

# Digues flottantes: conception et efficacité

Autor(en): **Bruschin, Jacques / Keller, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 10

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73946>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Digues flottantes : conception et efficacité

par Jacques Bruschin et Max Keller, Lausanne

L'essor de la navigation de plaisance au cours des deux dernières décennies n'a pas été suivi d'un développement correspondant des structures d'accueil. A l'engorgement des ports anciens puis nouveaux a succédé l'épuisement des sites aménageables selon les procédés classiques, devenus trop chers ou même techniquement irréalisables.

C'est ainsi que les digues flottantes sont apparues comme une panacée un peu partout dans le monde, en Suisse également (sur les lacs de Zurich, de Thoune et de Zoug, pour ne citer que les réalisations qui nous sont connues), à bon escient ou non.

## 1. Introduction

Quelques accidents plus ou moins spectaculaires — notre pays en a eu aussi son lot — ont eu pour conséquence de substituer à un optimisme déraisonnable un désenchantement tout aussi injustifié.

Cela n'est pas surprenant. L'absence de bases théoriques de calcul ou de vérifications expérimentales, s'ajoutant au peu de familiarité des ingénieurs civils avec des problèmes tenant plutôt de l'ingénierie navale, suffit à l'expliquer.

Confrontés dernièrement avec le problème concret posé par l'agrandissement de ports lacustres en eaux de 15 à 22 m, nous avons pris conscience de ces lacunes et de la nécessité d'une vision plus réaliste et étendue des possibilités qu'offrent les digues flottantes.

C'est pour tenter d'y porter remède que nous avons entrepris :

- une analyse systématique des conditions de fonctionnement d'une digue flottante et des solutions ayant fait l'objet d'essais fiables en laboratoire, de mesures *in situ* ou d'une réalisation éprouvée ;
- une étude expérimentale sommaire, qui devait nous permettre de situer au moins les principaux problèmes.

## 2. Barrières de vagues et digues flottantes

### 2.1 Historique

L'utilisation de digues flottantes ou, d'une manière plus générale, d'ouvrages n'occupant qu'une partie de la profondeur d'eau, pour se protéger contre les vagues, est très certainement un vieux rêve de l'humanité. Il est sans doute naturel, avant même de connaître les mécanismes physiques réels, d'associer les vagues, perçues comme un phénomène superficiel, à une protection par ouvrages de même nature.

Ainsi, il est connu qu'au XVII<sup>e</sup> siècle, comme l'atteste un plan daté de 1670 et publié par la *Revue historique vaudoise*

(n° 1 de 1939, p. 3), le port de Morges était protégé côté bise par « une estacade maintenue par des flotteurs ». En 1842, dans le volume 5, mars, du *Civil Engineer and Architect's Journal* (Londres), Reid propose l'utilisation de digues flottantes de sa conception. Enfin, lors du débarquement allié en Normandie (1944), des pontons en forme de croix de Malte, hauts de 7,50 m, lestés à l'eau de mer jusqu'à immersion du transept, furent utilisés pour créer des ports provisoires. Conçue pour offrir une protection satisfaisante aux vagues de périodes  $T \leq 5,5$  s, cette solution connut un échec, dû à la rupture des câbles d'amarrage lors d'une des plus fortes tempêtes de la Manche, survenue peu après sa mise en place. Ce sont Lochner et al. qui les mentionnent dans leur publication *The Civil Engineer in War* (Docks and Harbors, ICE, Londres 1948, vol. 2, p. 256-290). Cet essai constitue le précurseur des études et solutions « modernes ».

Ces dernières peuvent être groupées, selon les idées directrices auxquelles elles ressortissent, en :

- barrières verticales (écrans, objets de formes diverses), mobiles ou fixes ;
- écrans ou matelas superficiels, rigides et fixes (plaques), mobiles ou souples ;
- barrières formées de nombreux éléments à mouvements plus ou moins indépendants à « effet de forêt » ou de « capteur d'ondes » (antenne) ;
- contre-courants engendrés artificiellement dans le sens opposé à celui de la propagation des vagues.

### 2.2 Comportement d'une barrière de vagues. Degré de protection offert

La première question qui se pose est de savoir si l'efficacité supposée des barrières partielles est physiquement fondée. Le problème étant de réfléchir vers le large ou de dissiper la plus grande partie possible de l'énergie des vagues, il est important de connaître la distribution verticale de l'énergie, notamment de l'énergie cinétique cumulée, liée directe-

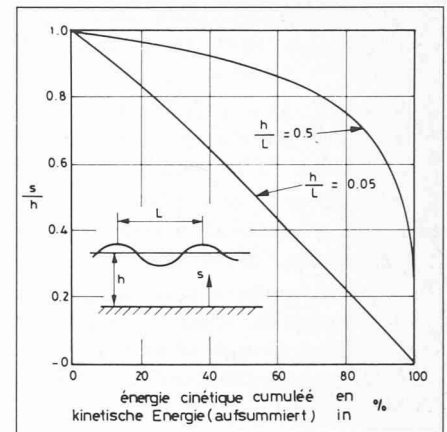


Fig. 1. — Distribution de l'énergie cinétique des vagues en fonction de la profondeur.

ment à la progression de la puissance hydraulique contenue dans les vagues. Le graphique ci-après, reproduit de [1]<sup>1</sup>, montre les résultats en pourcentage, obtenus par calculs à partir de la théorie des vagues de faible amplitude (théorie linéaire), pour deux cas limites.

Avec  $L$  la longueur d'onde des vagues,  $h/L > 0,5$  définit le domaine « en eau profonde »,  $h/L < 0,05$  celui « en eau de faible profondeur ». Entre deux, il y a un domaine de transition où la formulation mathématique des caractéristiques des vagues ne peut pas être simplifiée et reste complexe.

