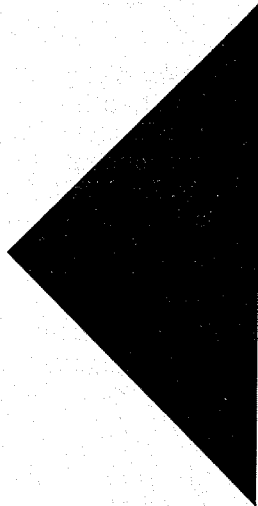
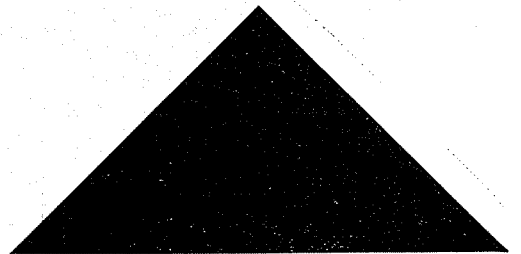


PAR J.-P. MONTAZ *



**ÉTUDE
EXPÉRIMENTALE
SYSTÉMATIQUE EN VUE DE
L'UTILISATION DES MODÈLES
MATHÉMATIQUES POUR
L'ÉTUDE DE LA DIFFRACTION
PURE DE LA HOULE**



INTRODUCTION

Schéma de l'exposé.

Les études de propagation de houle au voisinage des côtes peuvent se grouper en trois catégories :

- étude de réfraction pure,
- étude de diffraction pure,
- étude de réfraction-diffraction.

La propagation de la houle dans chacun de ces cas peut être influencée par la présence éventuelle d'un ensemble d'obstacles totalement ou partiellement réfléchissants.

Dans une communication présentée au récent Congrès du Coastal Engineering ** MM. Barailler et Gaillard, ingénieurs à la SOGREAH, ont exposé le principe des méthodes de calcul sur ordinateur électronique de la propagation de la houle dans les zones côtières.

L'étude sur modèle réduit fournit au calcul un critère de validité et une illustration intéressants.

Elle permet, en outre, de schématiser de façon plus correcte les ouvrages sur le modèle mathématique.

Dans la présente communication, on a consigné l'ensemble des résultats d'une étude systématique de diffraction pure sur modèle réduit en les comparant aux résultats fournis parallèlement par le calcul sur ordinateur.

On a étudié ainsi le réseau d'agitation dû à une

houle se propageant à travers une brèche, dans un plan d'eau.

La présente communication comporte deux parties :

- *Première partie* : diffraction pure dans un plan d'eau ne comportant pas d'obstacles réfléchissants;
- *Deuxième partie* : diffraction pure dans un plan d'eau comportant un ensemble d'obstacles totalement ou partiellement réfléchissants.

Conditions d'essais.

Les essais ont été réalisés dans un bassin à houle du laboratoire, de dimensions 22 × 24 m.

Le fond du bassin était horizontal, les essais étant réalisés à profondeur d'eau constante.

Sur un des côtés du bassin, un batteur permettait de reproduire une houle dont on pouvait aisément faire varier la période ou l'amplitude.

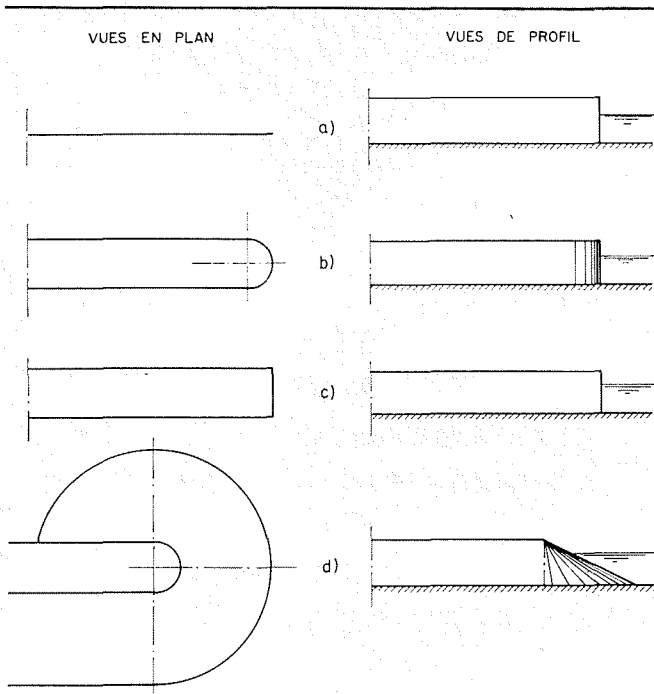
Sur les trois autres côtés du bassin, on avait disposé des plages amortisseuses permettant de respecter avec une bonne approximation la condition de « plan d'eau infini ».

