frac{\omega}{16} \cdot H_o^2 (g / 2 \pi) \cdot T^2$$

Et étant l'énergie transmise.

La puissance au déferlement.

Si le transport d'énergie effectué par des vagues de grande longueur d'onde est supérieur à celui effectué par des vagues de courte longueur d'onde, les premières sont de fréquence plus faible. Il est important de ramener l'énergie à l'unité de temps, et, donc, de calculer P ou puissance par unité de longueur de crête :

$$P = E_t / T$$

on obtient :

$$P = \frac{\omega}{16} \cdot H_o^2 (g / 2 \pi) \cdot T$$

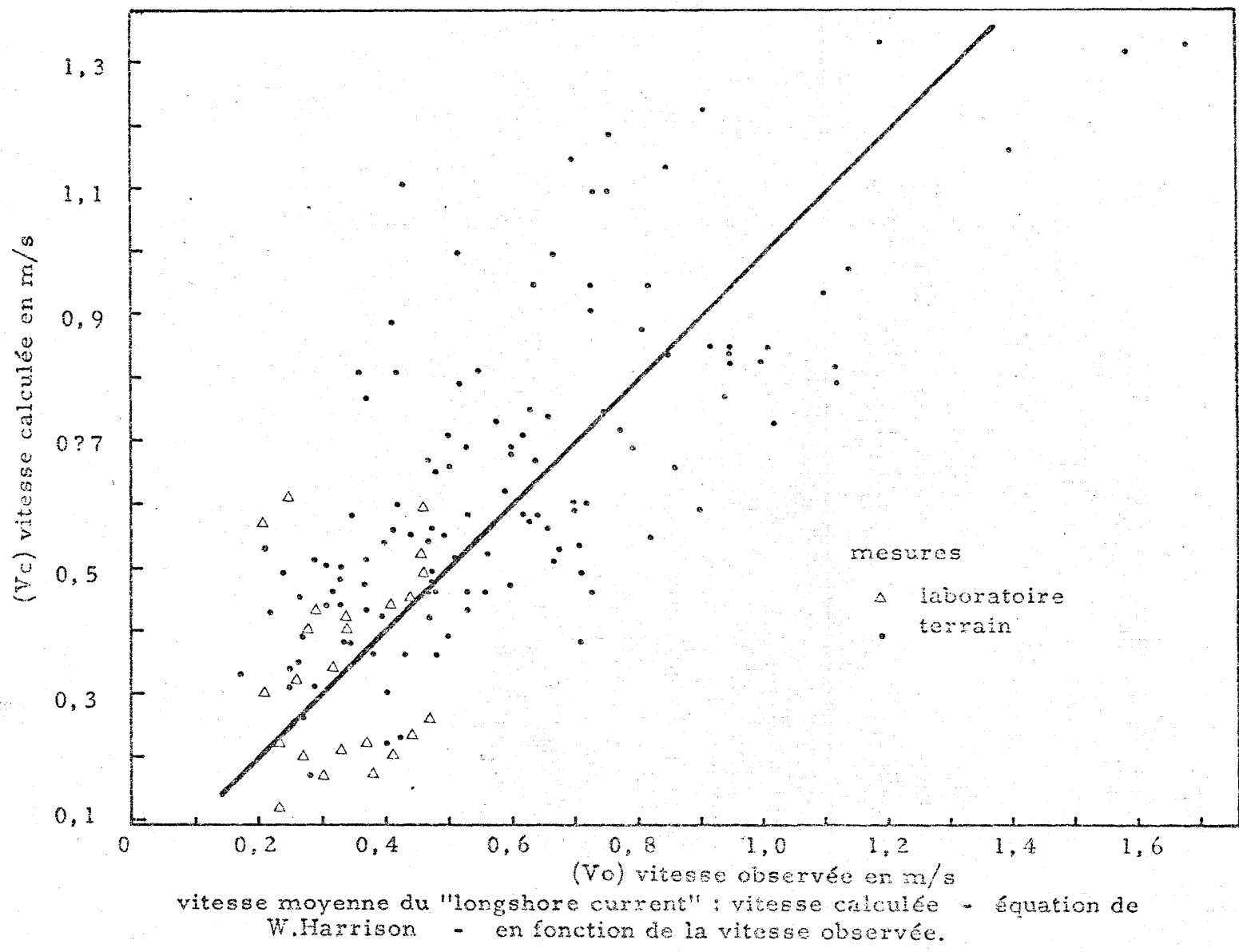
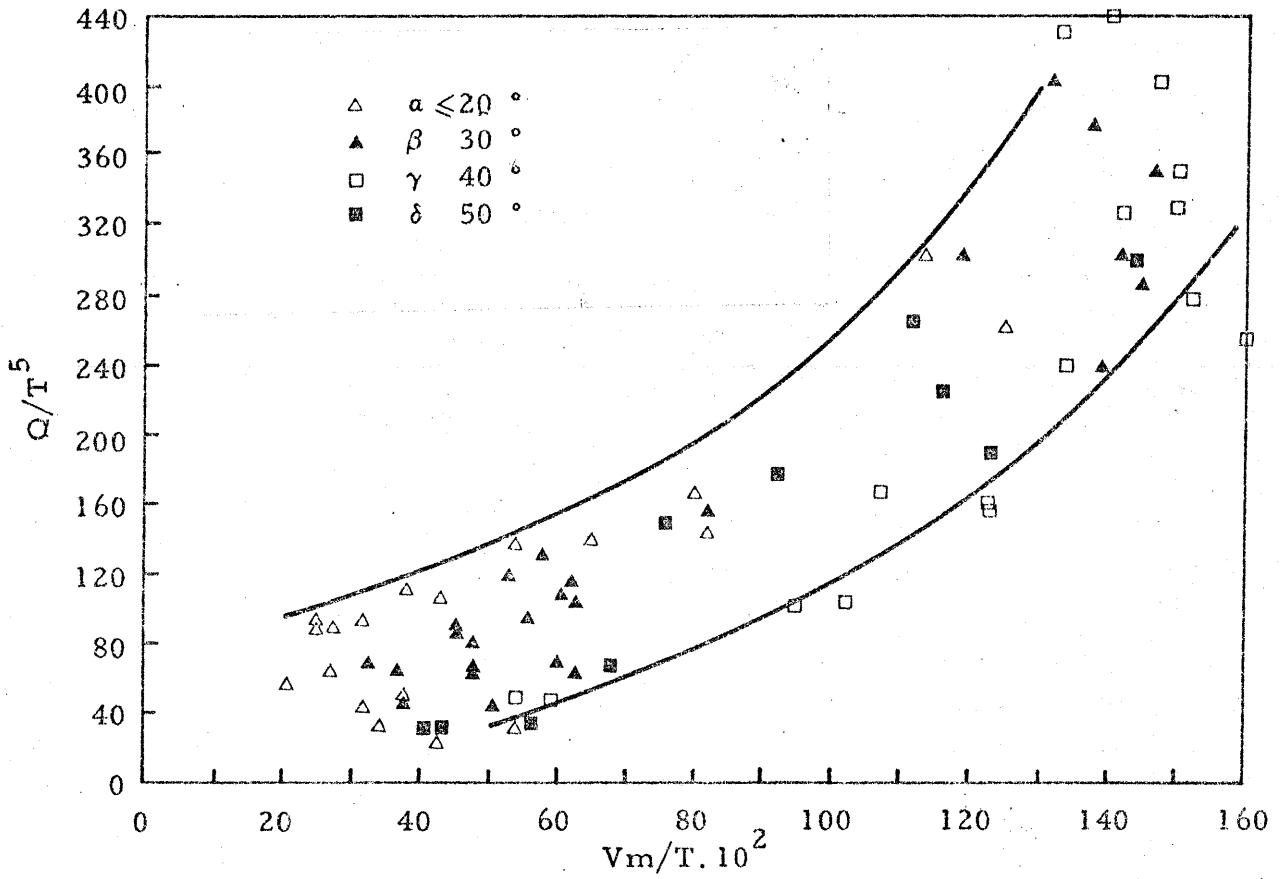


Figure 10.

(d'après W. Harrison)



débit solide en granulats (Q/T^5) en fonction de la vitesse du "longshore current" (V_m) pour divers angles d'incidence (α, β, γ et δ)

Figure 11.

(d'après R. L. Wiegell)

Si l'on effectue ($g / 2\pi$), il est alors possible d'écrire :

$$P = \frac{\omega}{16} \cdot 1,56 \cdot H_o^2 \cdot T$$

Composante de la puissance parallèle à la côte.

Une partie seulement de la puissance de la houle au déferlement est susceptible d'être développée parallèlement au rivage. Elle est fonction de l'angle d'incidence de la houle au déferlement (θb), son expression est de la forme :

$$P_i = P \cdot \sin \theta b \cdot \cos \theta b$$

L'EFFICIENCE DE L'ENERGIE DE LA HOULE AU DEFERLEMENT :
LES DEBITS SOLIDES

De nombreuses relations ont été obtenues qui ont permis de montrer la dépendance du débit solide vis à vis de l'énergie déployée par la houle au niveau de la zone de déferlement, dans le cas d'une plage rectiligne, sans obstacle. Ce, tant sur modèle réduit qu'en nature. Citons à ce sujet les relations obtenues sur des plages naturelles :

J.M. CALDWELL (1956) a pu écrire :

$$Q_i = 0,022 \cdot P \cdot \sin \theta b \cdot \cos \theta b$$

avec :

Q_i en m^3

P en Kilowatts

θb étant l'angle d'incidence de la houle au déferlement

ce, pour un diamètre des matériaux de l'ordre de 400 μm .

Enfin, D.L. INMAN, P.D. KOMAR et A.J. BOWEN (1969) trouvent aussi une bonne corrélation entre le transport de matériaux et la composante de puissance parallèle au rivage. Pour des sédiments de diamètre compris entre 180 et 600 micromètres, la relation est la suivante :

$$I = K \cdot P \cdot \sin \theta b \cdot \cos \theta b$$

avec avec :

$K = 0,7$

I poids des sédiments pesés sous l'eau (dynes/s)

$P \sin \theta b \cos \theta b$ la composante de puissance parallèle à la côte (ergs/s)

De très nombreuses autres relations semblables ont été trouvées : W.C. KRUMBEIN (1944), C.E. LEE (1954), P. BRUUN (1954), L. BAJORUNAS (1960), qui attestent sans équivoque une relation entre la quantité de sédiments mobilisée au niveau de la zone de déferlement et transportée parallèlement à celle-ci avec le travail fourni par les vagues déferlantes dans le même laps de temps

Cependant plusieurs points restent sujets à caution :

L'angle d'incidence au déferlement.

