

Chapter 18

DIFFRACTION DE LA HOULE DEVANT UN BATTEUR PLAN

Roland BOUYSSOU

Ingénieur au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique

I - Avant - Propos

Dans la plupart des études sur modèles réduits à trois dimensions d'ouvrages maritimes, la houle du large est reproduite par un batteur plan placé à l'intérieur d'un bassin.

Le faisceau de houle ainsi émis ne présente pas une amplitude constante à l'intérieur des deux limites géométriques constituées par les normales au batteur issues de ses deux extrémités. Il se produit en effet un phénomène de *diffraction* ou d'épanouissement de ce faisceau dans tout le plan d'eau du bassin. Le long des deux normales, l'amplitude est réduite et le domaine de cette perturbation peut s'étendre à la zone médiane.

Lorsque le batteur est assez long, on peut penser que le phénomène, devant chacune de ses extrémités, est analogue à celui de la diffraction à l'extrémité d'une jetée semi-indéfinie. On sait que dans ce cas, l'amplitude est réduite de 50 % le long de la limite géométrique du faisceau.

On peut aussi comparer le faisceau de houle émis par le batteur de longueur limitée, à celui qui franchirait normalement une large brèche, de même importance. Cette dernière analogie a été indiquée par MM. BIESEL et SUQUET (1) dans l'article paru en 1951 dans la revue "La Houille Blanche" : "*Les appareils générateurs de houle en Laboratoire*".

Nous nous proposons de présenter ici, les résultats des relevés détaillés de la répartition des amplitudes devant un batteur plan, qui ont été effectués au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique.

II - Installation d'essais utilisée

La figure 1 représente l'installation d'essais utilisée. Le bassin dans lequel est placé le batteur mesure 27 m de longueur et 20 m de largeur. Le fond est parfaitement horizontal et la hauteur d'eau est de 300 mm .

Tout autour de ce bassin, des plages amortisseuses ont été aménagées pour éviter les réflexions sur les murettes d'entourage. Face

au batteur, des filtres à houle en grillage métallique ont été ajoutés sur une plage existante pour améliorer l'absorption de la houle incidente et éviter des réflexions vers le batteur.

Des filtres analogues sont placés devant le batteur comme lors des essais habituels au Laboratoire. Leur rôle est alors d'absorber les réflexions dues aux ouvrages étudiés et d'empêcher leur renvoi par le batteur vers ces ouvrages.

III - Générateur de houle

Le générateur de houle que nous avons employé est un batteur plan à simple articulation dont le volet, bien que léger, présente une grande résistance à la torsion. La cote de l'axe d'articulation est voisine de celle du fond du bassin. Ce batteur mesure 10 m de longueur.

Il est muni de petits guideaux perpendiculaires à son plan destinés à supprimer les oscillations transversales de l'eau qui pourraient prendre naissance à certains régimes. Sur les extrémités du bâti sont fixés deux autres guideaux plus importants, de 1 m de longueur.

La période de la houle produite (ou la longueur d'onde) est réglée en agissant sur le variateur de vitesse monté sur le groupe de commande. Le réglage de l'amplitude est obtenu en agissant sur l'excentricité du système bielle manivelle. Quant à la direction de propagation, elle est toujours perpendiculaire au plan du volet.

Ce batteur se distingue ainsi de celui qui est représenté fig.2 et que nous appelons : "batteur serpent", ou "à éléments séparés".

Ce nouveau type de batteur à houle sur lequel nous reviendrons à la fin de ce texte est utilisé également au Laboratoire. Il comprend au lieu d'un volet plan unique, un grand nombre de volets élémentaires mus par le même groupe moteur mais réglables individuellement pour l'amplitude et la phase.

Chaque volet considéré isolément émet une onde sensiblement circulaire et l'expérience montre que l'ensemble de ces ondes admet une enveloppe qui donne une crête de houle très régulière. Ceci constitue une illustration physique du principe de HUYGHENS appliqué à la houle.

Suivant le réglage choisi sur les divers éléments, les lignes de crête peuvent être rectilignes ou même courbes et le sens de propagation est variable par rapport au plan du batteur.

Lorsque le déphasage est nul entre les éléments, la houle produite présente des crêtes rectilignes et sa direction de propagation est normale au plan du batteur. C'est le cas de la houle que nous considérons ici.



Fig. 1. Installation d'essais.

