



COMPARAISON DE L'ACTION DE LA HOULE RÉGULIÈRE ET IRRÉGULIÈRE SUR UN BRISE-LAMES EN ENROCHEMENTS

Communication présentée au
Comité technique de la Société Hydrotechnique de France
le 20 novembre 1969

PAR A.-J. ROGAN *

Avant-propos

Le présent travail entre dans le cadre des études entreprises au Laboratoire National d'Hydraulique (Division Hydraulique Maritime) pendant la période 1965-1968. Les résultats complets ont été publiés dans le Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France [1]. L'auteur tient à exprimer sa reconnaissance à l'ensemble du personnel du centre de Chatou pour l'aide sincère reçue pendant son travail et plus spécialement aux ingénieurs du Laboratoire National d'Hydraulique.

Un film en couleurs a été tourné pendant les essais en canal et présenté à la session de la S.H.F.

Buts des recherches

Les buts des recherches ont été les suivants :

a) Vérifier si l'amplitude destructive est vraiment égale à l'amplitude significative $H_{1/3}$.

b) Introduire le paramètre t (temps d'action ou durée de tempête) dans les considérations de stabilité des jetées en enrochements.

L'influence de la durée de tempête joue un rôle important dans le cas des dégâts sérieux ou de destruction complète.

Nous avons choisi comme critère : la destruction complète de la couche extérieure obtenue dans le même temps par une houle monochromatique (H : cte, T : cte) d'une part, et par une houle irrégulière (H_i , T_i variables) d'autre

part; c'est ainsi que nous avons pu éliminer le paramètre t et comparer H et H_i .

L'adoption d'un tel critère nécessitait la suite logique des raisonnements suivants :

a) La couche extérieure peut être sculptée jusqu'à stabilisation. Le risque est d'atteindre la deuxième couche. La masse des blocs de la sous-couche étant en moyenne inférieure, ne serait pas capable d'absorber l'énergie des vagues qui a déjà provoqué le déplacement des enrochements de la première couche (carapace).

b) Il est plus facile d'observer la destruction complète de la première couche, dans la zone attaquée par les vagues, que de préciser le nombre des blocs qui font mouvement sur place.

L'expérience montre que durant l'essai, il y a des modifications de la carapace. Elles sont produites soit par des blocs remis dans leur position initiale (vague ascendante), soit par des blocs qui comblent les vides en venant des positions supérieures (vagues descendantes).

c) En dehors des similitudes géométrique et granulométrique, le temps de destruction est le seul paramètre qu'on puisse prendre comme point de comparaison, les amplitudes et les périodes de la houle irrégulière (ou leurs moyennes) n'étant pas connues *a priori*.

Similitude

La similitude de deux écoulements à surface libre requiert deux conditions :

$$\mathcal{F}_1 = \mathcal{F}_2$$

$$\mathcal{R}_1 = \mathcal{R}_2 \text{ (ou à défaut } \mathcal{R}_1 \geq \mathcal{R}_c \text{ et } \mathcal{R}_2 \geq \mathcal{R}_c)$$

* Dr Ing., Maître-Assistant à l'Université Technique d'Athènes.

Pour l'étude de la similitude nous avons utilisé la condition de Froude. Cette condition est indispensable pour les études en modèle, dans les canaux à surface libre où les écoulements sont fortement turbulents.

Néanmoins, nous n'avons pas écarté l'hypothèse d'une certaine importance du nombre de Reynolds, étant donné les dimensions peu importantes des modèles réduits et les écoulements de percolation et d'infiltration qui accompagnent les attaques des vagues sur les enrochements. On verra plus tard, dans l'étude des critères de risque et spécialement dans l'expression adimensionnelle $H^2/\nu T$, la présence implicite du nombre \mathcal{R} .

Modèle

Deux canaux ont été utilisés : un pour la houle monochromatique, muni d'un volet-batteur à rotation et translation et un pour la houle irrégulière, muni d'un ventilateur équipé d'un système électromécanique de commande (fig. 1).

L'échelle 1/40 a été choisie pour effectuer les essais dans les deux canaux.

La profondeur de l'eau devant l'ouvrage était de 35 cm (14 m en nature).

Les profils de jetées avaient trois couches de blocs d'une masse volumique de $2,6 \text{ t/m}^3$. Les blocs étaient pesés un à un et posés chaque fois de la même façon.

Ils ont été utilisés successivement pour les essais en houle monochromatique, puis en houle irrégulière. Afin de mieux nous rendre compte de la destruction complète de la première couche, nous avons coloré les blocs composant la deuxième couche.

Les granulométries des couches étaient les suivantes (fig. 2) :

- Couche A : 50-80 g (3-5 t en nature);
- Couche B : 20-50 g (1,5-3 t en nature);
- Couche C : 5-25 g (0,32-1,6 t en nature).

L'angle du talus a pris quatre valeurs différentes : 30° , 32° , 34° et 36° .