Rappelons ici qu'il s'agit de profondeurs relatives, ce qui veut dire que toute profondeur physique peut être en eau profonde, en transition ou en eau peu profonde selon la longueur d'onde des vagues la traversant. Ce qu'il est important de retenir est que pour  $h/L > 0,5$  les fonds n'affectent pas les caractéristiques des vagues. En deçà, elles changent avec la valeur du rapport  $h/L$ . Cela restreint la généralité des essais ou mesures, d'autant plus que dans le cas des laboratoires surtout, les vagues sont souvent directement engendrées dans les zones de transition.

Cela dit, l'interprétation directe de la figure 1 est qu'en eau profonde l'énergie cinétique des vagues est concentrée au voisinage de la surface, alors que tel n'est pas le cas en faibles profondeurs où la répartition est quasi-uniforme. Entre les deux, les choses changent progressivement (mais non linéairement) d'un type de distribution à l'autre. Il apparaît dès lors qu'une barrière verticale sera efficace lorsque  $h/L > 0,5$  environ. En effet :

- pour une profondeur donnée, la barrière verticale interceptera une grande partie de l'énergie pour toutes les vagues dont  $L < 2h$  environ et cela pour un tirant d'eau relativement faible. 80 % de l'énergie des vagues

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

se déplace sur le quart supérieur de la profondeur, 90 % sur le tiers supérieur ;

— avec  $L < 20 h$  environ, l'énergie interceptée est pratiquement proportionnelle au tirant d'eau.

La profondeur étant le plus souvent un élément topographique imposé, on peut dire en d'autres termes que :

— pour intercepter un pourcentage élevé de l'énergie des vagues, il faudra que la barrière verticale ait un tirant d'eau d'autant plus grand que  $L < 2 h$ , ou encore que

— la protection contre les vagues offerte par une barrière verticale de tirant d'eau donné est d'autant plus faible que  $L > 2 h$ .

Pour revenir à la question posée au départ, concernant l'efficacité des barrières partielles, la réponse n'est pas une confirmation franche du jugement du profane. La réalité physique est sensiblement plus complexe.

Relevons encore que notre raisonnement précédent impliquait une barrière verticale fixe. Nous devons anticiper sur ce qui suivra pour dire qu'il garde toute sa valeur pour les digues flottantes, lorsque le rapport entre la période propre du ponton  $T_0$  et celle des vagues  $T_w$  (ou l'inverse pour les fréquences) est supérieur à 2 environ.

2.2.1 Barrières verticales fixes

Le cas de l'écran vertical a été résolu théoriquement par Wiegel [2] dans l'hypothèse que toute l'énergie interceptée est « absorbée » par l'écran alors que toute celle se trouvant en dessous de celui-ci passe intégralement à l'arrière.

La solution graphique tirée de [3] confirme nos considérations précédentes. Notons déjà que l'efficacité de la barrière est exprimée ici par le coefficient de transmission  $K_T = H_T/H_I$ , rapport entre les amplitudes des vagues, transmise et incidente, que nous adoptons d'ailleurs pour la suite. Les mesures faites en laboratoire avec des vagues régulières et aléatoires [4] montrent que la théorie est plutôt optimiste pour le domaine de

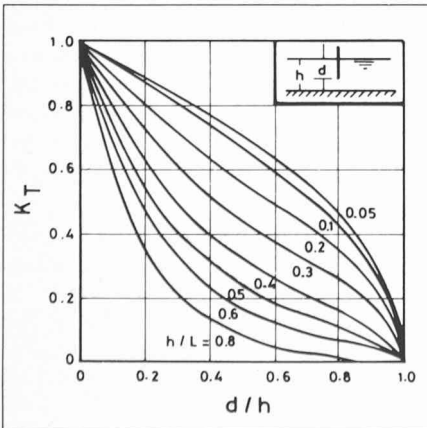


Fig. 2. — Coefficients de transmission  $K_T$  d'un écran vertical.

