

## Chapter 41

### LES OUVRAGES RESONANTS ET LEUR APPLICATION A LA PROTECTION DES PORTS

J. Valembois et C. Birard  
Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou

#### FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES RESONANTS

Le principe de fonctionnement des ouvrages résonants a déjà été décrit en détail dans les articles cités. Nous le rappellerons d'abord brièvement.

Si l'on considère la houle comme un phénomène périodique, on peut penser qu'elle engendrera la résonance d'ouvrages ayant une période propre voisine de la sienne. L'expérience montre qu'il en est bien ainsi, malgré le caractère un peu particulier de cette périodicité, que mettent en lumière les spectres de fréquence obtenus par analyse des enregistrements de houle. En effet, on observe bien que les bassins d'un port entrent en résonance sous l'action de la houle lorsque leurs dimensions s'y prêtent. D'autre part, les enregistrements que nous avons effectués à Dunkerque avec notre enregistreur sélectif, constitué par des résonateurs de mesure, montrent que ceux-ci entrent en résonance sous l'action de la houle naturelle.

La résonance des ouvrages tels que des bassins, qui est en général un phénomène gênant, peut être utilisée pour empêcher la houle de passer. Remarquons en effet que lorsqu'un ouvrage a une période de résonance accordée sur celle de la houle, de faibles variations de niveau à son entrée lui font absorber un débit alternatif important. Il en résulte qu'au voisinage de l'entrée du résonateur, les variations de niveau sont faibles.

C'est ce qui se passe par exemple, comme le montrent le calcul et l'expérience, lorsqu'une houle se propage dans un canal et que, sur le côté de ce canal, on réserve un bassin ayant une profondeur  $L$  égale au quart de la longueur d'onde de la houle (Fig. 1). L'effet de ce bassin, qui résonne en quart d'onde, est, en créant une zone de calme au droit de son entrée, de réfléchir la houle vers l'amont, exactement comme le ferait un mur, mais avec un noeud d'oscillation verticale au lieu d'un ventre au point de réflexion, et surtout sans obstruer le passage.

Un ouvrage résonant agit donc dans ce cas comme un mur fictif, mais pour une gamme de périodes assez étroites. C'est pourquoi, pour protéger un port où les périodes de houle peuvent varier du simple au double, il faut disposer plusieurs ouvrages résonants dont les périodes sont étalées dans la gamme à couvrir. L'expérience montre que trois à quatre périodes suffisent en général.

#### DIVERS TYPES D'OUVRAGES RESONANTS

Nous avons déjà vu qu'on pouvait utiliser comme résonateurs des bassins dont la profondeur  $L$  est égale au quart de la longueur d'onde de la houle à réfléchir. Les essais ont montré qu'un bassin de ce type oscille en quart d'onde

en bloc même si la largeur  $W$  atteint une valeur un peu inférieure à la demi longueur d'onde.

D'autres types de résonateurs (fig. 2) peuvent être constitués par des tubes où l'eau oscille verticalement. Sur la figure 2 a, le tube a une section constante, sa période propre est  $2\pi\sqrt{l/g}$ . Elle varie donc avec  $l$ , profondeur d'immersion du bas du tube. Comme l'écoulement ne s'arrête pas au bas du tube, mais continue en dessous, la longueur  $l$  doit être un peu majorée pour le calcul de la période propre. D'autre part, dès que les mouvements dans le tube sont importants, on n'a plus une résonance simple. La figure 2 b montre un tube ayant une période propre indépendante du niveau d'eau. Sa section à la cote  $z$  est, en fonction de la section  $S_0$  à la cote 0

$$S(z) = S_0 e^{-2\pi z/g T^2}$$

Ce tube est censé descendre à l'infini vers le bas, mais les essais ont montré que ce n'était pas nécessaire, si la section  $S_0$  est située suffisamment bas, par exemple à 5 à 6 m en dessous de la surface. La partie basse pourrait être remplacée, en dessous de  $S_0$ , par un tube à section constante de longueur  $l$ , mais les phénomènes parasites se sont révélés prépondérants dans ce cas : la période obtenue est supérieure à  $2\pi\sqrt{l/g}$  d'environ 50 %, et elle varie avec le niveau.

#### UTILISATION DES OUVRAGES RESONANTS

Nous examinerons plus loin quelques cas concrets, mais certaines idées générales peuvent être dégagées tout d'abord.