LES MAQUETTES :

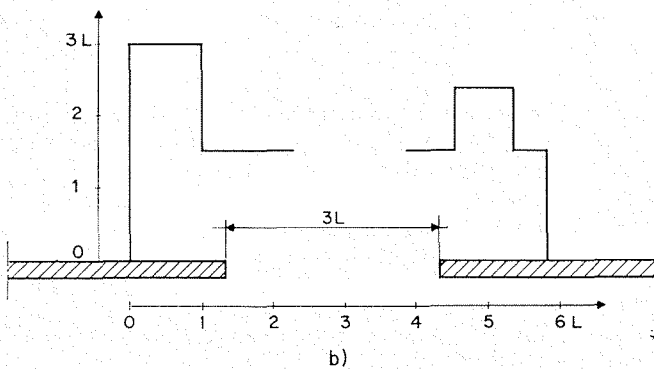
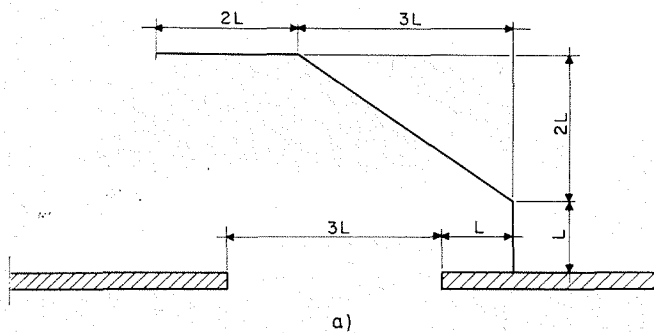
Dans la première partie de l'étude « Diffraction pure sans réflexion », les ouvrages avaient successivement les caractéristiques suivantes (fig. 1) :

- Diges formées d'une paroi mince..... (1 a)
- Diges épaisses avec musoirs verticaux :
- demi-circulaires. (1 b)
- carrés. (1 c)

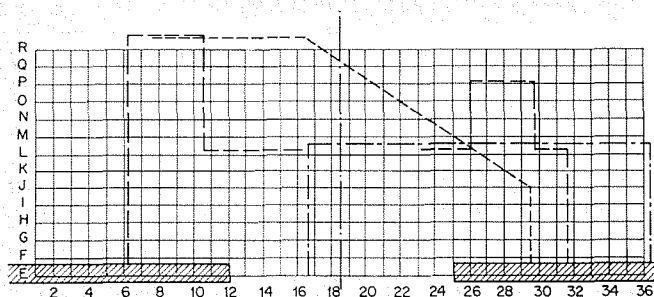
* Ingénieur à la SOGREAH.
** Exemples de réalisations des modèles mathématiques à la SOGREAH pour des études de propagation de houle.



1/ Diffraction pure de la houle. Formes des ouvrages.
Pure wave diffraction. Structural outlines.



2/ Diffraction pure de la houle. Tracé des ouvrages.
Pure wave diffraction. Plan layout of structures.



3/ Diffraction pure de la houle. Plan de sondage.
Pure wave diffraction. Reference grid for measurements.

Digues épaisses avec musoirs à talus..... (1 d)

Dans la deuxième partie de l'étude « Diffraction pure avec réflexion », on a distingué deux types de tracé en plan d'ouvrages réfléchissants (fig. 2) :

- *Premier type* : ensemble d'ouvrages formant un bassin convexe..... (2 a)
- *Deuxième type* : ensemble d'ouvrages pouvant être décomposé de façon simple en plusieurs bassins convexe..... (2 b)

Cette distinction est due au procédé de calcul qui a été utilisé pour établir le programme exploité sur ordinateur. Les deux types de bassin présentés correspondent à deux types de programme différents. Le détail du procédé de calcul est exposé dans la communication de MM. Barailler et Gaillard citée plus haut.

Les ouvrages étaient schématisés soit par des tôles verticales (ouvrages totalement réfléchissants) soit par des talus d'enrochements de pente 2/1 (ouvrages partiellement réfléchissants). Les frontières du domaine étaient définies par la laisse du plan d'eau sur les ouvrages.

Dans le cas des ouvrages partiellement réfléchissants, le coefficient de réflexion a été évalué, compte tenu de la pente de la carapace, des cambrures de houles reproduites, à 40 %.

CONDITIONS HYDRAULIQUES :

- a) *Hauteur d'eau* :
La profondeur était constante et égale à 15 cm.
- b) *Les houles* :
Les houles reproduites avaient les caractéristiques suivantes :
 - *Direction* : dans tous les essais, la direction de la houle était parallèle à l'axe de la brèche;
 - *Périodes* : 1 s et 0,6 s;
 - *Amplitude* :
 - pour la houle de 1 s, l'amplitude reproduite était de 6 cm,
 - pour la houle de 0,6 s, l'amplitude était de 4 cm.

Les longueurs d'onde des houles étaient respectivement de 109 cm et 0,53 cm.

Suivant la période reproduite, la largeur de la passe principale qui était de 3,27 m sur le modèle, était de 3 longueurs d'onde (pour $T = 1$ s) ou de 6,09 longueurs d'onde (pour $T = 0,6$ s).

Chaque série d'essais sera désignée, pour plus de commodité, respectivement :

- essais brèche à 3 L.
- essais brèche à 6 L.

Les ouvrages à musoirs demi-circulaires, carrés, ou tronconiques, délimitant la passe principale, avaient une largeur de 27 cm, soit une largeur relative de $L/4$ ou $L/2$ environ, suivant la période représentée.

SONDAGES :

Les sondages étaient effectués à point fixe suivant le maillage représenté sur la figure 3.

Chaque point de sondage est repéré par ses coordonnées :

- en chiffre pour les abscisses,
- en lettre pour les ordonnées.

Représentation des résultats.

Les résultats sont consignés sur des planches de deux types différents : Planches de résultats bruts et planches d'interprétation.

PLANCHES DE RÉSULTATS BRUTS :

Sur ces planches, on a porté pour chaque ligne de sondage parallèle à la brèche (lignes affectées d'une lettre) les valeurs d'agitation relative

$$\zeta = 2 a / 2 a_0$$

déduites des mesures sur modèle réduit et des calculs sur ordinateurs.

