

PLAGE D'AMORTISSEMENT POUR CANAL A HOULE

C. MARCOU

Ingénieur aux Laboratoires de Mécanique des Fluides
de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et d'Hydraulique
de Grenoble (France)

INTRODUCTION

L'obtention d'une houle pure de laboratoire pose plusieurs problèmes expérimentaux. L'un des plus importants est l'extinction aussi complète que possible de la houle incidente attaquant l'extrémité du canal.

Au point de vue pratique, il est, le plus souvent, exigé que l'encombrement de l'installation soit aussi faible que possible, de manière à éviter la réduction de la longueur utile du canal. S'il s'agit d'une installation fixe, il sera nécessaire que ses caractéristiques soient rigoureusement invariables. S'il s'agit d'une installation qu'on se réserve de régler, il sera nécessaire que les paramètres la définissant soient peu nombreux et que leur réglage soit rapide et sûr.

En ce qui concerne les installations que nous appelons fixes, c'est-à-dire celles qui restent les mêmes, quelles que soient la profondeur d'eau dans le canal et la période de la houle, le coefficient de réflexion dont nous rappellerons plus loin la définition est fonction des caractéristiques de la houle incidente.

Pour les installations réglables, les paramètres du système doivent être pour chaque houle, ajustés à des valeurs qui donnent un coefficient de réflexion minimum et sensiblement constant, autant que possible.

En ce qui concerne la première catégorie, il est certain qu'une plage de galets, d'une granulométrie convenable et de pente suffisamment faible, réalise la meilleure extinction de la houle incidente, mais on voit aussi que si l'on veut se réserver la possibilité d'utiliser des profondeurs d'eau assez importantes, on est conduit à avoir des plages extrêmement longues, condition généralement très difficile à accepter dans un laboratoire couvert.

Si l'on accepte d'augmenter la pente de la plage, le coefficient de réflexion s'élève et, d'autre part, sous l'action de la houle, des modifications peuvent se produire tant sur le profil de la plage que sur la granulométrie de ses éléments ; il en résultera des modifications du coefficient de réflexion.

Il est possible de disposer des organes amortisseurs constitués par des gabions en grillage métallique, remplis de copeaux d'aluminium ou de bois, mais il est certain qu'un tel ouvrage évolue avec le temps et ne possède pas un coefficient de réflexion constant.

Dans cette recherche de la fidélité de l'amortisseur nous avons réalisé un ouvrage formé de couches superposées de baguettes de bois disposées à intervalles réguliers et chaque couche étant à angle droit de celle de dessous ; mais chaque facette avait un pouvoir réfléchissant non négligeable.

En résumé, il semble que, si l'on ne veut pas donner à une installation du type fixe, une trop grande longueur, on devrait se contenter de coefficient de réflexion pouvant atteindre 10 %.

Parmi les dispositifs du type réglable, nous citerons celui à contre clapotis réalisé chez Neyrpic et dont une description ainsi qu'une théorie ont été publiées. Mais un tel dispositif est d'un réglage délicat et son efficacité ne paraît avoir été contrôlée, avec des résultats remarquables, d'ailleurs, que dans le cas de l'association avec une plage de galets possédant déjà, à elle seule, un coefficient de réflexion très faible.

Nous avons cherché une autre solution du problème. Notre but était la recherche d'un dispositif court, défini par quelques paramètres simples et par suite aisément reproductibles, et dont le coefficient de réflexion soit inférieur à 5 %. Une fois obtenu ce coefficient de réflexion acceptable pour des mesures pratiques, nous avons pensé beaucoup plus à assurer la constance de cette valeur au cours d'essais différents qu'à la réduire à l'extrême. Nous sommes, en particulier, convaincus que l'adjonction à notre plage de tel ou tel dispositif améliorerait le coefficient de réflexion ; mais, si nous n'avons pas poussé l'étude de ces dispositifs, c'est qu'il ne nous paraissait pas possible de chiffrer avec précision cette amélioration.

D'autre part, nous avons pensé qu'il y avait intérêt à étudier un mode d'amortissement assez simple pour qu'on puisse espérer analyser théoriquement son fonctionnement le jour où les conditions aux limites caractérisant le déferlement seront écrites.

