

**Zeitschrift:** IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

**Band:** 42 (1983)

**Artikel:** Dynamical determination of the collision's transient load

**Autor:** Requena, Leonel F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-32419>

### 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:** 13.01.2026

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

## Dynamical Determination of the Collision's Transient Load

Détermination dynamique de la charge transitoire, lors d'une collision

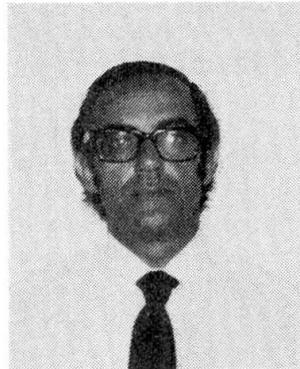
Bestimmung der dynamischen Belastung beim Schiffsanprall

**Leonel F. REQUENA**

Ingénieur ENSAE

CONSULAR

Buenos Aires, Argentine



Leonel F. Requena, né en 1933, ingénieur diplômé à l'ENSAE, France, a travaillé dans plusieurs domaines d'application de la mécanique des milieux continus. Depuis cinq ans a conduit à Consular plusieurs études et projets de systèmes de protection de ponts contre les chocs de bateaux.

### SUMMARY

The ship collision against a bridge pile is a transient phenomenon where, although the mechanical properties of the ship and the structure are known, the applied load as a function of time is not fully understood. This load is nevertheless necessary for the application of computer programs to the dynamical analysis of strains of several degrees of freedom structures. An evaluation method of the transient load by means of simplified models and results obtained while studying two existing bridges Argentine and Uruguay, is presented.

### RÉSUMÉ

Le choc d'un bateau sur une pile de pont est un phénomène transitoire pour lequel, même en connaissant les propriétés mécaniques du bateau et de la structure, on ne connaît pas directement la charge appliquée en fonction du temps. La connaissance de cette charge est pourtant nécessaire pour l'application des programmes de calcul dynamique des efforts aux structures à plusieurs degrés de liberté. On présente une méthode de calcul au moyen de modèles simplifiés et des résultats obtenus pendant l'étude de deux ponts existants entre l'Argentine et l'Uruguay.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Anprall eines Schiffes gegen einen Brückenpfeilerkopf ist ein vorübergehendes Phänomen: Obwohl die mechanischen Eigenschaften des Schiffes und des Tragwerks bekannt sind, ist die dynamische Last im Verlauf der Zeit ungenau bekannt. Die Kenntnis dieser Last ist jedoch notwendig für die Verwendung von EDV-Programmen zur dynamischen Berechnung des Tragwerks mit mehreren Freiheitsgraden. Es werden eine Berechnungsmethode mit vereinfachten Modellen vorgeführt und die erhaltenen Ergebnisse bei der Analyse zweier Brücken zwischen Argentina und Uruguay dargestellt.



## 1. PRESENTATION

C'est pour le compte de la C.A.R.U. (Comisión Administradora del Río Uruguay) que le consortium formé par Consular, d'Argentine, et Inasur de l'Uruguay, a entrepris, en 1981, l'étude de faisabilité des protections contre les chocs de bateaux des deux ponts existants sur le fleuve Uruguay entre l'Argentine et l'Uruguay. Parmi les problèmes posés par l'étude de la vulnérabilité des ponts et des viaducs d'accès aux chocs de bateaux était celui de définir la charge dynamique avec laquelle devait être vérifiée chaque pile, ainsi comme la masse du bateau qui détruit la pile pour une vitesse d'approche donnée. On a été bien obligé d'imaginer une méthode. On a pris connaissance, à posteriori, que M. Fauchart, en France, (2), en avait imaginé une semblable. Il est, malgré tout, intéressant de montrer que le modèle de M. Fauchart (Modèle dynamique C) peut être vérifié et ajusté au moyen d'un modèle complet de la structure (Modèle dynamique A), à plusieurs degrés de liberté, donnant et les déplacements et les efforts. Il a paru intéressant aussi de montrer quelle proportion de l'énergie du bateau était absorbée par la structure dans chaque cas analysé, montrant que l'hypothèse, parfois admise, du 50 %, est, en général, trop grossière.