On considérait que la couche extérieure était complètement détruite, après un temps d'action t , lorsqu'on voyait apparaître sur toute la largeur du modèle la deuxième couche d'enrochements et qu'un bloc de cette dernière se déplaçait. A partir de là, la destruction accélérée de l'ensemble du modèle devenait imminente, par suite des granulométries des couches inférieures allant en décroissant vers l'intérieur du profil.

Houle régulière

Seize essais ont été effectués pour chaque angle du talus avec quatre périodes : 0,948, 1,265, 1,581 et 1,897 s (6, 8, 10, 12 s en nature) et quatre amplitudes : 0,05, 0,075, 0,10 et 0,125 m approximativement (2, 3, 4 et 5 m en nature).

Au début de chaque essai, on observait de nombreux déplacements des blocs de la couche extérieure. Les vagues sculptaient, dans un temps relativement court (1 à 2 h nature), une nouvelle pente discontinue composée généralement de trois pentes : $a_1 = 43^\circ$, $a_2 = 21^\circ$, $a_3 = 38^\circ$ (fig. 3).

Si la stabilité était obtenue avant que le profil d'équilibre eût atteint la deuxième couche, il n'y avait plus de danger de destruction. Le profil était stabilisé et l'essai durait 3 h 45 mn (24 h en nature). Si la deuxième couche était atteinte, la destruction du modèle devenait imminente et on notait la durée d'action t .

L'amplitude H était obtenue par l'enregistrement du clapotis tout au long du canal.

La période T était préalablement fixée à chaque essai.

Avec les valeurs H , T et t mesurées pendant les essais de destruction complète de la carapace, nous avons formé trois combinaisons adimensionnelles :

$$10^{-3} t/T, \quad \log(H^2/\nu T) \quad \text{et} \quad \log(H/gT^2)$$

où :
 g = l'accélération due à la pesanteur;
 ν = viscosité cinématique.

Après une étude statistique, nous avons constaté une forte liaison réelle entre les couples $(10^{-3} t/T, \log(H^2/\nu T))$. Le coefficient de corrélation était :

$$r = 0,796$$

et la droite de régression de $10^{-3} t/T$ en $\log(H^2/\nu T)$ était :

$$\frac{t}{T} = -A \log(H^2/\nu T) + B$$

Ensuite, nous avons calculé les limites de confiance pour une probabilité $P = 0,96$. Le tout est présenté dans la figure 4.

La formule ci-dessus, connaissant H , T et ν , peut nous donner le temps t à partir duquel la digue sera détruite. La variable t/T peut aussi être considérée comme l'indice de fatigue de l'ouvrage : étant donné que la houle est monochromatique, donc la période T constante, on peut considérer la variable t/T comme le nombre de coups que l'ouvrage reçoit jusqu'à destruction. En analysant plus complètement la forte corrélation entre $H^2/\nu T$ et t/T et en rappelant que H^2 est un facteur énergétique, on constate qu'à l'aide de cette formule on relie l'énergie de la houle à sa période et au temps d'action de la houle.

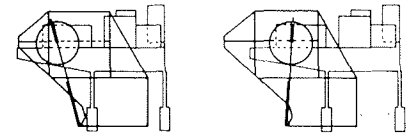
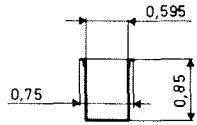
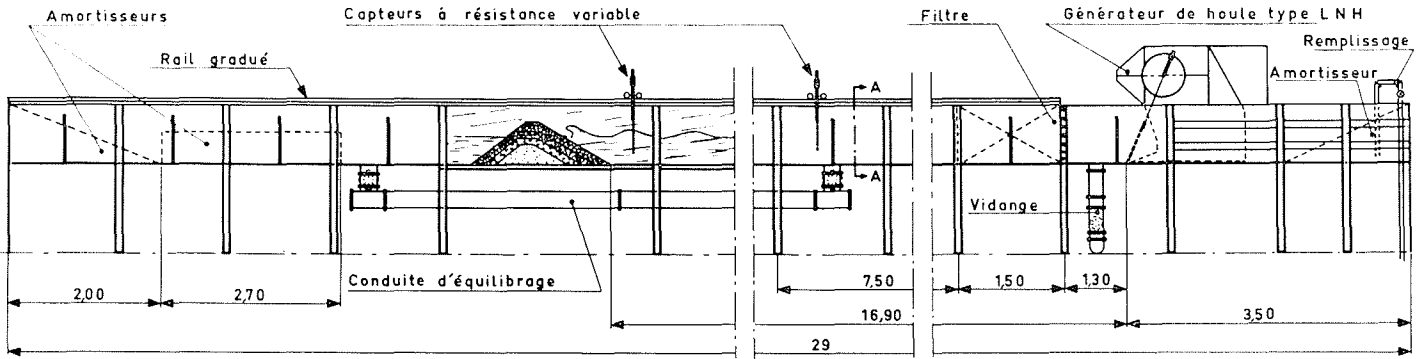
L'étude statistique des couples $[10^{-3} t/T, \log(H/gT^2)]$ n'a pas donné une corrélation significative.

