

« Actions accidentelles rapides »

IMPACT de GROS BATEAUX SUR OBSTACLE FIXE

NF EN 1991-1-7 (déterministe)

Vs

AASHTO 2009/10-Méthode II (probabiliste)

Exemple pratique du Pont d' ITAPARICA (Salvador-BRESIL)

(Avant-projet)

Impact sur les pylônes en mer

par Guy Frémont

« Impact de bateaux sur piles fixes – La problématique »

Le Problème

A l'occasion du Contrôle Externe des études (Groupement des BETs ENESCIL au Brésil et COWI au Danemark) d' Avant-projet du grand Pont d'ITAPARICA (Salvador da Bahia), il apparaît que les pylônes , supposés fixes, de la travée centrale haubanée doivent résister à des impacts très différents (rapport de 3) suivant les deux règlements de calculs suivants:

1. L 'AASHTO « Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision – Design of Highway Bridges » Second Edition, 2009, modifié par les 2010- Interim Revisions, introduisant un calcul semi-probabiliste. C'est le Règlement utilisé en Avant-Projet d' ITAPARICA.

On calcule, pour une résistance donnée du pylône, la probabilité de ruine pour un histogramme donné des trafics et une vitesse donnée de navigation. On vérifie qu'elle est acceptable; sinon, on renforce le pylône jusqu'à ce que le critère soit atteint.

2- La NF EN 1991-1-7 « EUROCODE 1-Partie 7 » de Février 2007, « Actions sur les structures – Partie 1-7: Actions générales - Actions accidentelles ». Elle introduit un calcul déterministe pour « le » bateau choisi, en principe, par le M.Ouv. , parmi les plus gros qui doivent passer « assez fréquemment ».

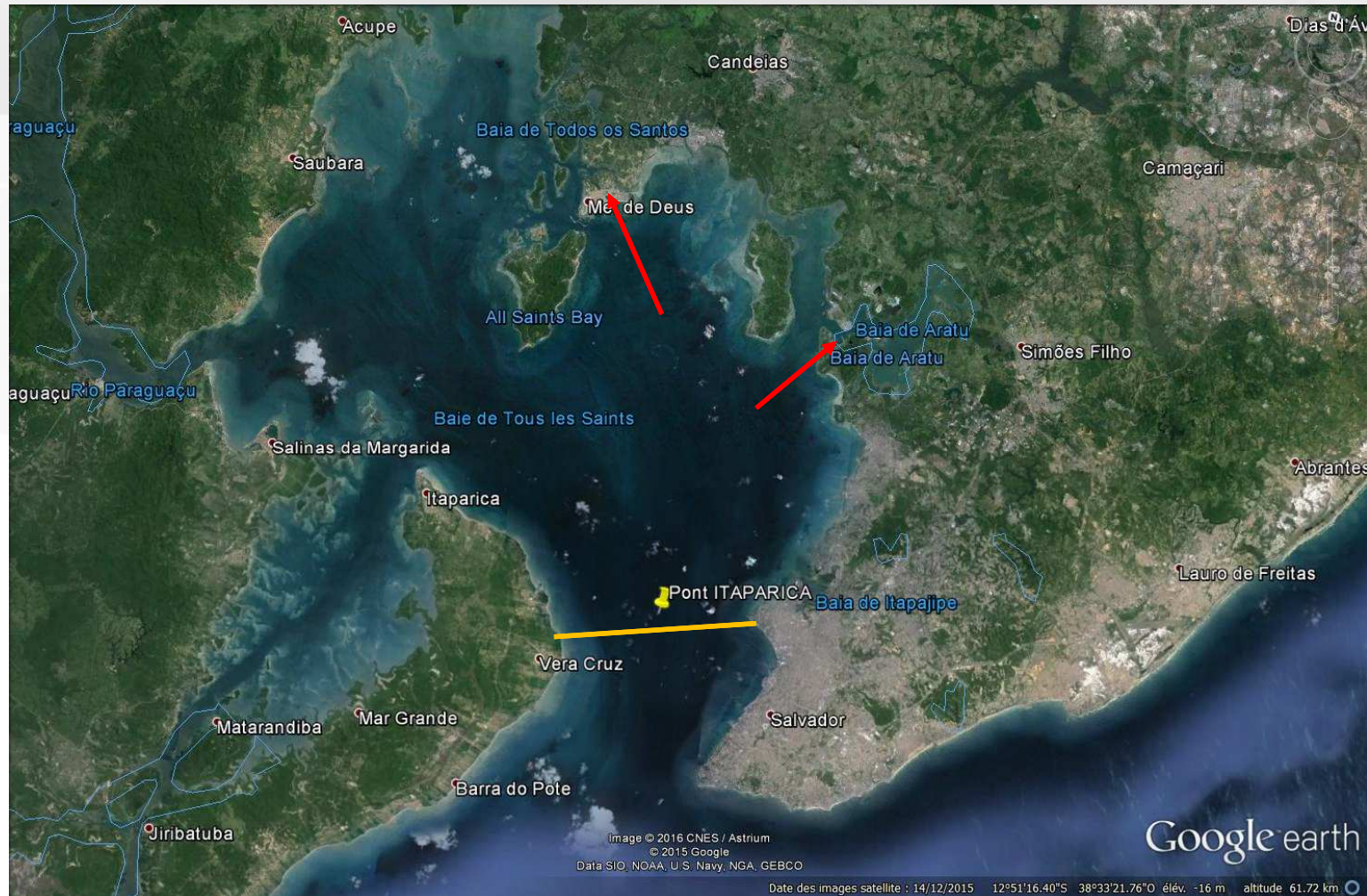
Ce choix implique donc une subjectivité sur un choix capital, mais l'AASHTO aussi comme nous le verrons, mais sur d'autres facteurs. Néanmoins, des pistes d'amélioration de la NF, inspirées de l' AASHTO, paraissent possible.