Les ponts, construits en béton précontraint, possèdent les caractéristiques suivantes:

Pont Libertador General San Martín, entre les localités de Fray Bentos (U) et Puerto Unzué (A), comprend:

- un ouvrage principal, pont continu à trois travées (145 m, 220 m, 145 m).
- deux viaducs d'accès de portée courante de l'ordre de 70 m.

Pont General Artigas, entre les localités de Paysandú (U) et Colón (A), comprend:

- un ouvrage principal, à trois travées (97 m, 140 m, 97 m).
- deux viaducs d'accès de portée courante de l'ordre de 46 m.

## 2. PILE RIGIDE

On suppose que la charge  $F_1$ , pour une pile infiniment rigide et infiniment résistante est une fonction du temps  $F_1(t)$  du type de la Figure 2.1. où  $F_{\max}$  est la charge de plastification de la coque du bateau, d'après G.Woissin & Gerlach (1). Pour définir la montée élastique de la fonction  $F_1(t)$  on fait des hypothèses sur le comportement de la coque; on suppose que la déformation  $s_1$ , au temps  $t_1$ , de la demi-longueur  $L/2$  de la coque est obtenue à partir d'une répartition linéaire de la tension de compression  $\sigma$  tout le long de la coque, du type:

$$\sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{x}{L}\right) \quad (2.1.)$$

où  $\sigma_{\max}$  est la tension de plastification. En intégrant la déformation

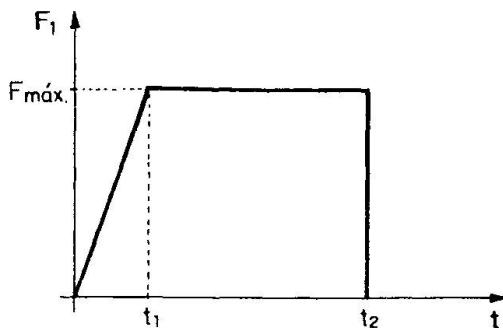


Figure 2.1

élastique sur la demi-longueur on obtient:

$$s_1 = \frac{3}{8} \cdot \frac{\sigma_{\text{máx}} \cdot L}{E} \quad (2.2.)$$

où  $E$  est le module d'élasticité de l'acier.

La coque est remplacée par un ressort de rigidité:

$$k_2 = \frac{F_{\text{máx}}}{s_1} \quad (2.3.)$$

interposé entre le centre de gravité du bateau (supposé situé à  $L/2$ ) et le point de contact avec la pile.

Pendant le processus élastique le centre de gravité du bateau avance comme la masse  $m_2$  d'un système dynamique à un degré de liberté de rigidité  $k_2$  et vitesse initiale  $v_0$ , dont la pulsation propre est:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} \quad (2.4.)$$

Le temps  $t_1$  est:

$$t_1 = \frac{1}{\omega_2} \cdot \arcsin \frac{\omega_2 \cdot s_1}{v_0} \quad (2.5.)$$

La vitesse  $v_1$ , au temps  $t_1$ , est:

$$v_1 = v_0 \cdot \cos \omega_2 \cdot t_1 \quad (2.6.)$$

La quantité de mouvement du bateau s'annule au temps  $t_2$ , d'où:

$$t_2 = t_1 + \frac{m_2 v_1}{F_{\text{máx}}} \quad (2.7.)$$



### 3. PILE SOUPLE

L'élasticité de la pile modifie, en général, l'évolution de la force  $F_1(t)$ . Nous appellerons "modèle dynamique A" à un modèle approprié de la structure du pont et introduit dans un programme de calcul dynamique des déplacements et des efforts (STRUDL, par exemple), pour lequel la charge  $F_1(t)$  doit être une donnée. Si l'on applique la charge  $F_1(t)$  obtenue pour la pile rigide à ce modèle on obtient en général une déformation de la structure en fonction du temps. Le calcul de la charge  $F_1(t)$  doit donc être repris pour tenir compte de la rigidité réelle de la pile. Pour cela on propose de représenter le phénomène au moyen d'un modèle simplifié que nous appellerons "modèle dynamique B", où la structure est représentée par sa masse effective  $m_1$  au point d'application de la charge et sa rigidité effective au même point. (Figure 3.1.)