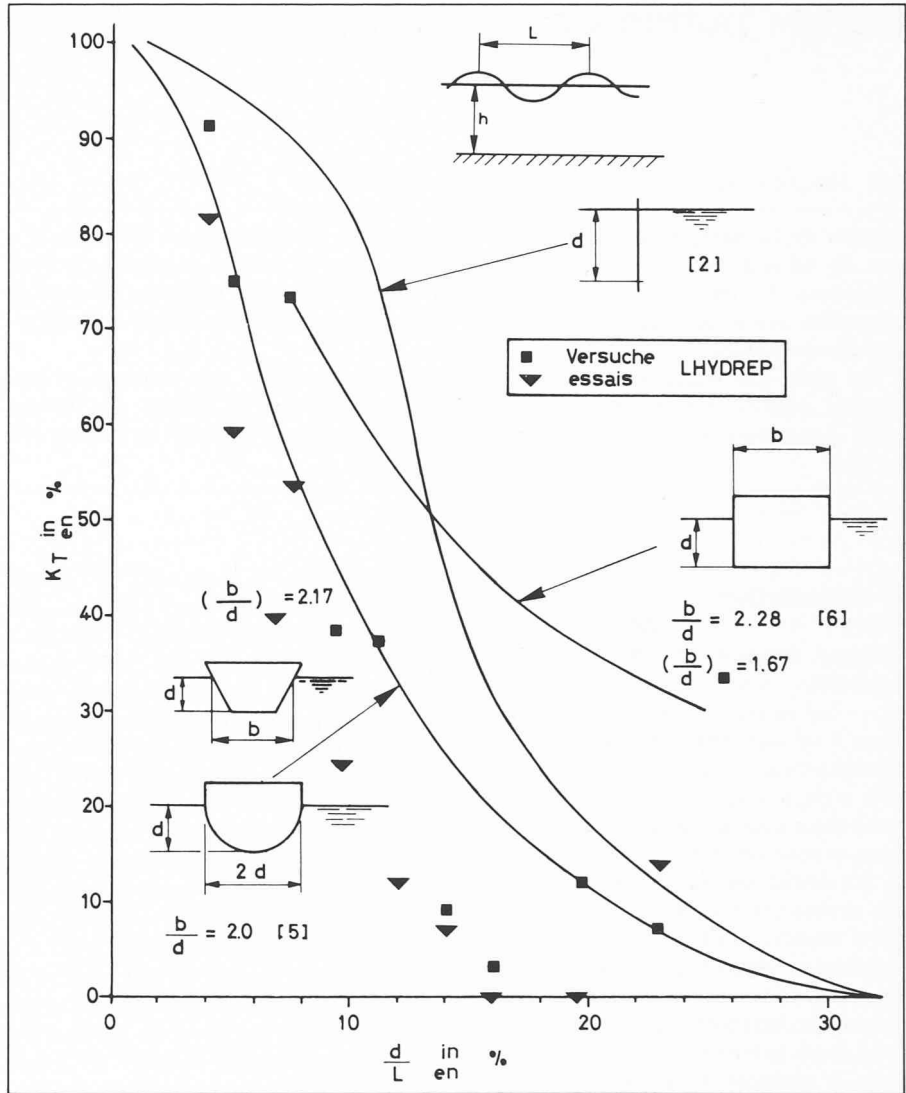


Fig. 3. —  $K_T$  en fonction du tirant d'eau « d » pour cinq formes de la barrière fixe.

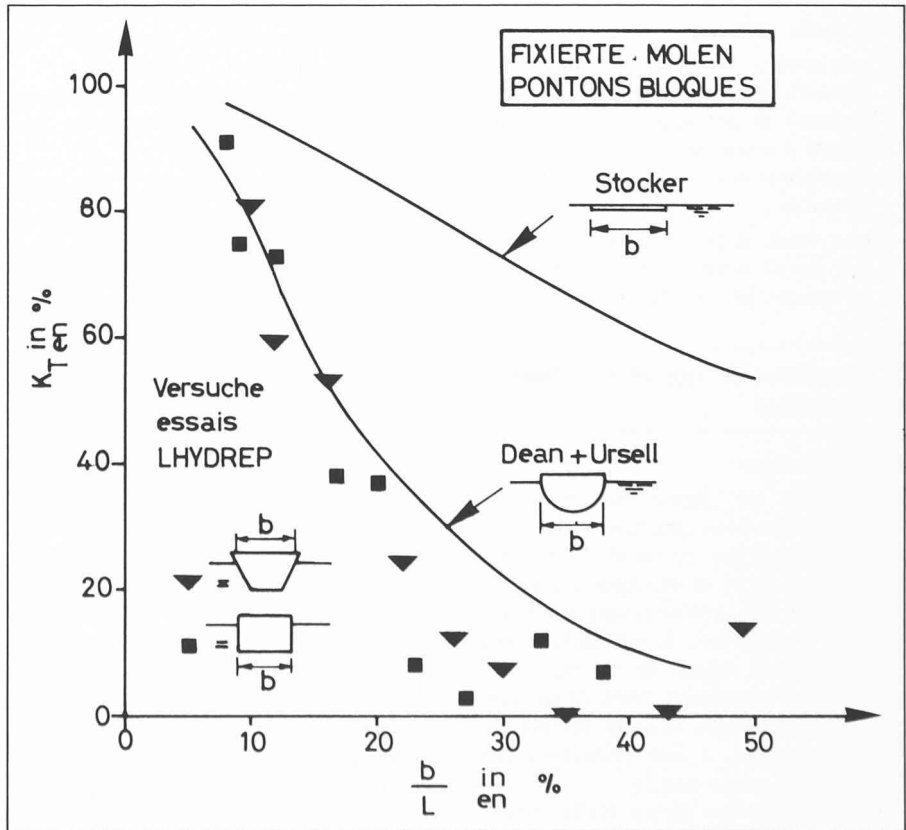


Fig. 4. —  $K_T$  en fonction de la largeur « b » pour quatre formes de la barrière fixe.

bonne efficacité et les vagues aléatoires, où les résultats obtenus sont dans l'ensemble moins bons que prédits, dans les limites des essais exécutés, bien entendu. Le cas du cylindre à moitié immergé en eau profonde a été traité par Dean et Ursell [5]. Son intérêt réside dans la comparaison avec l'écran et les cas des sections rectangulaire et trapézoïdale. Seule la première a été examinée théoriquement par Takano [6] et expérimentalement par Macagno [7]. Les figures 3 et 4 permettent d'apprécier l'importance de la forme de la barrière.

Ainsi :

- le demi-cylindre est nettement plus efficace que l'écran ;
- le rectangle, tout au moins pour le domaine des essais, est inférieur en efficacité au demi-cylindre, mais supérieur à l'écran ;
- par déduction, le trapèze inversé (inscrit au cercle) devrait être supérieur au rectangle.

Ajoutons que les deux dernières remarques ont été entièrement confirmées par nos essais, dont les résultats ont aussi été reportés sur ces figures.

Nous passons sur les barrières souples du type « water-bags », par exemple, qui se sont révélées sans grand intérêt jusqu'ici.

### 2.2.2 Ecrans superficiels

Le cas de l'écran rigide fixe a été traité par Stoker [8] alors que celui du cas mobile l'a été par John [9]. Il s'agit de solutions théoriques pour un écran d'épaisseur nulle en eau de faible profondeur, en fluide parfait. Des études expérimentales ultérieures ont toutefois confirmé que :

- un  $K_T < 0,5$  exige une longueur d'écran  $b > 0,25 L$ ,  $K_T = 0,25$  est atteint à  $b = L$  environ pour le cas fixe ;
- le cas mobile est nettement plus défavorable,  $K_T < 0,5$  exige  $b > 2 L$  !

Cette solution est manifestement sans intérêt pour les vagues longues et ceci reste vrai même dans le cas des matelas de pneus.

### 2.2.3 Barrières d'éléments en mouvement

Le système le plus classique qui a fait l'objet d'une solution théorique, ainsi que d'essais en laboratoire et sur un prototype, est décrit en [10] et illustré par la figure 5.

Un avantage de cette solution est que, moyennant certaines précautions, la digue peut être franchie par des embarcations.