Si la plupart des auteurs emploient une expression en $\sin\theta \cdot \cos\theta$, suivant ainsi la loi de Lewis (transport solide nul pour une incidence $\theta = 0$ ou 90° et maximum pour une incidence $\theta = 45^\circ$), certains, avec J. LARRAS, préconisent une fonction $f(\theta)$ de forme : $\sin 7\theta / 4$, dont le maximum est atteint pour une incidence de l'ordre de 52° .

La cambrure.

L'influence de cette dernière paraît être évidente comme le montre la figure 12 empruntée à R.L. WIEGEL (1964). Elle demeure cependant difficile à numériser. Il semble exister à intensité égale de la puissance développée par la houle, une valeur critique de la cambrure provoquant un transit sédimentaire maximum. D'autre part, d'après les travaux de J. LARRAS et de R. BONNEFILLE (in J. LARRAS, 1972), le débit solide paraît décroître très rapidement avec l'augmentation de la cambrure.

Le diamètre des matériaux.

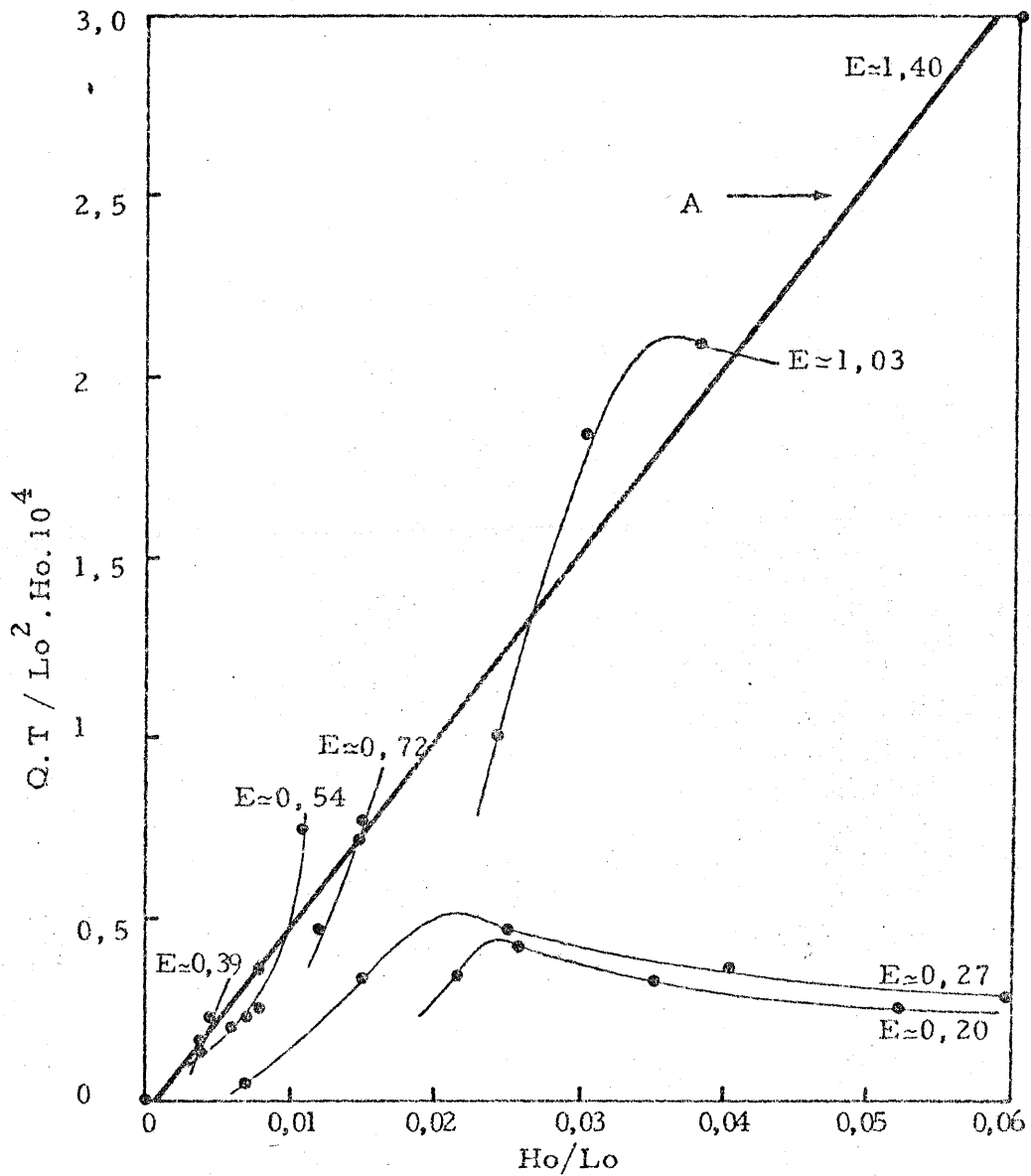
Son rôle est attesté par les travaux de J.C. INGLE, figure 13 (d'après J. LARRAS et R. BONNEFILLE, in J. LARRAS, 1972), le maximum de débit solide se présenterait pour un diamètre de 800 à 900 micromètres ; mais il convient de signaler également que les travaux de D.L. INMAN et al. (1969) n'ont pas montré de différence de transport pour une gamme de matériaux de diamètres compris entre 180 et 600 micromètres .

LA PENTE D'EQUILIBRE DES PLAGES

Il est possible d'exprimer une relation entre la pente d'équilibre d'une plage considérée comme variable dépendante, avec plusieurs variables indépendantes.

Notons parmi ces dernières :

- paramètres caractéristiques du sédiment
 - diamètre du sédiment
 - écart-type de la distribution

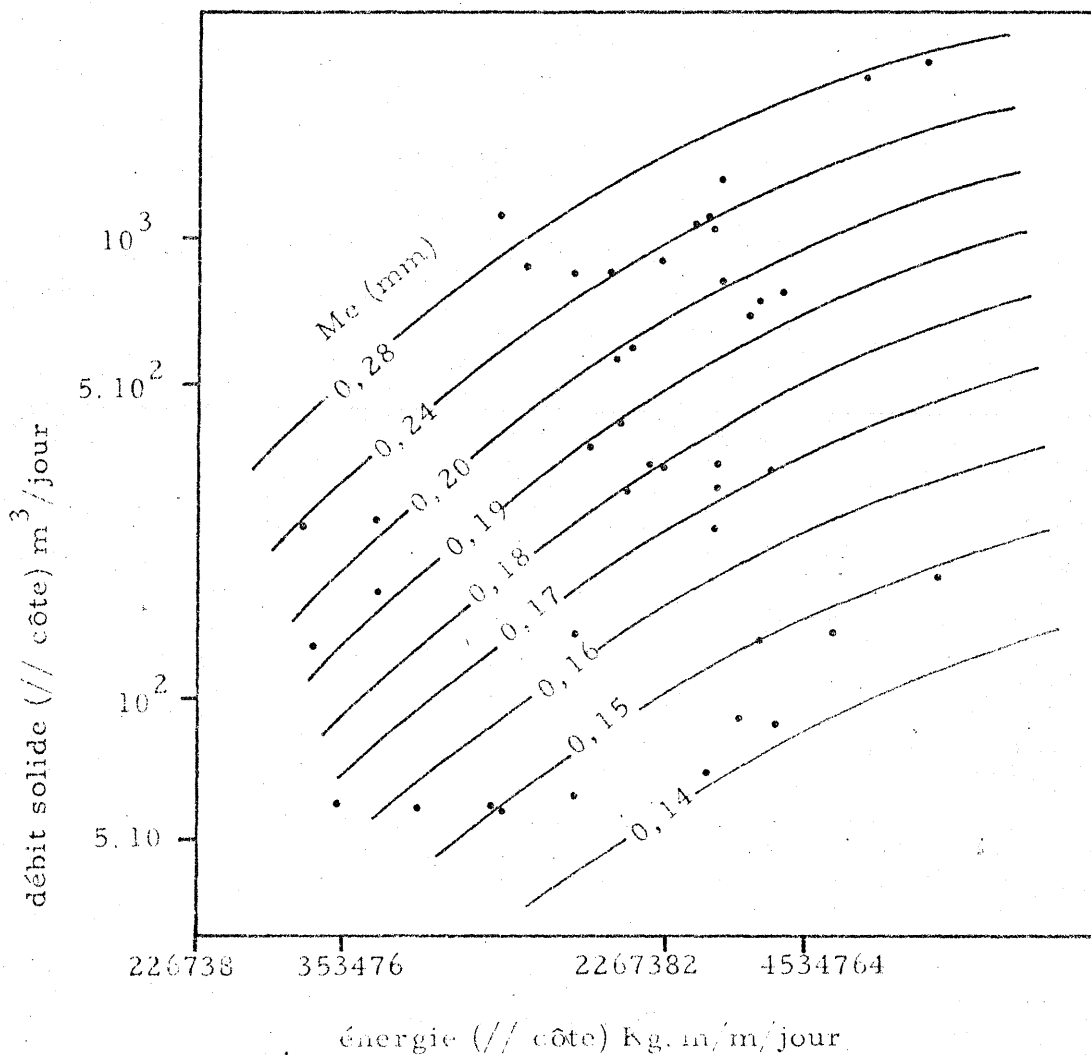


expression du débit solide en fonction de la cambrure de la houle au large pour plusieurs valeurs de l' énergie :
- E en Kg m/m -

A : courbe donnée par W. C. Krumbein pour un sable de diamètre médian de 0,50 mm et un angle d' incidence compris entre $16,2^\circ$ et $26,7^\circ$

Figure 12.