Houle irrégulière

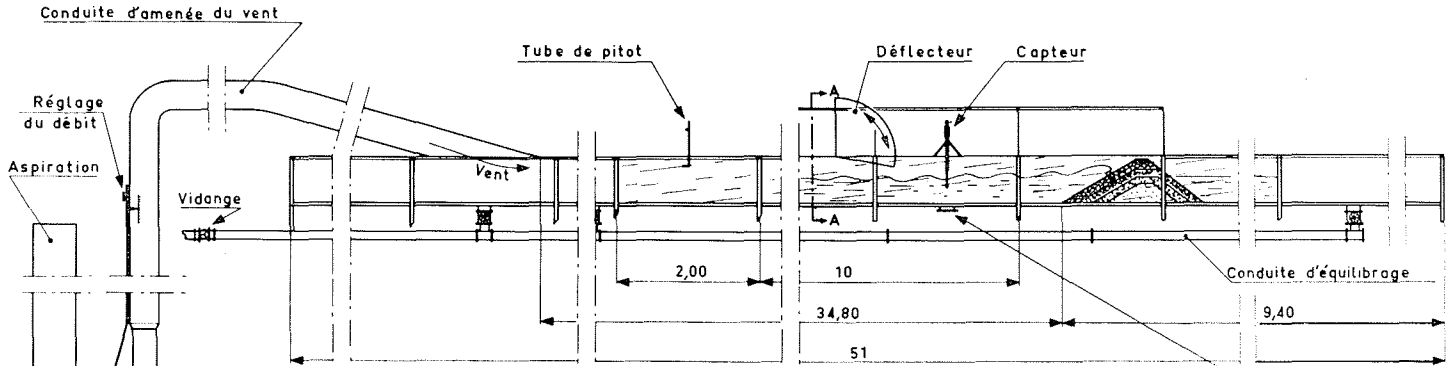
Nous avons effectué les essais en houle irrégulière dans un second canal (fig. 1), recouvert de couvercles amovibles et équipé d'un ventilateur. La longueur maximale du fetch était de 30 m. On obtenait des vitesses du vent allant jusqu'à 9,4 m/s. Nous avons observé pendant les premiers essais que la vitesse constante du vent provoquait un phénomène trop régulier, de densité spectrale trop étroite.

Après quelques recherches [1], nous avons construit un interrupteur automatique branché sur le moteur, qui produisait des cycles de « marches » et d'« arrêts ». En faisant varier les cycles, la longueur du fetch et la vitesse du vent, on obtenait une variation suffisante des amplitudes et périodes de la houle irrégulière. On effectuait des enregistrements de la houle, d'une durée de 4 mn avec un sondeur à ultrasons qui faisait dix mesures par seconde. On obtenait les enregistrements sur ruban perforé. On utilisait un capteur à résistance variable à l'emplacement exact du

CANAL N° 12 Houle monochromatique

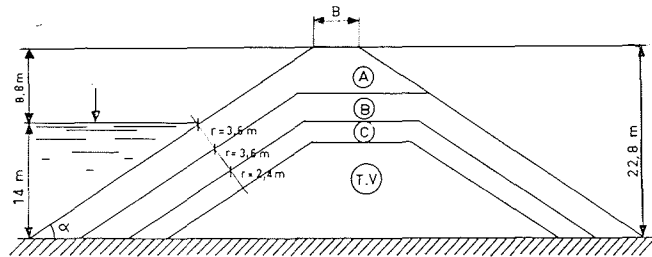


CANAL N° 6 Houle irrégulière

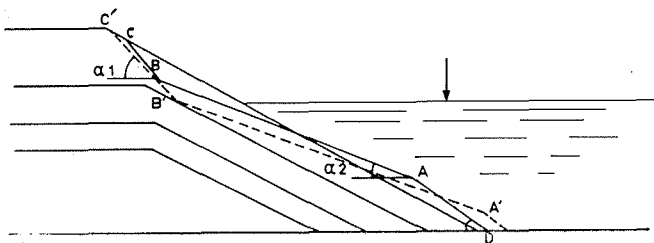


COUPE A-A du canal 6

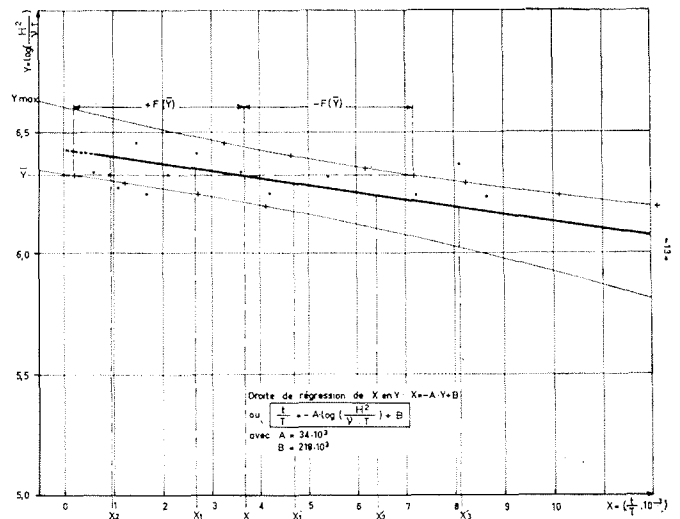
1/



2/ Deuxième profil / Second profile.



