Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 42 (1983)

Artikel: Modèles réduits de protection de pile de pont
Autor: Luong, Minh Phong
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32431

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

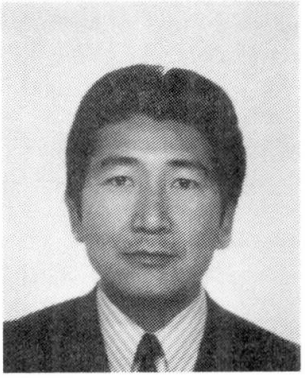
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Modèles réduits de protection de pile de pont

Modellversuch zum Schutz von Brückenpfeilern

Small-Scale Models of Bridge Pier Protection

Minh Phong LUONG
Maître de Recherche
C.N.R.S.
Paris, France



Minh Phong Luong, né en 1937, Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées en 1961, Docteur ès Sciences en 1964, Chercheur au L.M.S. depuis 1961, Enseigne la Mécanique des Sols à l'Université P. et M. Curie à Paris.

RÉSUMÉ
L'étude de la protection d'une pile de pont contre d'éventuels chocs de navires a été réalisée en laboratoire par des essais sur modèles réduits. Les résultats expérimentaux obtenus ont permis une évaluation à la fois qualitative et quantitative de l'influence des différents paramètres caractérisant le navire et le massif de protection de la pile de pont.

ZUSAMMENFASSUNG
Der Schutz eines Brückenpfeilers gegen eventuelle Zusammenstöße mit Schiffen wurde im Labor in Modellversuchen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse ermöglichten sowohl eine qualitative als auch quantitative Einschätzung des Einflusses verschiedener für das Schiff und den Brückenpfeilersockel typischer Parameter.

SUMMARY
A study on how to protect bridge piers against impacts from vessels has been carried out in a laboratory through experiments on small-scale models. The experimental results obtained have made it possible to put forward a both qualitative and quantitative evaluation of the different parameters characterising the vessel and the protective block on the bridge pier.

1 - INTRODUCTION

La construction d'une pile de pont dans une zone du fleuve accessible à la navigation à marée haute nécessite l'étude d'une protection efficace contre d'éventuels chocs de navires de 80.000 tonnes de déplacement en cas de fausses manoeuvres.

Il a été envisagé d'entourer la pile d'un talus de sable suffisamment dimensionné pour résister et encaisser les chocs d'un navire qui avancerait horizontalement à une vitesse V constante pouvant atteindre 15 noeuds et dirigé parallèlement à l'axe du chenal de navigation, les navires étant affectés d'une panne de barre.

2 - DONNEES CARACTERISTIQUES

Les hypothèses simplificatrices suivantes ont été admises :

2.1- Le navire est supposé avoir tellement d'inertie qu'il ne déjauge pas. Il pénètre alors horizontalement dans le talus du massif de sable de protection. La dissipation d'énergie cinétique par soulèvement d'ensemble du navire est négligeable.

2.2- Le navire est considéré comme indéformable. C'est une hypothèse pessimiste pour les efforts subis par le massif.

2.3- Les dimensions moyennes des navires considérés sont de l'ordre de :

Longueur	:	$L = 220$ m
largeur	:	$\ell = 36$ m
hauteur	:	$h = 12$ m

2.4- La similitude hydraulique du modèle est celle de Froude, faisant correspondre les masses et les inerties de sorte que le modèle représentera en similitude la déformation que subirait un massif de protection à cohésion négligeable sous les chocs des navires.

3 - MODE OPERATOIRE DES ESSAIS

3.1- Modèle du navire

Une étude paramètrique préliminaire a permis d'étudier l'influence des différentes caractéristiques géométriques du navire.

- La longueur ne semble pas intervenir de façon significative car la résistance à l'avancement du modèle dans le talus de sable n'intéresse que sa partie frontale ;
- la forme de l'avant : c'est un dièdre représentant l'étrave, caractérisé par l'angle 2θ au sommet variant de 30° à 180° (figure 1) ;
- la largeur ℓ varie de 6cm à 36cm ;
- la hauteur h de 6cm à 12cm.