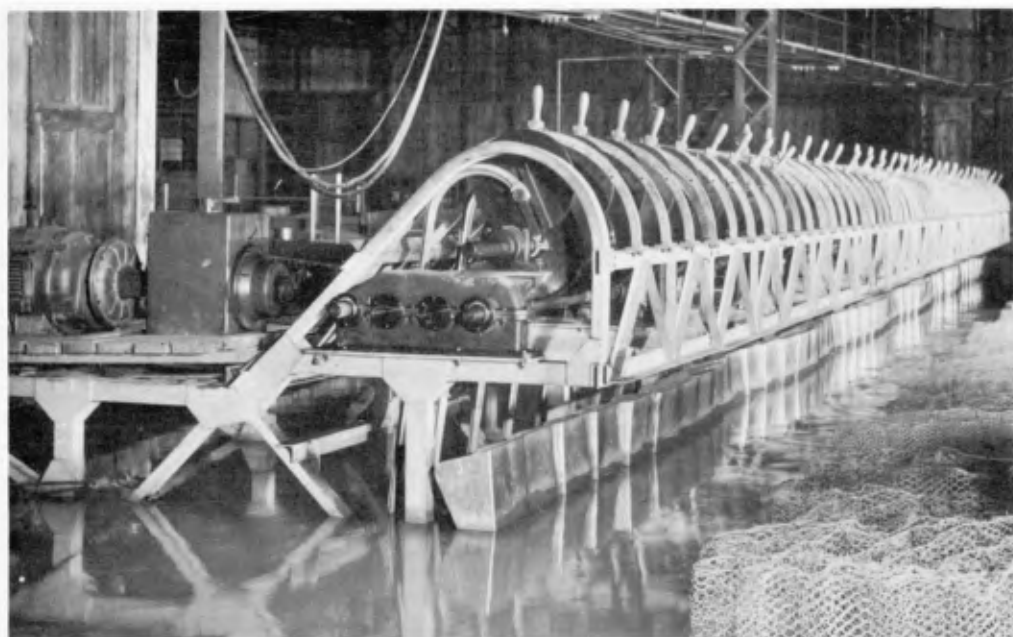


Fig. 2. Batteur serpent (ou à éléments séparés).

IV - Détermination de l'amplitude de référence

Il fallait d'abord déterminer l'amplitude de la houle 2a correspondant à un réglage donné du batteur plan, en l'absence de toute diffraction.

Pour cela, nous avons opéré en isolant une tranche de houle à l'intérieur du petit canal métallique visible sur la figure 3. Ce canal, disposé perpendiculairement aux crêtes de houle, est muni à son extrémité de filtres amortisseurs destinés à absorber la houle incidente. L'amplitude entre la crête et le creux est mesurée au moyen d'une pointe à oeil cathodique.

Ces mesures, effectuées en plusieurs emplacements, le long du batteur, ont permis, au départ, de s'assurer de la régularité de la houle produite. Le canal a ensuite été enlevé pour laisser entièrement dégagée de tout obstacle la zone des mesures systématiques.

Pour ces mesures en effet, seules subsistent dans le plan d'eau les tiges de faible diamètre qui supportent les rails constitués par profilés U en duralumin, visibles sur la même figure. Sur ces rails peut se déplacer l'appareillage de mesure.

V - Appareillage de mesure

Celui-ci permet d'effectuer des relevés systématiques de l'amplitude à l'intérieur d'une maquette de port.

Les mesures proprement dites ont été effectuées pour trois houles, à l'intérieur d'un rectangle de 12 m x 5 m dont la plus grande dimension est parallèle au batteur. Ce rectangle intéresse ainsi une grande surface de plan d'eau devant le batteur.

L'amplitude a été enregistrée, de façon continue, suivant des droites parallèles au batteur (et donc aux crêtes de houle) très proches l'une de l'autre.

Ces diverses droites sont matérialisées par un rail mobile pouvant être déplacé parallèlement au batteur. La figure 4 représente cet appareillage.

Chaque ligne correspond donc à un emplacement bien déterminé du dispositif de mesure, repéré sur le modèle et sur les plans des résultats. (figures 5 à 10).

Les mesures sont effectuées par l'intermédiaire de capteurs à capacité portés par des chariots automoteurs. Ces chariots se déplacent avec une vitesse suffisamment lente le long des lignes de mesures. Au cours de leur déplacement ils rencontrent plusieurs repères d'espace qui transmettent un signal à l'appareillage enregistreur, ce qui permet de situer exactement les amplitudes relevées.

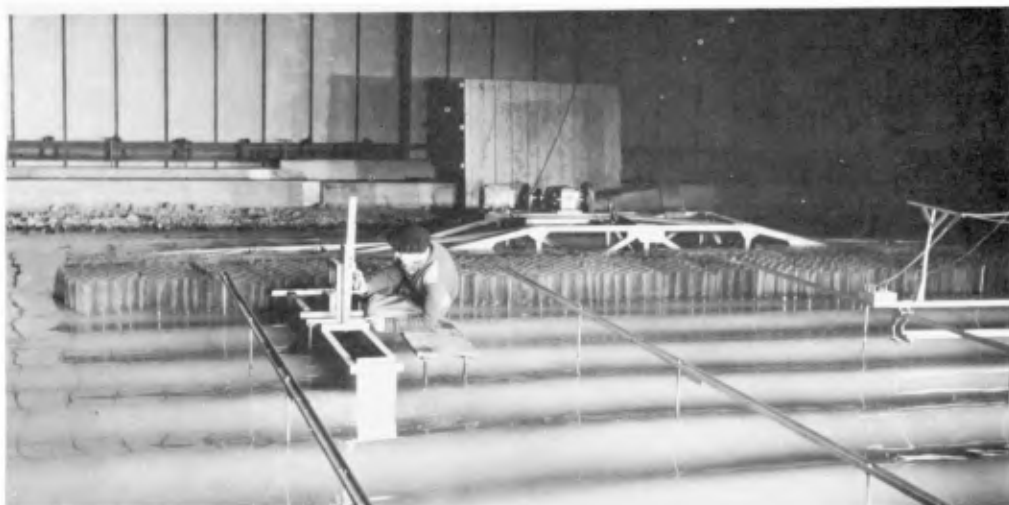


Fig. 3. Détermination de l'amplitude de référence en l'absence de toute diffraction