3/



4/

sondeur à ultrasons. On pouvait ainsi comparer les renseignements donnés par les deux appareils de mesure et avoir une visualisation immédiate des vagues. Le but de ces essais était de produire une houle irrégulière telle qu'elle produise la même destruction de la carapace dans le même temps que la houle monochromatique étudiée auparavant. Le type de houle n'était pas connu d'avance. De ce fait plusieurs essais ont été nécessaires pour obtenir la même destruction (toute l'épaisseur de la carapace) dans le même temps.

Pour seulement huit des treize cas, nous avons obtenu des temps de destruction comparables à ceux de la houle monochromatique.

Conduite d'un essai.

La conduite d'un essai comportait les opérations suivantes :

- a) construction du modèle, remplissage du canal (35 cm d'eau);
- b) choix du programme-disque, de la longueur du fetch et de la position des volets du ventilateur;
- c) étalonnage du capteur à résistance variable;
- d) réglage du déflecteur;
- e) mise en marche du ventilateur;
- f) après 10 mn, soit 1 h nature, temps nécessaire pour laisser la houle se développer pleinement, on faisait simultanément le premier enregistrement avec le sondeur à ultrasons et le capteur à résistance variable : la durée des enregistrements était de 4 mn;
- g) observation continue des transformations de la carapace, dès le début de l'essai et spécialement aux alentours des temps de destruction obtenus pour le même profil;
- h) si on remarquait qu'en approchant d'une telle durée il ne subsistait qu'une couche mince de la carapace, on effectuait alors un deuxième enregistrement (4 mn).
Si on dépassait le temps maximal de destruction, sans obtenir celle-ci, on arrêtait l'essai :
- i) avant l'arrêt, on traçait sur la vitre du canal la nouvelle pente obtenue et on prenait des photos.

Pendant les essais en houle irrégulière, on observait le même processus, précédemment décrit : les vagues sculptaient une nouvelle pente discontinue, un profil d'équilibre presque identique avec :

$$a_1 \approx 46^\circ \quad a_2 \approx 19^\circ \quad \text{et} \quad a_3 \approx 36^\circ$$

Dépouillement et interprétation des enregistrements.

Chaque enregistrement obtenu par le sondeur à ultrasons comprenait 2 400 valeurs. La bande était transcrite en cartes perforées, à l'aide d'une calculatrice I.B.M. 47. Les données ainsi traitées étaient prêtes à être utilisées par le calculateur numérique C.D.C. 6600 installé au service E.R.C.A. de l'E.d.F.

Deux programmes furent élaborés : l'un pour faire l'analyse spectrale de la houle irrégulière et l'autre pour faire l'analyse statistique des vagues. Les résultats sous forme graphique étaient donnés par un organe périphérique du C.D.C. 6600, le système D.D. 280.

Analyse spectrale de la houle.

Nos enregistrements sont des suites discrètes d'observations $X_i(t)$. Après avoir centré les 2 200 données

$X_i(t)$, nous les avons normées. Avec ces valeurs normées, nous avons calculé les sommes des carrés et les sommes des produits décalés de $I = 1$ jusqu'à $I = N - J$. Nous avons ainsi obtenu la fonction d'autocovariance $W(J)$ et la fonction d'autocorrélation $R(J)$ (fonction d'autocovariance normée); puis finalement la densité spectrale $LP(J)$ en première approximation.

Cette estimation a été ajustée par un lissage sur trois points à l'aide des pondérations de Hamming : 0,23 - 0,54 - 0,23. Ainsi, en dernière étape, la densité spectrale est :

$$SP(J) = 0,23 LP(J) + 0,54 LP(J + 1) + 0,23 LP(J + 2)$$

A l'aide du système D.D. 280, nous avons obtenu la présentation graphique :

- de la fonction d'autocorrélation $R(J)$ en fonction de J (fig. 5);
- de la densité spectrale $SP(J)$ en fonction de la fréquence $f(J) = \pi J/100$ (fig. 6).

Les valeurs obtenues pour la largeur relative du spectre ont confirmé l'irrégularité de la houle produite par le vent dans le deuxième canal.

Analyse statistique des vagues.

Le but de ce programme était de calculer l'amplitude et la période de chaque vague pour chaque enregistrement. A partir de ces valeurs, on pouvait calculer ensuite les distributions statistiques des amplitudes et des périodes ainsi que certaines grandeurs statistiques.

La principale difficulté était occasionnée par les seiches formées par suite des interruptions de l'action du vent. Pour éliminer les seiches, un filtrage par moyenne mobile a été prévu. Après différents essais, on a choisi la moyenne mobile tous les 75 points. Elle suivait au mieux les seiches et laissait passer la houle.

Après deux tests d'élimination des valeurs erronées, nous obtenions les ordonnées définitives $X(I)$ de la surface de l'eau, mesurées en un point fixe (le sondeur à ultrasons).