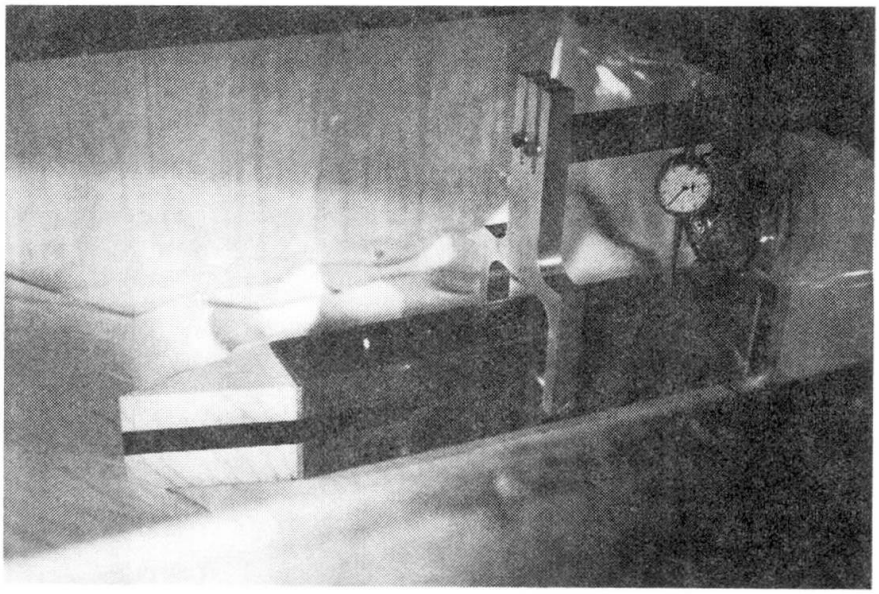


FIGURE 1 : Forme frontale du navire.

La navire avance horizontalement à une vitesse constante V vers le talus de sable (figure 2) poussé par une fourche qui s'appuie sur un axe à pivotement libre. L'angle d'incidence i entre la direction de la course du bateau et la normale à l'arête du talus dans le plan horizontal a varié de 0 à 45°.

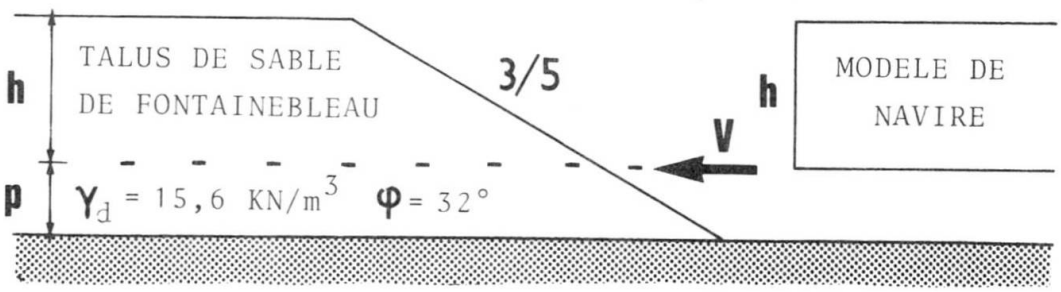


FIGURE 2 : Talus de protection contre les chocs des navires.

3.2- Massif de sable

Le matériau utilisé pour constituer le talus est du sable blanc de Fontainebleau. C'est un sable à grains siliceux très résistant et homogène, de granulométrie uniforme. Le coefficient de Hazen est de l'ordre de :

$$\chi = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,29}{0,17} \sim 1,7$$

Le poids volumique correspondant à notre mise en place pour les essais est 15,6 kN/m^3.

Le talus naturel observé est de l'ordre de 32°.

Différentes pentes de talus ont été réalisées : 3/5 , 1/2 , 1/2,5 , 1/3 sur un horizon supposé rigide situé à une distance par rapport au fond du modèle de navire (figure 2).

3.3- Dispositif de mesure

Lors des essais sur modèles réduits, nous avons cherché à évaluer avec précision :

- la résistance à l'avancement due au frottement latéral sur le fond et les deux côtés du navire ;
- la résistance à l'avancement due à la butée sur la partie frontale du navire.

Nous avons mesuré en fonction du déplacement horizontal D :

- la force totale horizontale F_H, nécessaire pour faire avancer le modèle ;
- la force horizontale F_F due au frottement sur le fond et les deux côtés à l'aide des lames flexométriques étalonnées ;
- la force verticale F_V nécessaire pour maintenir le modèle horizontale. Ce dernier est supposé avoir une très grande inertie pour ne pas déjauger.

Le dispositif de mesure permet de tracer simultanément pour chaque essai les courbes F_H, F_V et F_F en fonction du déplacement horizontal d (figure 3).