Le modèle de calcul proposé est bien vérifié par les résultats expérimentaux. L'efficacité du système, à en juger d'après ces mêmes résultats, est toutefois la meilleure pour les fréquences  $f_w$  supérieures à 0,4 Hz ( $K_T < 0,5$  pour  $T_w < 2,5$  s), ce qui n'est pas surprenant.

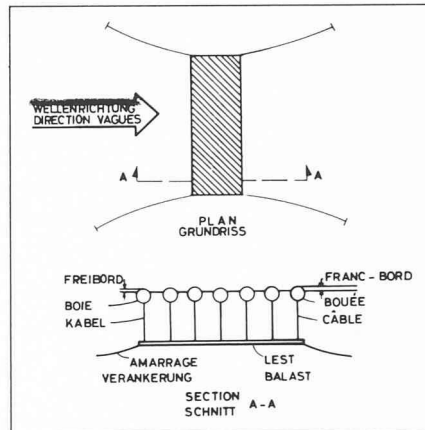


Fig. 5. — Digue à bouées (TFB-Tethered Float Breakwater).

Pour ce qui est des capteurs de vagues (antennes), il s'agit de propositions, intéressantes il est vrai, mais qui n'ont pas encore connu de réalisation à quelque échelle que ce soit. De plus, il s'agirait de fournir de l'énergie au système, de l'accorder aux vagues selon le cas et d'assurer un entretien plutôt délicat.

### 2.2.4 Contre-courants

Ce procédé, qui a fait la preuve d'une certaine efficacité, utilise dans sa forme la plus courante l'air comprimé envoyé en rideau de bulles depuis le fond, pour engendrer un courant de sens contraire aux vagues. Compte tenu de son coût en énergie et de l'équipement requis, nous pensons qu'il ne peut plus être pris en considération pour une installation permanente.

### 2.2.5 Barrières mobiles

Nous n'aborderons ici que le volet concernant les éléments de forme relative-

ment simple (caissons rectangulaires, trapézoïdaux) disposant d'un équivalent de référence fixe au moins analogue.

La mobilité même des éléments de la barrière implique la nécessité des amarages. L'appontement amarré, sujet aux oscillations forcées ou libres, émettra à son tour un train d'ondes propres. Cette situation est bien entendu beaucoup plus complexe que celle des barrières fixes.

La théorie des oscillations d'un corps flottant sans attaches est clairement et succinctement exposée en [11]. Un aspect important de la question est la possibilité d'entrer en résonance. Ainsi, le graphique ci-après définit les oscillations en roulis. Il ressort de la figure 6 que le roulis devient très important pour

$$0,7 < f_w/f_0 < 1,2.$$

D'autre part, une analyse des mouvements verticaux sous l'effet des vagues montre que pour une largeur relative  $b/L < 0,2$ , l'appontement « suit » la vague et se comporte alors comme un « aimable bouchon », ce que confirment nos essais (fig. 10).

Les essais de Kincaid [1, p. 392] et de Kato [12], avec pontons amarrés, montrent que la résonance s'accompagne d'une diminution significative du coefficient de transmission  $K_T$ . Toutefois, utiliser la résonance pour assurer l'efficacité de la barrière mobile soulèverait d'autres problèmes (résistance à la fatigue, tenue des amarages et des liaisons entre éléments, etc.), difficilement surmontables. Il s'agit, à notre avis, plutôt d'une vue de l'esprit.

Pour les essais cités et en dehors de la zone de résonance nous distinguons trois cas :

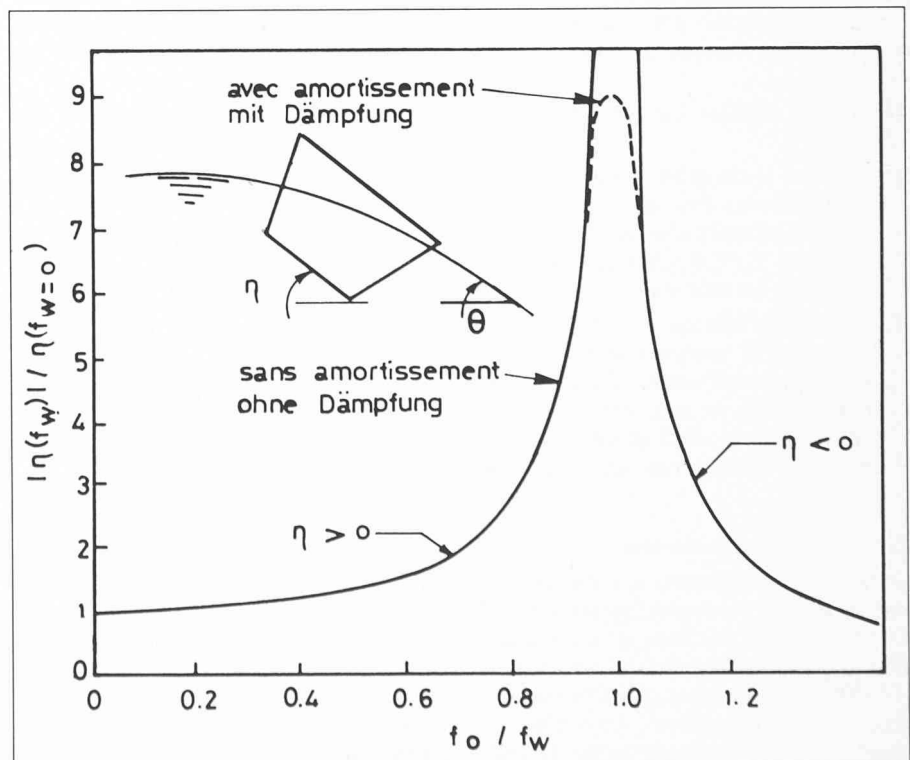


Fig. 6. — Amplitude de roulis en fonction du rapport des fréquences propre et des vagues.