(d'après R. L. Wiegel)



relation entre la composante de l'énergie parallèle au littoral et le débit solide parallèle au littoral pour diverses valeurs du grain médian (Me)

Figure 13.

(d'après J. C. INGLE)

- paramètres caractéristiques de la houle

creux
longueur d'onde
cambrure
énergie

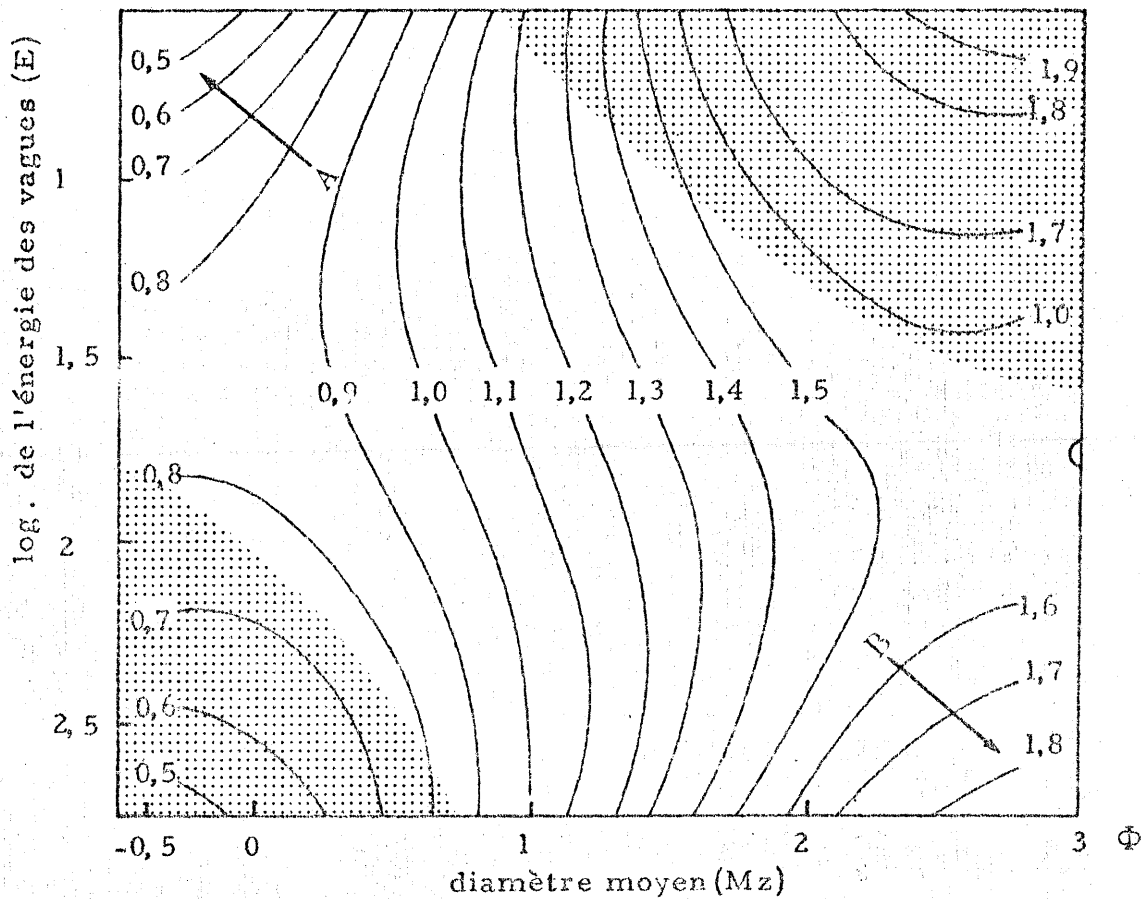
En termes généraux, et en ne considérant que les principaux facteurs, il est possible d'écrire :

$$\text{tg } \alpha = K \frac{D^n}{E^m}$$

avec :

α pente de la plage
D diamètre des matériaux
E énergie de la houle
et $m < n < 1$

La pente croit donc quand augmente le diamètre du sédiment et décroît quand la puissance devient importante. La figure 14 empruntée à C.A.M. KING et J.C. DOORNKAMP (1971) montre que la taille du sédiment reste néanmoins le facteur primordial quant à la détermination de la pente d'une plage.



faible densité d'observations

en z : logarithme de la cotangente de la pente

A - pente forte

B - pente faible

expression de la pente de la plage en fonction du diamètre du grain moyen (Mz) et de l'énergie des vagues (E).

Figure 14

(d'après C.A.M. King et J.C. Doornkamp)

EXEMPLE D'UN REGIME DE HOULE / LE LITTORAL AQUITAIN

Nous nous proposons de mettre en évidence le régime de houle affectant le littoral aquitain.

Les informations utilisées pour cette étude sont :

- des observations visuelles de la direction de la houle réalisées au large de l'embouchure de la GIRONDE
- des enregistrements de période et de hauteur de la houle effectués au large de BISCAROSSE.

DIRECTION DE LA HOULE.

Les documents ayant servi de base à l'élaboration de cette étude sont des données fournies par le service de climatologie de la Météorologie Nationale, concernant :

- les navires à position fixe Commandant GAMAS et Pilote FLEURET.

position des navires :

45° 36' N

01° 12' W

durée des observations :

4 ans (1964 - 1966 - 1968 - 1969)

nombre de jours d'observation :

1054

Figure 15, p. 33
Tableau 2, p. 34

Fig. 15 .Fréquence des directions de la houle
(échelle logarithmique)

position :
45° 36' N
01° 12' W

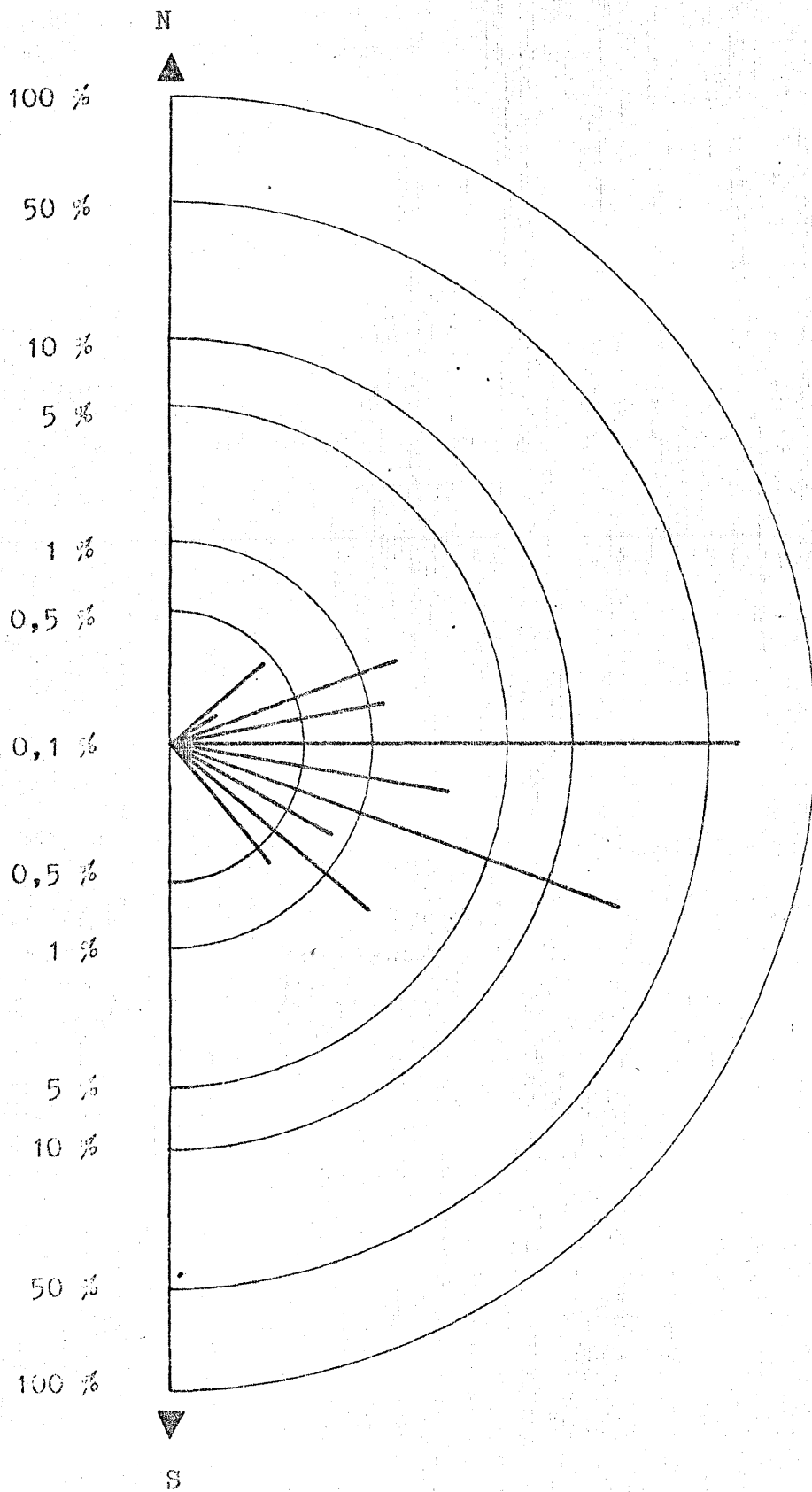


tableau : 2

direction de la houle

direction (en degrés)	fréquence
180	< 0,1
190	0
200	< 0,1
210	0
220	< 0,1
230	0,37
240	0,18
250	1,51
260	1,23
270	67,45
280	2,56
290	23,14
300	0,85
310	1,80
320	0,56

Observations visuelles de la houle effectuées par les navires
à position fixe Commandant GAMAS et
Pilote FLEURET

position : 45° 36' N ; 01° 12' W

1054 jours d'observation

PERIODE, HAUTEUR, CAMBRURE DE LA HOULE.