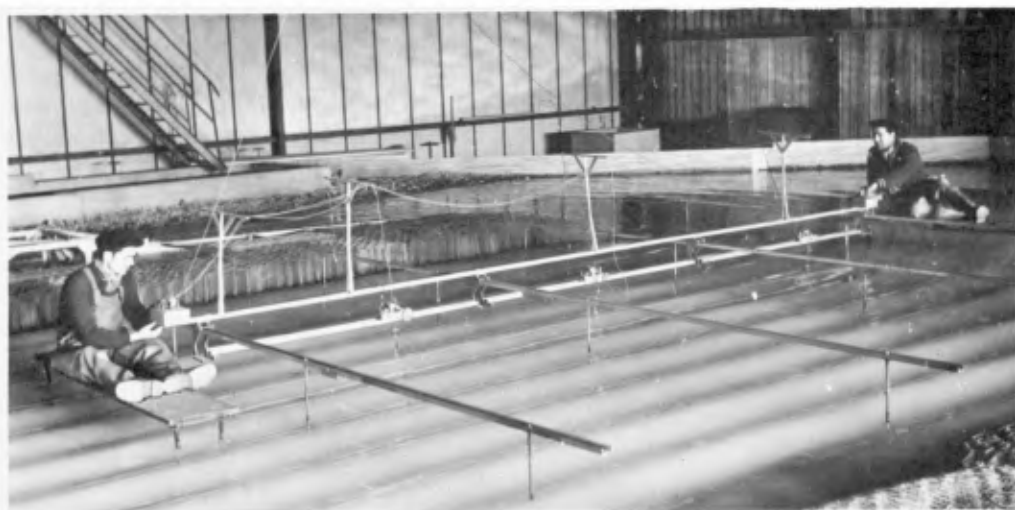


Fig. 4. Appareillage de mesure pour les relevés systématiques de l'amplitude devant le batteur

Les capteurs à capacité sont constitués par un fil de cuivre souple enroulé sur un support rigide suivant quatre spires. Ce fil est revêtu d'une mince pellicule d'émail à haute résistance mécanique, formant diélectrique. Il est parcouru par un courant alternatif de fréquence 15 KC. Les variations de la cote du plan d'eau sous l'effet de la houle au droit du capteur provoquent des variations dans un rapport constant de la capacité du condensateur dont le fil constitue l'armature interne, l'émail, le diélectrique et l'eau, l'armature externe.

Ces variations sont transmises à l'enregistreur graphique de la houle (E.G.H.).

VI - Enregistreur graphique de la houle

Cet appareil, étudié depuis 1949, a été mis au point en 1951 au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique pour répondre aux nécessités des mesures sur les modèles réduits d'ouvrages maritimes. Il a été présenté par M. BOUDAN au Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France au cours de la session du 25 au 27 Novembre 1951 (2).

Nous soulignons seulement ici que le principe utilisé permet de s'affranchir des inconvénients dus aux procédés classiques des mesures de capacité en haute fréquence par accord d'un circuit oscillant.

Cet appareil enregistre directement de façon linéaire les variations de l'enfoncement du capteur à capacité dans l'eau, c'est-à-dire les variations du plan d'eau dues à la houle. Ces variations sont ainsi transcrites dans un rapport choisi sur un papier quadrillé se déroulant à vitesse constante.

L'exploitation de cet enregistrement est très facile.

VII - Résultats des mesures

a) Houle $T = 0,7$ seconde :

La première des trois houles pour lesquelles les relevés ont été effectués est celle de 0,7 seconde de période et de 35 mm d'amplitude. Sa longueur d'onde L pour 300 mm de hauteur d'eau est de 750 mm, la profondeur relative h/L de 0,4 et la cambrure $2a/L$ de 4,65 % (figure 5).

Sur ce tableau nous retrouvons, correctement situées par rapport au batteur, les lignes suivant lesquelles les relevés ont été effectués. L'ensemble de ces lignes constitue le rectangle de 12 m de longueur et de 5 m de largeur dont nous avons déjà parlé.

Des enregistrements continus de l'agitation, nous avons extrait environ un millier de point.

Nous avons indiqué les valeurs de l'amplitude que nous désignons par $2a'$, à l'emplacement correspondant sur le tableau général des résultats. Nous avons d'autre part souligné parmi ces valeurs, toutes celles qui sont supérieures à $2a$: amplitude mesurée au début de l'essai dans le petit canal d'étalonnage, en l'absence de toute diffraction, c'est-à-dire amplitude de référence.

Ces résultats ont fait apparaître nettement des zones dans lesquelles l'amplitude locale est successivement inférieure, puis supérieure à l'amplitude pour laquelle le batteur à houle est normalement réglé. Les écarts dépassent assez souvent 10 % de l'amplitude au départ du batteur que nous appellerons "*amplitude de référence*".

Entre ces zones, nous avons tracé les courbes moyennes pour lesquelles l'amplitude relative $\frac{2a'}{2a}$ est égale à l'unité.

Nous avons pu remarquer également que les points d'amplitude moitié étaient très près des deux normales issues des extrémités du batteur.

Enfin, dans la zone médiane, l'influence de la diffraction bien qu'atténuée reste importante : on ne voit pas dans le cas particulier une zone bien marquée dans laquelle l'amplitude soit en tous points très voisine de la valeur réglée.