$2 a_0$ amplitude de la houle incidente;

$2 a$ amplitude de l'agitation mesurée.

PLANCHES D'INTERPRÉTATION :

On a essayé de déterminer un critère de concordance entre les deux résultats fournis par les deux méthodes.

On n'a considéré en première analyse, que les valeurs et les positions des maximums d'agitation pour chaque courbe. Par rapport au maximum d'agitation donné par le modèle, on peut définir deux critères de concordance des maximums « calcul » correspondants.

— concordance de valeurs :

$$\frac{A}{100} = \left| 1 - \frac{Z_{\text{calculé}}}{Z_{\text{mesuré}}} \right|$$

— concordance de position $\Delta l/L$.

Δl = distance entre les abscisses des maximums correspondants;

L = longueur d'onde.

En portant sur un graphique, en abscisse, les valeurs de A et, en ordonnée, la fréquence d'apparition de cette valeur, en fréquence cumulée, on obtient une courbe qui permet d'indiquer le degré d'approximation espéré par la méthode de calcul. On indique en effet dans ce graphique que $F\%$ des maximums seront approchés à moins de $A\%$ d'erreur.

Le critère de position n'a pas fait l'objet de graphique, mais est indiqué dans des tableaux.

I. — DIFFRACTION PURE DE LA HOULE SANS OBSTACLE RÉFLÉCHISSANT

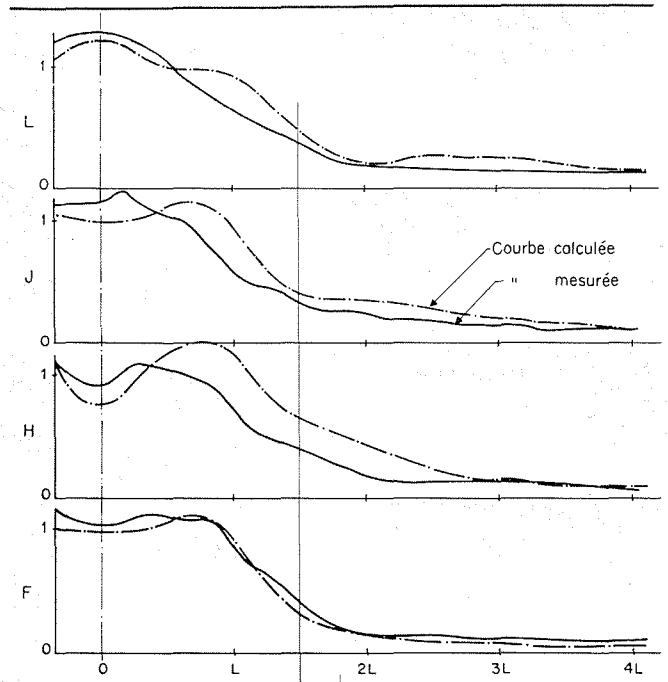
Paroi mince.

Les résultats correspondants aux largeurs de passe $3L$ et $6L$, sont consignés respectivement sur les figures 4 et 5.

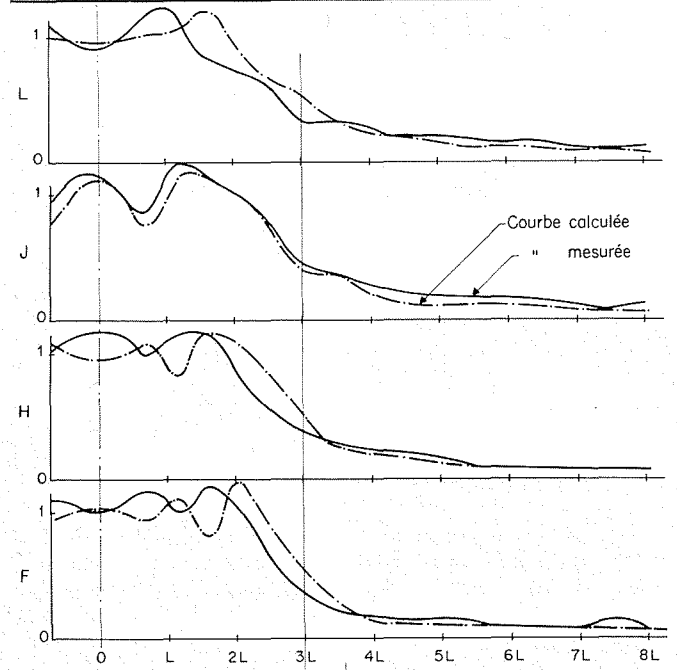
La figure 6 donne la répartition des valeurs de A . On voit que la valeur de 80% des maximums est approchée à moins de 10% pour la passe $3L$ et de 8% pour la passe $6L$.

Pour 80% de ces maximums la valeur de $\Delta l/L$ est inférieure :

- pour $3L$ à 0,50
- pour $6L$ à 0,35

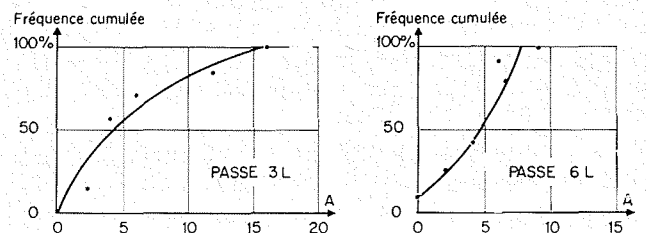


4/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacle. Paroi mince. Passe $3L$.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles. Thin-wall structure. Harbour entrance width $3L$.