Cette Présentation a pour but de les exposer.

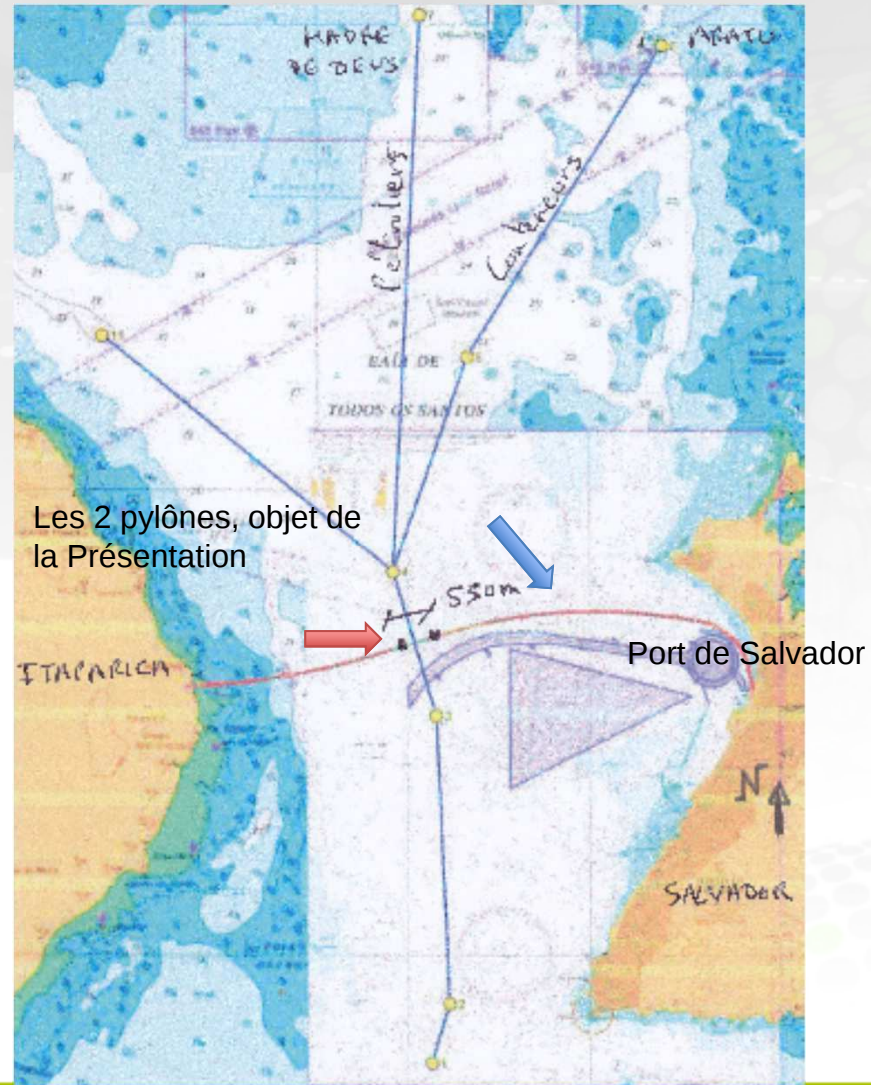
Cas pratique « ITAPARICA » - Le site 1/3