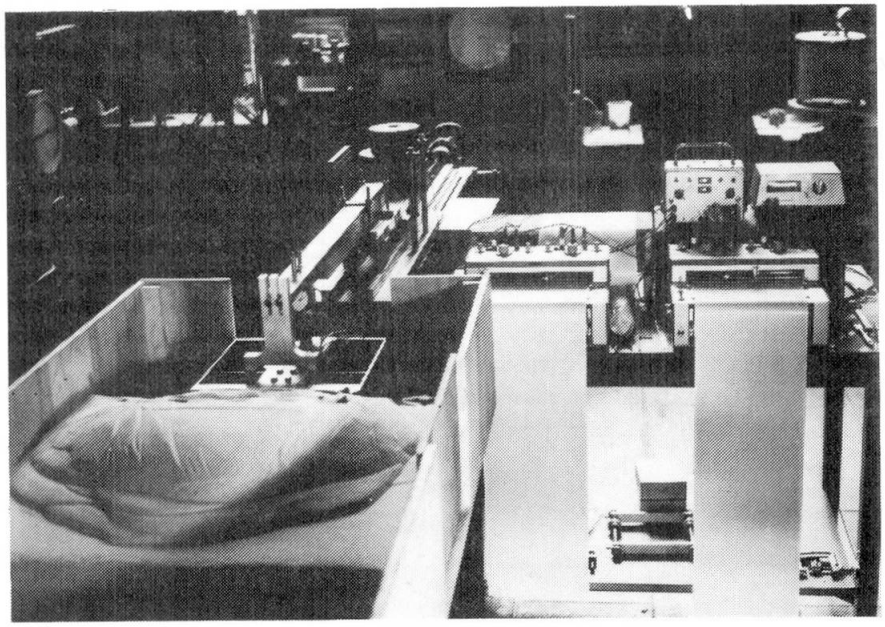


FIGURE 3 : Dispositif expérimental.

4 - RESULTATS EXPERIMENTAUX

A chaque instant au cours de l'essai, les valeurs des forces horizontale F_H et verticale F_V donnent l'obliquité de la réaction par rapport à l'avancement. Nous avons pu vérifier grossièrement que cette obliquité est de l'ordre de grandeur de l'angle de frottement interne φ.

4.1- Ordre de grandeur de la butée

La théorie de la butée d'un écran vertical sur un massif de sable nous donne les valeurs suivantes du coefficient de butée, [1] :

$$\varphi = 30° \qquad K_p\ (\lambda = o\ ,\ \beta = o\ ,\ \delta = -\varphi) = 6{,}42$$
$$\varphi = 35° \qquad K_p\ (\lambda = o\ ,\ \beta = o\ ,\ \delta = -\varphi) = 10{,}2 \quad .$$

Soit, pour un modèle de dimensions h = 10cm, ℓ = 8cm, une force de butée égale à :

$$F = \frac{1}{2}\ \gamma\ h^2\ \ell\ K_p \quad .$$

D'où les valeurs calculées des composantes F_H et F_V :

$$\varphi = 30° \qquad F_H = 34{,}7\ N \qquad F_V = 20\ N$$
$$\varphi = 35° \qquad F_H = 52{,}1\ N \qquad F_V = 36{,}5\ N$$

4.2- Ordre de grandeur du frottement sur le fond

La force de frottement sur le fond a pour valeur :

$$T = \int_0^{30cm} \tau\ .\ \ell\ .\ dx$$

Or, $\tau = \sigma\ tg\ \varphi = \gamma y\ tg\ \varphi = \gamma\ \alpha\ x\ tg\ \varphi$.

Donc : $T = \frac{1}{2}\ .\ \gamma\ .\ \alpha\ .\ tg\ \varphi\ .\ 30^2\ .\ \ell$.

D'où les valeurs calculées du frottement T (en N) pour chaque pente α du talus :

φ \ α	3/5	1/2	1/2,5	1/3
30°	19,5	16,2	13,0	10,8
35°	23,6	19,7	15,7	13,1

4.3- Comparaison des valeurs expérimentales et calculées

L'angle de frottement interne φ du sable est estimé voisin de 32°. Les essais ont donné des valeurs qui concordent assez bien avec le calcul (cf. Tableau) :

Valeurs de F_H en N avec h = 10cm, ℓ = 8cm.

φ \ α	3/5	1/2	1/2,5	1/3
30°	54,2	50,9	47,7	45,5
Essais	75,0	64,0	60,0	58,0
35°	75,7	71,8	67,8	65,2

Les valeurs de F_V aussi sont assez bien encadrées par les valeurs calculées au paragraphe 4.1.