Les documents ayant servi de base à l'élaboration de cette étude sont des données fournies par le Port Autonome de Bordeaux concernant :

- des enregistrements par houlographe autonome

position :

au large de Biscarosse, à 26 mètres au dessous du zéro des cartes marines.

durée des enregistrements :

un an (1963)

nombre d'enregistrements :

337

Tableau 3, p. 36

Notons que les périodes et hauteurs extrêmes enregistrées durant l'intervalle du 22 / 01 / 1963 au 24 / 01 / 1968, présente sur un total de 2569 enregistrements les caractéristiques suivantes :

période 22,9 secondes

hauteur 10,5 mètres.

tableau : 3

période, hauteur et cambrure de la houle

Biscarosse

paramètres	période	hauteur*	cambrure	
percentiles	16	9,8	0,3	0,0012
	50	11,8	1,1	0,0057
	84	13,8	2,4	0,0112
extrêmes	min.	6	< 0,5	0,0009
	max.	19	> 8	0,0310
moyenne	12,28	1,79	0,0079	
écart-type	2,12	1,11	0,0052	
coefficient de variation	0,17	0,62	0,65	

* $H^{1/3}$

LE COURANT ALTERNATIF. (x)

U_0 est une grandeur dont la représentation cartographique est fréquente en géodynamique sous-marine. Les lignes d'iso-célérité (Mac CAVE, 1971), les plages d'égales classes de vitesse (G.P. ALLEN, 1971) en sont des exemples.

Ces documents expriment U_0 pour des valeurs précises :

- de la hauteur d'eau, compte tenu de l'oscillation verticale de la marée (le niveau de référence usuel est le zéro des cartes marines) ;

- des paramètres caractérisant la houle ;

événements dont la probabilité de répétition est susceptible d'être déterminée.

Variation de la hauteur d'eau en un point donné.

L'oscillation verticale entre l'étale de basse mer et l'étale de pleine mer dépend de l'unité de hauteur locale, du coefficient de marée, et, secondairement, des effets du vent et de la pression atmosphérique. La variation locale de la hauteur d'eau provoque une variation corrélative de la valeur prise par U_0 .

L'hypothèse simplificatrice pour le calcul de U_0 élude le problème de la modification de la grandeur de ce paramètre qui est introduite par la marée. Il en résulte une erreur dont on peut envisager la valeur maximale à partir de l'erreur maximale sur le facteur hauteur d'eau.

Cette erreur toujours de même sens - détermination par excès - est proportionnelle au marnage et varie avec la région considérée.

Pour une houle de période 10 secondes et diverses valeurs de la profondeur et du marnage, nous avons calculé l'erreur relative maximale :

$$\varepsilon = \frac{E}{S}$$

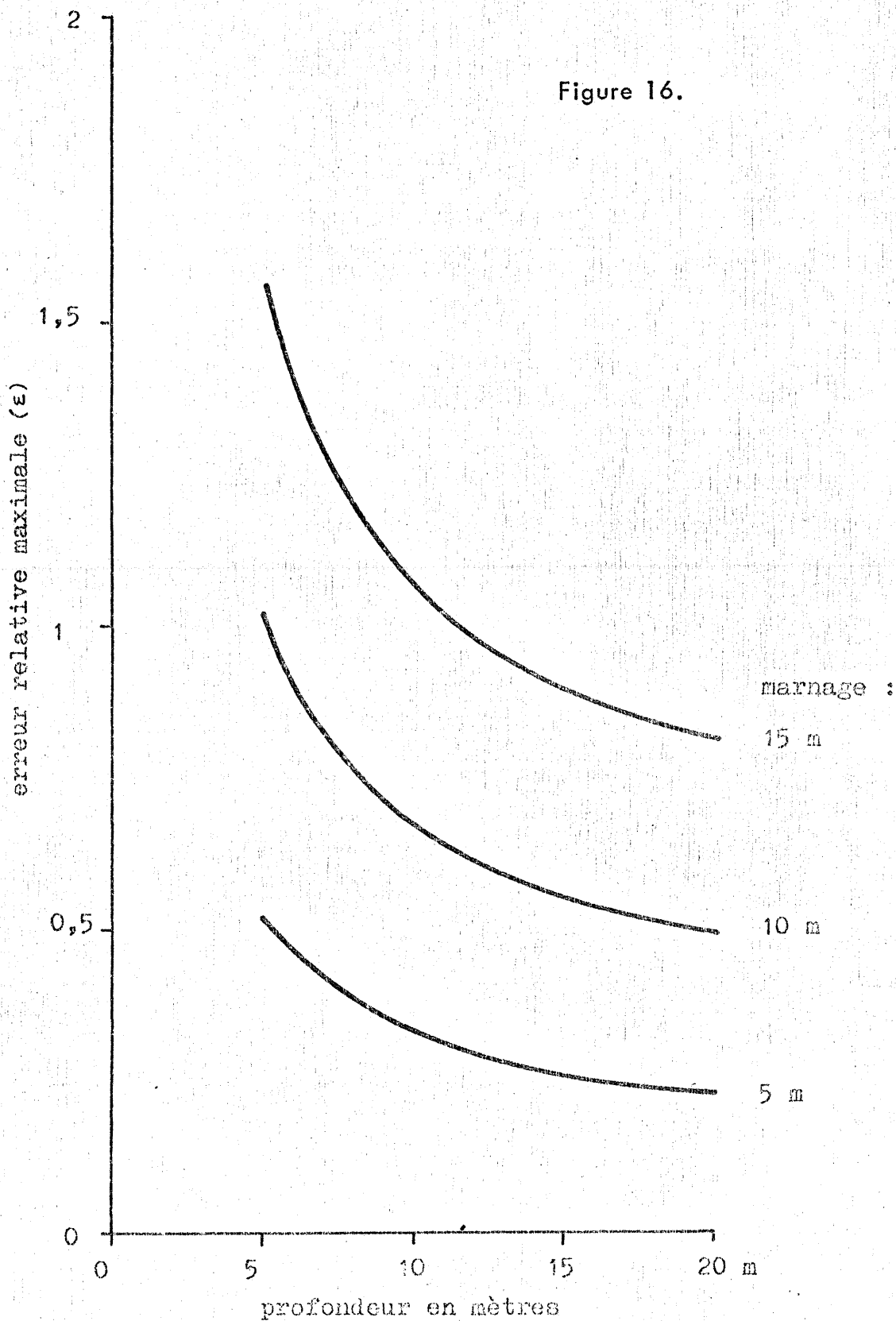
en considérant $U_0(d)$ et $U_0(d + d')$, avec :

d profondeur par rapport au zéro des cartes marines
 d' variation de la hauteur du plan d'eau qui dépend principalement de l'unité de hauteur locale (u), du coefficient de marée (C) et de l'instant considéré pendant le cycle de marée.

Figure 16, p. 38
Tableau 4, p. 39

(x) cf. supra, p. 18.

Figure 16.



Erreur relative maximale sur la détermination de U.
en fonction de la profondeur pour différentes va-
leurs de marnage.

tableau : 4

valeurs pour diverses profondeurs de l'erreur relative maximale (ϵ) sur la détermination de la vitesse alternative horizontale (U_0) en fonction de la variation de la hauteur du plan d'eau.

niveau (b. m. v. e. e.)	variation de la hauteur du plan d'eau		
	5m	10m	15m
- 5 m	$\epsilon = 0,52$	1,02	1,56
- 10 m	0,33	0,67	1,06
- 15 m	0,26	0,55	0,89
- 20 m	0,23	0,49	0,81

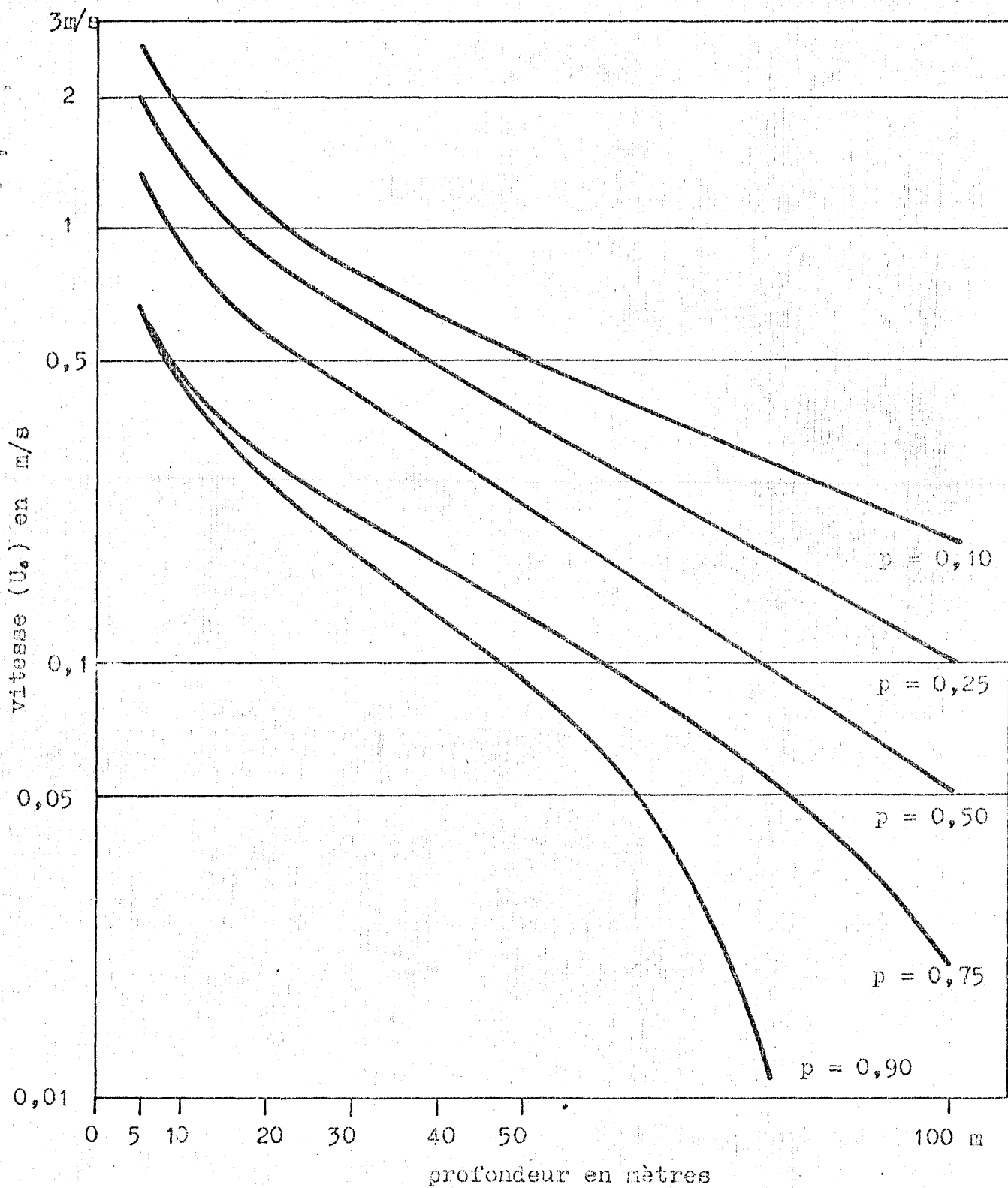
Ainsi que l'on peut le constater, la valeur prise par ε ne s'amortit que lentement avec l'accroissement de la profondeur.