Les ordonnées de la moyenne mobile $FMOB(J)$ étaient calculées et soustraites des ordonnées $X(I)$ de la surface, afin d'obtenir des ordonnées mesurées par rapport au niveau des seiches : $Z(I) = X(I) - FMOB(I)$. Ensuite, à l'aide de la méthode des franchissements du niveau moyen, nous obtenons le tableau $T(I), H(I)$.

Nous avons détecté en moyenne 210 vagues (200 à 220). En utilisant ces valeurs, nous avons calculé le coefficient de corrélation, les droites de régression linéaire de l'ensemble des points (H, T) . Ensuite, nous avons classé les T et les H en ordre croissant, afin de calculer les valeurs moyennes $H_{n/m}$ avec $n = 1, 2, 3$ et $m = 1, 2, \dots, 10$. Finalement, nous avons établi les distributions des amplitudes et des périodes.

En même temps, les ordres nécessaires étaient donnés pour obtenir les présentations graphiques (fig. 6). A l'aide de ces résultats, nous avons calculé les quotients :

$$H_{dest}/H_{1/3}, \quad H_{1/3}/\bar{H}$$

a) pour $(H_{dest}/H_{1/3})$, nous avons trouvé des valeurs allant de 0,87 jusqu'à 1,10, avec une moyenne égale à 1,00. Ce résultat est intéressant, si on tient compte du fait que $H_{1/3}$ (généralement noté H_s) est souvent considéré comme l'amplitude du projet. Cette dernière considération était fondée, au début, sur des conceptions empiriques, puis sur des conceptions statistiques. A notre con-

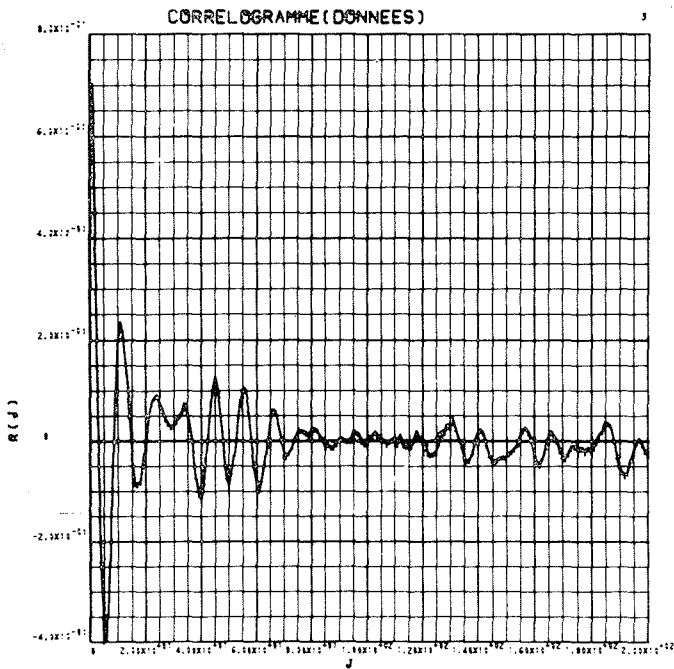
naissance, elle n'a pas été prouvée expérimentalement jusqu'à présent;

b) pour $H_{1/3}/\bar{H}$, nous avons trouvé des valeurs allant de 1,33 jusqu'à 1,48 avec une moyenne de 1,374. D'après la formule de Longuet-Higgins, on peut obtenir la valeur 1,598 pour le même paramètre. D'après Wiegel [8], $H_{1/3}/\bar{H}$ observé dans l'océan prend des valeurs allant de 1,37 jusqu'à 1,85;

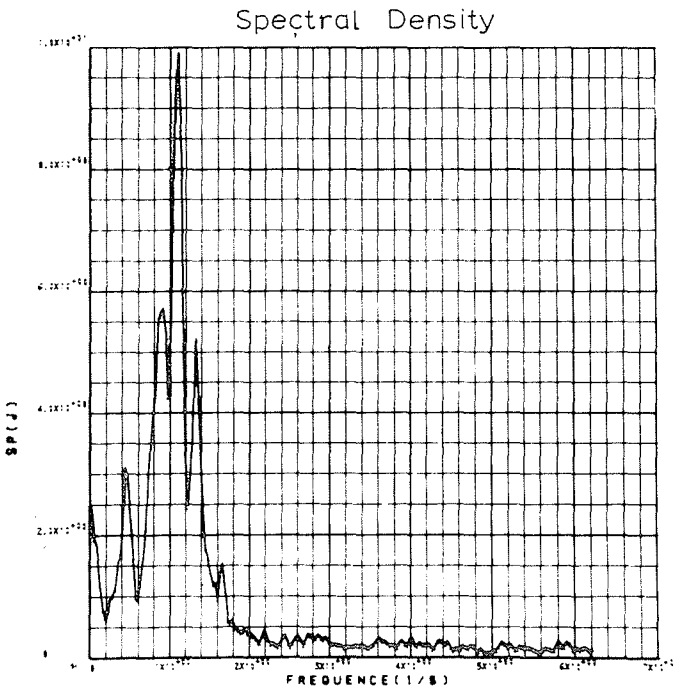
c) la comparaison entre les périodes constantes de la houle monochromatique et les périodes moyennes de la houle irrégulière n'était pas aisée. L'équipement et les di-