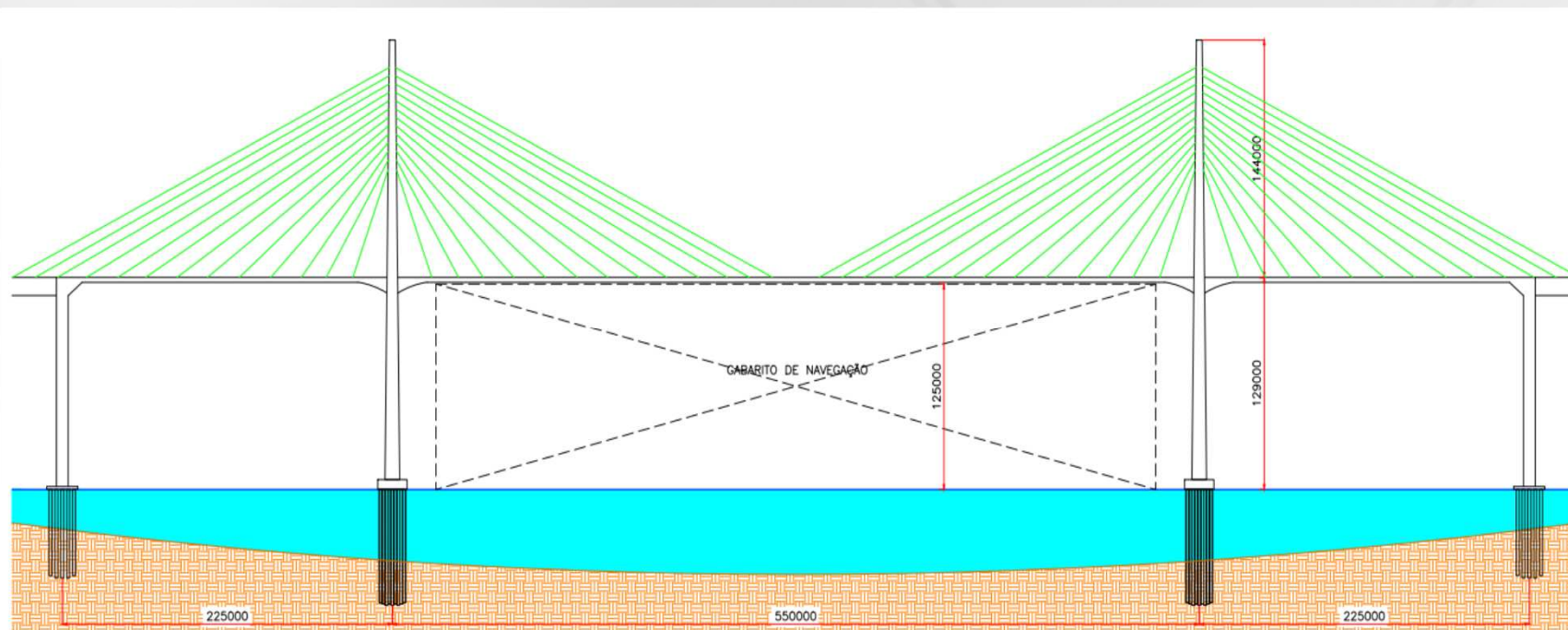
Cas pratique « ITAPARICA » - Le site 2/3



Cas pratique « ITAPARICA » - Le site 3/3



La travée centrale haubanée



Travée centrale de 550 m

Profondeur d'eau au droit des pylônes: 50 m

Fond sableux

Courant (marée): 1 m/s

Largeur massifs de fondation des pylônes: 30 m

Le trafic entre Mai 2013 et Mai 2014

Table 2.1: Equipment of vessels crossing future bridge alignment, extracted from AIS data.

DWT low	DWT up	DWT class	Bulk	Container	General cargo	Other	Passenger	Ro-Ro	Tanker gas	Tanker oil	Grand Total
0	500	1			8	206	10			6	230
1000	1500	3				20					20
1500	2000	4				14					14
2000	2500	5				38					38
2500	3000	6				20					20
3000	3500	7				14				26	40
4000	4500	9							18		18
4500	5000	10				24			8		32
6000	7000	12			6				4	94	104
7000	8000	13			4	2			6		12
8000	9000	14			2				174		176
9000	10000	15							70		70
10000	12000	16	2		4				46	28	80
12000	14000	17			12			22	8	68	110
14000	16000	18			2			36		72	110
16000	18000	19	2		12			56	18	266	354
18000	20000	20	14		12			58	20	194	298
20000	25000	21	6					36	4	42	88
25000	30000	22	32					10	4	52	98
30000	40000	23	172	10	12					250	444
40000	50000	24	44		2					390	436
50000	60000	25	58	2	2					138	200
60000	70000	26	10						4	78	92
70000	80000	27	54						8	200	262
80000	90000	28	26						4	4	34
90000	100000	29								56	56
100000	120000	30								368	368
120000	140000	31								12	12
140000	160000	32								6	6
			420	12	78	338	10	218	396	2350	3822

Seul relevé disponible à ce stade AVP.

