



# LE COIN DU LABORATOIRE

LABORATORY PRACTICE

## Le filtre à houle progressif

### The progressive wave filter

*Tout en conservant un faible pouvoir réfléchissant et un fort pouvoir d'absorption, le filtre à houle progressif permet de réduire au maximum l'encombrement.*

*Le principe utilisé consiste à augmenter la force de frottement introduite dans le mouvement, par augmentation de la densité du filtre. Mais pour éviter qu'il n'en résulte une réflexion importante, cette densité augmente d'une façon progressive dans le sens de la propagation de l'onde. L'énergie réfléchie dans le filtre à chaque variation de densité est alors partiellement absorbée dans les parties antérieures de moindre densité.*

*The progressive wave filter has a small power of reflection and a large power of absorption, and at the same time occupies a minimum of space.*

*The principle used resides in the increase of the friction force introduced into the movement by increasing the density of the filter. But to prevent important reflection from resulting, the density increases progressively in the direction of the wave propagation. The energy reflected in the filter at each variation of density is then partially absorbed in the previous portions of lower density.*

Nous connaissons l'importance expérimentale des filtres à houle dans les modèles maritimes pour réduire l'amplitude des harmoniques émis par le générateur d'ondes et limiter les réflexions parasites (*Houille Blanche*, BIESEL : « Le filtre à houle », mai-juin 1948 et spécial A, 1949). Ceux-ci sont particulièrement nécessaires dans l'étude des seiches dans les ports. En effet, les

We are well aware of the experimental importance of wave filters in maritime models, for reducing the amplitude of the harmonics produced by the wave generator, and for limiting parasite reflections (*Houille Blanche*, BIESEL : « The wave filter », May, June 1948 and special A-1949). In studying seiche in harbours wave filters are particularly important. Seiche waves

ondes de seiches se réfléchissent très facilement même sur des côtes très plates. Les balancements propres des baies et des ports se produisant dans la nature, risquent donc d'être remplacés en laboratoire par les balancements propres du modèle réduit, obligatoirement limité par des parois réfléchissantes (*Houille Blanche*, n° 3, 1955; BIESEL-LE MÉHAUTÉ, « Aperçus sur la similitude de modèles réduits destinés à l'étude des seiches portuaires »).

Pour pallier cet inconvénient, on est amené à donner aux filtres un développement d'autant plus important que les ondes de seiches excessivement longues se laissent moins facilement absorber. L'espace prévu pour l'emplacement des filtres augmente donc sensiblement le prix du modèle. Dès lors, se pose le problème d'absorber sur une distance minimum une certaine quantité de l'énergie des ondes qui traverse le filtre, sans que pour cela l'énergie réfléchie, fonction croissante de la « densité » du filtre, atteigne une importance notable.

Or, on peut démontrer que pour un filtre infiniment étroit, il existe une relation simple entre l'énergie réfléchie, l'énergie absorbée maximum et l'énergie transmise. L'énergie maximum qui peut être absorbée par un tel filtre est égale à la moitié de l'énergie incidente, et cette condition est atteinte lorsque l'énergie réfléchie et l'énergie transmise sont toutes deux égales au quart de l'énergie incidente. Remarquons encore que l'absorption totale de l'énergie peut nécessiter une longueur infinie. (Ceci exclut l'influence des phénomènes de résonance.) On peut donc penser que, sur une longueur donnée, il existe une quantité maximum d'énergie absorbable, qui permet de définir le rendement théorique maximum du filtre.

Nous décrivons ici un dispositif qui permet, tout en conservant un faible pouvoir réfléchissant, d'approcher le rendement théorique maximum.

### Principe de base

Nous traitons ici le cas de mouvements périodiques bidimensionnels. Un filtre placé dans un canal à houle, introduisant dans le mouvement une force de frottement, provoque une réflexion partielle de l'onde incidente. Cette réflexion est due à la variation brusque d'indice de vide, indice que nous définirons dans une section donnée, perpendiculaire au mouvement, par le rapport de la surface de vide à la surface totale. La force de frottement, donc en général l'énergie absorbée, est une fonction croissante de la surface du dispositif en contact avec l'eau.

