

**Zeitschrift:** IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte  
**Band:** 42 (1983)  
  
**Artikel:** Faisabilité économique des protections des piles de pont  
**Autor:** Requena, Leonel F. / Juan, Andrés M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-32446>

### **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**

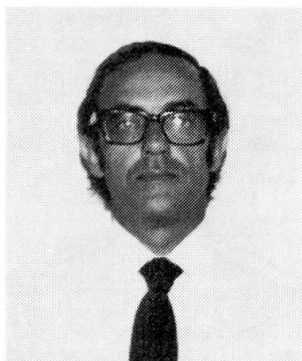
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media 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>**

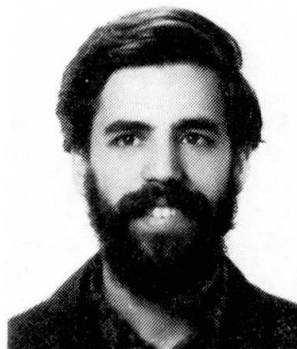
**Faisabilité économique des protections des piles de pont**  
**Wirtschaftliche Durchführbarkeit von Brückenpfeilerschutz**  
**Economic Feasibility of Bridge Pier Protection**

**Leonel F. REQUENA**  
Ingénieur Ensae  
CONSULAR S.A.  
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.

**Andrés M. JUAN**  
Lic. sciences écon.  
CONSULAR S.A.  
Buenos Aires, Argentine



Andrés M. Juan, né en 1953, Licencié ès Sciences Économiques de l'Université de Buenos Aires, 1976. Depuis lors fait partie de l'équipe de CONSULAR pour les Études de Faisabilité.

#### **RÉSUMÉ**

L'article présente une méthode de calcul de faisabilité des protections et une méthode simplifiée d'estimation du coût d'interruption du service.

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Es wird eine Berechnungsmethode vorgeführt für die Durchführbarkeit von Schutzbauten und eine vereinfachte Kostenkalkulations-Methode im Fall einer Betriebsunterbrechung.

#### **SUMMARY**

A method for the calculation of the feasibility of protections and a simplified method for the estimation of the service interruption cost are presented.



### 1. PRESENTATION

Le risque économique dérivé du passage de bateaux sous les ponts doit être évalué souvent pour les ponts existants et l'est, aussi, pour ceux qui sont en cours d'étude. On suppose ici que le pont existe déjà, mais le problème posé pour des ponts futurs peut être analysé d'une manière similaire. La question est de savoir s'il convient de prévoir des dispositifs ou des renforcements spécialement conçus.

La décision dépend de la comparaison entre le coût du risque et le coût des protections.

On présente une méthode de calcul et on introduit les notions d'efficacité de la protection et de système de protection.

### 2. COÛT DÉRIVÉ DE LA VULNERABILITÉ D'UNE PILE

Si une pile est détruite il y a deux genres de dépenses:

$C_1$  = coût de réparation de la partie affectée.

$C_2$  = coût annuel d'interruption du service (allongement des distances de transport, changement des moyens de transport, etc., voir 8)

Le coût total dérivé d'une pile détruite est donc:

$$CA = C_1 + C_2 \cdot t \quad (2.1.)$$

où  $t$  est le temps de la réparation.

Si  $r$  est la durée de la vie utile de l'ouvrage et  $q$  l'année où se produit l'accident, le coût actuel est:

$$CA_q = CA (1 + i)^{-q} \quad (2.2.)$$

ou  $i$  = intérêt annuel de l'argent

Si le flux de bateaux est constant, toutes les années ont la même probabilité d'accident et le coût moyen d'un accident est:

$$CAP = \frac{CA}{r} \sum_{q=1}^r (1+i)^{-q} \quad (2.3.)$$

Si  $m$  est le nombre total d'accidents pendant le temps  $r$ , le coût total des accidents est:

$$CV = m \cdot CAP \quad (2.4.)$$

Si  $n$  est le nombre total de passages pendant le temps  $r$ , on sait que  $0 \leq m \leq n$ , et on peut attribuer une probabilité  $p_m$  à chaque valeur  $m$ .