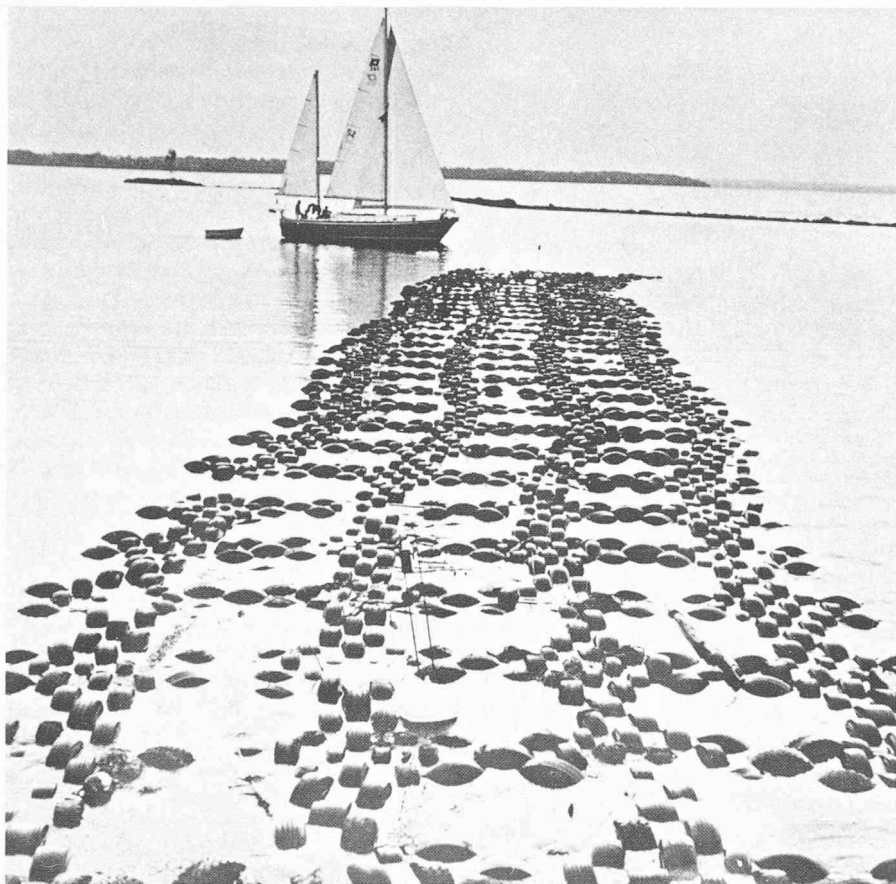


Fig. 7. — Matelas de pneus (FTB-Floating Tire Breakwater), Dock and Coal Marina, Plattsburg, New York.

- $T_0/T_w < 0,7$  correspondant à  $0,5 < K_T < 1,0$ , donc sans intérêt ;
- $1,2 < T_0/T_w < 1,5$ , où, en fonction de la forme de l'appontement et de la cambrure des vagues,  $K_T$  peut croître au-delà des valeurs atteintes en résonance ;
- $T_0/T_w > 1,5$ , où les performances sont bonnes sans dépasser pour autant l'efficacité des barrières fixes analogues, comme le prouvent nos essais.

Ce dernier résultat est très intéressant parce que :

- 1) il définit le domaine d'utilisation des appontements (ou un critère de dimensionnement) sous une forme simple, soit  $T_0/T_w (f_w/f_0) \geq 2$ , en eau profonde en tout cas ;
- 2) il permet d'affirmer que si la performance de la barrière fixe équivalente n'est pas satisfaisante, celle de la barrière mobile le sera encore moins. Nous pouvons ainsi aborder un problème complexe par une approche simple.

#### 2.2.6 Degré de protection

Qu'est-ce, précisément, qu'une performance ou une protection satisfaisante ? Le Méhauté fait état dans sa communication [13] des chiffres suivants concernant les ports de plaisance et de pêche (ne perdons pas de vue qu'aux Etats-Unis, il s'agit de ports océaniques ou des Grands Lacs ; il y a donc une question de dimension) :

- les usagers perçoivent une agitation de 20 cm d'amplitude comme une limite supérieure ;
- les commandants de ports estiment qu'une amplitude de 40 cm ne serait pas dommageable pour des embarcations bien amarrées (ce qui souvent n'est pas le cas !)
- les rampes ou glacis de lancement exigent des eaux très calmes, soit une agitation ne dépassant pas 10 cm d'amplitude ;
- les embarcations amarrées ont fréquemment une période propre  $4 < T_0 < 8$  s et sont susceptibles d'entrer en résonance dans ces limites.

Le caractère subjectif des limites d'agitation citées n'est pas gênant en soi. Par contre, le fait qu'elles ne soient pas assorties de considérations sur leurs fréquences d'apparition les laisse dans le vague. Faut-il alors ajouter que ces limites ne doivent être dépassées :

- en aucun cas, ni
- la plupart du temps, ou
- seulement lors de fortes tempêtes, ou
- avec une probabilité annuelle de 1 ; 2 ; 5 % ?

De plus, l'agitation de l'eau dans un port n'est pas la même sur toute sa superficie et un aménagement intérieur raisonnable peut contribuer avantageusement à assurer la sécurité des usagers et des embarcations. S'ajoutent à ceci des implications financières : le prix de loca-

tion des places pourrait être bien meilleur marché si les usagers consentaient à une protection moins étendue, comme dans le cas des ports à digues flottantes, par exemple.

#### 2.3 Réalisations intéressantes

Un certain nombre de réalisations récentes en Suisse sont de type classique : caissons rectangulaires en béton armé ou précontraint, sur des lacs moyens à petits. Relevons toutefois le caractère original du port de Gütital (lac de Thoune), où les caissons ont été assemblés par précontrainte en un arc de cercle de 45 m de flèche, correspondant à plus de deux longueurs d'onde pour les plus fortes tempêtes. Cela assure la stabilité ou plutôt la quasi-immobilité de l'ensemble. De plus, pour éviter les amarrages vers le large par 50 m de fond environ, la digue est tenue, du côté de la rive, seulement par des bras tubulaires en V, articulés et munis de contrepoids.