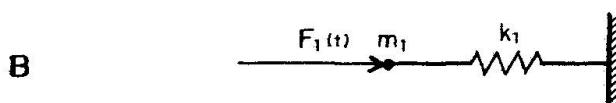


Figure 3.1

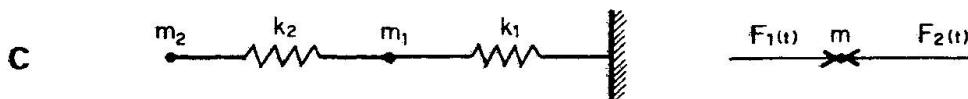


Figure 3.2

Pour ce modèle les inconnues sont  $m_1$ ,  $k_1$ . Il s'agit de trouver une paire de valeurs  $m_1$ ,  $k_1$  tels que la réponse du modèle dynamique B sous la charge  $F_1(t)$  soit égale à la réponse du modèle A sous la même charge. On procède par tatouinements à partir des valeurs estimées de  $m_1$ ,  $k_1$ . Ceci fait on calcule  $F_1(t)$  en utilisant le "modèle dynamique C", Figure 3.2., à deux degrés de liberté, où les conditions initiales sont  $y_1 = y_2 = \dot{y}_1 = 0$ ;  $\dot{y}_2 = V_0$ . La force  $F_2$  est la réaction élastique de la structure à chaque instant.

Les différentes phases du phénomène transitoire sont:

#### a) Phase élastique

$$F_1 = k_2 (y_2 - y_1) \quad (3.1.)$$

$$F_2 = k_1 y_1 \quad (3.2.)$$

Équations du mouvement:

$$m_1 \ddot{y}_1 + F_2 - F_1 = 0 \quad (3.3.)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - F_1 = 0 \quad (3.4.)$$

La phase se termine quand  $F_1(t) = F_{\max}$ , et commence la phase plastique.

#### b) Phase plastique

Dans les équations (3.3.) et (3.4.),  $F_1(t) = F_{\max}$ , les équations sont indépendantes. Dans un intervalle de temps dt la déformation plastique  $dsp$  de la coque est égale à la différence des déplacements:

$$dsp = dy_2 - dy_1$$

Le processus termine quand  $dsp = 0$ , soit quand  $dy_2 = dy_1$ , ou (en divisant par  $dt$ ) quand  $\dot{y}_2 = \dot{y}_1$ , c'est à dire quand les vitesses des deux masses sont égales.

On reprend une phase élastique en repositionnant la masse  $m_2$  d'après la formule:

$$y_2 = y_1 + s_1$$

de façon de commencer la phase élastique descendante avec la valeur  $F_1 = F_{\max}$  (Formules 3.1. et 2.3.).

c) "Vol libre" de  $m_2$

La masse  $m_2$  est répoussée transitoirement ou définitivement (la force  $F_1(t) = 0$  pour tout  $y_1 \geq y_2$ ) les équations (3.3.) et (3.4.) sont indépendantes. On recommence une phase élastique s'il existe un temps  $t$  pour lequel on retrouve  $y_1 = y_2$ .

La charge obtenue par cette méthode est appliquée au modèle dynamique A. On vérifie que la réponse de ce modèle est semblable à celle du modèle C sous la même charge  $F_1(t)$  (en particulier le maximum positif du déplacement du point d'impact). En général cette première approximation est suffisante.

#### 4. APPLICATION

Le bateau a une longueur  $L = 180$  m; une masse  $m_2 = 17.000$  t; une vitesse initiale  $v_0 = 1,81$  m/seg.

On prend  $\sigma_{\max} = 1.400$  kgf/cm<sup>2</sup>;  $E = 2,1 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>;  $F_{\max} = 13.000$  tf.

On obtient:

$s_1 = 0,045$ m	$t_1 = 0,025$ s
$k_2 = 289.000$ tf/m	$v_1 = 1,714$ ms <sup>-1</sup>
$\omega_2 = 12,9$ s <sup>-1</sup>	$t_2 = 0,254$ s

L'énergie cinétique  $E_c = 2.839$  tf.m

Dans la Figure 4.1. on présente la réponse du modèle dynamique A (programme STRUDL) et celle du modèle dynamique B, celle-ci obtenue avec la paire de valeurs:

$$\begin{aligned}m_1 &= 3.433 \text{ t} \\k_1 &= 23.500 \text{ tf/m}\end{aligned}$$

Dans la Figure 4.2. on présente la charge obtenue avec le modèle dynamique C, dans la Figure 4.3. le déplacement du point d'impact obtenu avec les modèles dynamiques A et C.