L'espérance mathématique du coût total des accidents, c'est à dire ce que l'on peut s'attendre à avoir à dépenser, est:

$$E(CV) = \sum_{m=0}^n p_m \cdot m \cdot CAP \quad (2.5.)$$

### 3. PROBABILITÉ DE QUE LA PILE SOIT DÉTRUITE $m$ FOIS

Si  $p_d$  est la probabilité de que la pile soit détruite quand il y a un seul passage, on a:

$$p_m = p_d^m \cdot (1 - p_d)^{n-m} \cdot \frac{n!}{m! (n-m)!} \quad (3.1.)$$

Mais, en réalité, il y a une limite supérieure  $N$  pour  $m$ ,  $N \leq n$ , étant donné que, après un accident qui détruit une pile, il existe un temps mort pendant lequel il ne nous intéresse pas s'il y a d'autres chocs contre la même pile. Nous supposons que nous pouvons considérer comme temps mort le temps  $t$  de réparation de la pile. Le nombre maximum d'accidents pendant la vie utile  $r$  est donc:  $N = r/t$ , et  $0 \leq m \leq N$ .

Si le flux de bateaux est constant, le nombre des bateaux qui passent dans la période  $t$  est  $N_t = n \cdot (t/r)$ . La probabilité de que la pile soit détruite au moins une fois dans cette période est:

$$p_{dt} = 1 - (1 - p_d)^{N_t} \quad (3.2.)$$

La probabilité  $p_m$  doit donc être calculée au moyen de la formule:

$$p_m = p_{dt}^m (1 - p_{dt})^{N-m} \cdot \frac{N!}{m! (N-m)!} \quad (3.3.)$$

et la limite de la somme (2.5.) est  $N$  au lieu de  $n$ .

La probabilité  $p_d$  de qu'une pile soit détruite est le produit de la probabilité de qu'elle soit heurtée  $p_{ch}$  par la probabilité de que le bateau ait une énergie suffisante pour la détruire  $p_e$ :

$$p_d = p_{ch} \cdot p_e \quad (3.4.)$$

La probabilité  $p_{ch}$  est le produit de la probabilité de qu'un bateau soit "sans contrôle" (causation probability)  $p_c$  par la probabilité de que ce bateau heurte effectivement la pile (probabilité géométrique)  $p_g$ :

$$p_{ch} = p_c \cdot p_g \quad (2.5.)$$

La probabilité  $p_c$  est de l'ordre de  $10^{-4}$  [1]; la probabilité  $p_g$  peut être estimée par exemple, d'après Buffon, sous la forme:

$$p_g = \frac{L}{2\pi \cdot d} \quad (L \leq 2d) \quad (3.6.)$$

où  $L$  est la longueur moyenne des bateaux qui passent et  $d$  la distance de la pile considérée au centre du canal de navigation.

La probabilité  $p_e$ , à vitesse de passage uniforme pour tous les bateaux, est égale à la probabilité de que la masse du bateau soit supérieure à une valeur donnée (par une analyse dynamique de la structure). Si la vitesse n'est pas uniforme la probabilité  $p_c$  sera une fonction des probabilités de la vitesse et de la masse.

#### 4. COÛT DE LA PROTECTION

Le coût de la protection est fonction de trois paramètres:

$C_3$  = coût d'installation de la protection

$C_4$  = coût de maintenance

$C_5$  = coût de réparation dans le cas où la protection soit heurtée



Si le coût annuel de maintenance est  $M_a$ , on a :

$$C_4 = M_a \cdot \sum_{q=1}^r (1+i)^{-q} \quad (4.1.)$$

Si nous appelons  $C_r$  le coût de réparation de la protection chaque fois qu'elle est heurtée, le coût moyen pendant la durée de vie utile  $r$  est :

$$C_5 = \frac{C_r}{r} \sum_{q=1}^r (1+i)^{-q} \quad (4.2.)$$

En supposant que le temps mort après un choc est du même ordre que celui du pont, l'espérance mathématique du coût de la protection est :

$$E_{(CD)} = C_3 + C_4 + \sum_{m=0}^N p_m \cdot m \cdot C_5 \quad (4.3.)$$

## 5. EFFICACITÉ DE LA PROTECTION

Toutes les solutions techniques au problème de la protection des piles ne sont pas 100 % efficaces, soit parce qu'elles n'entourent pas complètement la pile, soit parce qu'elles ne supportent pas nécessairement l'énergie cinétique maximum que l'on peut espérer. En effet, on peut démontrer que, en général, il n'est pas économique de prévoir des protections pour cette énergie à moins qu'elle ait une probabilité d'occurrence suffisamment élevée. On doit donc, en général, attribuer à la protection une efficacité  $e$  ( $0 < e \leq 1$ ) qui représente la proportion des chocs qui seront effectivement évités.