Nous reviendrons plus loin sur l'interprétation de ces résultats. Nous allons examiner auparavant les tableaux analogues obtenus avec les deux autres houles étudiées.

b) Houle $T = 0,6$ seconde :

Pour cet essai (figure 6) la période de la houle T est de 0,6 sec. l'amplitude de 26 mm et la longueur d'onde de 560 mm par fonds de 300 mm. La profondeur relative h/L est ainsi de 0,54 et la cambrure se trouve être de 4,65 % comme pour l'essai précédent.

Les résultats mettent encore en évidence l'existence de zones assez bien individualisées d'amplitude supérieure ou inférieure à l'amplitude initiale. Les points d'amplitude moitié se situent encore sensiblement sur les normales aux extrémités du batteur.

c) Houle $T = 0,8$ seconde :

La période est ici de 0,8 sec., l'amplitude est de 26 mm et la longueur d'onde est de 960 mm par fonds de 300 mm. La profondeur relative $\frac{h}{L}$ est de 0,31 et la cambrure $2a/L$ de 2,7 % (figure 9).

Nous faisons les mêmes constatations que pour les deux essais précédents à ceci près que la largeur de chaque zone devient plus

DIFFRACTION DEVANT UN BATTEUR A HOULE PLAN

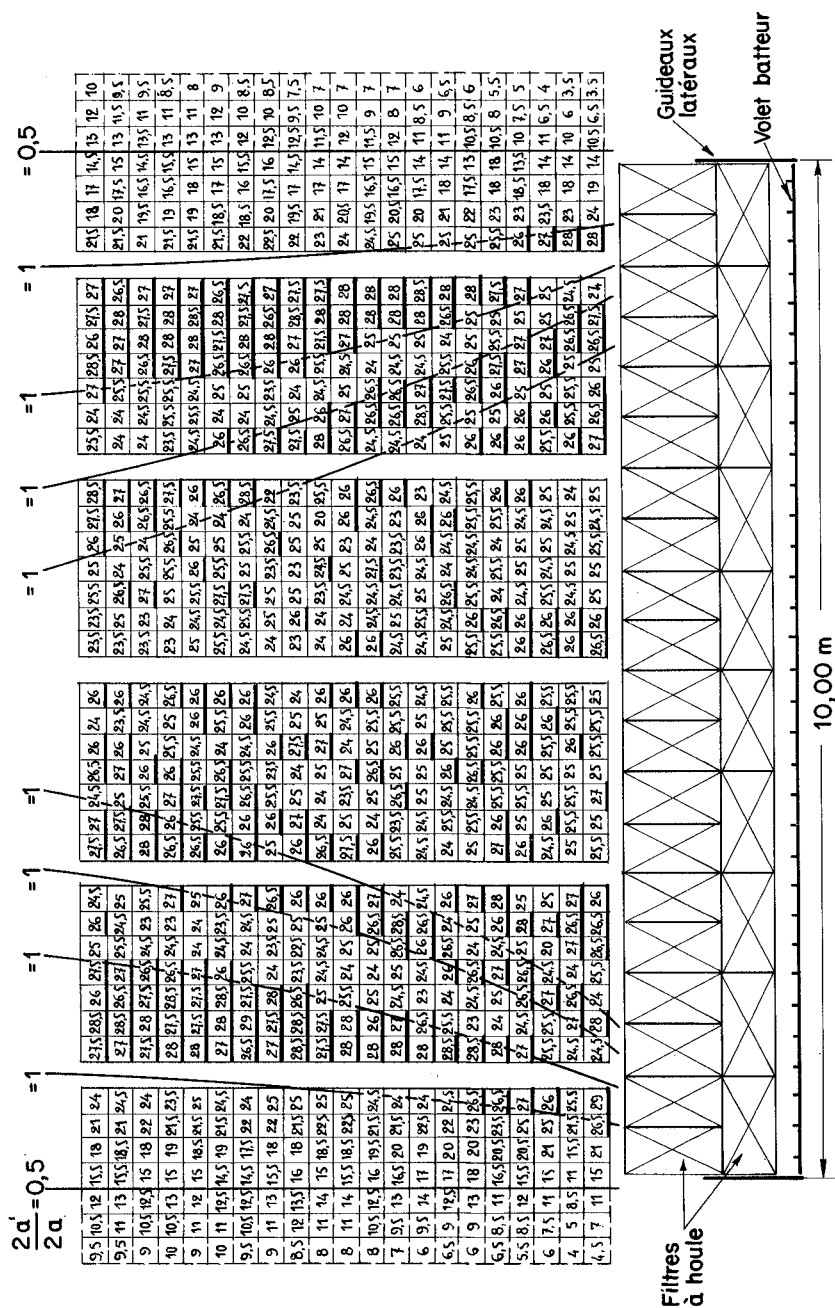
$$T = 0,6 \text{ sec} \quad 2a = 26 \text{ mm} \quad h = 300 \text{ mm} \quad L = 560 \text{ mm} \quad \frac{h}{L} = 0,54 \quad \gamma = 4,65\%$$


Fig. 6. Répartition des amplitudes devant le batteur pour la houle de période $T = 0,6$ seconde

DIFFRACTION DEVANT UN BATTEUR A HOULE PLAN

$T = 0,8 \text{ sec}$ $2a = 26 \text{ mm}$ $h = 300 \text{ mm}$ $L = 960 \text{ m.m.}$ $\frac{h}{L} = 0,31$ $\gamma = 2,70\%$