Diapositive 7

GF4

Guy Fremont; 15/01/2016

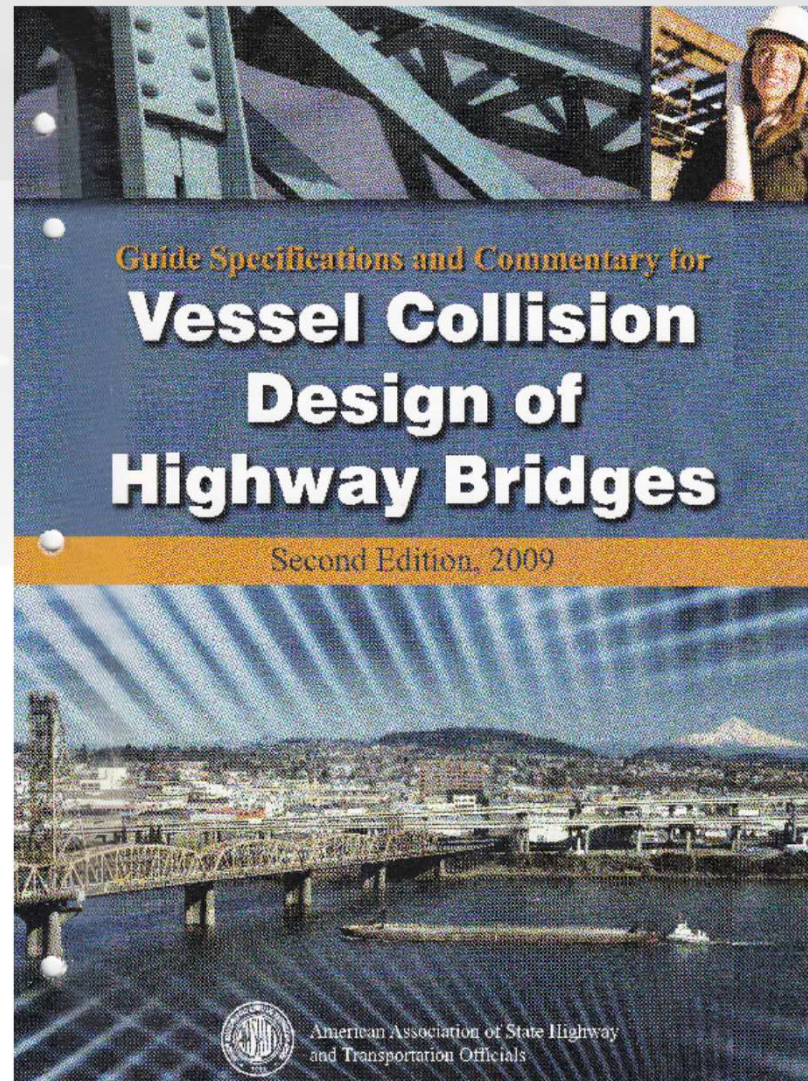
Les bateaux typiques suivant AASHTO

Table 3.5.2-2—Typical Product Carrier/Tanker Ship Characteristics

Ship DWT, tonnes	Length LOA, ft	Beam B_M , ft	Bow Depth, D_B	Fully Loaded		Ballasted		
				Draft D_L , ft	Displacement W_L , tonnes	Draft D_{EB} , ft	Draft D_{ES} , ft	Displacement W_E , tonnes
1,000	187	30.8	25.0	13.8	1,400	3.5	6.9	500
3,000	279	42.0	35.4	19.4	4,100	4.9	9.7	1,500
5,000	335	48.2	41.8	22.6	6,700	5.7	11.3	2,500
10,000	456	62.3	53.6	26.6	13,000	6.7	13.3	4,900
15,000	515	71.2	60.2	29.5	19,300	7.4	14.8	7,200
20,000	561	78.1	65.1	32.2	25,400	8.1	16.1	9,500
25,000	577	83.7	68.7	33.1	31,500	8.3	16.6	11,800
30,000	637	89.2	71.7	34.8	37,500	8.7	17.4	14,100
40,000	692	98.1	75.8	38.4	49,500	9.6	19.2	18,600
50,000	741	105.3	78.5	41.0	61,400	10.3	20.5	23,000
60,000	774	111.5	81.8	42.0	73,200	10.5	21.0	27,500
80,000	853	122.4	83.6	45.6	96,500	11.4	22.8	36,200
100,000	886	128.0	85.0	47.9	119,700	12.0	24.0	44,900
120,000	915	138.9	88.2	50.9	142,600	12.7	25.5	53,500
150,000	955	145.0	90.6	58.7	176,800	14.7	29.4	66,300

LOA 270 m pour DWT 120kt W 140 kt pour DWT 120 kt

PREMIERE METHODE DE CALCUL



Ajouter
Révision 2010

Impact AASHTO – Cas fréquent DWT 120 kT

- ▶ $P = 0,12 * v * DWT^{0,5}$ (formule AASHTO convertie en unités MKS), avec P en MN, v en m/s et DWT en tonnes.
- ▶ Vitesse adoptée de $v = 3,5 \text{ m/s}$ (soient 5 nœuds + 2 nœuds de courant)
- ▶ On trouve alors $P = 145 \text{ MN}$, sans défenses, ducs d'Albe ou flexion des pieux.

Ce calcul est réalisé pour chaque Classe de DWT .

AASHTO 2009 – Annual Frequency of collapse AF

4.8.3 Annual Frequency of Collapse

The annual frequency of bridge element collapse shall be computed by:

$$AF = (N)(PA)(PG)(PC)(PF) \quad (4.8.3-1)$$

where:

AF = annual frequency of bridge element collapse due to vessel collision;

N = annual number of vessels classified by type, size, and loading condition which can strike the bridge element;

PA = probability of vessel aberrancy;

PG = geometric probability of a collision between an aberrant vessel and a bridge pier or span;

PC = probability of bridge collapse due to a collision with an aberrant vessel; and

PF = adjustment factor to account for potential protection of the piers from vessel collision due to upstream or down stream land masses, or other structures, that block the vessel.