Le coût de la protection doit être majoré du coût des chocs contre la pile qui ne seront pas évités :

$$E_{(CDC)} = E_{(CD)} + (1 - e) \cdot E_{(CV)} \quad (5.1.)$$

## 6. LES SYSTÈMES DE PROTECTION DE PLUSIEURS PILES

En général il faut étudier la faisabilité des protections de plusieurs piles, ce que nous appelons un système. La probabilité  $p_{dj}$  de qu'une quelconque des  $j$  piles protégées par le système soit détruite (si le système n'est pas installé), est fonction de la probabilité  $p_{di}$  de chaque pile :

$$p_{dj} = \sum_{i=1}^j p_{di} \quad (6.1.)$$

En ayant compte du temps mort, l'équation (3.2.) s'écrit avec :

$$p_{dt} = 1 - (1 - p_{dj})^{N_{tj}} \quad (6.2.)$$

où le temps  $t_j$  qui définit  $N_{tj}$  est une moyenne pondérée des temps  $t_i$  de réparation des différentes piles protégées par le système :

$$t_j = \sum_{i=1}^j t_i \cdot \frac{p_{di}}{p_{dj}} \quad (6.3.)$$

Les coûts du risque et de la protection doivent être corrigés, pour le système, de façon qu'il puisse être traité comme s'il s'agissait d'une seule pile, comme suit:

$$c_{1j} = \sum_{i=1}^j c_{1i} \cdot \frac{p_{di}}{p_{dj}} \quad (6.4.)$$

$$c_{2j} = c_2 \quad (t = t_j) \quad (6.5.)$$

$$c_{3j} = \sum_{i=1}^j c_{3i} \quad (6.6.)$$

$$c_{4j} = \sum_{i=1}^j c_{4i} \quad (6.7.)$$

$$c_{5j} = \sum_{i=1}^j c_{5i} \cdot \frac{p_{di}}{p_{dj}} \quad (6.8.)$$

et l'efficacité du système devient:

$$e_j = \sum_{i=1}^j e_i \cdot \frac{p_{di}}{p_{dj}} \quad (6.9.)$$

Les espérances mathématiques du coût du risque et du coût de la protection seront différentes de celles qu'on obtiendrait de la somme des valeurs obtenues pour les piles considérées séparément, étant donné que la formule 6.1. n'est pas valable pour  $m$  chocs, ce qui justifie la notion de système.

## 7. FAISABILITÉ

Le système de protection  $j$  est "faisable" s'il remplit la condition:

$$E_{(CV)j} - E_{(CDC)j} > 0 \quad (7.1.)$$

et le nombre des piles à protéger,  $j$ , est celui pour lequel cette différence est maximum. On trouve qu'on peut aussi maximiser cette différence en mélangeant des différentes solutions techniques en fonction des conditions locales à l'endroit de chaque pile (profondeur, distance du canal de navigation, etc.) et que, évidemment, les protections sont d'autant plus faisables que le flux de bateaux est plus grand.



## 8. COÛT D'INTERRUPTION DU SERVICE

L'estimation de la valeur  $C_2$  est très compliquée, en général, sinon impossible pour une durée suffisamment longue  $r$ . On présente donc un critère de calcul basé sur l'hypothèse de que la construction du pont était ou est justifiable économiquement. Si ceci est vrai alors la valeur minimum du bénéfice économique apporté par l'ouvrage annuellement doit être suffisant pour amortir l'investissement - plus les dépenses de la maintenance. Si nous appelons  $B$  le bénéfice annuel minimum,  $I$  l'investissement,  $\alpha I$  la dépense annuelle de la maintenance et  $a$  le taux de retour minimum, on a :

$$B = I \left[ 1 / \sum_{q=1}^r (1+a)^{-q} + \alpha \right] \quad (8.1.)$$

Il peut être suffisant de calculer cette valeur pour définir la faisabilité des protections.

On a :

$$C_2 = B \quad (8.2.)$$

## 9. RÉFÉRENCES

1. MACDUFF, T. Probability of Vessel Collisions. Ocean Industry, Vol. 9, N° 9, Sept. 1974, pag. 144-148.