Notre étude expérimentale n'est d'ailleurs pas terminée. Mais les premiers résultats obtenus nous ont paru assez encourageants pour justifier une publication sommaire.

DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Notre dispositif se compose essentiellement d'une plaque métallique de longueur L de l'ordre du mètre, de largeur sensiblement égale à celle du canal d'expérience et de 1 à 4 mm d'épaisseur, disposée de telle façon que, reposant librement sur un cadre en cornières métalliques figurant un plan incliné, elle puisse osciller partiellement autour d'un axe de rotation figuré par son arête inférieure.

La pente du plan incliné peut prendre diverses valeurs et l'extrémité inférieure peut être mise à des distances variables du fond du canal.

La position de l'arête inférieure étant toujours à une cote supérieure à celle du fond, il existe ainsi une communication plus ou moins large entre l'amont et l'aval du canal par rapport à l'amortisseur ; la partie aval du canal constitue un compartiment partiellement indépendant qui joue un rôle notable dans la dissipation d'énergie.

FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF

Dans un canal où se propage en profondeur H , une houle de période T et d'amplitude $2a$, observons les phénomènes au niveau du dispositif amortisseur.

Envisageons tout d'abord le cas où l'arête supérieure de la plaque est à une cote très inférieure à celle de la surface de l'eau au repos. Sous l'action de la houle incidente, la partie supérieure de la plaque est périodiquement soulevée et abaissée au rythme de la houle ; la plaque n'émerge pas et il se produit une perturbation importante qui retentit de proche en proche sur l'ensemble du canal ; la réflexion est alors très importante.

Si l'on augmente la cote de l'arête supérieure de la plaque en faisant varier l'angle du plan incliné, on verra émerger de plus en plus nettement cette arête à chaque période.

Chaque vague incidente maintient la plaque au contact du support pendant le déferlement de l'onde de l'avant à l'arrière du dispositif qui évacue ainsi une certaine quantité d'eau qui est projetée plus ou moins brutalement dans le compartiment arrière.

La partie supérieure de la plaque se redresse très légèrement dans l'intervalle de 2 vagues empêchant ainsi le retour vers l'avant de l'agitation qui règne à l'arrière.

Il n'y a pas d'accumulation d'eau dans le compartiment arrière grâce à la large communication sous le dispositif entre l'avant et l'arrière.

Dans cette suite de phénomènes nous devons prendre en considération les faits suivants :

- A - Le déferlement de la houle incidente sur la plaque
- B - Le mouvement oscillant de la plaque qui occasionne un véritable effet valve et qui comporte au cours de chaque période :

- 1°) L'évacuation de l'eau déferlante dans le compartiment arrière (Fig. 1)
- 2°) Le redressement de la plaque qui a pour effet d'empêcher le retour des masses d'eau déferlées (Fig. 2).

A - LE DEFERLEMENT

Il permet la dissipation de l'énergie incidente de la houle par le mécanisme de la turbulence. Il correspond à une déformation progressive du profil de l'onde due à une variation de cambrure qui produit un basculement de la crête et un recouvrement du front de l'onde par sa face arrière.

Les phénomènes de déferlement ont été étudiés en laboratoire et ont donné lieu à des classifications diverses. Des études faites aux Etats Unis distinguent, suivant le caractère progressif ou discontinu des phénomènes, le "spilling breaking" le "plunging breaking" et le "surging breaking". En France on a décrit avec quelques variantes, le "déferlement en volute" et le "déferlement en deux temps".

L'étude de ces différents types de déferlement nous intéresse parce qu'ils correspondent à une plus ou moins grande dissipation d'énergie et que certains d'entre eux engendrent des ondes importantes qui modifient la houle incidente. Les variations des paramètres caractérisant notre dispositif conduisent à des types variables de déferlement et par là à des efficacités différentes.

Une analyse sommaire du déferlement d'après Biésel montre qu'il résulterait de la combinaison de 2 effets principaux :

a) un raidissement de la face avant de la vague due à la pente du fond, raidissement d'autant plus important à profondeur égale que la pente est plus forte.

b) Une augmentation de cambrure qui provoque un prédéferlement.