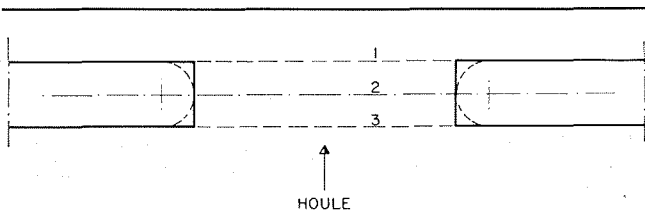


5/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacle. Paroi mince. Passe $6L$.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles. Thin-wall structure. Harbour entrance width $6L$.

PAROI MINCE

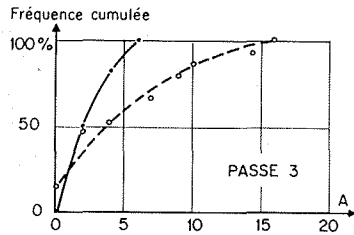
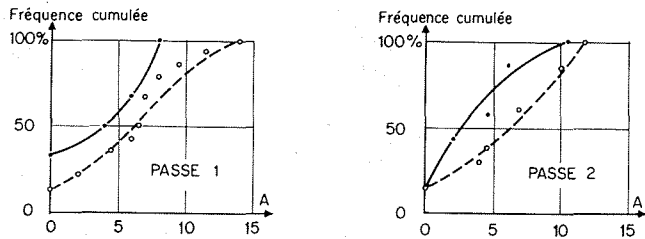


6/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacle. Répartition de $A/100$.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles. Curves for $A/100$.



7/ Position des passes calculs.
Position of harbour entrances assumed for calculations.

MUSOIR ÉPAIS VERTICAL DEMI-CIRCULAIRE



Légende : PASSE 3 L ——— PASSE 6 L - - - - -

8/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacle.
Répartition de A/100.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles. Curves for A/100.

Parois épaisses.

Le calcul ne tient pas compte de l'épaisseur des ouvrages délimitant la passe. Aussi faut-il définir avant toute comparaison la position de la « passe calcul » donnant les résultats de diffraction les plus concordants.

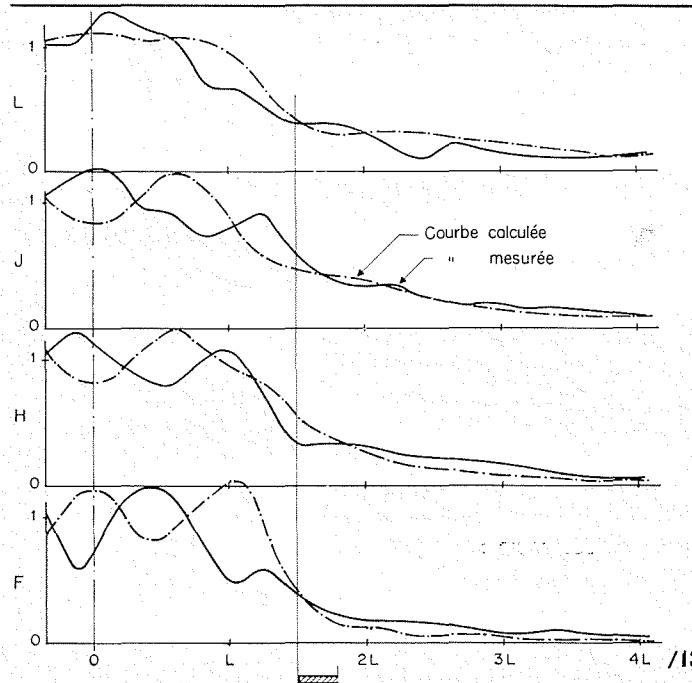
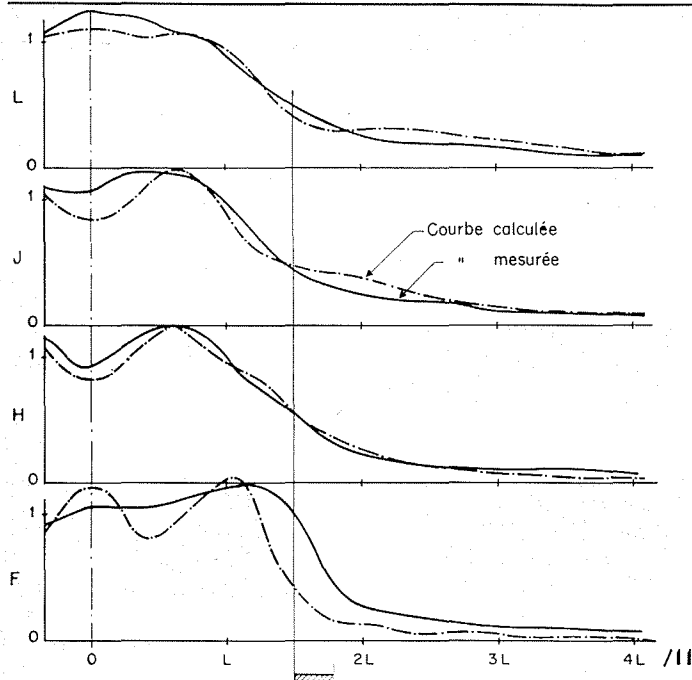
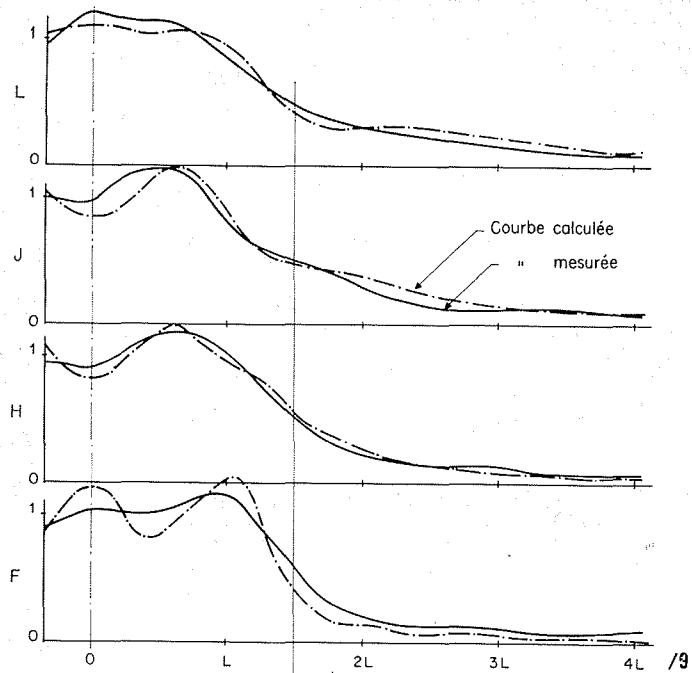
On a testé 3 positions de passe définies sur la figure 7 pour le musoir vertical demi-circulaire.