Paramètres caractérisant la houle.

De nombreux auteurs (DRAPER, 1966; GENSOUS, 1971) ont tracé des courbes des différentes valeurs prises par U_0 en fonction de la hauteur d'eau. La limite de validité des études réalisées à ce sujet dépend de la qualité des enregistrements de houle disponibles. Les tableaux statistiques qui donnent la probabilité de corrélation entre une valeur de la période et une valeur de l'amplitude forment en l'occurrence le document de base pour la réalisation de tels travaux. Donc, seule l'analyse de films d'enregistrement obtenus par houlographie permet de déterminer la probabilité (p) de l'enregistrement d'une valeur précise de U_0 .

Disposant de tels enregistrements effectués au large de Biscarosse (Landes), nous avons pu dresser des courbes de fréquence de U_0 en fonction de la profondeur.

Figure 17, page 41
Tableau 5, page 42.



Valeurs atteintes par le courant alternatif horizontal en fonction de la profondeur pour différentes probabilités d'obtention. (Biscarosse)

Figure 17

tableau : 5

vitesse atteinte par le courant alternatif horizontal en fonction de la profondeur pour différentes fréquences d'obtention.

profondeur (en m.)	fréquence d'obtention				
	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %
- 5	2,65m/s	2 m/s	1,34m/s	0,67m/s	0,66m/s
- 10	1,80	1,35	0,90	0,46	0,43
- 20	1,13	0,87	0,57	0,30	0,27
- 30	0,78	0,63	0,42	0,22	0,18
- 40	0,62	0,48	0,31	0,17	0,12
- 50	0,50	0,36	0,23	0,13	0,09
-100	0,19	0,10	0,05	0,02	0

observation de la houle à Biscarosse

REPARTITION DU TRAVAIL EN FONCTION DE LA PROFONDEUR. (x)

Nous avons considéré la quantité de travail fournie sur une année à diverses profondeurs par :

- l'ensemble des houles (A)

$$\sum (U_o^3 \cdot p)$$

- la houle de travail modal (B)

$$(U_o^3 \text{ mod}) \cdot p$$

- la houle de travail maximum (C)

$$(U_o^3 \text{ max}) \cdot p$$

en prenant un indice 100 pour la profondeur -5 mètres.

Figure 18, p. 44
Tableau 6, p. 45.

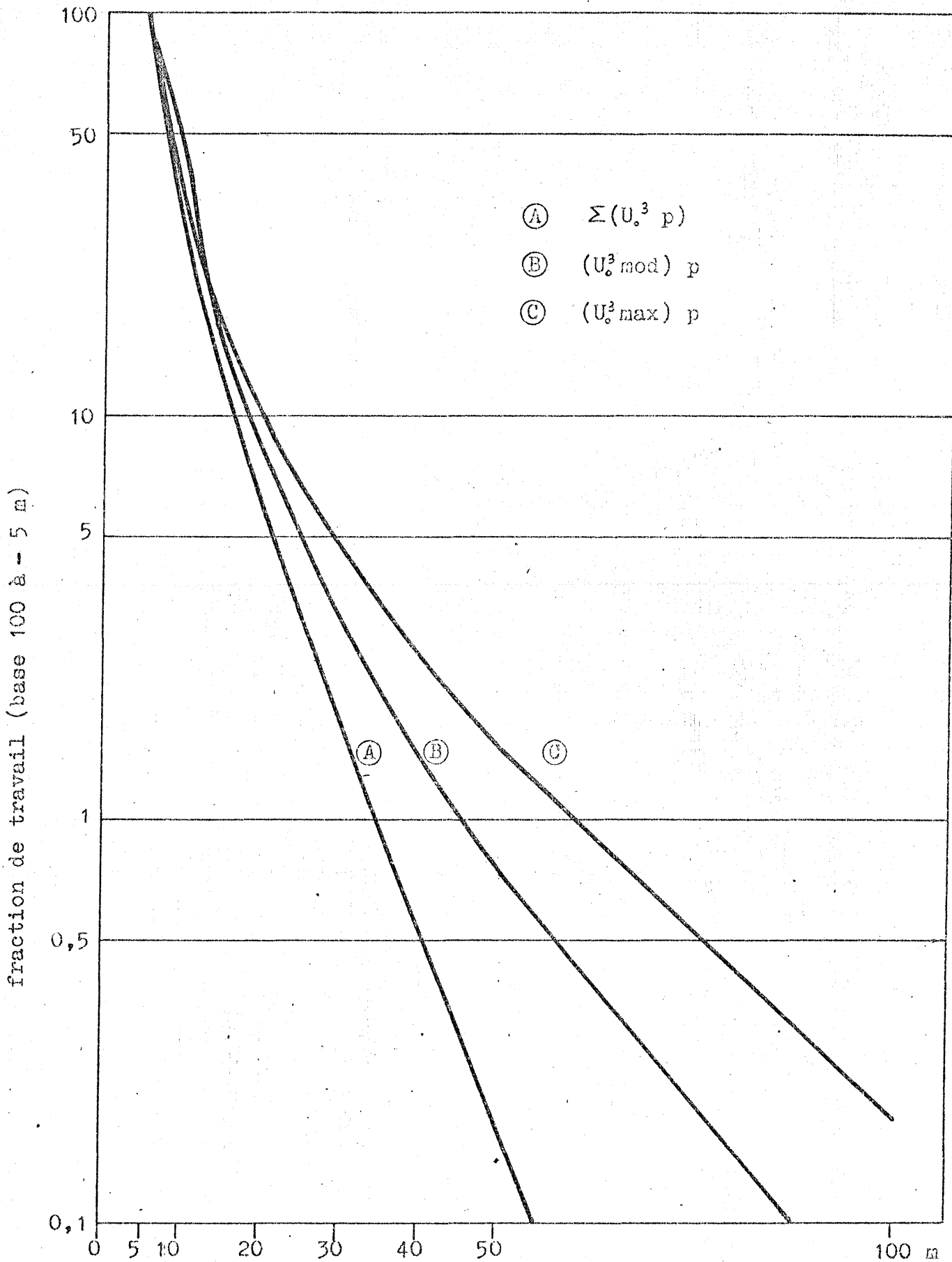
Résultats qui montrent et confirment la décroissance très rapide du travail fourni quand augmente la profondeur, et permettent de distinguer, d'après la forme de chacune des trois courbes, des provinces caractérisées par des régimes différents d'action de la houle :

zone de grande efficacité	0 à -10m
zone d'efficacité modérée	-10 à -40m
zone d'efficacité infime	-40 et davantage.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par GENSOUS (1971) qui avait considéré la valeur prise par le produit $(U_o^3 \cdot p)$ max, dans la mesure où ils accordent moins d'importance à l'action de la houle entre -10 et -20 mètres, ce qui paraît confirmer les observations faites sur le régime des fonds : on ne constate pas sur le plateau continental proche girondin de modification du tracé des isobathes pour des profondeurs plus grandes que -10 mètres.

Il convient cependant de ne pas exclure pour des profondeurs importantes la possibilité d'agitation temporaire efficace.

(x) cf. supra , page 20.



Répartition du travail en fonction de la profondeur pour les expressions A, B, et C.

Figure 18

tableau : 6

répartition du travail :

A/ de l'ensemble des houles

B/ de la houle de travail modal

C/ de la houle de travail maximum

en fonction de la profondeur

profondeur (en m.)	produit considéré		
	A	B	C
- 5	100	100	100
- 10	38,68	28,12	32,96
- 20	7,91	5,62	9,44
- 30	3,11	1,61	4,57
- 40	1,46	0,54	2,50
- 50	0,74	0,001	1,50
- 100	0,05	0,001	0,18

observation de la houle à Biscarosse

REPARTITION DU TRAVAIL EN FONCTION DU TEMPS

Les expressions précédentes ne mettent pas en évidence le laps de temps nécessaire à ce qu'une certaine partie du travail soit fournie. C'est pourquoi nous avons étudié la relation entre la cumulation de :

$$\frac{U_o^3 \cdot p}{\sum (U_o^3 \cdot p)} \cdot 100$$

et la fréquence cumulée des temps pour diverses profondeurs.

Figure 19, page 47
Tableau 7, page 48

L'étude de cette distribution nous permet d'effectuer une distinction entre deux types de houles :

- houles à grande capacité de travail
enregistrées sur la côte aquitaine durant un faible laps de temps (= 10 %), elles effectuent la majeure partie du travail (de 60 à 90 %).
- houles à faible capacité de travail
ce sont les plus fréquentes, mais leur contribution à l'agitation du fond est minime, d'autant plus faible que la profondeur est grande.

Il ressort de ces données que la houle modale enregistrée sur les côtes aquitaines ne paraît pas pouvoir être retenue pour illustrer l'efficiace au niveau du fond, elle ne représente qu'une fraction de 2,5 % du travail total et appartient à la deuxième catégorie ci-dessus envisagée.

Ce traitement des données met en évidence l'importance des conditions météorologiques extrêmes : ainsi, sur le plateau continental aquitain, le rapport :

$$\frac{\text{débit de charriage instantané de la houle de travail maxima}}{\text{débit de charriage instantané de la houle de travail modal}}$$

qui peut être approché par le rapport :

$$\frac{U_o^3 \text{ max}}{U_o^3 \text{ mod}}$$

est de l'ordre de 100 à une profondeur de -5 mètres et à -30 mètres, passe à près de 300.