A l'opposé de ce type d'ouvrages, on trouve le matelas de pneus usés, conçu et proposé en 1972 et devenu depuis lors extrêmement populaire aux USA. Décrit par Harms et De Young [14, 15], il a fait l'objet d'essais de laboratoire [16] et de réalisations déjà nombreuses (fig. 7). Dans son principe, le FTB est un écran superficiel souple à performances améliorées par dissipation turbulente, mais inférieures à son équivalent fixe et rigide.

Malgré d'incontestables avantages de divers ordres, son efficacité reste limitée aux vagues courtes —  $T_w < 3$  à 4 s — et son utilisation aux sites où sa relative largeur et des considérations esthétiques, toujours subjectives, le rendent acceptable.

### 3. Etude expérimentale

#### 3.1 Installation d'essai

Nos essais ont été faits dans le bassin à houles à ciel ouvert  $32,0 \times 23,0 \times 1,0$  m du LHYDREP<sup>2</sup>, avec une profondeur d'eau de 78 cm. Les vagues engendrées au moyen d'un système pneumatique ont un profil quasi sinusoïdal ; les fréquences utilisées sont  $0,5 < f_w < 1,4$  Hz.

Les deux profils de caisson essayés sont montrés schématiquement ci-après, avec le détail de leurs caractéristiques communes (fig. 9).

L'amarrage des éléments était fait en quatre points, au voisinage des extrémités, au moyen de cordelettes nylon tressées  $\varnothing 2$  mm, longues de 162 cm (angle à l'horizontale  $22^\circ$ ), tendues complètement de part et d'autre du caisson et fixées au fond.

Les amplitudes des vagues étaient mesurées dans leur sens de propagation à 1 m en amont du caisson, à 0,5 et 1 m en aval,

<sup>2</sup> Laboratoire d'hydraulique de l'EPFL.

dans l'axe de l'élément ainsi qu'à 3 m latéralement en prolongement de son axe longitudinal, au moyen de sondes capacitatives. La détermination du coefficient  $K_T$  a été faite sur la moyenne de dix vagues enregistrées simultanément sur les quatre capteurs. En cas d'anomalie ou de doute, l'essai était répété.

3.2 Résultats obtenus

La figure 3 donne les résultats obtenus avec les caissons bloqués, comparés aux solutions théoriques pour l'écran vertical et le demi-cylindre de diamètre équivalent.

On constate que le comportement du trapèze est bien décrit par la théorie de Dean et Ursell en eau profonde, moins bien en zone de transition, comme on pouvait le supposer d'ailleurs. Son efficacité est meilleure que celle du rectangle, pour les fréquences inférieures à 1 Hz en tout cas. Dans ce dernier cas, la théorie de l'écran se révèle conservatrice du point de vue de la sécurité, au moins dans la zone qui nous intéresse.

La figure 10 compare les performances du ponton bloqué avec le ponton libre correspondant, amarré comme indiqué sous 3.1. Les résultats qui y figurent appellent les commentaires suivants :

- les performances des deux digues flottantes sont comparables, sauf pour  $f_w/f_0 > 2$ , où le trapèze est légèrement meilleur. En effet, dans ce domaine, le comportement des barrières mobiles s'approche par le haut de celui des barrières fixes équivalentes, plus efficaces comme on l'a déjà vu ;

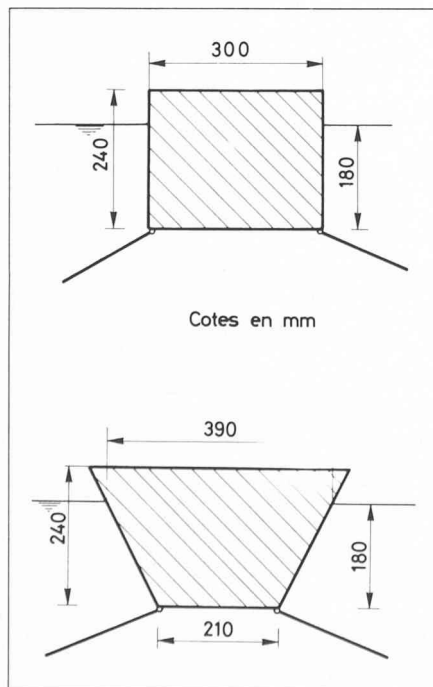


Fig. 9. — Schéma des deux profils de caissons essayés.  
 masse 81 kg  
 longueur 1500 mm  
 hauteur totale 240 mm  
 tirant d'eau 180 mm  
 largeur moyenne de la carène 300 mm  
 hauteur métacentrique 26 mm  
 période propre de roulis 1,5 sec

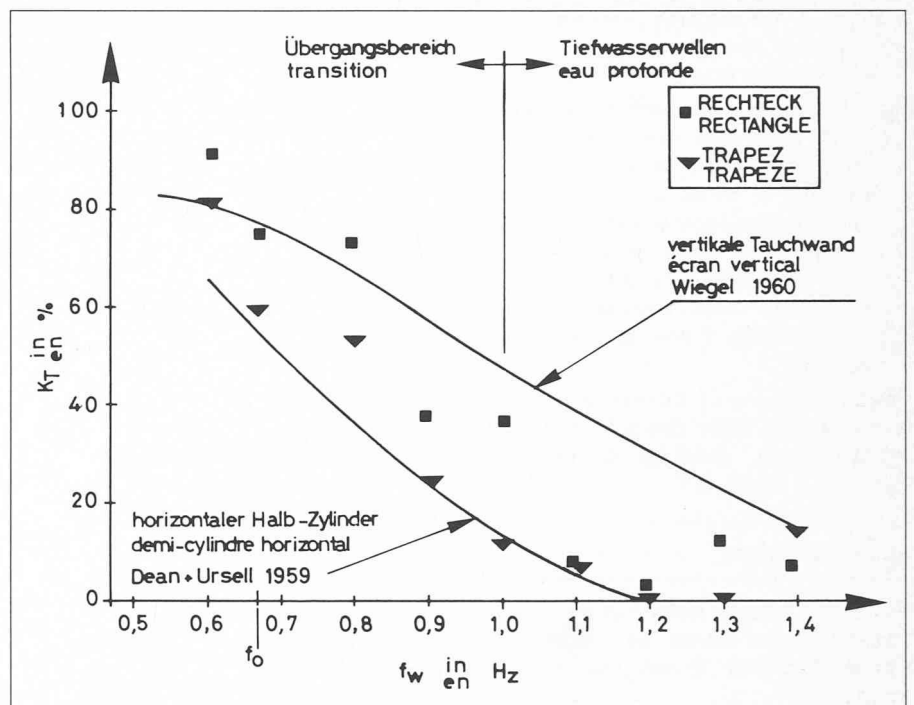


Fig. 8. —  $K_T$  pour sections rectangulaire et trapézoïdale de la barrière fixe en fonction de la fréquence des vagues.