AF shall be computed for each bridge element and vessel classification. The summation of all element AF s equals the annual frequency of collapse for the entire bridge structure.

4.8.3.1 Vessel Frequency (N)

A vessel frequency distribution shall be determined for the bridge site. The number of vessels, N , passing under the bridge based on size, type, and loading condition and available water depth shall be developed for each pier and span element to be evaluated. Depending on waterway conditions, a differentiation between the number and loading condition of vessels transiting inbound and outbound may also be required.

The vessel frequency distribution for vessels should be developed and modeled using DWT classification intervals appropriate for the waterway vessel traffic. Guidelines are provided in the Commentary.

C4.8.3

Various types of risk assessment models have been developed for vessel collision with bridges by researchers worldwide (IABSE Colloquium). Practically all of these are based on a similar form of Guide Specification Eq. 1, which is used to compute the annual frequency of bridge collapse, AF , associated with a particular bridge element. Summation of AF for each element in the bridge results in the AF for the entire bridge as a whole. The inverse of the AF (i.e., $1/AF$) is equal to the return period (in years).

C4.8.3.1

Sources for obtaining vessel frequency data are discussed in Article C3.4. In order to use Method II, a determination of the number of vessels (N) and their size (DWT) must be made for each bridge element to be evaluated. The number of vessels that could strike a pier or span is based on the water depth and the draft of the vessel. Ballasted as well as loaded vessels should be included in the analysis.

The designer must use judgment in developing a distribution of the vessel frequency data based on discrete groupings or categories of vessel size by DWT . It is recommended that the DWT intervals used in developing the vessel distribution not exceed 20,000 DWT for vessels smaller than 100,000 DWT and not exceed 50,000 DWT for ships larger than 100,000 DWT . An example of vessel distribution is shown in Table C1.

In developing the vessel distribution, the designer should first establish the number and characteristics of the vessels using the navigable waterway under the bridge. Since the water depth limits the size of vessel that

Probabilité cumulée de collision

AF = $N * PA * PG * PC * PF = 10^{-4}$,
pour « Critical/Essential Bridges »,
soit « un » choc désastreux en « 10 000 ans »,
compte tenu du niveau de responsabilité
(pertes humaines, pollution, mise HS du pont,
...)

Coefficient recommandé aussi par l'ISO CD
10252

$$\text{AASHTO } AF = N * PA * PG * PC * PF$$

- ▶ N = Nombre annuel de bateaux dans chaque Classe de DWT
- ▶ PA= Probabilité d'Aberrance, à calculer
- ▶ PG= probabilité Géométrique, suivant distribution gaussienne sur largeur passe et largeur du massif de fondation, à calculer
- ▶ PF= prise en compte de la protection par ducs d'Albe(Fenders)
- ▶ PC= probabilité de ruine (Collapse), pour une résistance donnée H , suivant formules:
 $PC = (1 - H/P)/9$, pour H/P entre 0,10 et 1,00
 $PC = 0,1 + 9 * (0,1 - H/P)$ pour H/P moins de 0,10.

$$\text{AASHTO AF} = N * PA * PG * PC * PF$$

- N = Nombre annuel de bateaux dans chaque Classe de DWT

Table 2-1 Population of vessels crossing the bridge segment, extracted from AIS data.

DWT low	DWT up	DWT class	Bulk	Container	General cargo	Other	Passenger	Ro-Ro	Tanker gas	Tanker oil	Grand Total
0	500	1			8	206	10			6	230
1000	1500	3				20					20
1500	2000	4				14					14
2000	2500	5				38					38
2500	3000	6				20					20
3000	3500	7				14				26	40
4000	4500	9							18		18
4500	5000	10				24			8		32
6000	7000	12			6				4	94	104
7000	8000	13			4	2			6		12
8000	9000	14			2				174		176
9000	10000	15							70		70
10000	12000	16	2		4				46	28	80
12000	14000	17			12			22	8	68	110
14000	16000	18			2			36		72	110
16000	18000	19	2		12			56	18	266	354
18000	20000	20	14		12			58	20	194	298
20000	25000	21	6					36	4	42	88
25000	30000	22	32					10	4	52	98
30000	40000	23	172	10	12					250	444
40000	50000	24	44		2					390	436
50000	60000	25	58	2	2					138	200
60000	70000	26	10						4	78	92
70000	80000	27	54						8	200	262
80000	90000	28	26						4	4	34
90000	100000	29								56	56
100000	120000	30								368	368
120000	140000	31								12	12
140000	160000	32								6	6
			420	12	78	338	10	218	396	2350	3822

$$AF = N * PA * PG * PC * PF$$

► PA Probabilité d' Aberrance = $BR * Rb * Rc * Rxc * Rd$

- BR= Base incompressible $0,6 * 10^{-4}$, pour bateaux pilotés
- Rb = tient compte du virage d' angle tête pour aborder la passe perpendiculairement= $(1 + \text{tête}/90)$
ITAPARICA: tête= 34° d' où Rb= 1,38
- Rc = tient compte du courant suivant axe navigation = $(1+Vc/10)$
ITAPARICA: Vc = 1,9 nœuds, d' où R= 1,19
- Rxc= idem mais transversalement = $(1 + 0,30 * Vc)$
ITAPARICA: Vc = 1,9 nœuds, d' où R= 1,57
- Rd = prise en compte de la densité de trafic
ITAPARICA: 1,30, correspondant à une intensité « moyenne » de trafic
(1,0 si faible - 1,6 si intense)