Nous raisonnerons sur un dispositif constitué de tôles verticales perforées disposées parallèle-

are very easily reflected even on extremely flat coastlines. The proper oscillations of bays and harbours occurring in nature are hence in danger of being replaced by the proper oscillations of the scale model, which is necessarily bounded by reflecting walls (*Houille Blanche*, 3,55; BIESEL and LE MÉHAUTÉ, « Note on the similitude of scale models for studying seiche in harbours »).

To overcome this inconvenience the size of the filters is increased as the exceedingly long seiche waves become more difficult to absorb. The space occupied by filters thus leads to an appreciable increase in the cost of the model. This raises the problem of absorbing, in a minimum distance, a proportion of the energy in the waves passing through the filter, without causing the reflected energy, which is a function of the filter's density, to assume an appreciable magnitude.

It can be shown that for an infinitely narrow filter a simple relationship exists between the reflected energy, the maximum absorbed energy and the energy transmitted. The maximum energy that can be absorbed by such a filter is equal to half the incident energy; this condition is attained when the reflected energy and the transmitted energy are both equal to a quarter of the incident energy. It might also be observed that total absorption of the energy requires an infinite length (this excludes the influence of resonance phenomena). Hence it might be thought that for a given length there exists a maximum quantity of absorbable energy, which enables the maximum theoretical efficiency of the filter to be defined.

We describe below a device which makes it possible to approach this maximum theoretical efficiency while conserving a small power of reflection.

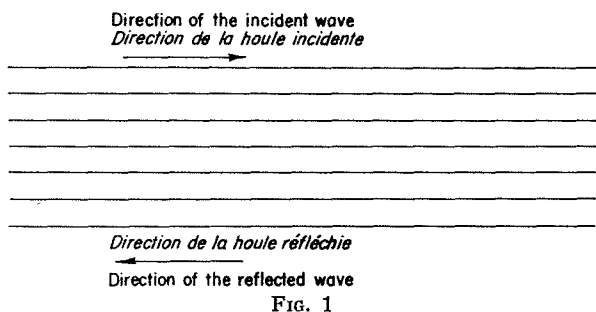
### Basic principle

We consider here the case of two dimensional periodic movements. A filter placed in a wave flume, introducing a friction force into the movement, causes a partial reflection of the incident wave. This reflection is due to the sudden variation of the voids ratio—we define this ratio in a given section perpendicular to the flow as the ratio of the area of voids to the total area. The friction force, and therefore in general the energy absorbed, is an increasing function of the area of the device in contact with the water.

We will proceed to considering a device made up of vertical perforated plates arranged parallel to the direction of propagation of the waves,

ment à la direction de propagation des ondes, décrit par M. BIESEL (*La Houille Blanche*, mai-juin 1948) (fig. 1).

L'énergie absorbée à la transmission peut être considérée, en toute première approximation, comme proportionnelle à la surface des tôles au contact avec l'eau. On conçoit donc facilement l'intérêt de multiplier le nombre de tôles. Mais le filtre deviendra alors lui-même réfléchissant,



l'énergie réfléchi étant une fonction croissante du nombre de tôles. (L'énergie réfléchi augmente quand l'indice de vide du dispositif diminue.) Nous sommes donc limités dans cette voie par la limite admise pour le coefficient de réflexion du filtre.

Par contre, il est possible d'admettre une réflexion provoquée par une diminution d'indice de vide à l'intérieur du filtre dans la mesure où l'énergie réfléchi par cette variation est absorbée dans la première partie du filtre de plus grand indice (fig. 2).

Réduisons la longueur de ce filtre très peu réfléchissant d'une longueur  $l$  et intercalons l'ensemble des tôles sectionnées (mais de longueur  $l/2$ ) entre les tôles du filtre restant dans le canal d'une façon analogue aux lames d'un condensateur variable (fig. 2). La surface totale des tôles en contact avec l'eau reste la même. L'amortissement d'un tel filtre doit, en toute première approximation, être identique au premier. L'amplitude de l'onde réfléchi par cette deuxième partie est elle-même fonction du nombre de tôles intercalées; l'énergie de l'onde réfléchi doit être suffisamment faible pour être absorbée en majeure partie par la première partie du filtre, de plus grand indice de vide.