La figure 8 donne la répartition des valeurs de A pour chaque position de passe calcul.

Les graphiques montrent que la position de la passe n'influe pas de façon sensible sur la concordance de valeurs. Mais un examen des courbes de résultats (non reproduites dans cet article) montre que la concordance de position est nettement supérieure pour la passe 2.

Pour 80 % des maximums, la valeur maximale de $\Delta l/L$ est en effet :

- Passe 3 L :
- passe 1. 0,34
- passe 2. 0,14
- passe 3. 0,34



Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacles.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles.

	Passe 3 L Harbour entrance width 3 L	Passe 6 L Harbour entrance width 6 L
Musoir épais vertical demi-circulaire. Thick vertical semi-circular breakwater head.	Figure 9	Figure 10
Musoir épais vertical carré. Thick vertical square breakwater head.	Figure 11	Figure 12
Musoir tronconique. Conical section breakwater head.	Figure 13	Figure 14

— Passe 6 L :

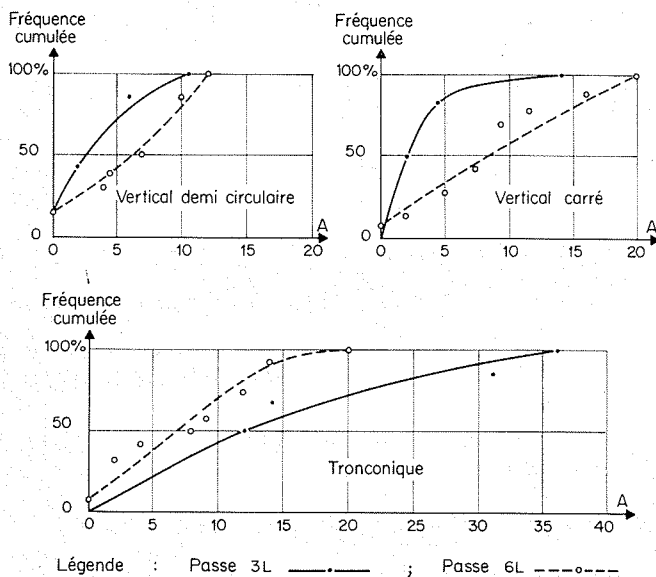
- passe 1. 0,50
- passe 2. 0,32
- passe 3. 0,42

Tous les résultats des calculs de diffraction sans réflexion pour les différences de musoir ont été obtenus en supposant la passe équivalente à mi-épaisseur. Passe 2.

RÉSULTATS COURBES D'INTERPRÉTATION :

Les courbes de concordance de valeurs pour les trois types de musoirs sont consignés sur la figure 15.

La concordance de position est consignée sous le



15/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau sans obstacle. Répartition de A/100. Musoir épais. Passe 2.
Pure wave diffraction. No reflecting obstacles. Curves for A/100. Thick breakwater head. Harbour entrance 2.