Soit pour ITAPARICA : $PA = 0,6 * 1,38 * 1,19 * 1,57 * 1,30 * 10^{-4} = 2,0 * 10^{-4}$

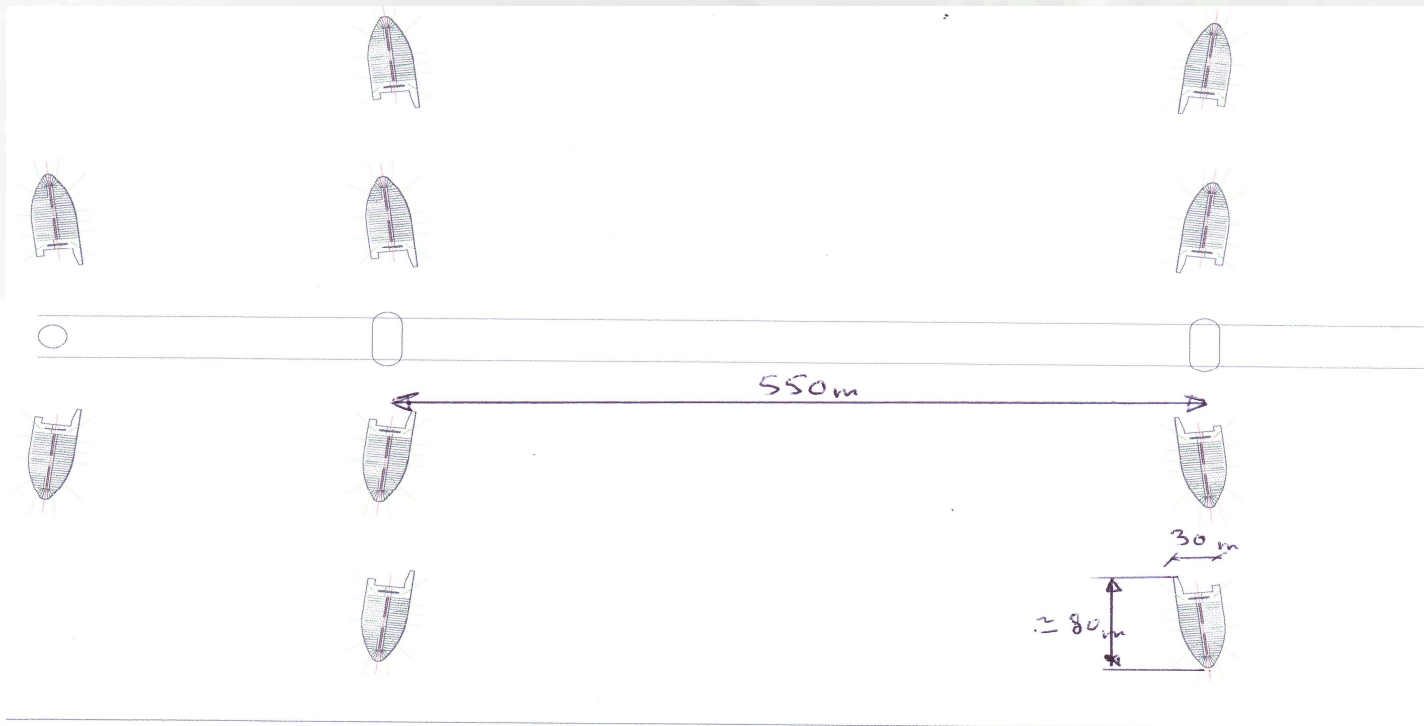
$$AF = N * PA * \text{PG} * PF * PC$$

DISTRIBUTION NORMALE (Gauss)