On peut encore réduire la longueur de ce nouveau filtre et intercaler les nouvelles lames parmi celles restant dans le canal (fig. 3) : le même phénomène se reproduit, l'onde réfléchi par cette troisième partie peut être partiellement absorbée par les deux premières de plus grand indice de vide.

L'ensemble des ondes réfléchies doit être suffisamment faible à la sortie du filtre pour que leur somme, dans le cas le plus défavorable où toutes les ondes réfléchies sont en phase, assure

as described by M. BIESEL (*La Houille Blanche* : May-June 1948) (fig. 1).

As a first approximation, the energy absorbed in transmission can be considered as proportional to the area of the plates in contact with the water. It is thus easy to conceive the advantage of increasing the number of plates. But the filter will itself then become reflecting, the reflected energy being an increasing function of the number of plates. (The reflected energy increases when the voids ratio of the device decreases.) We are therefore limited in this direction by the limit assumed for the coefficient of reflection of the filter.

On the other hand it is possible to accept a reflection caused by a decrease in the voids ratio, inside the filter, if the energy reflected by this variation is absorbed in the first part of the filter—a part with a larger voids ratio (fig. 2).

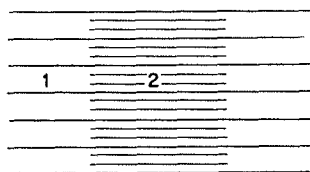


FIG. 2

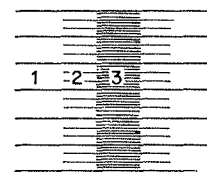


FIG. 3

Let us reduce the length of this filter with little reflecting power by a length  $l$ , and insert all the portions of plate cut off and halved (of length  $l/2$ ) between the plates remaining in the flume, as in a variable condenser (fig. 2). The total area of plate in contact with the water remains the same. The damping effect of such a filter will, as a first approximation, be identical to the first. The amplitude of the wave reflected by this 2nd part is itself a function of the number of inserted plates; the energy of the reflected wave should be sufficiently small for a large portion of it to be absorbed in the first part of the filter.

The length of this new filter can be reduced again and the new plates inserted between those remaining in the flume (fig. 3) : the same phenomenon is produced, the wave reflected by this third part will be partially absorbed by the two preceding portions of greater voids ratio.

All these reflected waves leaving the filter should be sufficiently small so that, in the most unfavourable case, when all the reflected waves are in phase, their sum is also extremely small.

une réflexion excessivement faible. En fait, ces ondes élémentaires réfléchies à chaque changement de section arrivent à la sortie du filtre avec des phases quelconques et leurs effets peuvent même parfois s'annuler. Il en résulte alors une augmentation de l'agitation à l'intérieur du filtre. On conçoit que, par ce procédé, l'on peut absorber sur une longueur faible une énergie suffisamment importante.

### Dispositif pratique

Pratiquement, les filtres à houle en tôles perforées sont d'un prix de revient élevé et ne sont employés que lorsque les mouvements sont bidimensionnels. On peut donc concevoir un dispositif plus simple et qui présenterait, en outre, l'avantage de fonctionner aussi bien pour toutes les directions de la houle incidente.

Le raisonnement fait pour un filtre où les variations d'indice de vide sont discontinues, se retrouve lorsque ces variations sont infiniment petites et progressives. Un filtre en grillage, dont les alvéoles sont remplis de copeaux d'aluminium ou de paille dont le tassement est fonction croissante puis décroissante du chemin parcouru par l'onde, répond à ces conditions. Le tableau ci-dessous donnant les résultats expé-

In fact however these elementary reflected waves, from each change in section, may leave the filter with any phase and may even cancel each other. The result is an increase in the agitation inside the filter. It can be seen that by this method it is possible to absorb sufficient energy in a short length.