Pourtant d'autres effets interviennent ; en particulier le flot de retour du déferlement précédent d'autant plus important que la pente

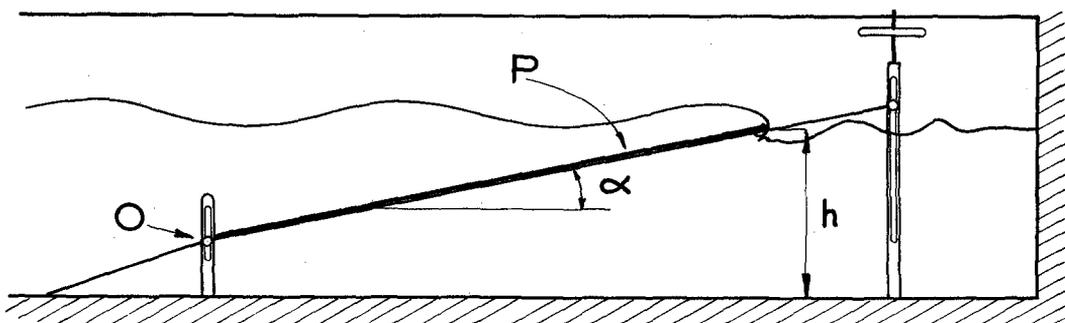


Fig. 1 - Schéma du dispositif montrant la position de la plaque pendant le déferlement de la vague.

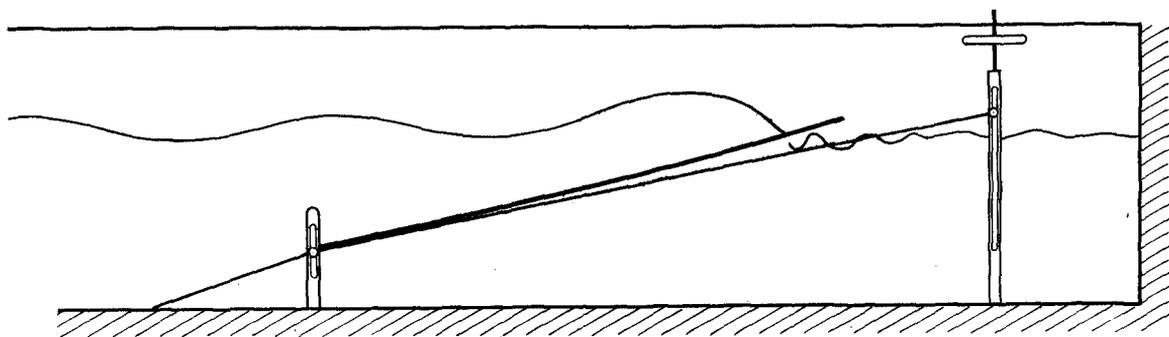


Fig. 2 - Schéma du dispositif montrant la position de la plaque entre deux déferlements.

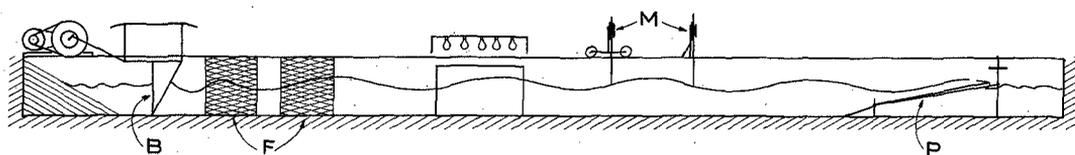


Fig. 3 - Schéma général de l'installation du laboratoire.

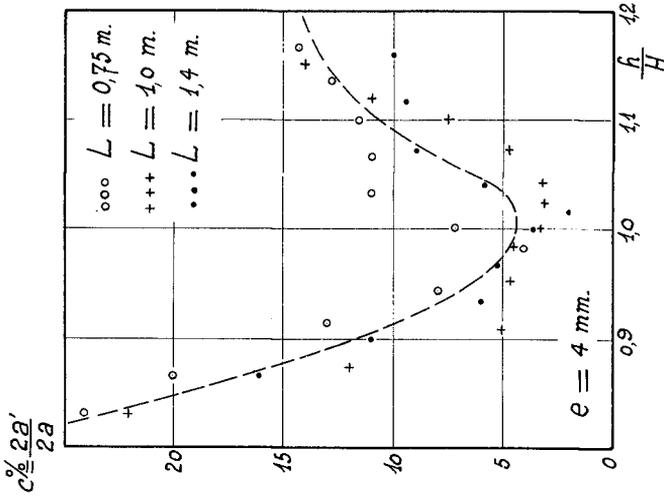


Fig. 6 - Variation du coefficient de reflexion pour des plaques d'epaisseur $e = 4 \text{ mm.}$