4.4- Interprétation des résultats

L'exploitation des résultats s'est avérée plus commode en examinant la variation du travail W dissipé, c'est-à-dire l'aire comprise entre l'axe des abscisses et la courbe F_H pour un déplacement total de 30cm avec les différents paramètres.

i - Vitesse d'avancement :

La courbe W(V) indique une valeur constante : la résistance à l'avancement est indépendante de la vitesse : c'est un problème quasi-statique (figure 4).

ii - Incidence de la trajectoire par rapport au talus :

La courbe W(i) indique une décroissance presque linéaire lorsque l'incidence augmente de 0° à 45°, (figure 5).

iii- Poids volumique du sable :

Des essais dans du sable sec et du sable immergé indiquent que le travail W augmente avec le poids volumique γ, (figure 6).

iv - Forme dièdre de l'avant du bateau :

Les résultats expérimentaux font apparaître un léger accroissement de W avec l'angle du dièdre, (figure 7).

v - Largeur ℓ du bateau :

Nous avons obtenu une croissance linéaire de W avec la largeur ℓ, (figure 8).

vi - Hauteur h du bateau :

L'allure des courbes W(h) est parabolique de concavité dirigée vers l'axe des W, (figure 9).

vii- Pente du talus :

Nous avons constaté une croissance de W avec la pente α. Le travail W tend vers une valeur limite correspondant au cas du mur vertical, (figure10).

viii- Frottement sur le fond et sur les parois latérales :

La mesure directe de F_F a montré que ce frottement n'apporte pas une résistance aussi importante qu'on aurait pû l'espérer : elle est de l'ordre de 2% de la résistance totale à l'avancement dans le talus de sable, ce qui est tout à fait insignifiant.

ix - Profondeur de l'assise rigide :

Les valeurs expérimentales de la résistance totale à l'avancement semblent peu dépendre de l'épaisseur p de la couche comprise entre le fond du modèle et l'assise rigide, (figure 11).

x - Rugosité des parois du modèle :

Un essai a été réalisé en tapissant le modèle de papier émeri afin de pouvoir mobiliser rapidement le frottement maximum. Nous n'avons pas constaté une différence significative, ce qui montre que le frottement sur les autres modèles est tel qu'il faut admettre que les surfaces sont rugueuses.

xi - Utilisation de la terre armée :

L'étude du comportement du matériau Terre Armée à l'appareil triaxial [4] a montré qu'il présente une cohésion anisotrope, proportionnelle à la résistance à la traction des armatures.

Deux essais avec un modèle en sable de Fontainebleau armé par des bandes de papier et dans une similitude très rudimentaire ont montré une grande augmentation de la résistance à l'avancement et la courbe F_H s'est incurvée vers l'axe des déplacements dès que se sont manifestés les défauts d'adhérence des armatures, c'est-à-dire le glissement des bandes par rapport au sol.

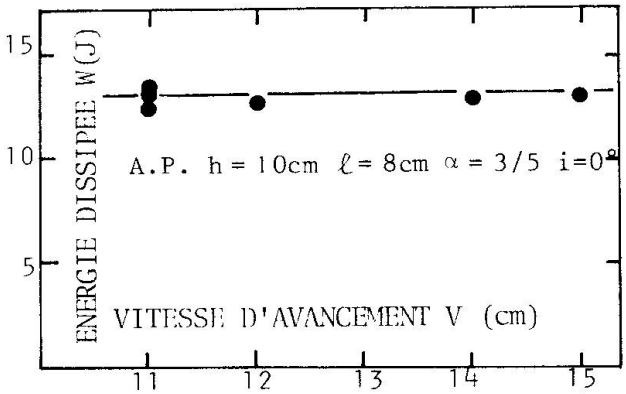


Figure 4 : Travail dissipé en fonction de la vitesse d'avancement vers le talus

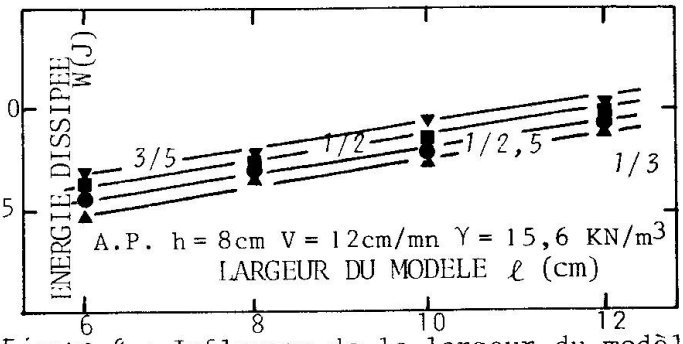


Figure 8 : Influence de la largeur du modèle bateau.