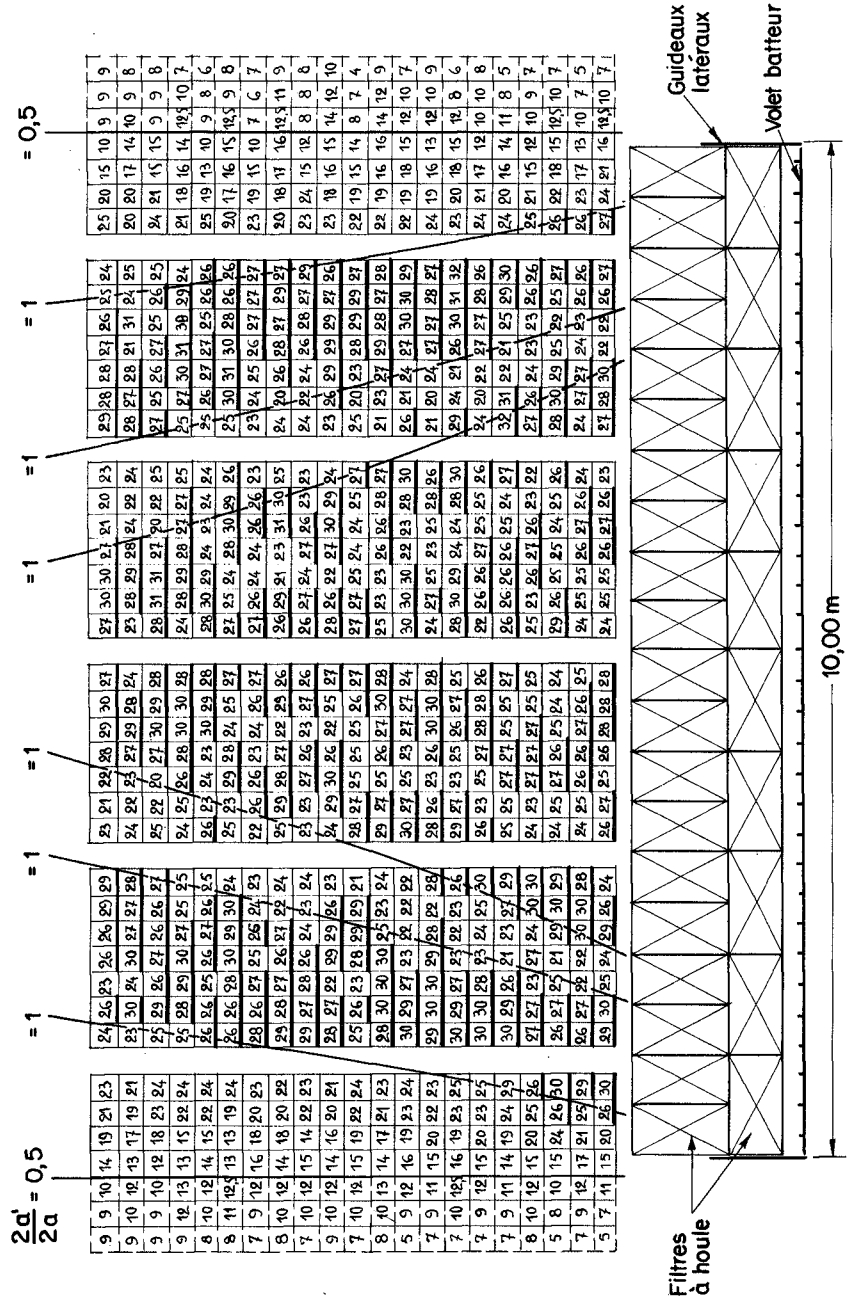


Fig. 7. Répartition des amplitudes devant le batteur pour la houle de période $T = 0,8$ seconde

COURBES D'EGALE AMPLITUDE

$T = 0,7 \text{ sec.}$ $2d = 35 \text{ mm.}$ $h = 300 \text{ mm.}$ $L = 750 \text{ mm}$ $\frac{h}{L} = 0,4$ $\gamma = 4,65 \%$