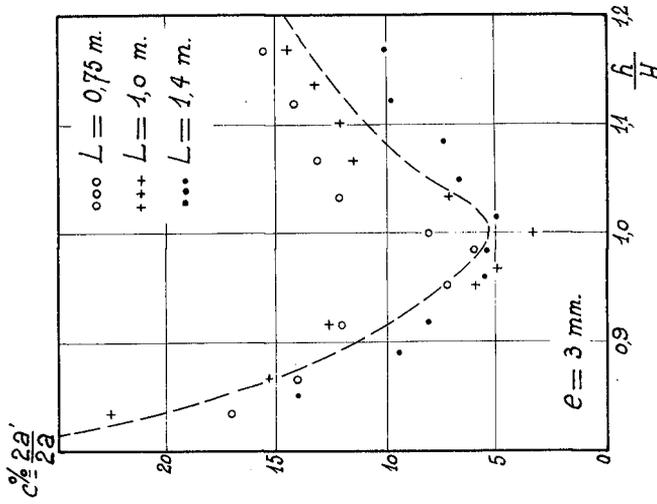


Fig. 5 - Variation du coefficient de reflexion pour des plaques d'epaisseur $e = 3 \text{ mm.}$

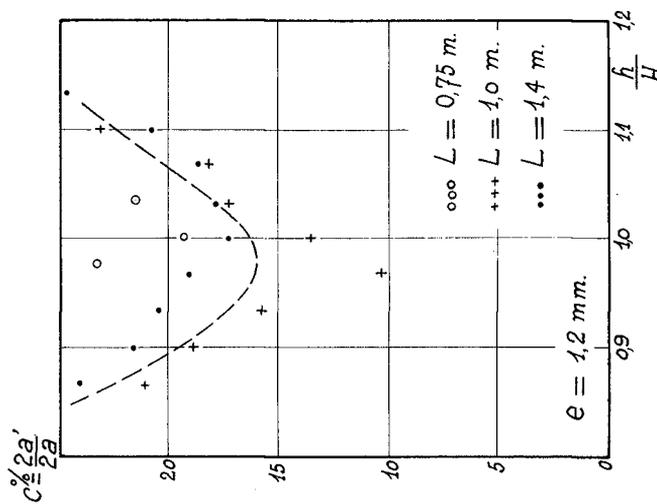


Fig. 4 - Variation du coefficient de reflexion pour des plaques d'epaisseur $e = 1,2 \text{ mm.}$

est plus forte. Ce flot retour a un double effet sur le phénomène : d'une part il crée un courant de sens contraire à celui de la propagation de la houle ; d'autre part il engendre des ondes perturbatrices, grâce à l'effet-valve qui caractérise notre dispositif, nous éliminons assez complètement ce flot de retour.

B - EFFET VALVE

Il comprend deux phases :

1°) Evacuation de l'eau de déferlement dans le compartiment arrière

L'onde déferlante abaisse la plaque et projette une certaine quantité d'eau à laquelle est liée sous forme d'énergie cinétique, une fraction plus ou moins importante de l'énergie incidente contenue dans une vague. Cette énergie cinétique est dissipée en une agitation désordonnée de fréquence élevée et irrégulière dans le compartiment arrière, sans que le système du fait de son inertie ne réagisse sensiblement. Il y a enfin une certaine dissipation d'énergie dans le courant d'égalisation des niveaux des compartiments avant et arrière.

2°) Le redressement de la plaque

Ce redressement est variable suivant la nature et la position de la plaque. Il crée principalement l'impossibilité du retour vers l'avant de l'eau déferlée et des perturbations du compartiment arrière.