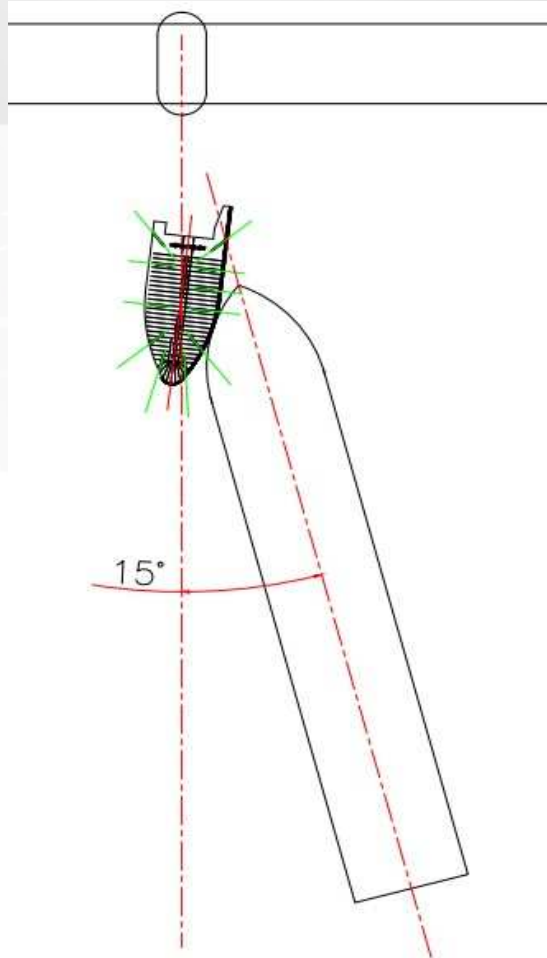
densité y =	$e^{-0,5 \cdot (x/\sigma)^2}$		
	$\sigma \cdot \sqrt{2\pi}$		
σ	= longueur bateau	300	m
x	=distance/axe chenai (centre travée)		
D	275 m/eixo		
Largeur massif	Largeur bateau	Total largeur B	
50 (y.c biais)	35	85	m
PG =	0,0743	à x=550m/2 et sur B=85 m	

$$AF = N * PA * PG * \textcolor{red}{PF} * PC$$

Pour ITAPARICA, avec le système de défenses ARUANA,



$$AF = N * PA * PG * \textcolor{red}{PF} * PC$$



Suivant § C4.8.3.5,
 $PF = 1 - (\% \text{protection provided} / 100)$

50% de protection supposé par ce système en
« frontal », où l' énergie est reprise par:

1. les déformations plastiques du caisson métallique
2. la rectification des lourdes chaines d' ancrage
3. le frottement des masses (160 t) de béton, accrochées aux chaînes, sur le fond sableux.

En « latéral » (bateau dévié), c'est 50% du choc frontal.

Soit $PF = 0,50$

$$AF = N * PA * PG * PF * PC$$

- $PC = AF / (N * PA * PG * PF)$, probabilité de ruine, pour chaque Classe DWT. On somme ensuite.

D' où la résistance ultime nécessaire des pylônes d' ITAPARICA.

Calcul de H en première approximation avec $N=400$ et DWT 120 kT, « avec défenses » ($PF=0,50$):

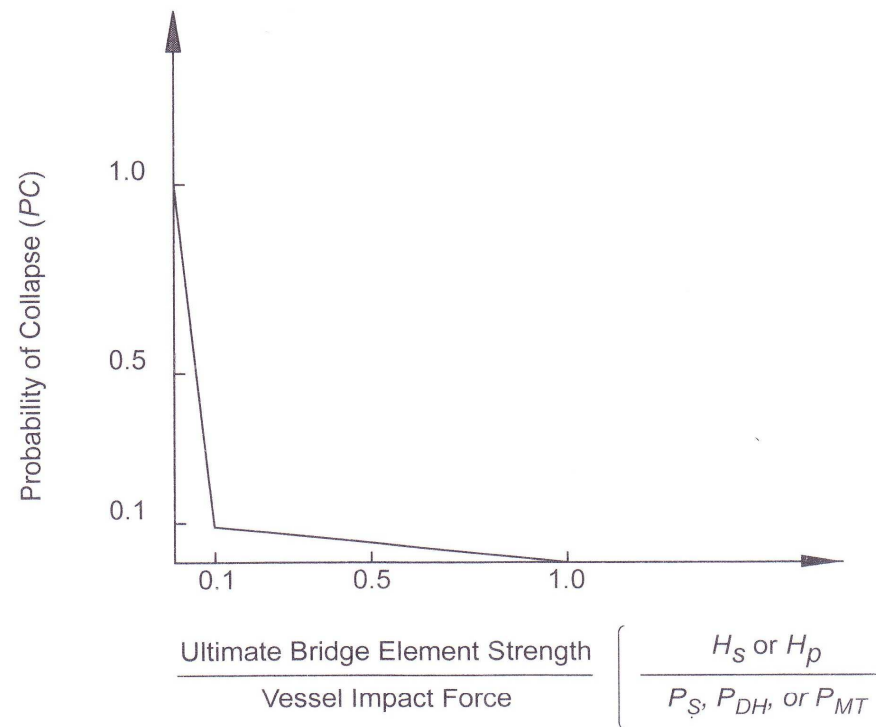
$$PC = (10^{-4}) / (400 * 2 * 10^{-4} * 0,0743 * 0,50) = 0,034,$$

$$H = (1 - 9 * 0,34 P), H = 70\% P, \text{ soient } 100 \text{ MN avec } P \text{ AASHTO } 145 \text{ kT}$$

Cette valeur est ensuite ajustée lors de la sommation.