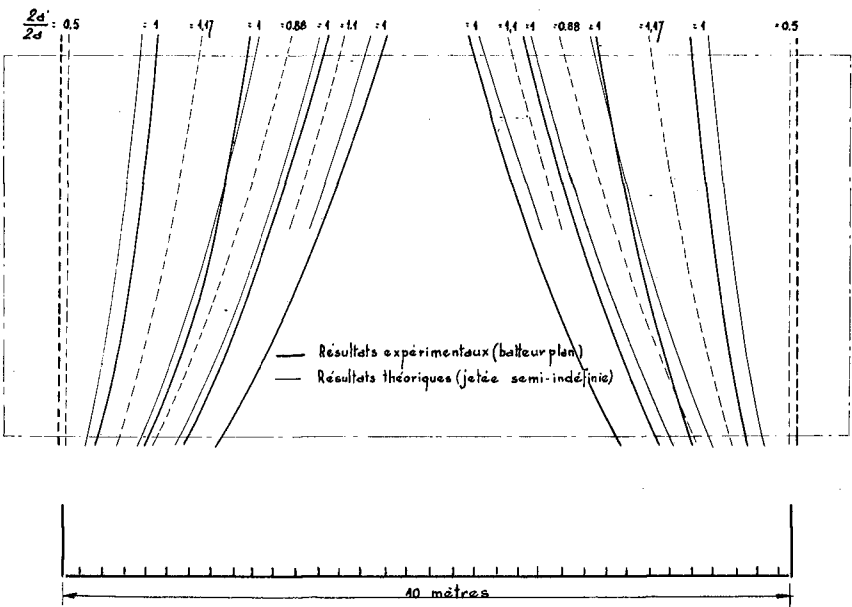


Fig. 8. Courbes d'égale amplitude pour la houle de période $T = 0,7$ seconde

COURBES D'EGALE AMPLITUDE

$T = 0,6 \text{ sec.}$ $2d = 26 \text{ mm.}$ $h = 300 \text{ mm.}$ $L = 560 \text{ mm.}$ $\frac{h}{L} = 0,54$ $\gamma = 4,65 \%$

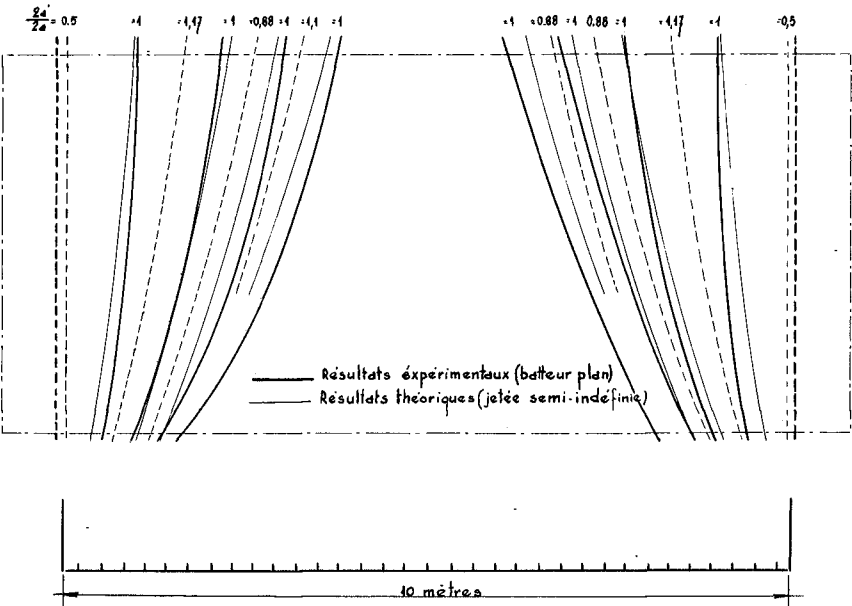


Fig. 9. Courbes d'égale amplitude pour la houle de période $T = 0,6$ seconde

importante, ce qui est dû à l'augmentation de la période, donc de la longueur d'onde.

VIII - Comparaison avec les théories de la diffraction

a) Houle $T = 0,7$ seconde :

L'existence de zones aussi bien individualisées, soulignées par les trois tableaux de relevés d'amplitudes que nous venons de présenter nous a incités à établir des comparaisons plus précises avec les résultats donnés par des applications théoriques.

Nous avons comparé les résultats expérimentaux avec les résultats théoriques que l'on obtient en assimilant la diffraction autour d'un batteur à la diffraction de la houle:

- aux extrémités de deux jetées semi-indéfinies, situées de part et d'autre du batteur et considérées indépendamment l'une de l'autre dans les calculs ;
- à travers une brèche dans une jetée, brèche occupant l'emplacement du batteur.

Nous avons employé pour cela la méthode de calcul donnée par M. l'Ingénieur Hydrographe en Chef LACOMBE (Annales du Service Hydrographique de la Marine 1949) (3). Cette méthode admet en effet que l'amplitude est constante le long de la brèche, c'est-à-dire ici devant le volet batteur, entre les extrémités des guideaux latéraux.

Comme les résultats obtenus par les deux procédés de calcul (jetées semi-indéfinies et brèche) sont assez voisins, nous n'avons présenté, sur les figures 8 à 10, pour la clarté des dessins, que ceux correspondant au premier procédé de calcul. Une comparaison plus poussée pourra être entreprise ultérieurement. Elle dépasserait le cadre de cette étude.

Pour la houle de période 0,7 sec., d'amplitude 35 mm et de longueur d'onde 750 mm, les courbes $2a'/2a = 1$ obtenues expérimentalement sont représentées en traits continus épais (figure 8). Les courbes théoriques relatives aux mêmes caractéristiques de houle sont en traits continus fins. Nous rappelons que $2a'$ désigne l'amplitude locale et $2a$ l'amplitude réglée initialement ou amplitude de référence.

La figure montre que les diverses courbes, théoriques et expérimentales, ont sensiblement la même allure parabolique et sont assez voisines. Elles présentent cependant certains écarts qui peuvent atteindre $1/4$ de longueur d'onde.