mensions de notre canal à vent nous permettaient la production des vagues pour des périodes comprises entre 0,7 et 1,625 s approximativement. Par contre la gamme de périodes en houle monochromatique était 0,948 - 1,897 s. Dans le cas de destruction où les périodes, en houle monochromatique et en houle irrégulière étaient comprises dans la même gamme, $T_{1/3}$ était approximativement égale à T_{dest} .

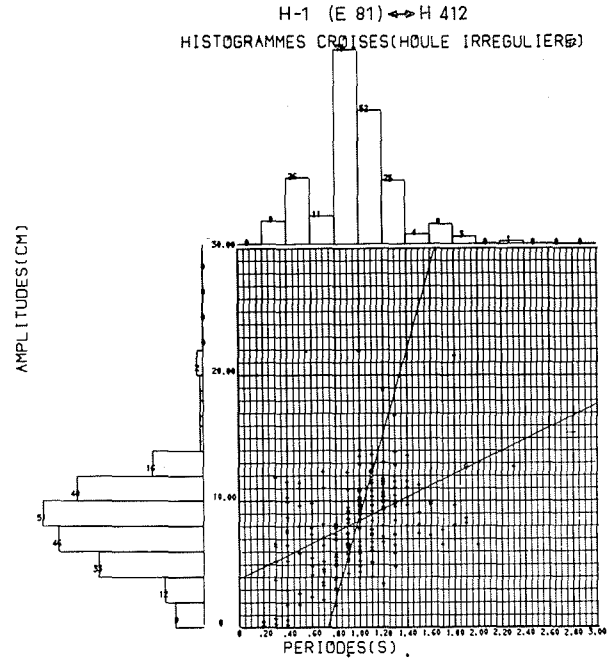
La période $T_{1/3}$ ne peut pas être directement liée à l'amplitude significative $H_{1/3}$. Des résultats définitifs n'existent pas dans ce domaine. Nous pensons qu'il faut essayer de corrélérer T avec $H_{1/3}$.



H-1 (E81)

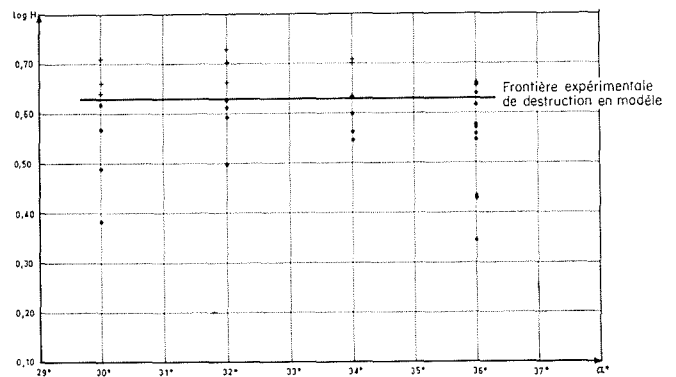


5/



\bar{H}	= 8,47 cm	$t = 43,210^3 s$	\bar{T}	= 0,99 s
H_{dest}	= 12,74 "	$r = 0,37$	T_{dest}	= 1,90 s
$H_{1/10}$	= 16,577 "	$H_{dest}/H_{1/3} = 1,02$	$T_{1/10}$	= 1,652 s
$H_{1/3}$	= 12,536 "	$H_{dest}/\bar{H} = 1,50$	$T_{1/3}$	= 1,356 s
$H_{1/2}$	= 11,374 "	$H_{1/3}/\bar{H} = 1,48$	$T_{1/2}$	= 1,257 s

6/



7/

Conclusion

Avec la première série d'essais en houle monochromatique nous avons obtenu la destruction de la couche extérieure de la digue pour différents temps d'action t , en faisant varier H et T . La masse des blocs restait constante. Nous avons déterminé un critère de risque de destruction de la couche extérieure, sous la forme :

$$t/T = -A \log (H^2/vT) + B$$

où A et B sont des constantes. Cette formule donne le temps t nécessaire pour détruire la carapace en connaissant H , T et v .

Les essais ont été effectués une seconde fois en utilisant la même échelle géométrique, le même profil, les mêmes granulométries et la même profondeur à l'amont du modèle, une houle irrégulière remplaçant la houle monochromatique. Après avoir éliminé le temps t , nous du modèle, une houle irrégulière remplaçant la houle irrégulière (H_{dest} , T_{dest} , etc.) déduits de l'analyse statistique à ceux de la houle monochromatique et prouver que :

$$H_{dest} \approx H_s = H_{1/3}$$

Quelques suggestions pour des recherches ultérieures

Les recherches entreprises pendant notre travail avaient pour but général d'étudier le comportement des ouvrages maritimes, sous l'action de la houle. Le temps restreint de nos recherches et les difficultés techniques ne nous ont pas permis d'étudier tous les aspects de ce problème.