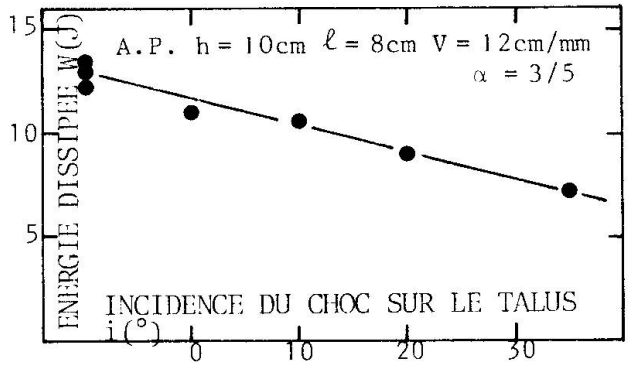


Figure 5 : Influence de l'incidence du choc.

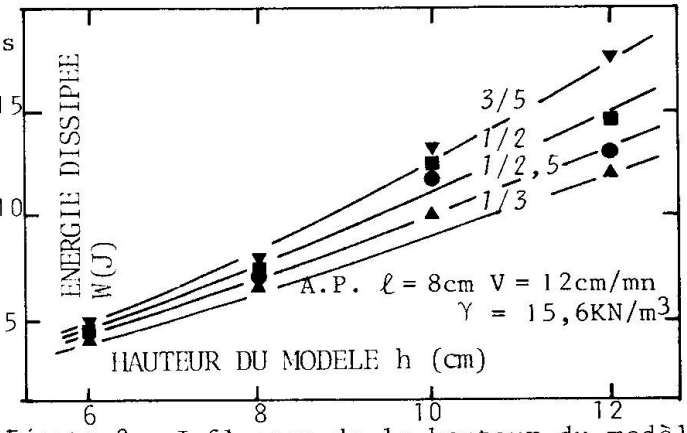


Figure 9 : Influence de la hauteur du modèle bateau.

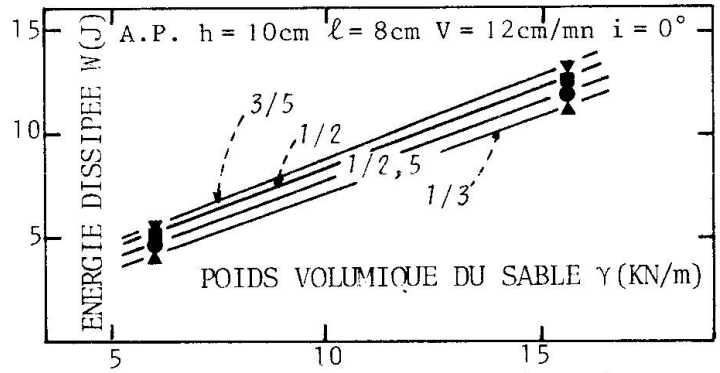


Figure 6 : Effet du poids volumique du sable.

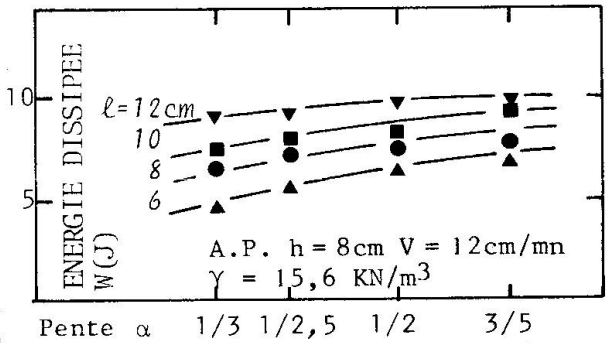


Fig. 10 : Influence de la pente du talus.

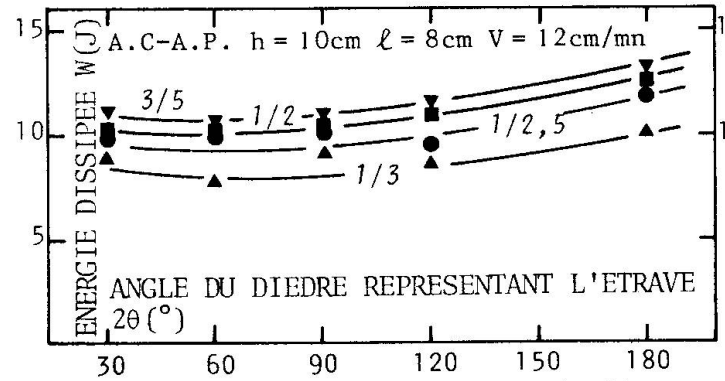


Figure 7 : Influence de la forme de l'avant du bateau.