A l'intérieur des zones comprises entre les courbes successives $\frac{2'a}{2a} = 1$, la théorie permet de tracer les courbes intermédiaires :

COURBES D'EGALE AMPLITUDE

$T = 0,8 \text{ sec.}$ $2a = 26 \text{ mm.}$ $h = 300 \text{ mm.}$ $L = 960 \text{ mm}$ $\frac{h}{L} = 0,31$ $\gamma = 2,70 \%$

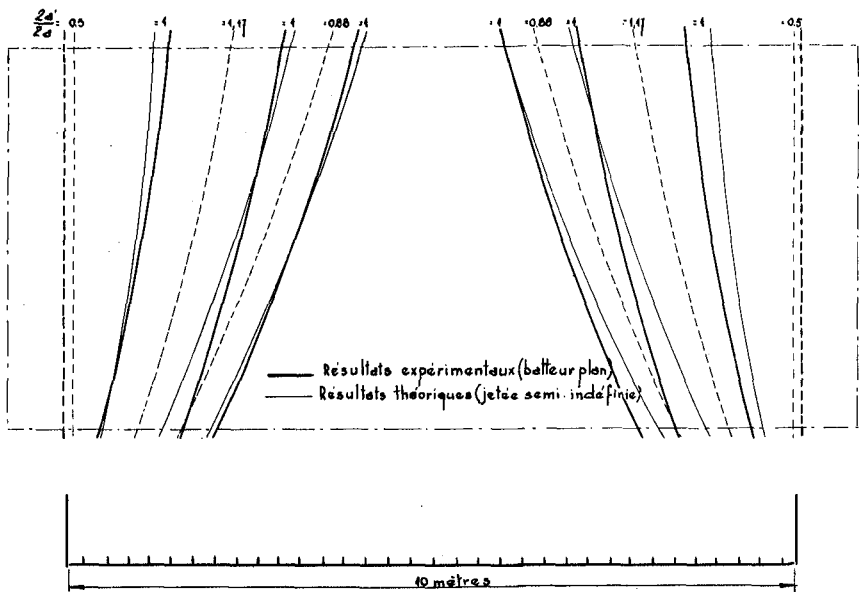


Fig. 10. Courbes d'égale amplitude pour la houle de période $T = 0,8$ seconde

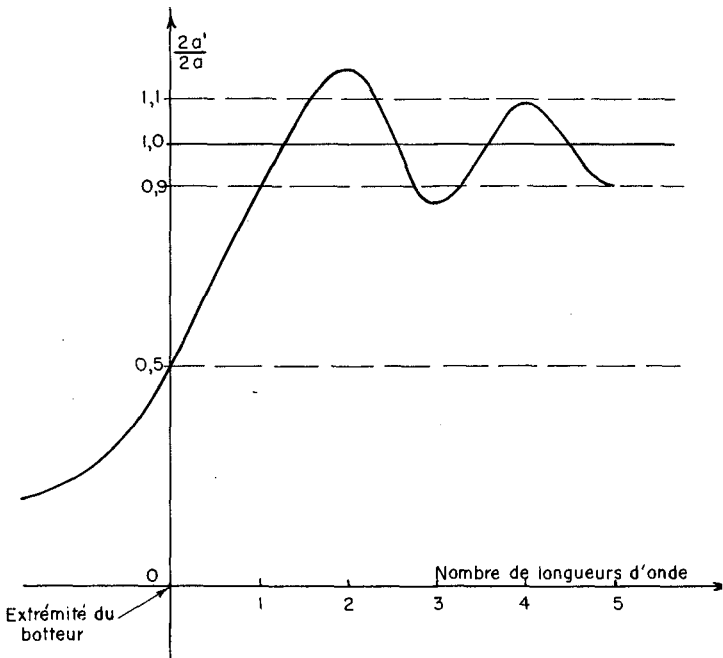


Fig. 11. Variation de l'amplitude relative le long d'une parallèle au batteur

$\frac{2a'}{2a} = 1,17$; $\frac{2a'}{2a} = 0,88$; $\frac{2a'}{2a} = 1,10$ figurées en pointillés fin. Ces

courbes font apparaître ainsi l'existence d'écarts supérieurs à 10 % avec l'amplitude du large dans les zones où de tels écarts ont été relevés expérimentalement comme nous l'avons déjà signalé.

Nous n'avons cependant pas tracé sur nos tableaux de résultats, les courbes correspondant à ces courbes en pointillés, pour ne pas surcharger les figures.

b) Houle $T = 0,6$ seconde :

Pour la houle de période 0,6 sec., les constatations que l'on peut faire sont sensiblement les mêmes (figure 9).

c) Houle $T = 0,8$ seconde :

Pour la houle de période $T = 0,8$ sec., la figure 10 appelle des remarques analogues.

De plus, comparée avec les précédentes, elle montre que les zones relevées expérimentalement deviennent de plus en plus larges à mesure que la période, c'est-à-dire la longueur d'onde de la houle augmente, ce qui correspond bien aux conclusions des théories sur la diffraction de la houle.

IX - Interprétation des résultats

Les résultats des mesures que nous venons de présenter soulignent l'importance du phénomène de la diffraction sur la houle émise par un batteur plan.

Nous pouvons les résumer en disant que l'allure de la variation de l'amplitude suivant une parallèle au batteur est dans les cas que nous avons considérés sensiblement la même que celle que l'on peut déterminer théoriquement par analogie avec le cas d'une large brèche équivalente ou avec celui de la diffraction à l'extrémité de deux jetées semi-indéfinies.

L'amplitude relative est de 0,5 sensiblement au droit de l'extrémité du batteur (figure 11), puis passe successivement par des valeurs de l'ordre de 1, 1,15 ; 1, 0,90 ; 1, 1,10 , etc... à des distances de cette extrémité variables avec la longueur d'onde et la distance au batteur du point considéré. Les écarts dans la zone médiane, entre l'amplitude locale et l'amplitude de référence, pourront donc être de ± 10 % dans la plupart des cas.