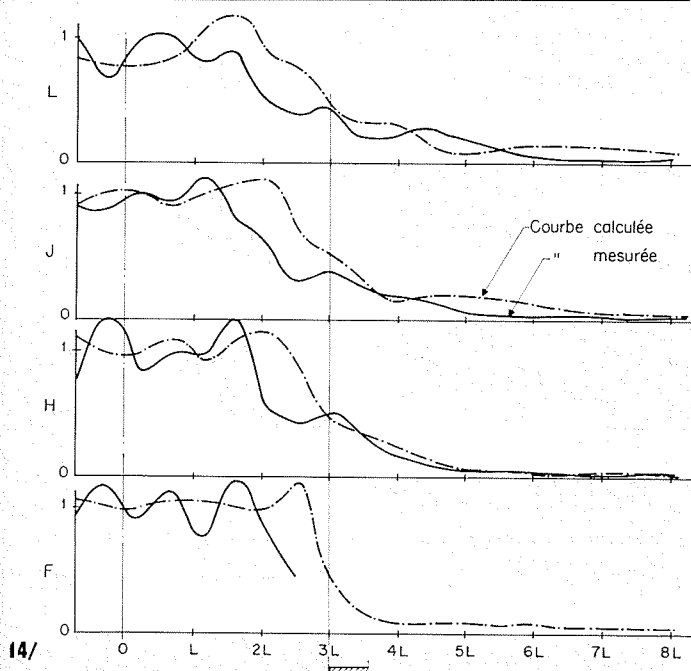
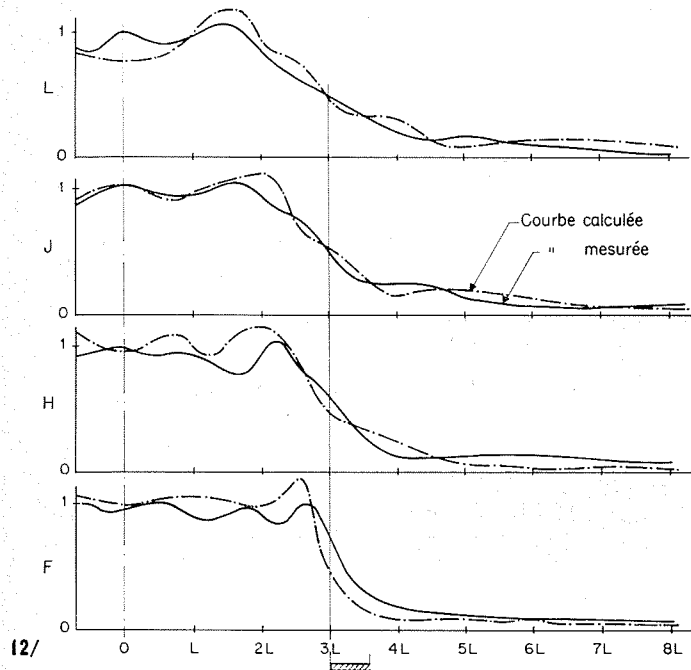
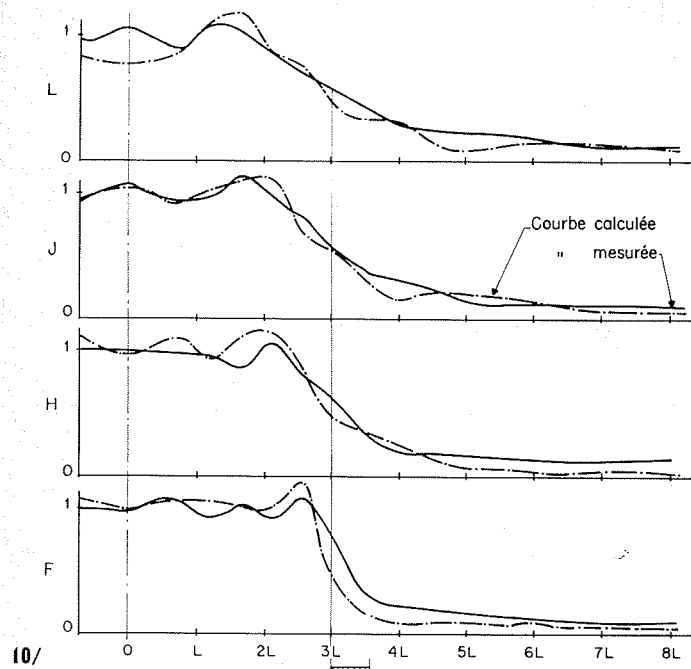


tableau ci-joint (valeur maximale de $\Delta l/L$ mesurée pour 80 % des maximums).

	PASSE 3 L	PASSE 6 L
Musoir demi-circulaire..	0,14	0,32
Musoir carré.....	0,25	0,45
Musoir tronconique.....	0,50	0,50

REMARQUES :

Le modèle mathématique a tendance à accentuer les contrastes entre maximum et minimum d'agitation par rapport au modèle physique.

a) *Musoirs verticaux :*

La concordance est d'autant meilleure que la largeur relative de la passe est plus faible, et que la ligne de sondage se trouve plus éloignée de la passe.

Rappelons que la zone de sondage est située assez près de la brèche.

Dans un calcul de diffraction pure s'étendant à plus de 4 L de la passe, la concordance moyenne aurait été meilleure.

Il est possible de serrer de plus près la solution en morcelant davantage le domaine au voisinage de la passe. (En considérant par exemple la zone comprise entre les deux musoirs comme un bassin élémentaire.)

L'étude sur ordinateur de ce problème est en cours.

b) *Musoir tronconique :*

Compte tenu de la pente du talus au musoir, il est difficile de chiffrer la largeur équivalente de la passe calcul. La largeur de passe calcul adoptée était égale à la distance entre laisses.

Or, l'effet de convergent dû à la pente du talus tendrait à réduire cette largeur. On s'en aperçoit en considérant les courbes résultats : l'agitation est, dans le cas du musoir tronconique, plus concentrée vers l'axe que dans le cas de musoirs verticaux.

L'effet relatif de ce convergent diminue quand la longueur d'onde diminue, c'est-à-dire quand la largeur relative de la passe augmente. C'est ce qui explique que la concordance est meilleure pour la passe 6 L que pour la passe 3 L.

Une étude de la largeur équivalente de passe calcul dans le cas d'un musoir tronconique est en cours.