Le redressement, qui se produit dans l'intervalle de temps qui sépare le déferlement de deux vagues successives, résulte d'un mouvement d'ensemble de la plaque que l'on peut assimiler à une rotation autour d'un axe constitué par son bord inférieur. Ce redressement est accentué par une déformation semi-élastique qui donne à la plaque, entre deux déferlements, un profil curviligne à concavité dirigée vers l'avant. L'influence de l'élasticité de la plaque est probable. Si l'on considère par ailleurs que par son module d'Young, l'aluminium, seul métal que nous ayons utilisé jusqu'à présent, occupe une position intermédiaire entre des métaux fortement élastiques comme l'acier et très peu élastiques comme le plomb, il sera intéressant de faire varier la nature du métal constituant la plaque afin de déterminer le rôle exact de l'élasticité dans les phénomènes indiqués.

LES ESSAIS

Nous avons étudié l'influence d'un nombre réduit de paramètres caractérisant le dispositif et il faudra un très grand nombre d'essais systématiques pour définir complètement les possibilités de ce moyen d'amortissement.

Les expériences ont été effectuées dans le canal à houle du laboratoire dont les dimensions sont les suivantes : longueur 18 m ; largeur 0,50 m (Fig. 3). La houle est produite par un batteur du type "trois barres", dont la gamme de période de fonctionnement est comprise entre 0,4 s et 1,3 s. Deux filtres en grillage métallique, placés immédiatement à l'aval du générateur, régularisent la houle. Le système d'amortissement à plaque mobile est placé en bout de canal, en ménageant toutefois à l'arrière, un compartiment d'environ 1 m de longueur. La houle utilisée dans nos essais était invariable, : période $T = 1,063$ seconde, amplitude $2a = 6$ cm, hauteur d'eau $H = 30$ cm.

Concernant le dispositif lui-même, les paramètres variables étaient d'une part, la longueur L et l'épaisseur e des plaques d'aluminium (seul métal utilisé jusqu'à présent) et d'autre part, la cote h de l'arête supérieure de la plaque par rapport au fond du canal.

Le tableau suivant donne les dimensions des plaques d'aluminium qui ont été utilisées :

:	:	:	:	:
:	Lcm :	e mm	:	:
:	:	:	:	:
:	75 :	1,2 :	3 :	4 :
:	100 :	1,2 :	3 :	4 :
:	140 :	1,2 :	3 :	4 :

Pour chaque plaque, nous avons fait varier la cote h du bord supérieur (comptée du fond du canal pris comme zéro de référence) de part et d'autre de la cote du plan d'eau au repos. L'angle de la plaque avec l'horizontale variait ainsi de 8° au maximum.

Pour chacune des positions du bord supérieur de la plaque, nous avons déterminé un coefficient de réflexion moyen, résultant d'un ensemble de mesures effectuées en des noeuds et ventres successifs.

Nous rappelons le principe de cette mesure classique : par exploration à l'aide d'une pointe de mesure montée sur un chariot, on détermine les noeuds et les ventres du clapotis partiel qui se superpose à la houle progressive du fait de la réflexion. En chacun de ces ventres, on mesure l'amplitude de la houle actuelle par différence des cotes de la crête et du creux.

La demi-somme des amplitudes en un ventre et un noeud consécutif définit l'amplitude de la houle incidente et la demi-différence, l'amplitude de la houle réfléchie.

Si ΔV et ΔN sont les amplitudes de la houle actuelle en un ventre et en un noeud et si $2a$ et $2a'$ sont les amplitudes des houles incidentes et réfléchie, nous aurons les relations suivantes entre ces grandeurs.

$$2a = \frac{\Delta V + \Delta N}{2}$$

$$2a' = \frac{\Delta V - \Delta N}{2}$$

Le coefficient de réflexion sera ainsi défini par :

$$c = \frac{\Delta V - \Delta N}{\Delta V + \Delta N}$$

RESULTATS

Nous avons groupé les résultats dans trois graphiques (Figs 4, 5 et 6) donnant chacun, pour une épaisseur donnée, la variation du coefficient de réflexion $c = 2a'/2a$ en fonction du rapport h/H (h = cote du bord supérieur de la plaque, H = hauteur d'eau au repos dans le canal d'expérience).