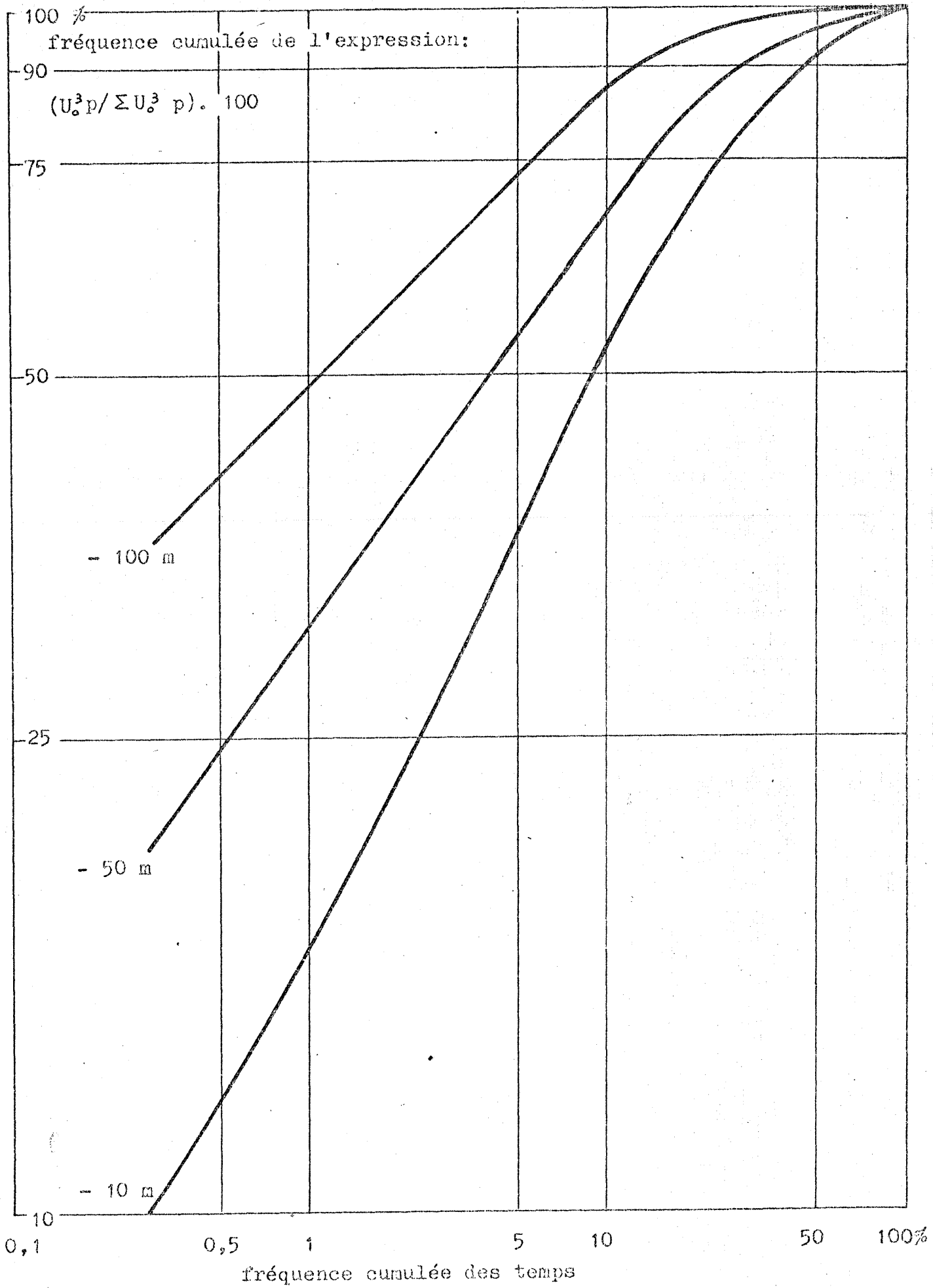


Figure 19

tableau : 7

répartition du travail de la houle en fonction du temps
pour diverses profondeurs

fraction de travail annuel	profondeur (en m.)						
	- 5	-10	- 20	- 30	-40	- 50	- 100
16%	0,8%	0,7	0,4	0,3			
	du temps						
25	2,6	2,2	1,6	1,1	0,8	0,5	
50	10,2	9,6	9,1	7	5,8	4,5	0,9
75	26,3	25,2	22,7	19,8	17,1	14,4	4,4
84	34,6	33,4	31	27,8	24,8	21,3	8,6
95	61,5	59,6	55,1	50,4	56,5	41,4	19,4
99	81	76,4	74,2	71,2	68,1	66,6	40

observation de la houle à Biscarosse

Il est ainsi montré le risque qu'il y a lors de l'élaboration d'un modèle relatant la dynamique sous-marine d'une province, à ne tenir compte que de l'évènement modal dont la grande fréquence ne parvient pas toujours à compenser la faible intensité.

PUISSANCE DE LA HOULE AU DEFERLEMENT (*).

A partir des caractères de la houle au large (H_0 , T), l'énergie transmise (E_t) et la puissance (P) de la houle au déferlement ont été calculées.

Ce calcul ne tient pas compte de la réfraction de la houle, mais donne cependant une bonne approximation de l'efficacité sédimentologique et géomorphologique de la houle à la côte.

Figure 20, page 50
Tableau 8, page 51.

REPARTITION DU TRAVAIL DE LA HOULE AU DEFERLEMENT EN FONCTION DU TEMPS.

A partir des informations ayant permis de réaliser le tableau cité ci-dessus, il a été possible de d'exprimer :

la cumulation du travail fourni par la houle au déferlement en fonction de la fréquence cumulée des temps.

Figure 21, page 52
Tableau 9, page 53.

Ici encore, il est mis en évidence qu'une très grande partie du travail est effectuée en un laps de temps assez bref (plus de 25 % du travail en moins de 5 % du temps), aussi convient-il donc de se garder de tout appel à la notion de houle moyenne ou modale pour mettre en parallèle ce dernier agent et l'évolution des plages.

(*) cf. supra, page 22.

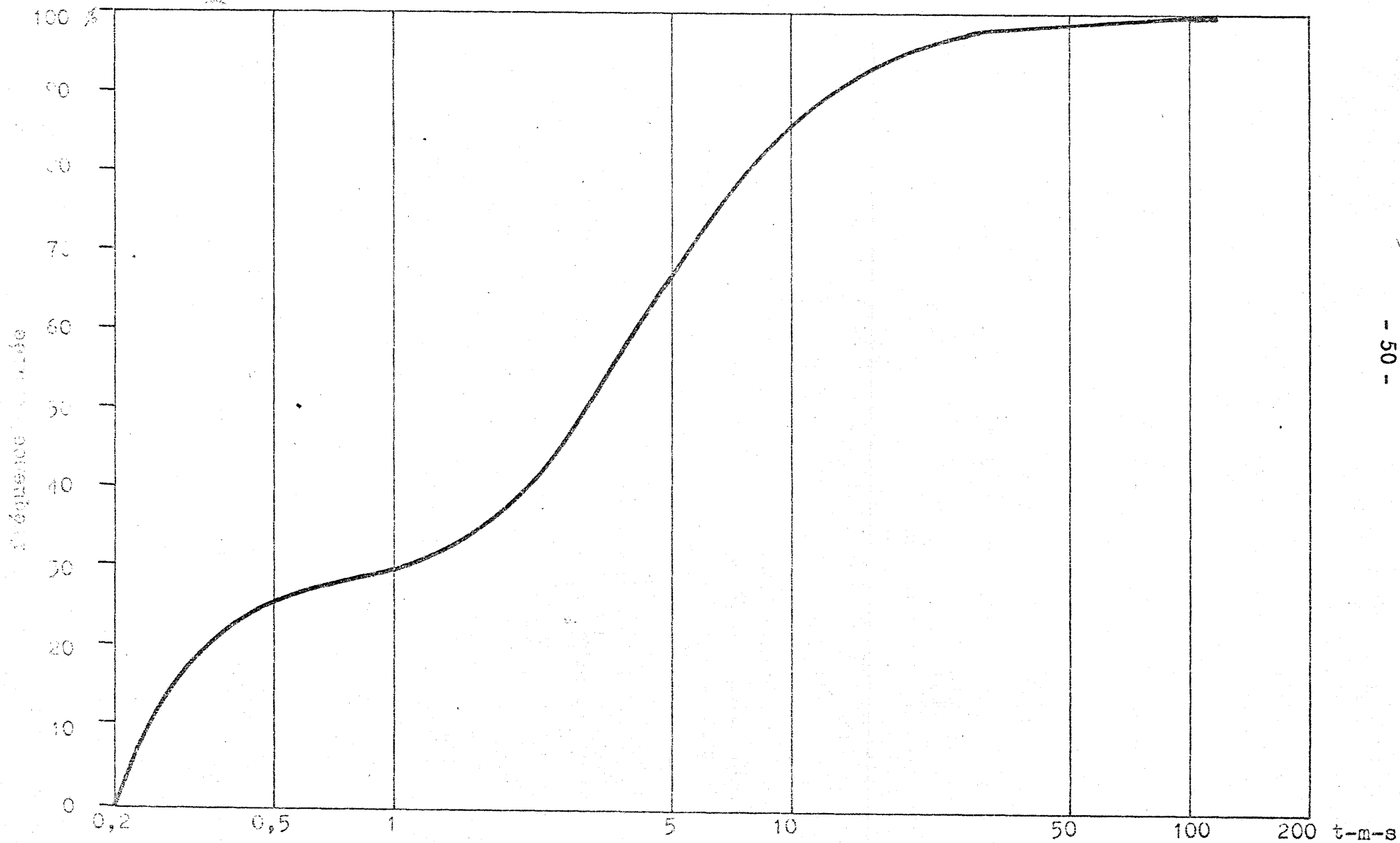


figure 20. Puissance de la houle en tonnes-mètre-seconde (Biscarosse)

tableau : 8

puissance de la houle au déferlement

Biscarosse

percentiles	puissance (t/m/s par m. de longueur de crête)
1	0,23
5	0,25
16	0,31
25	2,3
50	2,9
75	8,1
84	10
95	18
99	34