La rigidité statique de la pile au point d'impact obtenue du modèle dynamique A était:

$$k_1' = 19.800 \text{ t/m}$$

et la masse de la pile plus la partie majorante du tablier était:

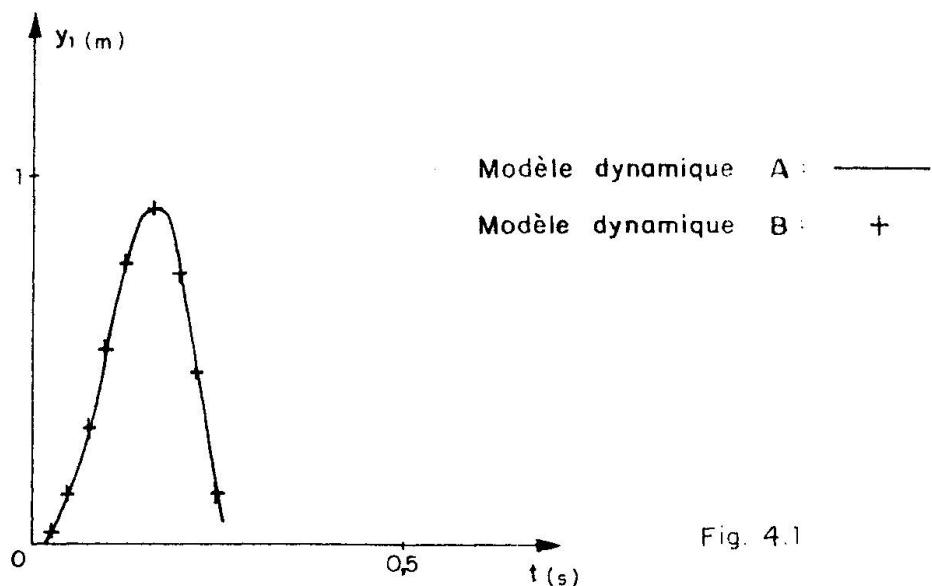


Fig. 4.1

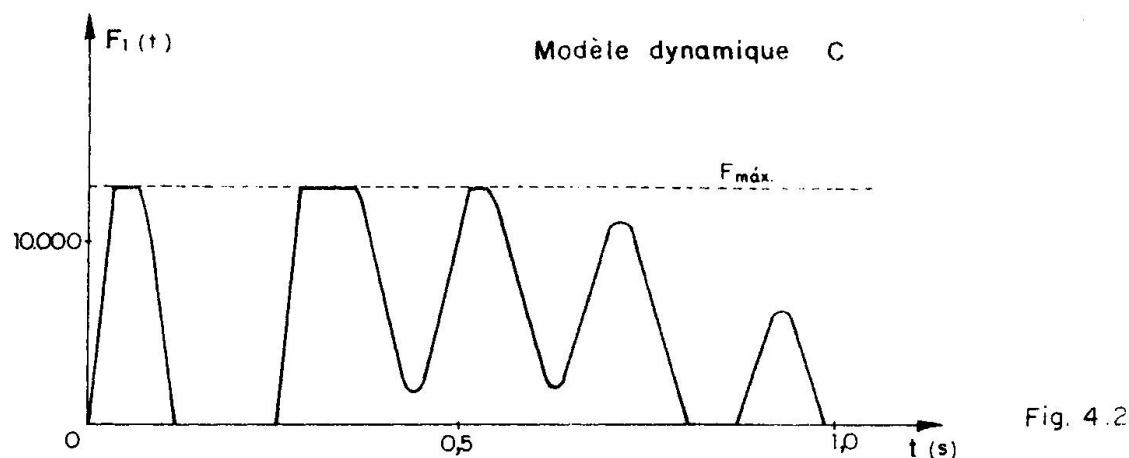


Fig. 4.2

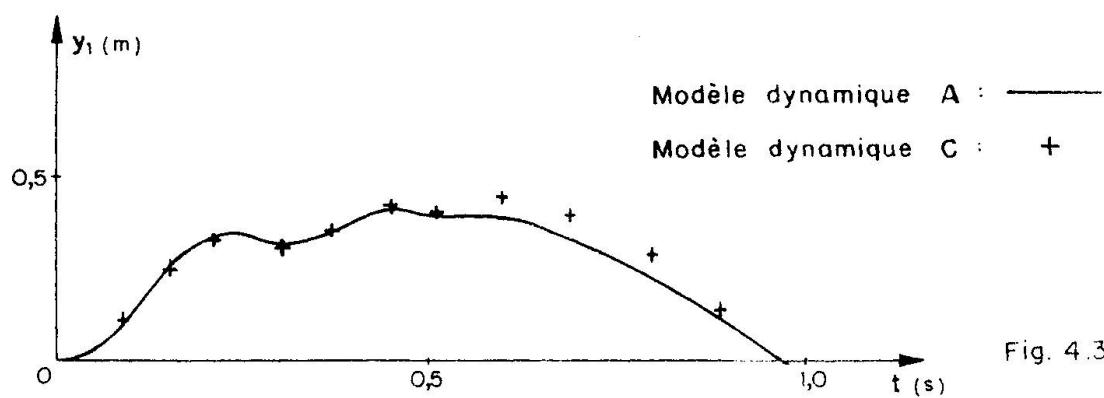


Fig. 4.3

$$m_1' = 6.450 \text{ t}$$

Il fallait donc ajuster le modèle dynamique B à la réponse du modèle A, qui est le résultat de la superposition de plusieurs modes de vibration, pour représenter convenablement les caractéristiques dynamiques de la pile.

Pour des valeurs  $10 k_2$  et  $k_2/10$  les résultats sont semblables, la rigidité de la coque n'étant donc pas relevante. Une valeur quelque peu supérieure de  $F_{\max}$  ne change pas non plus les résultats.

## 5. DETERMINATION DE LA MASSE DU BATEAU QUI DETRUIT LA PILE

On a trouvé dans tous les cas que les charges dynamiques appliquées aux piles dépassaient largement leur résistance. Il se posait donc la question de définir la masse du bateau qui détruit chaque pile, afin de connaître la probabilité de qu'un bateau donné, dont la fréquence relative de passage est connue, détruisse la pile, étant donnée une vitesse d'approche  $V_d$ .