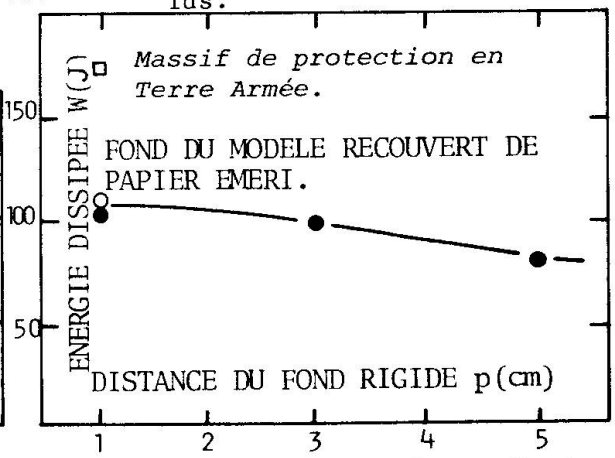


Figure 11 : Influence de la profondeur de l'assise rigide.

xii- Energie dissipée :

L'énergie dissipée au cours de l'avancement du modèle dans le talus de sable est donnée par l'aire comprise entre l'axe des abscisses et la courbe F_H pour un déplacement horizontal total de 30cm.

Les essais correspondant au modèle de dimensions h = 12cm, ℓ = 36cm ont donné un travail dissipé moyen de l'ordre de 1000 daN.cm, soit 100 J pour un déplacement horizontal de 30cm.

En utilisant la similitude du choc des navires, adoptée par SOGREAH qui conduit à prendre une échelle des longueurs égale à $\overset{*}{\ell} = 10^{-2}$ et une échelle des forces $\overset{*}{F} = \overset{*}{\ell}^3 = 10^{-6}$, soit une échelle des travaux $\overset{*}{W} = \overset{*}{F}\,\overset{*}{\ell} = 10^{-8}$, nous obtenons un travail dissipé dans l'ouvrage réel de l'ordre de 10^8 Joules pour un déplacement horizontal total de 30m.

Or, l'énergie cinétique d'un navire de 80.000 tonnes animé d'une vitesse de 15 noeuds est :

$$\frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} 8.10^7 \cdot \overline{7,72}^2 = 2,38.10^9 \text{ Joules .}$$

Il apparaît ainsi que le massif de sable de protection est capable de dissiper l'énergie cinétique du navire et que l'utilisation d'un matériau terre armée pour l'ouvrage de protection de la pile devrait pouvoir facilement réduire la distance de pénétration du navire dans le talus.

5 - CONCLUSION

L'étude expérimentale réalisée a permis de mettre en évidence l'influence des différents paramètres sur la résistance à l'avancement d'un corps rigide à grande inertie dans un talus de sable.

- croissance linéaire du travail dissipé en fonction du poids volumique du sable, de la largeur du bateau ;
- croissance parabolique avec la hauteur du bateau, comme le confirme le calcul des forces de butée ;
- indépendance de la vitesse d'avancement.

Le travail dissipé au cours de l'avancement du navire dans le talus de sable semble être suffisamment important pour qu'il soit possible d'absorber l'énergie cinétique du navire lors du choc.

Etant données les dimensions relatives des navires et de la pile de pont, il est souhaitable que des essais sur modèles réduits plus élaborés soient réalisés avec simulation du rapport des masses respectives.

REFERENCES

[1] CAQUOT A., et KERISEL J., "Traité de Mécanique des Sols", Gauthier-Villars, Paris, 1966.

[2] LUONG M.P., "Etude de la Résistance à l'avancement d'un navire dans un talus de sable", L.M.S., Ecole Polytechnique, Mars 1973, Rapport d'étude pour la Chambre de Commerce du Havre.

[3] LUONG M.P., "Essais sur modèle réduits pour l'étude de la protection d'une pile de pont", L.M.S., Ecole Polytechnique, Juillet 1973, Rapport d'étude pour la Chambre de Commerce du Havre.

[4] SCHLOSSER F., et NGUYEN T.L., "Etude du comportement du matériau Terre Armée", Annales I.T.B.T.P., Avril 1973.