Il est plus facile de protéger une zone par des ouvrages résonants lorsque la largeur du passage qui conduit à cette zone est relativement faible, par rapport naturellement à la longueur d'onde de la houle la plus courte à arrêter. Une largeur de l'ordre de la longueur d'onde de la houle semble un maximum dans certains cas. D'autre part, il est aussi plus facile de protéger une zone où il n'y a pas d'ouvrages réfléchissants importants trop près de l'entrée. Dans ce cas, on pourra avoir un passage plus large que la longueur d'onde minimum.

Quand on veut protéger un ouvrage réfléchissant, il devient très difficile de déterminer à priori la disposition des ouvrages résonants de diverses périodes. Ils réagissent les uns sur les autres, et seule l'expérimentation sur modèle peut permettre de trouver la disposition convenable.

Enfin, il faut noter que, dans les cas pratiques que nous avons étudiés jusqu'à présent, ces limitations d'emploi ont conduit à utiliser la protection par ouvrages résonants conjointement avec des ouvrages classiques peu importants. C'est de cette façon qu'il semble intéressant d'employer les ouvrages résonants. On obtient en définitive des solutions économiques et remarquablement efficaces.

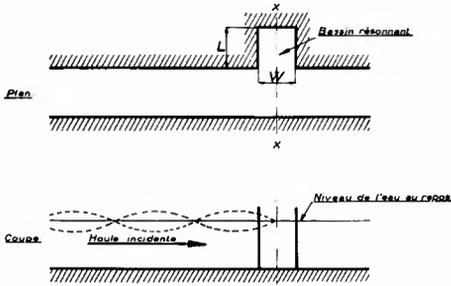


Fig. 1

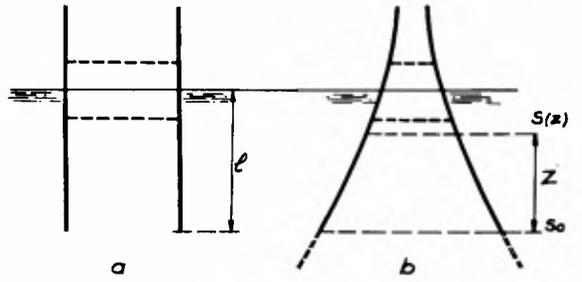


Fig. 2

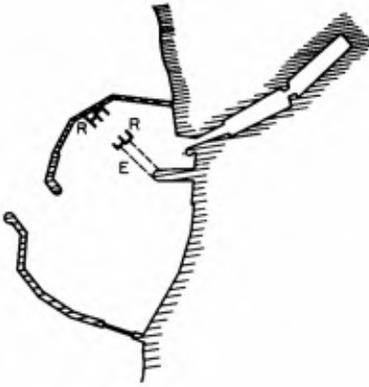


Fig. 3

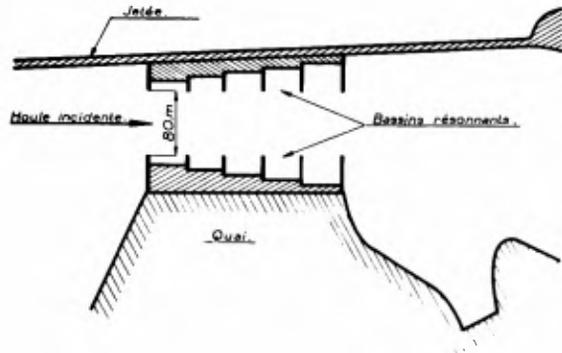


Fig. 4

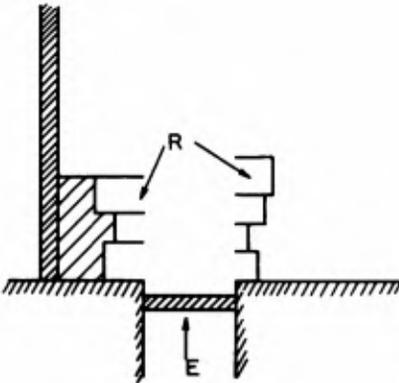


Fig. 5



Fig. 6

Il est à peu près évident que chaque cas est un cas d'espèce, et l'étude sur modèle est indispensable. Nous avons étudié au Laboratoire de Chatou quelques cas où le procédé s'est révélé intéressant, soit parce qu'il conduisait à des ouvrages de protection simples, peu coûteux et commodes pour la navigation, soit parce qu'il permettait de protéger le port pour certaines périodes de houles difficiles à éliminer par les procédés courants. Ce sont ces études que nous décrirons rapidement maintenant.