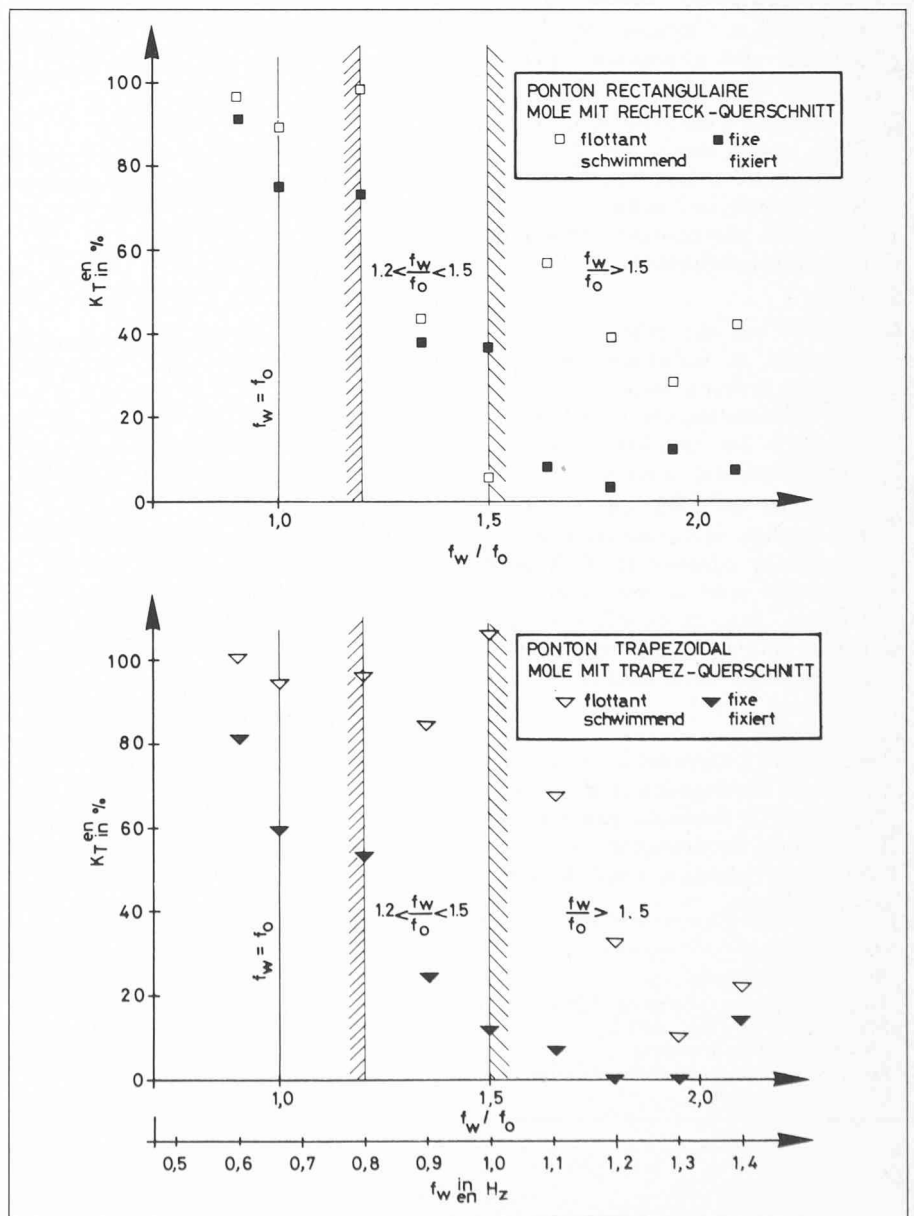


Fig. 10. — Comparaison entre barrières fixes et digues flottantes pour deux formes.

- $f_w/f_0 > 1,5$  est une zone déjà intéressante, alors que c'est  $f_w/f_0 \geq 2$  qui est celle des bonnes performances ;
- contrairement aux essais de Kincaid et de Kato déjà cités, nous n'avons pas décelé d'effet de résonance. Cela est dû, à notre avis, au système d'amarrage adopté et souligne son importance, au moins pour  $f_w/f_0 < 2$ . Une anomalie apparaît pour  $f_w/f_0 = 1,5$ , où l'effet combiné de l'amarrage et de la forme doit être déterminant.

Enfin, la figure 11 montre que, même amarrée, une digue flottante, pour être efficace, doit satisfaire à l'exigence  $b/L > 0,2$ , voire 0,3.

#### 4. Conclusions

Il existe, comme nous l'avons vu, un éventail assez ouvert de systèmes de digues flottantes. Ils ont tous en commun :

- 1) des performances inférieures aux barrières fixes équivalentes. Ces dernières apparaissent comme une limite asymptotique lorsque  $T_0/T_w > 2$  ou pour des dispositions spéciales (port de Gütital) ;
- 2) un domaine d'efficacité optimale, délimité grosso modo par  $T_w < 4$  s. Au-delà, les dimensions nécessaires pour obtenir une efficacité acceptable sont le plus souvent trop grandes pour être satisfaisantes.