### Practical arrangement

In practice, wave filters made of perforated plate are expensive and can be used only for two-dimensional movements. But it is possible to design a simpler device which has also the advantage of working equally well for all directions of the incident wave.

The reasoning for a filter with discontinuous variations of the voids ratio still applies when these variations are infinitely small and progressive. A wire netting filter, in which the cells are filled with aluminium shavings or straw, answers these conditions when the degree of packing is first an increasing then a decreasing function of the wave's travel. The table opposite, which

Openings of the wire mesh filter <i>Alvéoles du filtre en grillage</i>	Coef. of reflection <i>Coef. de réflexion</i>	Coef. of transmission <i>Coef. de transmission</i>
	0,05	0,80
	0,05	0,73
	0,06	0,70
	0,06	0,65
	0,07	0,61
	0,06	0,59
	0,07	0,55
	0,05	0,54
	0,07	0,42
	0,03	0,41
	0,03	0,39
	0,02	0,39
	0,02	0,35
	0,03	0,33
	0,06	0,29

Filtre progressif dyssymétrique en grillage à maille de 10 mm  
*Progressive asymmetrical filter of 10 mm mesh wire netting*

Amplitude incidente  
*Incident amplitude : 4 cm*  
Période  
*Period : 1 s*

Longueur d'onde  
*Wave length : 108 cm*





Profondeur d'eau  
*Depth of water : 15 cm*

Coefficient de réflexion : rapport de l'amplitude de la houle réfléchie à l'amplitude de la houle incidente

*Coefficient of reflexion : ratio of the reflected wave amplitude to the incident wave amplitude*

Coefficient de transmission : rapport de l'amplitude de la houle transmise à l'amplitude de la houle incidente

*Coefficient of transmission : ratio of the transmitted wave amplitude to the incident wave amplitude*

-  alvéoles vides  
*empty cells*
-  alvéoles avec copeaux d'aluminium non tassés  
*cells with aluminium shavings not compacted*
-  alvéoles avec copeaux d'aluminium tassés  
*cells with aluminium shavings compacted*
-  alvéoles avec copeaux d'aluminium très tassés  
*cells with aluminium shavings highly compacted*

mentaux obtenus sur un filtre progressif dyssymétrique témoignent de l'intérêt de ce dispositif.

On trouve qu'un gabion de 20 cm d'épaisseur, rempli de copeaux d'aluminium, assure un coefficient de transmission de 0,47, mais le coefficient de réflexion est de 0,22. Un filtre en grillage

gives the experimental results obtained on an asymmetrical progressive filter, is evidence of the interest of this device.

It is found that a gabion 20 cm thick, filled with aluminium shavings, ensures a coefficient of transmission of 0.47 but the coefficient of

d'un mètre de long ne réfléchit que 0,05 de l'amplitude incidente, le coefficient de transmission étant de 0,80 (la longueur d'onde de la houle étant de 108 cm). Le filtre dissymétrique progressif de même longueur, répondant au principe précédemment décrit, assure un coefficient de réflexion de 0,06 et un coefficient de transmission de 0,29 dans les mêmes conditions.

Le filtre à houle progressif présente donc un grand intérêt quand on dispose d'un espace restreint pour absorber un fort pourcentage de l'énergie d'ondes incidentes. Le principe d'absorption progressive de l'énergie peut aussi être utilisé aux limites du modèle, les parois pouvant alors être considérées comme la zone de l'absorbeur d'indice de vide nul, qu'il faut atteindre progressivement.

reflection is 0.22. A wire netting filter, one metre long, reflects only 0.05 of the incident amplitude, the coefficient of transmission being 0.80 (the wave length being 108 cm). For the same conditions, the asymmetrical progressive filter of the same length, and following the principle described above, gives a coefficient of reflection of 0.06 and a coefficient of transmission of 0.29.

The progressive wave filter can thus be seen to be of considerable interest when only a limited space is available for absorbing a large percentage of the incident wave energy. The principle of progressively absorbing the energy can also be used at the boundaries of the model. The walls are then considered as the portion of the absorber with a voids ratio of nil, which it is necessary to reach progressively.

LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE

(SOGREAH, Grenoble)