La variation du coefficient de réflexion pour chaque plaque, a une allure dissymétrique et fait apparaître une valeur optimum de la cote h pour laquelle le coefficient c est minimum. On peut distinguer dans ces courbes, deux parties :

- 1°) Une partie correspondant à une variation rapide du coefficient de réflexion pour les positions du bord de la plaque inférieure au niveau de l'eau au repos.
- 2°) Après passage au minimum (qui correspond à une position proche de la surface libre au repos) la courbe amorce un second arc qui, rapidement, s'infléchit et il semble alors que la loi de variation devienne analogue à celles des plans inclinés ordinaires. Ceci est en relation avec le fait que, pour les positions de plus en plus hautes, l'effet-valve joue de moins en moins et disparaît.

Les performances des plaques utilisées sont assez diverses ; certaines sont franchement mauvaises : c'est le cas pour l'épaisseur 1,2 mm. D'autres sont excellentes et permettent d'obtenir un coefficient de l'ordre de 3 % et même 2 % avec l'aide d'améliorations annexes telles que filtres et bassin amortisseur à l'arrière du dispositif.

CONCLUSIONS

Les essais qui ont été décrits sont fragmentaires. De nombreuses recherches seront nécessaires pour élaborer une théorie correcte de l'extinction de la houle par notre dispositif dont, au cours d'essais variés, nous avons apprécié les avantages suivants : encombrement réduit, réglage permettant l'adaptation à des houles diverses, fidélité correcte.

D'un autre côté, il ne faut pas oublier que toute houle de laboratoire est entachée d'harmoniques. Le matériel de mesure dont nous disposons nous permettra de procéder à des essais plus fins et d'étudier expérimentalement les lois de réflexion, non seulement pour la houle principale, mais aussi pour toutes ses harmoniques.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - G.F. Dixon - Contribution du modèle réduit à l'étude des aménagements portuaires. Influence de l'échelle sur l'amortissement, la réflexion et la diffraction de la houle - thèse - Université de Grenoble - 1949.
- 2 - H.W. Iversen - Waves and breakers in shoaling water - Proc. of III - Conference on coastal Engineering - 1952.
- 3 - H. Bouasse - Houle, rides, seiches et marées - Delagrave - Paris - 1924.
- 4 - John H. Carr - Mobiles breakwaters - Proc. of II Conference on Coastal Engineering - 1951.
- 5 - F. Suquet - Etude expérimentale du déferlement de la houle - Houille Blanche n° 3 - 1950.
- 6 - O'Brien - The causes of plunging and spilling breakers (Bulletin of the Beach Erosion Board, vol. 3).

RESUME

SPENDING BEACHES FOR A WAVE CANAL

C. Marcou

The principal obstacle to the production of a pure wave in a laboratory wave canal of short length is the presence of a wave reflected from the down-stream extremity of the canal. Different artifices are used to reduce the value of the coefficient of reflexion. It is of importance to see that these setups occupy as small a length of the canal as possible.

We have undertaken the study of a simple mechanism, easily constructed, whose parameters can be defined rigorously and whose action is consequently consistent. The different parameters can be varied systematically so that the values which give a minimum coefficient of reflection for a given incident wave can be determined.

The mechanism consists of a spending beach made of a thin aluminium plate ; the plate has the same width as the wave-canal, its lines of greatest slope being parallel to the plane of symmetry of the canal.

A frame immersed in water, supports the plate which is partially deformed under the wave-action. The parameters which can be varied are the inclination of the plate, its length and the depth of its upper and below the free-surface of the water at rest. The variations of these magnitudes imply also the variation of the height of the lower end of the plate above the bed of the canal.

The incident wave depends also on three parameters : depth, period, amplitude.

The large number of factors to be varied has restricted the number of values tested for each of them. As well as this the amplitude of these variations was often restricted either by the limitation of construction or by the conditions of use of the wave-canal.

The article gives the principal results achieved. In favourable circumstances it has been observed that the coefficient of reflexion was as low as 3 %.

The mechanism of absorption is not yet clear ; it may place either by the energy's being absorbed by the flexion of the plate or by a valve effect which compels the water particles arriving at the surface to return to the bed at low velocity.