Il y a lieu d'en tenir compte dans la plupart des études sur modèle réduit ; on voit en effet que le phénomène de la diffraction

devant le batteur revêt une importance notable. Nous ne connaissons pas encore de solution générale pour y remédier ; nous savons seulement qu'il y a intérêt à prévoir des batteurs à houle suffisamment larges pour utiliser une zone médiane dans laquelle les écarts d'amplitude sont atténués.

Il faut observer d'ailleurs que ce phénomène a des conséquences qui varient avec le type de l'étude ; c'est pourquoi nous employons au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique des artifices adaptés à chaque cas :

1°) Tout d'abord sur certaines installations expérimentales le phénomène n'intervient pas : canaux à houle par exemple ou certains bassins dans lesquels la houle est canalisée sur toute la longueur à partir du batteur.

2°) Pour certaines études le phénomène joue mais a peu d'importance par exemple :

- les essais dans lesquels le rôle de la houle est de mettre des matériaux en suspension le long d'une plage ;
- les essais de stabilité portant sur une grande longueur d'un ouvrage de profil donné ; l'ouvrage est alors soumis, suivant les zones, à différentes gammes d'amplitudes, ce qui donne à l'étude de sa stabilité un coefficient de sécurité ;
- de nombreux essais comparatifs de variantes d'ouvrages.

3°) Par contre le phénomène revêt une importance particulière et il faut en tenir compte dans certains cas tels que :

- l'étude d'un ouvrage particulier (musoir, épi, etc..) soumis à la houle dans un bassin muni d'amortisseurs latéraux, dans lequel on étudie sa stabilité : il est essentiel de savoir dans quelle zone d'amplitude se trouve l'ouvrage étudié pour les différentes longueurs d'onde réalisées ;
- les études portant sur le tracé d'un port pour assurer la protection des bassins intérieurs. La passe d'entrée peut être soumise suivant le cas à des amplitudes fortes ou faibles qui induiront ainsi une agitation plus ou moins importante le long des quais à protéger.

Les artifices que nous employons actuellement pour améliorer les conditions d'expérience sont assez nombreux ; nous pouvons citer notamment, outre l'utilisation de batteurs assez longs :

- l'emploi de guideaux, dans la mesure où ils ne provoquent pas des réflexions parasites ;
- le choix d'une "bonne" zone devant le batteur, en situant celui-ci convenablement par rapport aux ouvrages principaux ;

- l'exécution de relevés très détaillés des amplitudes dans des zones assez étendues du modèle ;
- le dosage des filtres à houle devant le batteur ;
- le réglage convenable de l'excentricité de volets élémentaires sur le batteur serpent dont nous avons parlé plus haut ;
- etc..

Certains de ces artifices sont encore au stade de la recherche. Ils constituent une partie de l'étude générale sur les appareils à houle entreprise depuis plusieurs années par le Laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BIESEL et SUQUET : *"Les appareils générateurs de houle en Laboratoire"* - La Houille Blanche 1951 et 1952
- (2) J. BOUDAN : *"Appareils pour la mesure des niveaux rapidement variables sur modèle réduit"* - La Houille Blanche Août-Septembre 1953
- (3) H. LACOMBE : *"Note sur la diffraction de la houle en incidence normale"* (Annales du Service Hydrographique de la Marine 1949).

NOTATIONS

- 2a : amplitude de la houle pour laquelle le batteur est réglé, ou amplitude de référence ;
- 2a' : amplitude mesurée en un point quelconque devant le batteur ;
- $\frac{2a'}{2a}$: amplitude relative en un point quelconque devant le batteur ;
- T : période de la houle ;
- h : profondeur d'eau ;
- L : longueur d'onde de la houle pour la profondeur h
- $\frac{h}{L}$: profondeur relative
- $\gamma = \frac{2a}{L}$ cambrure de la houle.

RESUME

WAVE DIFFRACTION IN FRONT OF A PLANE WAVE PADDLE

Roland Bouyssou

In an installation specially designed for the purpose, the Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique has made numerous systematic measurements of the distribution of wave amplitude across the face of the paddle from which the wave originates.

It is known that a wave produced by a wave machine of finite width diffracts. At first sight, it may appear possible to compare this diffraction to that of a wave passing through a breach of the same width as the wave paddle and out in a breakwater of infinite length.

When laying out a harbour model, it is important to know this "diffraction" so that the wave machine can be made to produce a wave having the appropriate amplitude in the essential sections of the model under consideration (structures, harbour entry channel, etc...)

Our tests were carried out with a normal, simple articulation, plane wave paddle, 10 metres wide.

A continuous recording of amplitude was made along lines parallel to the wave machine and very close to one another inside a 12 metres long and 5 metres wide rectangle. The measuring instrument used was the "graphic wave recorder" developed in the Laboratory, the principle of which is reviewed in the paper.

Special precautions were taken to avoid the effects of parasites (unequal amplitude at the beginning, reflections caused by the basin walls, constancy of waves produced, etc..)

Three waves were studied. For each of these, nearly a thousand measurements have been selected and recorded on a plan of the measuring area. The results obtained in this way are compared to those obtainable from theories on wave diffraction. The results show the need for the precautions taken in the Laboratory when designing wave machines.