II. — DIFFRACTION PURE DE LA HOULE AVEC OBSTACLES RÉFLÉCHISSANTS

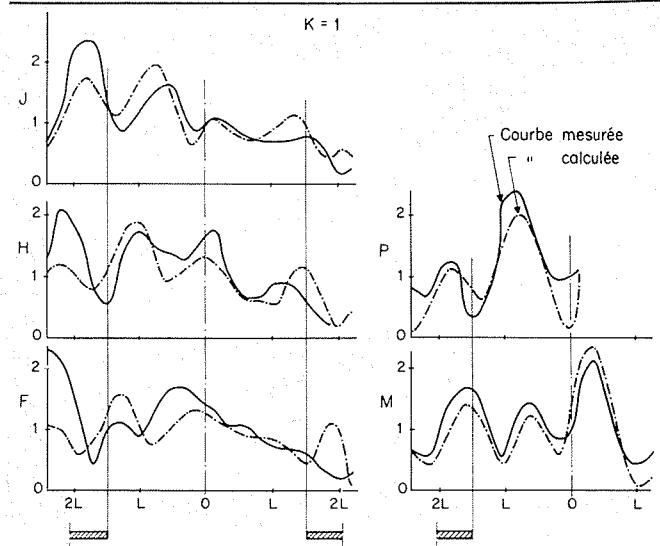
Les musoirs des ouvrages adoptés étaient du type vertical demi-circulaire.

Pour éviter des complications de calcul, on a adopté pour la passe calcul la position Passe 1.

Les essais ont été réalisés pour une période $T = 1$ s.

La longueur de la passe était donc pour toute cette série d'essais de 3 L.

La schématisation des ouvrages réfléchissants et des tracés du port rendait en effet l'agitation du plan d'eau extrêmement sensible aux courtes lon-



16/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau avec obstacles. Bassin convexe. $K = 1$. Pure wave diffraction. With reflecting obstacles. Convex basin. $K = 1$.

gueurs d'onde et il en résultait une instabilité rendant illusoire toute comparaison.

RÉSULTATS COURBES D'AGITATION :

a) *Bassin convexe :*

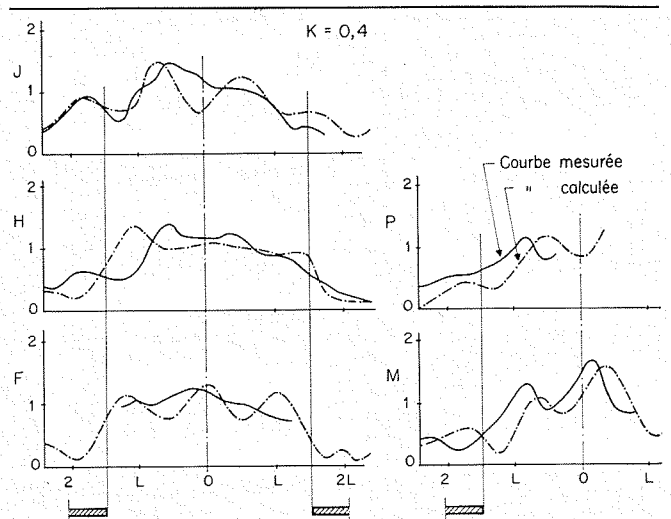
Les résultats sont consignés sur les figures 16 et 17 correspondant respectivement aux valeurs du coefficient de réflexion :

$$K = 1 \quad \text{et} \quad K = 0,4$$

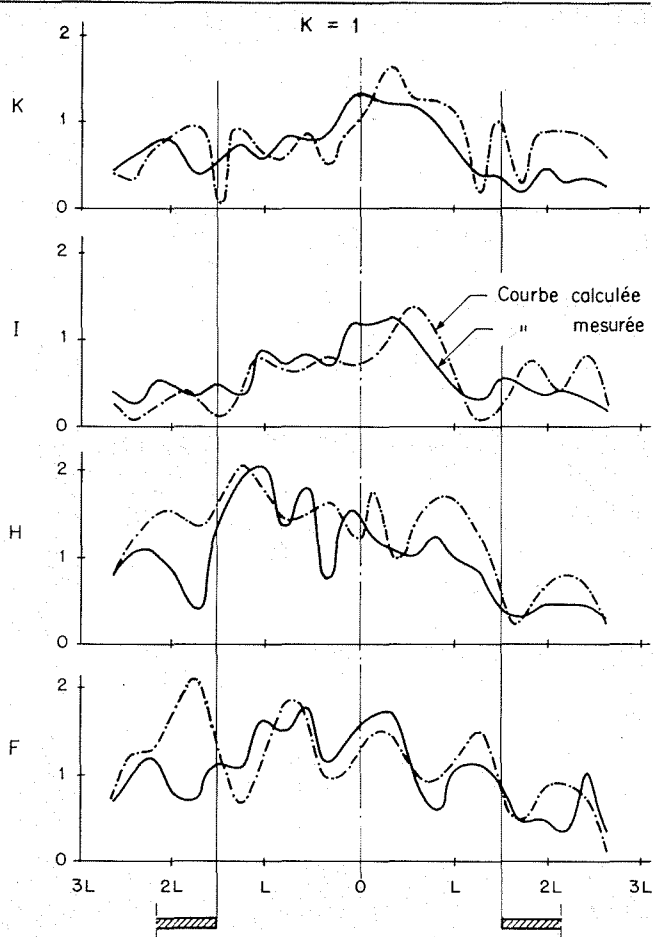
valeurs tirés d'essais antérieurs effectués sur des talus analogues à ceux qui étaient utilisés comme amortisseurs sur le modèle.

d) *Darses :*

La figure 18 donne les résultats relatifs au bassin principal. Seuls résultats exploités à l'heure actuelle. L'ajustement du modèle mathématique pour obtenir une meilleure concordance de résultats



17/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau avec obstacles. Bassin convexe. $K = 0,4$. Pure wave diffraction. With reflecting obstacles. Convex basin. $K = 0,4$.