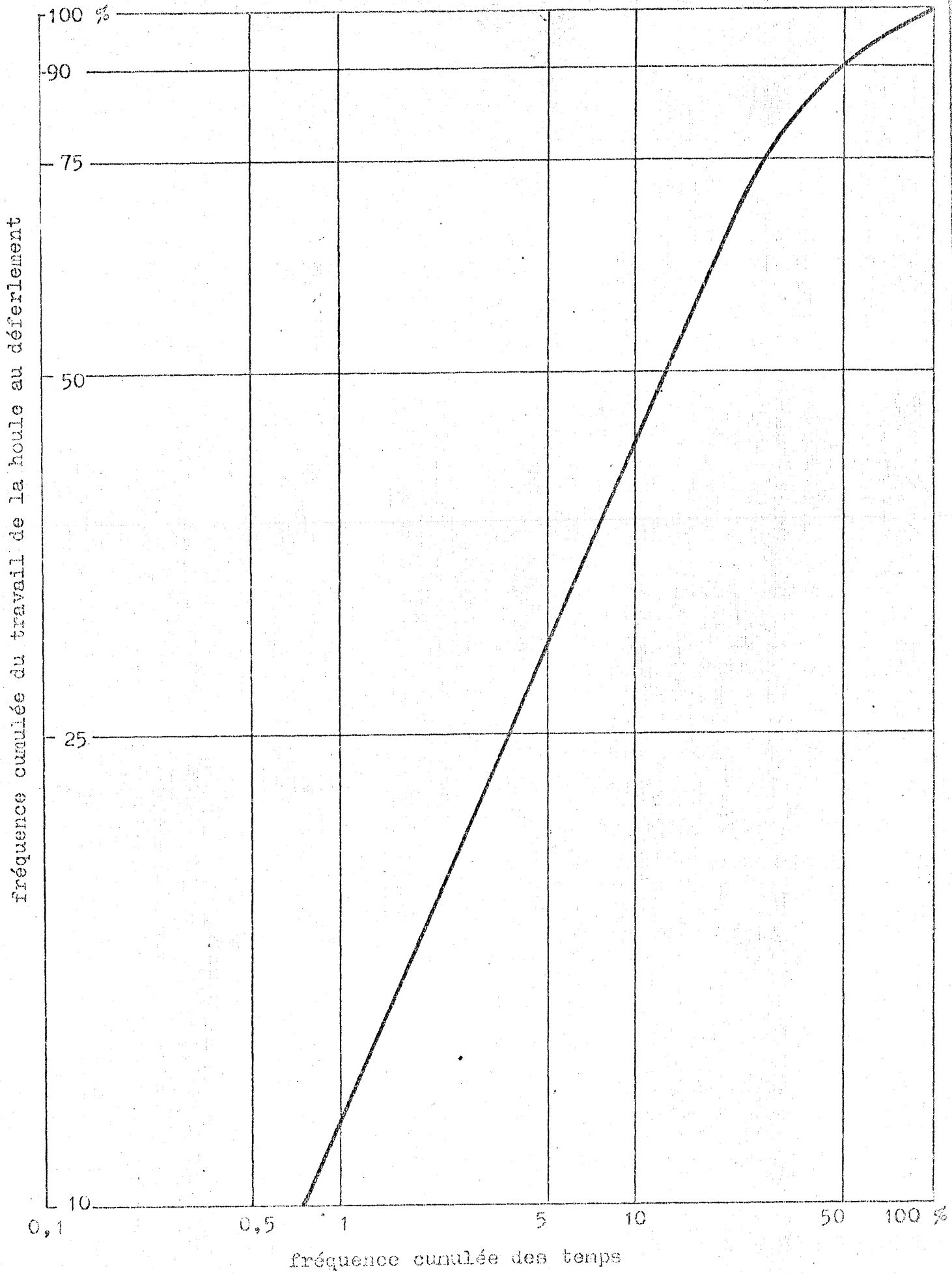


Figure 21

tableau : 9

répartition dans le temps du travail fourni par la houle
au déferlement.

fraction de temps	fraction de travail
1%	11,7%
5	28,2
16	55,1
25	68,5
50	84,2
75	98,7
84	99,3
95	99,7
99	99,9

observation de la houle à Biscarosse

ANNEXE 1

Glossaire des principaux termes
relatifs à la houle.

AMPLITUDE

anglais ne s'emploie pas
symbole A
définition l'amplitude vaut 1/2 de la hauteur (voir hauteur).
Est cependant employé par certains comme synonyme de hauteur.

CAMBRURE

anglais wave steepness
symbole γ
définition la cambrure est le rapport : $\frac{\text{hauteur}}{\text{longueur d'onde}}$

DEFERLEMENT

anglais breaker
définition écrasement de la partie supérieure d'une houle lorsque le rapport : $\frac{\text{hauteur de la houle}}{\text{profondeur d'eau}}$
prend une valeur de l'ordre de 1,3.
On note deux principaux types de déferlement : en volute, et déversant.

DIFFRACTION

anglais diffraction
définition déformation de la houle qui contourne un obstacle

DIRECTION

anglais wave direction
définition on appelle direction de propagation de la houle celle / depuis laquelle approche/ ou/ vers laquelle se déplace / cette dernière, cette direction est perpendiculaire à celle des crêtes. A la côte, la direction de la houle est soumise à des déformations : réfraction, réflexion, diffraction.

FETCH (on emploie également COURSE)

anglais fetch
définition aire à l'intérieur de laquelle les vagues sont engendrées par le vent. Il y a souvent confusion entre les expressions : fetch et fetch length, cette dernière signifie : distance horizontale (selon la direction du vent)

sur laquelle souffle le vent qui engendre une houle. Le terme français course traduit en fait cette dernière expression.

HAUTEUR

anglais	wave length
symbole	H
définition	dénivellation entre les deux tangentes horizontales à la crête et au creux de la vague.

HOULE

anglais	swell
définition	vagues engendrées par le vent qui se sont propagées hors de leur aire de génération. Il s'agit alors d'oscillations libres (par opposition aux vagues, ou oscillations contraires). La houle présente une période plus longue et plus régulière ainsi que des crêtes plus plates que celles des vagues.

JET DE RIVE

anglais	swash
définition	afflux de l'eau sur la plage à la suite du déferlement. La progression des particules d'eau en direction de la haute plage suit une direction perpendiculaire à l'axe des vagues.

LONGUEUR

anglais	wave length
symbole	L ou encore λ
définition	distance horizontale comprise entre deux crêtes ou deux creux de vagues consécutives. On dit également longueur d'onde.

ORTHOAGONALE

anglais	orthogonal
définition	ligne suivant la direction de propagation et perpendiculaire aux crêtes de la houle. Le tracé des orthogonales permet de délimiter des régions de convergence (concentration des orthogonales, exemple : cap) et de divergence (épanouissement des orthogonales, exemple : baie).

PERIODE

anglais	wave period
symbole	T
définition	temps nécessaire à ce qu'une crête de houle traverse une distance égale à une longueur d'onde, ou encore, temps écoulé entre le passage de deux crêtes successives au même point.

REFLEXION

anglais	reflected wave
définition	renvoi vers le large de la vague incidente par un obstacle.

REFRACTION

anglais	refraction
définition	modification de la direction de propagation de la houle liée à un relèvement du fond dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation.

RETOUR DE VAGUE

anglais	backrush
définition	écoulement de l'eau descendant la plage en suivant la direction de plus grande pente, sous l'effet de la pesanteur.

VAGUE

anglais	wave
définition	déformation ou ondulation engendrée par le vent à la surface de la mer ou d'un lac.

VITESSE

anglais	wave velocity
symbole	c
définition	vitesse à laquelle une vague se déplace, elle est donnée par le rapport :

$$\frac{\text{longueur d'onde}}{\text{période}}$$

ANNEXE 2

Bibliographie

ALLEN (G.P.), 1971

Relationship between grain size parameter distribution and current patterns in the Gironde estuary (France).

Journal of Sedimentary Petrology, vol. 41, n° 1, pp. 74 - 84

BAGNOLD (R.A.), 1964

Beach and nearshore processes - Part I : Mechanics of marine sedimentation.

Hill M.N. - The Sea, vol III, Interscience, New-York, pp. 507 - 528

BONNEFILLE (R.), PERNECKER (L.), 1966

Le début d'entraînement des sédiments sous l'action de la houle.

Bulletin du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou, n° 15 pp. 27 - 32

BOWEN (A.J.), 1969

The generation of longshore currents on a plane beach.

Journal of Marine Research, vol 27, n°2, pp. 206 - 215

BOWEN (A.J.), INMAN (D.L.), 1966

Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center, tech. memo., n° 19, 41 p.

DRAPER (L.) , 1967

Wave activity at the sea bed around northwestern Europe.

Marine Geology, vol. 5, n°2, pp. 133 - 140

FAIRCHILD (J.C.), 1966

Correlation of littoral transport with wave energy along shores of New-York and New Jersey.

U.S. Army , Corps Engrs., techn. memo. n° 7, 102 p.

GALVIN (C. J.), EAGLESON (P. R.) et EAGELSON (J. S.), 1964

Experimental study of longshore currents on a plane beach.

Hydrodynamics Laboratory, Department of Civil Engineering,
M.I.T., Cambridge 39, Massachussets (U.S.A.), rapport
n° 63, 88p.

GENSOUS (B.), 1971

Contribution à l'étude des sédiments meubles superficiels du
plateau continental qqitain - Relations avec le régime hy-
draulique actuel.

Thèse de 3ème cycle, Bordeaux, 58 p.

GODDET (J.), 1960

Etude du début d'entraînement des matériaux mobiles sous
l'action de la houle. Application à l'étude de la couche
laminaire oscillatoire. Critères de similitude.

La Houille Blanche, vol. 15, n° 2, pp. 122 - 135

HARRISON (W.), 1969

Empirical equation for foreshore changes over a tidal cycle.