#### PROTECTION DU PORT DE PORT-EN-BESSIN

On verra sur la figure 3 le plan de ce port. Dans son état actuel, les ouvrages E et R n'existent pas. Les jetées et quais intérieurs réfléchissants conduisent à des agitations importantes, en particulier le long de l'épi que continue E et dans le canal d'entrée aux bassins intérieurs, qui est impraticable en cas de tempête.

Dans la solution classique primitive, on prolongeait l'épi existant par l'épi E. Quelques enrochements étaient placés aux endroits où cela était possible pour éviter les réflexions. L'amélioration ainsi apportée était suffisante, sauf pour les périodes comprises entre 6 et 8 secondes, une résonance du nouvel avant-port créant à ces périodes des agitations trop importantes.

La solution définitive a consisté, pour amortir ces résonances, à placer à l'entrée de la nouvelle passe deux groupes R de bassins résonants accordés sur 7 et 8 secondes.

Nous donnons ci-après le coefficient  $A/A_0$  de réduction de l'agitation près de l'entrée des bassins intérieurs, pour diverses périodes et pour les deux solutions :

Période (secondes)	5	6	7	8	9
$A/A_0$ : solution classique (E)	0,1	0,5	0,5	0,65	0,45
$A/A_0$ : solution avec ouvrages résonants (E et R)	# 0	0,07	0,25	0,39	0,36

L'amélioration obtenue au moyen d'ouvrages résonants relativement économiques, aurait difficilement pu être atteinte, compte tenu des conditions imposées à la navigation, par les procédés classiques.

#### PROTECTION DU PORT DE DUNKERQUE

##### ARRIERE-PORT

La figure 4 donne le schéma des ouvrages proposés. La passe d'entrée laissée libre par les bassins résonants a une largeur de 80 m. Malgré cette largeur, l'amélioration apportée est importante, même pour les faibles périodes, car les ouvrages réfléchissants sont relativement peu importants dans la zone protégée. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après (amélioration au droit de l'Ecluse Trystram).

Période (secondes)	5	6	7	8	9	10
A/A <sub>0</sub>	0,65	0,45	0,22	0,25	0,20	0,22

ECLUSE WATIER

Ce cas, dont l'étude n'est pas tout à fait terminée, nous a bien montré la nécessité, pour certains problèmes difficiles, de l'utilisation conjointe d'ouvrages résonants et d'ouvrages classiques.

La protection avait d'abord été étudiée uniquement par des bassins (Fig. 5). Elle conduisait à d'excellents résultats pour les périodes supérieures à 6 secondes. Mais pour les périodes inférieures, que les mesures de houle faites sur place au moyen de notre enregistreur sélectif nous avaient montré être très fréquentes, l'amélioration obtenue était insuffisante.

Aussi essayons-nous en ce moment de compléter les bassins résonants par d'autres ouvrages. Les premiers résultats semblent montrer que l'association de résonateurs à des ouvrages classiques peu importants donne des résultats qu'on ne saurait atteindre aussi économiquement en employant uniquement des ouvrages classiques.

La figure 6 est une photographie du modèle général du port de Dunkerque. On y voit les ouvrages de protection de l'arrière-port en A et ceux de l'Ecluse Watier en B.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Valembois J. (1952 et 1953). Etude de l'action d'ouvrages résonants sur la propagation de la houle (Bulletin du C.O.E.C. - n° 8 - 1952 et Proceedings Minnesota International Hydraulics Convention - 1953).

RESUME

RESONANT STRUCTURES AND THEIR APPLICATION TO HARBOR PROTECTION

J. Valembois and C. Birard

The principle of resonant structures is briefly described. These hydraulic resonators, which have been patented by Electricite de France, act as reflective structures for a range of wave periods encompassing their period of resonance, without obstructing the passages like a jetty. The originality of these structures lies in the fact that the periodicity of the waves is used to reflect them.

Some dispositions of resonant structures are described: basins having a length equal to a quarter of the wave length, resonators similar to pipes of different types, one of them having a period of resonance independent of the variations of level due to the tides.

Applications to harbor problems have been studied at Chatou. One of them concerns the protection of a lock and of an inner harbor, the other the protection of a harbor in which resonant structures have been used to complete the action of ordinary structures for a certain range of wave periods.