18/ Diffraction pure de la houle. Plan d'eau avec obstacles. Darses. $K = 1$.
Pure wave diffraction. With reflecting obstacles. Individual docks. $K = 1$.

dans les darses secondaires fait l'objet d'une étude actuellement en cours.

La concordance de position est consignée dans le tableau ci-dessous (valeur de $\Delta l/L$ maximale mesurée pour 80 % des maximums).

	$K = 1$	$K = 0,4$
Bassin convexe.....	0,13	0,26
Darses.	0,23	

REMARQUES :

La présence d'ouvrages réfléchissants donne naissance à un réseau d'agitation stationnaire. Tout décalage du point de sondage peut donc engendrer des erreurs assez grandes sur les valeurs des maximums.

Le décalage peut provenir soit d'un repérage défectueux de la sonde sur le modèle physique, soit de l'imprécision du calage de la passe calcul.

Le premier type d'erreur est aléatoire et assez réduit.

En ce qui concerne le deuxième type d'erreur, seul un morcellement du domaine en bassin secondaire au voisinage de la passe permettrait d'améliorer la solution.

Une étude sur ordinateur est actuellement en cours.

CONCLUSIONS

L'étude réalisée, dont les résultats sont consignés dans la présente communication, est encore incomplète et reste assez schématique.

La mise au point d'un modèle mathématique ne peut être réalisée que par un ajustement des paramètres entrant dans le calcul. Cet ajustement ne peut se faire que par l'étude en parallèle du modèle physique fondamental correspondant.

Ajustement des valeurs de $\delta\zeta/\delta n$ à l'entrée de la passe, que l'on peut moduler pour tenir compte des effets singuliers apportés par les musoirs.

Ajustement de la position de la passe calcul, tenant compte des décalages apportés par l'épaisseur non négligeable des ouvrages principaux, etc.

Dans l'état actuel de l'étude, le modèle mathématique de diffraction pure peut néanmoins apporter des solutions rapides et satisfaisantes à certains problèmes essentiels de l'engineering portuaire.

Ce modèle permet, quel que soit l'incidence de la houle, pour autant que le plan d'eau du port ait une profondeur constante :

- de donner un ordre de grandeur suffisamment approché de l'agitation à l'abri d'ouvrages portuaires de tracé quelconque;
- de déterminer par comparaison l'influence d'une modification des caractéristiques des différents ouvrages, (longueur, pouvoir réfléchissant, etc.);
- de rechercher le tracé optimal d'un port.



Abstract



**A systematic experimental study of the use
of mathematical models for pure wave diffraction research
by J.-P. Montaz ***

I.—Subject of Investigation.

In a paper to the IXth. Coastal Engineering Congress in Lisbon in 1964, two SOGREAH engineers, Mr. Barailler and Mr. Gaillard, described a number of applications of electronic computers for research on waves in coastal areas.

Investigation with a physical scale model yields both a validity criterion for calculation and a interesting illustration. The present article covers the full results of a systematic *pure wave diffraction* study on a model and compares them with the corresponding computer-calculated data. It is in two parts, which discuss the following subjects:

- (i) Pure diffraction in a body of water in which there are no wave-reflecting obstacles.
- (ii) Pure wave diffraction in a body of water containing totally or partly reflecting obstacles.

II.—Test Conditions.

The tests were conducted in a constant depth of water and with the waves heading straight for the "harbour entrance," which was determined in the first part of the investigation by the following characteristic breakwater head configurations:

- Thin breakwater heads;
- Thick vertical-fronted breakwater heads;
- Thick conical-section breakwater heads.

The second part of the investigation considered wave conditions in a body of water bounded by wave-reflecting obstacles.

III.—Results.

Only the general findings of the investigation are given, as available space does not allow full sets of test results to be included and compared with calculated curves.

Calculations allows neither for the thickness of the breakwaters to either side of the opening nor for the embankment slope at the considered point. The position and dimension of the "theoretical" opening therefore require very careful examination.

Only position need be considered for a *vertical-fronted breakwater*. Comparison of various solutions shows that closest agreement is obtained for the opening coinciding with the breakwater centreline (case 2).

Embankment slope has to be allowed for in the *conical-section breakwater head* case, because of its "converging duct" effect. The "equivalent opening" is shorter than that measured at datum level, which is shown up by a shift in the measured maximum amplitude values towards the centreline. Provision has been made for the determination of this "equivalent length" on a computer.

In the tests with reflecting obstacles the theoretical opening was assumed to lie in the plane of the inside breakwater face, as the calculation of wave diffraction with reflection requires basing on clearly-defined boundaries. In this case, breakwater head thickness could be allowed for by further subdivision of the considered region; computer tests are now in progress on this point.

Conclusion.

a) *Diffraction without reflection:*

Comparison between physical and mathematical model results under the above conditions shows very satisfactory agreement for vertical-fronted breakwater heads.

In the case of conical-section breakwater heads, agreement is satisfactory beyond a limit at about $1\frac{1}{2}$ wave lengths from the opening. Though absolute measured and computed amplitudes also agree well up to this limit, a shift in the maximum value positions is observed, which it should be possible to correct by establishing the position and length of the "equivalent opening".

b) *Diffraction with reflection:*

Satisfactory agreement is achieved with both methods.

* Engineer at SOGREAH.