Marine Geology, vol. 7, n° 6, pp. 529 - 551

HARRISON (W.), 1968

Empirical equation for longshore current velocity.

Journal of Geophysical Research, vol 73, n° 22, pp. 6929 -
6936

HARRISON (W.), KRUMBEIN (W. C.), 1964

Interactions of the beach-ocean-atmosphere system at Virginia
Beach, Virginia.

Coastal Engineering Research Center, tech. memo. n° 7,
102 p., 1 addendum

INMAN (D. L.), 1957

Wave generated ripple in nearshore sands.

U.S. Army - Beach Erosion Board, tech. memo. n° 100

INMAN (D.L.), 1963

Sediments : physical properties and mechanics of sedimentation.

Shepard F.P., Submarine Geology, Harper & Row, New-York,
pp. 101 - 151

INMAN (D.L.), 1963

Ocean wave and associated currents.

Shepard F.P., Submarine Geology, Harper & Row, New-York,
pp. 49 - 81

INMAN (D.L.), BAGNOLD (R.A.), 1964

Beach and nearshore processes - Part II : Littoral processes.

Hill M.N., The Sea, vol. 3, Interscience, New-York,
pp. 529 - 553

INMAN (D.L.), FRAUTSCHY (J.D.), 1965

Littoral processes and the development of shorelines.

Coastal Engineering, Santa Barbara, Speciality Conference,
October 1965, pp. 511 - 536

INMAN (D.L.), KOMAR (P.D.), BOWEN (A.J.), 1968

Longshore transport of sand.

Proceedings of the Eleventh Conference on coastal Engineering,
London, pp. 298 - 334

KING (C.A.M.), 1972

Beaches and coasts.

Second Edition, Edward Arnold, London, 570 p.

KRUMBEIN (W.C.), 1947

Shore processes and beach characteristics.

U.S. Army, Beach Erosion Board, tech. memo. n° 3

KRUMBEIN (W.C.), 1963

A geological process-response model for analysis of beach phenomena.

U.S. Army, Beach Erosion Board, vol. 17, pp. 1 - 15

LACOMBE (H.), 1965

Cours d'océanographie physique.

Gauthier Villars, Paris, 392 p.

LARRAS (J.), 1956

Effets de la houle et du clapotis sur les fonds de sable.

Compte-rendu des Quatrièmes Journées de l'Hydraulique, question VII, pp. 579 - 589

LARRAS (J.), 1969

Vitesse des courants de transport dans les brisants.

Cahiers Océanographiques, vol. 21, n° 3, pp. 283 - 285

LARRAS (J.), 1961

Cours d'hydraulique et de travaux maritimes.

Dunod, Paris, 459 p.

LARRAS (J.), 1972

Hydraulique et granulats.

Collection du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou, n° 15
Eyrolles, Paris, 254 p.

Mac CAVE (I.N.), 1971

Wave effectiveness at the sea bed and its relationship to bed forms and deposition of mud.

Journal of Sedimentary Petrology, vol. 41, n°1, pp. 88 - 96

MENARD (H.W.), 1950

Sediment movement in relation to current velocity.

Journal of Sedimentary Petrology, vol. 20, n° 3, pp. 148 - 160

MILLER (R.L.) , ZEIGLER (J.M.), 1958

A model relating dynamics and sediment pattern in equilibrium in the region of shoaling waves, breaker zone, and foreshore .

Journal of Geology, vol. 66, n° 4, pp. 417 - 441

MILLER (R.L.) , ZEIGLER (J.M.), 1964

A study of sediment distribution in the zone of shoaling waves over complicated bottom topography.

In Miller R.L., Papers in Marine Geology, the Macmillan Cy. New-York, pp. 133 - 153

MUNK (W.H.), 1949

The solitary wave theory and its application to surf problems.

Annals of the New-York Academy of Sciences, vol. 51, n°3, pp. 376 - 401

PIRES CASTANHO (J.), 1956

Etudes expérimentales sur la formation et l'évolution de flèches littorales.

Les énergies de la mer, question III, Compte-rendu des Quatrièmes Journées de l'Hydraulique, pp. 283 - 288

SATO (S.), TANAKA (N.), 1966

Field investigation on sand drift at port Kashima facing the Pacific Ocean.

Proceedings of the 10th Conference on Coastal Engineering, Tokyo, Japan, pp. 595 - 614

SAUVAGE DE SAINT MARC (M.G.), VINCENT (M.G.),

Transport littoral. Formation de flèches et de tombolos.

Proceedings of the 5th Conference on Coastal Engineering,
Grenoble, France, pp. 296- 328

SAVILLE (T.), 1950

Model study of sand transport along an infinitely long straight beach.

Transactions of the American Geophysical Union, vol. 31,
n° 4, pp. 555 - 565

SITARZ (J.A.), 1963

Contribution à l'étude de l'évolution des plages à partir de la connaissance des profils d'équilibre.

Travaux du C.R.E.O., N.S., tome V, fas. 2,3, et 4, pp. 1 - 199

SONU (C.J.), 1966

Longshore current and nearshore topographies.

Proceedings of 10th Conference on Coastal Engineering, Tokyo,
pp. 525 - 549

SONU (C.J.), 1966

Topography changes in the surf zone profile.

Proceedings of 10th Conference on Coastal Engineering, Tokyo,
pp. 502 - 524

STERNBERG (R.W.), 1971

Measurements of incipient motion of sediment particles in the marine environment.

Marine Geology, vol. 10, n° 2, pp. 113 - 119

THORNTON (E.B.), 1968

A field investigation on sand transport in the surf zone.
Proceedings of the 11th Conference on Coastal Engineering,
London, pp. 335 - 351

VERGER (F.), AUPHAN (E.), MONNIOT (Cl.), 1972

La cartographie géomorphologique conçue comme modèle dynamique.
in Memoires et Documents, volume 12, pp. 223 - 263

WIEGEL (R.L.), 1964

Oceanographical engineering.
Prentice - Hall, inc. Englewood cliffs, N.J., 532 p.

TABLE DES FIGURES

figures		pages
1	Direction de la houle au Touquet	7
2	Direction de la houle à Dunkerque	8
3	Période moyenne de la houle à Dunkerque	9
4	Amplitude moyenne de la houle à Dunkerque	10
5	Extrapolation de l'amplitude centenaire, millénaire à Dunkerque	11
6	Corrélation amplitude moyenne - période moyenne à Dunkerque	12
7	Diagramme des coefficients de réfraction à Umpqua River (Oregon)	14
8	Plan de vagues (houle de SSE) des abords de Long Beach (Californie)	15
9	Plan de vagues (houles d'W) dans le N.E. du Pertuis Breton	16
10	Vitesse moyenne du longshore current, d'après Harrison (W.), comparaison des vitesses calculées et observées	23
11	Débit solide en granulats en fonction de la vitesse du longshore current pour divers angles d'incidence	24
12	Débit solide parallèle au rivage en fonction de la cambrure de la houle au large pour plusieurs valeurs de l'énergie	27
13	Relation entre la composante de l'énergie parallèle au littoral et le débit solide parallèle au littoral pour diverses valeurs du grain médian	28
14	Expression de la pente d'une plage en fonction du diamètre du grain moyen et de l'énergie de la houle	30
15	Fréquence des directions de la houle au large de La Gironde	33
16	Erreur relative maximale sur la détermination de la vitesse alternative horizontale en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du marnage	38
17	Valeurs atteintes par le courant alternatif horizontal en fonction de la profondeur pour différentes probabilités d'obtention, à Biscarosse	41
18	Répartition du travail de la houle en fonction de la profondeur, à Biscarosse	44

figures		pages
19	Répartition du travail en fonction du temps à Biscarosse	47
20	Puissance de la houle au déferlement , à Biscarosse	50
21	Répartition du travail de la houle au déferlement en fonction du temps, à Biscarosse	52

TABLE DES TABLEAUX

tableaux		pages
1	Classement des informateurs	4
2	Direction de la houle au large de la Gironde	34
3	Période, hauteur et cambrure de la houle à Biscarosse	36
4	Valeurs pour diverses profondeurs de l'erreur relative maximale sur la détermination de la vitesse alternative horizontale en fonction de la variation de hauteur du plan d'eau	39
5	Vitesse atteinte par le courant alternatif horizontal en fonction de la profondeur pour différentes fréquences d'obtention, à Biscarosse	42
6	Répartition du travail de la houle en fonction de la profondeur, à Biscarosse	45
7	Répartition du travail de la houle en fonction du temps pour diverses profondeurs, à Biscarosse	48
8	Puissance de la houle au déferlement, à Biscarosse	51
9	Répartition du travail de la houle au déferlement en fonction du temps, à Biscarosse	53

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	2
OBSERVATION DE LA HOULE	3
inventaire des informations	3
les techniques d'information	3
TRAITEMENT DE L'INFORMATION	6
représentations graphiques	6
représentations cartographiques	13
INTERET GEODYNAMIQUE DES ETUDES DE HOULE	17
LA HOULE EN PROFONDEUR FINIE	18
efficience des courants de houle	18
- critères de début d'entraînement	18
- transports littoraux normaux au rivage	19
LA HOULE AU DEFERLEMENT	21
le longshore current	21
l'énergie de la houle au déferlement	22
- la puissance au déferlement	22
- composante de la puissance parallèle à la côte	25
l'efficience de l'énergie de la houle au défer- lement : les débits solides	25
- l'angle d'incidence au déferlement	26
- la cambrure	26
- le diamètre des matériaux	26
la pente d'équilibre des plages	26
EXEMPLE D'UN REGIME DE HOULE : LE LITTORAL AQUITAIN	31
direction de la houle	32
période, hauteur et cambrure de la houle	35
le courant alternatif	37
- variation de la hauteur d'eau en un point donné	37
- paramètres caractérisant la houle	40
répartition du travail en fonction de la profondeur	43
répartition du travail en fonction du temps	46
puissance de la houle au déferlement	49
répartition du travail de la houle au déferlement en fonction du temps	49

ANNEXE 1	
glossaire des principaux termes relatifs à la houle	54
ANNEXE 2	
bibliographie	58
TABLE DES FIGURES	66
TABLE DES TABLEAUX	68
TABLE DES MATIERES	69