Pour ce faire on s'est appuyé sur le modèle dynamique C. Les efforts étant proportionnels au déplacements on a cherché la valeur de  $m_2$  (associée à une valeur correspondante de  $F_{\max}$ ) qui réduit le déplacement maximum  $y_{1\max}$  à la valeur:

$$y_{1\max}' = \nu \cdot y_{1\max} \quad (5.1.)$$

où  $\nu$  est le coefficient de sécurité à la rupture trouvé pour le cas analysé ( $\nu < 1$ , modèle dynamique A).

La masse du bateau qui rempli cette condition pouvait être définie à partir de l'énergie cinétique donnée par:

$$E_c' = \alpha \cdot \nu \cdot E_c \quad (5.2.)$$

ou  $\alpha$  était proche de l'unité.

On obtient:

$$m_2' = \frac{2 E_c'}{V_d^2} \quad (5.3.)$$

On pense que la valeur de  $\alpha$  dépend de la structure considérée et des valeurs  $V_o$ ,  $V_d$ .

## 6. ENERGIE ABSORBEE PAR LA STRUCTURE

L'énergie absorbée par la structure dans chaque cas analysé peut être stimée à partir de la rigidité  $k_1$ :

$$E_c = \frac{1}{2} k_1 \cdot y_1^2 \max \quad (6.1.)$$

On a trouvé que cette valeur était placée entre le 2 % de l'énergie cinétique du bateau pour les piles les plus rigides jusqu'au 86 % pour les plus souples.

REFERENCES

1 - G. Woisin & Gerlach.

"On the Estimation of Forces Developed in Collisions between Ships and Offshore Lighthouses".

IALA Conference, Stockholm, 1970

2 - J. Fauchart.

"Choc de bateau sur un obstacle déformable. Essai d'analyse pour l'étude de faisabilité du pont du Verdon, sur la Gironde".

Travaux. N° 562. Janvier 1982.