Nous avons dû nous limiter à des jetées en enrochements et nous avons comparé les caractéristiques de la houle monochromatique à celles de la houle irrégulière produite par le vent, conduisant à un même état du profil, après un même temps d'essai, pour des conditions identiques de similitude géométrique et granulométrique. Il s'agissait d'écoulements à deux dimensions, et par suite, les densités spectrales mesurées pendant les essais en houle irrégulière étaient unidirectionnelles. Notre étude fut strictement limitée à l'étude des paramètres de ces deux types de houle et de leurs effets sur l'ouvrage. Il fut techniquement impossible d'étudier la production des vagues par le vent.

Il y a certainement beaucoup à faire encore et nous nous permettons les suggestions suivantes :

a) Dans le cas des jetées en enrochements, où la mer sculpte d'elle-même la pente, il semble que la variation de l'angle du talus, tous les deux degrés, n'influence pas les résultats. Ceci est confirmé dans la figure 7 où la frontière expérimentale de destruction est presque horizontale

pour le domaine de 30° à 36° . On peut, par suite, maintenir le même angle pendant tous les essais, ou le faire varier par paliers plus importants (par exemple tous les cinq ou six degrés).

b) Il faut choisir au hasard les couples (H , T) pour les essais en houle monochromatique. Pour une étude statistique complète et afin de pouvoir généraliser certains résultats (comme ceux de la stabilisation de la carapace) il faut travailler avec des couples (H , T) aléatoires.

c) En ce qui concerne le temps d'action de la houle, on a pu le mesurer d'une façon relativement exacte dans les cas de destruction de la carapace. Il serait souhaitable dans l'avenir de mesurer aussi le temps de stabilisation, dans les cas où il n'y a pas destruction.

d) Dans le développement futur, il serait souhaitable d'établir une relation entre le rapport $H_{dest}/H_{1/3}$ et les autres caractéristiques du spectre, ce qui permettrait de réduire la disparité des résultats concernant la comparaison d'une houle régulière et d'une houle irrégulière.

e) Il est souhaitable d'avoir un canal équipé de telle façon qu'on puisse y produire et de la houle monochromatique et de la houle irrégulière; pour produire cette dernière, un ou plusieurs ventilateurs axiaux, à vitesses variables, seraient plus efficaces. En ce qui concerne l'instrumentation, le sondeur à ultrasons, à dix mesures par seconde, donne une image précise des vagues, et les résultats peuvent facilement être dépouillés à l'aide des calculatrices électroniques. On pourrait ainsi produire des houles irrégulières ayant des spectres de largeur plus variable. Ceci faciliterait l'étude approfondie de la période significative [1].

Références

- [1] ROGAN (A. J.). — « Comportement des jetées en enrochements vis-à-vis de la houle ». *Laboratoire National d'Hydraulique*, Chatou, France. (Thèse présentée à l'Université de Paris.) (1968). *Supplément au n° 1-1968, Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches d'E.D.F.* Série A.
- [2] LONGUET-HIGGINS (M. S.). — "On the statistical distribution of the heights of sea waves". *Journ. Mar. Res.* (1952), 11 (3).
- [3] CARTWRIGHT (D. E.) and LONGUET-HIGGINS (M. S.). — "The statistical distribution of the maxima of a random function". *Proc. Roy. Soc.* (1956), A 237 (1209).
- [4] VALEMOIS (J.). — « Similitude dans les essais de stabilité de digues ». Note *DR L.N.H.*, Chatou (1962).
- [5] BERNIER (J.). — « Cours sur les applications des méthodes statistiques aux travaux de recherche expérimentale ». Rapport interne, *L.N.H.*, Chatou (1963).
- [6] MORICE (F.) et CHARTIER (F.). — « Méthodes statistiques », 2^e partie. Imprimerie Nationale, Paris (1954).
- [7] BLACKMANN (R. B.) and TUKEY (J. N.). — "The measurement of power spectra from the point of view of communications engineering". *Dover Publ. Inc.*, New York (1959).
- [8] WIEGEL (R.). — "Oceanographical Engineering". *Prentice Hall Int. Series in Theor. and Appl. Mech.* (1965).

Discussion

Président : M. Y. LA PRAIRIE

M. le Président remercie M. BONNEFILLE d'avoir bien voulu exposer avec beaucoup de clarté le travail de M. ROGAN et ouvre la discussion.

La destruction de l'ouvrage (suivant le critère adopté) paraît la même dans les deux cas (houle monochromatique et polychromatique); mais la sculpture de la carapace obtenue (schématisée par la variation de pente de l'ouvrage au niveau moyen) est-elle la même? demande M. EYRIES.

L'aspect du parement érodé est à peu près le même dans les deux cas, dit M. BONNEFILLE, qui donne quelques indications sur la dispersion des résultats observés au cours des essais.