De plus :

- 3) Dans le cas des caissons, solution compacte et esthétiquement satisfaisante, la forme trapézoïdale est la plus efficace (trapèze inscrit ou circonscrit). La condition  $b/L > 0,2$  doit être prise en compte ;
- 4) le matelas de pneus usés (FTB) est une solution déjà éprouvée et économiquement intéressante. Cela pourrait suffire pour vaincre quelques réticences, alors qu'un effort d'imagination destiné à améliorer sa présentation serait certainement aussi le bienvenu.

Nous tenons à exprimer ici notre gratitude à la Municipalité de la ville de Vevey pour la confiance qu'elle nous a témoignée en finançant en partie l'étude expérimentale, objet de cette communication.

Adresse des auteurs :

Jacques Bruschin, professeur EPFL  
Max Keller, ing. dipl. EPFZ  
Laboratoire d'hydraulique  
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne  
CH-1015 Lausanne

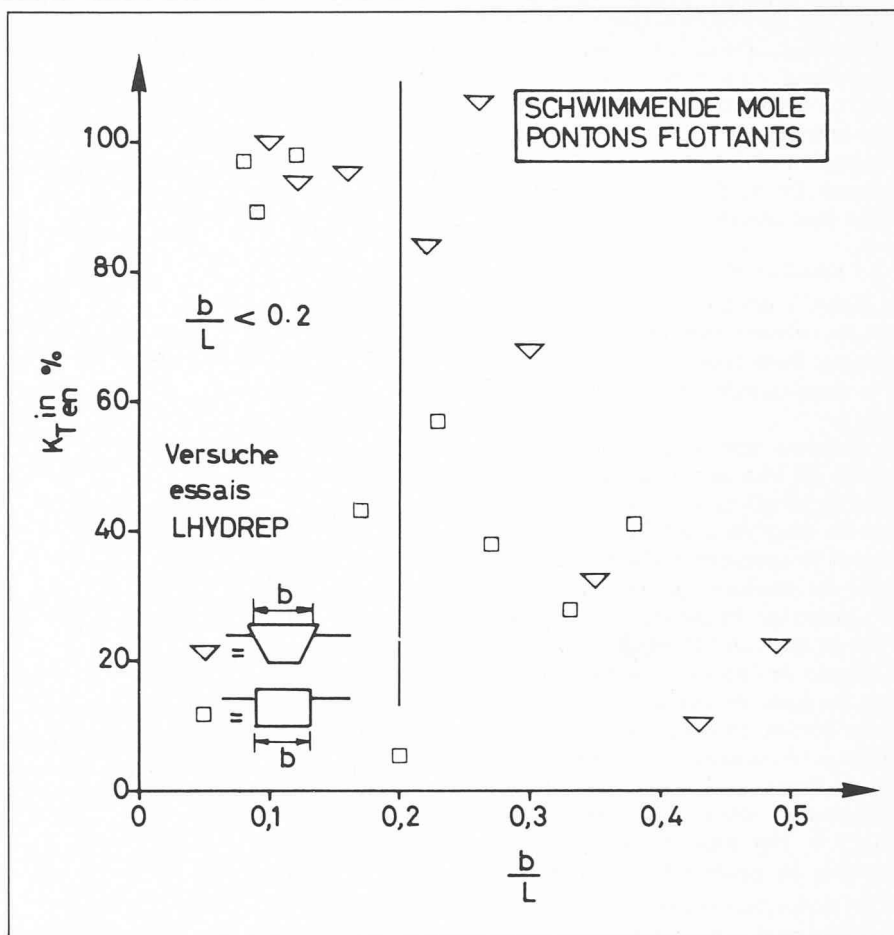


Fig. 11. —  $K_T$  en fonction de la largeur relative d'une digue flottante.

#### Bibliographie

- [1] IPPEN, A. T. : *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, Mc Graw-Hill, 1965.
- [2] WIEGEL, R. L. : *Transmission of Waves Past a Rigid Vertical Thin Barrier*, ASCE, Journ. Waterways and Harbors Div., WW1, 1960.
- [3] SILVESTER, R. : *Coastal Engineering*, vol. I, Elsevier, 1974.
- [4] MATSSON, B., CEDERWALL, K. : *Vertical Barriers as Wave Attenuators*, Proc. 17<sup>e</sup> Congrès AIRH, 1977, vol. 4.
- [5] DEAN, R. G., URSELL, F. : *Interaction of a Fixed Semi-Immersed Circular Cylinder with a Train of Surface Waves*, Transactions MIT, n° 37, 1959.
- [6] TAKANO, K. : *Effets d'un obstacle parallélogrammique sur la propagation de la houle*, La Houille Blanche, n° 3, 1960.
- [7] MACAGNO, E. E. : *Houle dans un canal présentant un passage en charge*, Thèse de doctorat de la Faculté de sciences de l'Université de Grenoble, 1956.
- [8] STOKER, J. J. : *Water Waves*, Interscience Publish., N.Y., 1957.
- [9] JOHN, F. : *On the Motion of Floating Bodies I*, Commun. on Pure and Appl. Math., vol. 2, 1949.
- [10] SEYMOUR, R. J., HANES, D. M. : *Performance analysis of Tethered Float Breakwaters*, ASCE, Journ. Waterways and Harbors Div., WW3, 1979.
- [11] BLEVINS, R. D. : *Flow-Induced Vibrations*, VNR Co, N.Y., 1976.
- [12] KATO, J. et al. : *Damping Effect of Floating Breakwater*, ASCE, Journ. Waterways and Harbors Div., WW3, 1969.
- [13] LE MÉHAUTÉ, B. : *Wave Agitation Criteria for Harbors*, ASCE, Coastal and Oceanogr. Div., Symp. Long Beach, Calif., 1977.
- [14] HARMS, V. W. : *Data and Procedures for the Design of Floating Tire Breakwaters*, Sea Grant Project No 150-S0190, Progress Report, 1979.
- [15] DE YOUNG, B. : *Enhancing Wave Protection with Floating Tire Breakwaters*, Physical Sciences — Sea Grant 1, Information Bull., 139, 1978.
- [16] HARMS, V. W. : *Design Criteria for Floating Tire Breakwaters*, ASCE, Journ. Waterways and Harbors Div. WW2, 1979.