M. K. D'ANGREMOND (Laboratoire d'Hydraulique de Delft) intervient en ces termes :

« M. ROGAN a étudié le temps, nécessaire pour la destruction totale de la couche extérieure d'un brise-lames. Sa conclusion qu'il est possible d'appliquer des houles régulières n'est valable que pour des essais concernant le même problème.

« L'expérience du Laboratoire d'Hydraulique de Delft montre que l'emploi de la houle aléatoire est nécessaire pour une autre classe de problèmes, concernant le début d'avarie et le développement de l'avarie (voir Proceedings Symposium Research on Wave Action, Delft, 1969). Je crois qu'il n'est pas encore possible de décider dans quelles situations il est nécessaire d'utiliser des houles aléatoires dans les essais et dans quelles situations des houles régulières sont suffisantes. Je voudrais savoir si vous êtes d'accord sur le fait qu'il est indispensable de continuer les essais comparatifs sur ce sujet et qu'il semble très important de reproduire les propriétés statistiques de la houle aléatoire avec grande précision. »

M. BONNEFILLE est bien d'accord avec M. D'ANGREMOND mais, observe-t-il, les essais de M. ROGAN ne constituent qu'un travail de thèse et remontent à quelques années.

M. GRESLOU revient sur la validité de l'emploi de la houle monochromatique au cours d'un intéressant exposé qui peut être résumé comme suit :

1° « Si dans de nombreux cas, l'action de la houle irrégulière peut être valablement reproduite par une houle régulière, il semble nécessaire de reproduire de la houle irrégulière pour étudier certaines structures, et en particulier, les plates-formes de forage. La reproduction de la houle irrégulière, par le vent en laboratoire, se heurte au fait qu'il est difficile de réaliser un fetch suffisant. C'est pourquoi SO.GR.E.A.H. vient d'équiper un de ses canaux à houle d'un dispositif de commande d'un batteur à houle, susceptible de créer six composantes sinusoïdales.

2° « Le critère de destruction adopté par M. ROGAN est certainement plus pratique pour la comparaison, objet de sa thèse. Toutefois, adopter ce critère pour définir une digue réelle semble assez risqué. Ceci peut évidemment permettre de concevoir un ouvrage dont les enrochements de carapace sont de poids unitaire moins importants; mais admettre que le profil final de la digue sera un profil sculpté par la houle, suppose que, dans la nature, l'attaque de la houle sera uniforme sur tout l'ouvrage. Or, des renforcements locaux ou une attaque oblique de la houle déplaçant les blocs le long de la digue peuvent être à craindre, ce qui compromettrait finalement sa stabilité, ou tout au moins remodelerait l'ouvrage de façon assez inesthétique.

3° « Dans sa thèse, M. ROGAN donne une formule définissant le temps de destruction, formule qui fait intervenir la période de la houle par l'expression H/\sqrt{vT} , H étant l'amplitude de destruction et v la viscosité.

« Au cours d'essais effectués à la même époque à SO.GR.E.A.H., nous avons cherché à mettre en évidence le fait que l'agent destructeur d'un talus en enrochement, quand la houle ne déferlait pas sur l'ouvrage, était essentiellement la vitesse d'écoulement de la vague descendante. Devant la difficulté de mesurer cette vitesse, nous avons, en première approximation, utilisé le paramètre $2Z/T$, où $2Z$ est la dénivellation entre les affleurements maximaux et minimaux de la vague sur l'ouvrage.

« Nous avons trouvé que la valeur de ce rapport restait bien constante dans une très large gamme de périodes de houle, lorsqu'on se trouvait, pour chaque période, à l'amplitude critique H_c de légers dommages, prise comme critère.

« Ce paramètre $2Z/T$ ne faisant pas appel à des grandeurs habituelles, nous avons cherché d'autres formules et sommes arrivés à relier l'amplitude critique H_c à la période T par la relation :

$$H_c = AT/[1 + B(gT^2/h)]$$

dans laquelle h est la profondeur d'eau, A et B des quantités fonctions uniquement des enrochements et de la pente du talus.

« On voit alors que :

— si gT^2/h est petit, c'est-à-dire pour des longueurs d'onde faibles par rapport à la profondeur, on obtient :

$$H_c/T = A = Cte$$

— si gT^2/h est grand, c'est-à-dire pour des longueurs d'onde importantes par rapport à la profondeur, on obtient :

$$H_c T = Ah/Bg = Kh$$

« Dans la zone intermédiaire correspondant en fait à la zone la plus fréquente dans la nature, la formule $H_c/\sqrt{T} = Cte$ de M. ROGAN doit être assez bien vérifiée.

« Ceci nous conduirait à conclure que la variation de H_c en fonction de T doit avoir la forme suivante :



Autrement dit, pour des périodes très longues, la stabilité de l'ouvrage ne serait assurée qu'avec des amplitudes plus faibles, ce que nous avons constaté aux essais. »

M. le Président clôt la discussion en remerciant à la fois les conférenciers de la matinée et les personnalités qui ont fait des discussions un dialogue fort instructif.

La séance est levée à 12 h 20.