Un calcul plus précis, suivant la courbe $PC =$ fonction de (H/P) de l' AASHTO et l' histogramme des navires conduit à 110 MN « avec défenses » et 125 MN « Sans défenses », considérant une vitesse de 3,5 m/s (7 nœuds)

$$AF = N * PA * PG * PF * PC$$



Calcul pour chaque Classe DWT

Figure 4.8.3.4-1—Probability of Collapse Distribution

$$AF = N * PA * PG * PF * PC$$

si PF=0,50 (choc frontal dévié par défenses, ou latéral)

DWT min	DWT max	Nombre bateaux			Défenses								
Tonnes	Tonnes	N	PA	PG	PF	H/P	PC	AF*10 ⁴	P Woisin				
-	1 000	230	0,0002	0,074	0,5	8,28	0	0	13				
1 000	1 500	20	0,0002	0,074	0,5	6,76	0	0	16				
1 500	2 000	14	0,0002	0,074	0,5	5,86	0	0	19				
2 000	2 500	38	0,0002	0,074	0,5	5,24	0	0	21	Vitesse=	3,5 m/s (7 nœuds, 5 + 2)		
2 500	3 000	20	0,0002	0,074	0,5	4,78	0	0	23				
3 000	3 500	40	0,0002	0,074	0,5	4,43	0	0	25	Ruine pylône=	110 MN		
4 000	4 500	18	0,0002	0,074	0,5	3,90	0	0	28				
4 500	5 000	32	0,0002	0,074	0,5	3,70	0	0	30				
6 000	7 000	104	0,0002	0,074	0,5	3,13	0	0	35				
7 000	8 000	12	0,0002	0,074	0,5	2,93	0	0	38				
8 000	9 000	176	0,0002	0,074	0,5	2,76	0	0	40				
9 000	10 000	70	0,0002	0,074	0,5	2,62	0	0	42				
10 000	12 000	80	0,0002	0,074	0,5	2,39	0	0	46				
12 000	14 000	110	0,0002	0,074	0,5	2,21	0	0	50				
14 000	16 000	110	0,0002	0,074	0,5	2,07	0	0	53				
16 000	18 000	354	0,0002	0,074	0,5	1,95	0	0	56				
18 000	20 000	298	0,0002	0,074	0,5	1,85	0	0	59				
20 000	25 000	88	0,0002	0,074	0,5	1,66	0	0	66				
25 000	30 000	98	0,0002	0,074	0,5	1,51	0	0	73				
30 000	40 000	444	0,0002	0,074	0,5	1,31	0	0	84				
40 000	50 000	436	0,0002	0,074	0,5	1,17	0	0	94				
50 000	60 000	200	0,0002	0,074	0,5	1,07	0	0	103				
60 000	70 000	92	0,0002	0,074	0,5	0,99	0,00	0,01	111				
70 000	80 000	262	0,0002	0,074	0,5	0,93	0,01	0,16	119				
80 000	90 000	34	0,0002	0,074	0,5	0,87	0,01	0,04	126				
90 000	100 000	56	0,0002	0,074	0,5	0,83	0,02	0,08	133				
100 000	120 000	368	0,0002	0,074	0,5	0,76	0,03	0,74	145				
120 000	140 000	12	0,0002	0,074	0,5	0,70	0,03	0,03	157				
140 000	160 000	6	0,0002	0,074	0,5	0,65	0,04	0,02	168				
		3822						1,07					
								OK					

Pylône pour
110 MN
à la rupture

par approximations
pour atteindre

$$AF=1 \times 10^{-4}$$

$$AF = N * PA * PG * PF * PC$$

si PF=1.0 (choc frontal, sans défenses)

DWT min	DWT max	Nombre bateaux			Défenses								
Tonnes	Tonnes	N	PA	PG	PF	H/P	PC	AF*10 ⁴	P Woisin				
-	1 000	230	0,0002	0,074	1	9,41	0	0	13				
1 000	1 500	20	0,0002	0,074	1	7,68	0	0	16				
1 500	2 000	14	0,0002	0,074	1	6,65	0	0	19				
2 000	2 500	38	0,0002	0,074	1	5,95	0	0	21	Vitesse	3,5 m/s (7 nœuds, 5 + 2)		
2 500	3 000	20	0,0002	0,074	1	5,43	0	0	23				
3 000	3 500	40	0,0002	0,074	1	5,03	0	0	25	Ruine pylône	125 MN		
4 000	4 500	18	0,0002	0,074	1	4,44	0	0	28				
4 500	5 000	32	0,0002	0,074	1	4,21	0	0	30				
6 000	7 000	104	0,0002	0,074	1	3,56	0	0	35				
7 000	8 000	12	0,0002	0,074	1	3,33	0	0	38				
8 000	9 000	176	0,0002	0,074	1	3,14	0	0	40				
9 000	10 000	70	0,0002	0,074	1	2,98	0	0	42				
10 000	12 000	80	0,0002	0,074	1	2,72	0	0	46				
12 000	14 000	110	0,0002	0,074	1	2,52	0	0	50				
14 000	16 000	110	0,0002	0,074	1	2,35	0	0	53				
16 000	18 000	354	0,0002	0,074	1	2,22	0	0	56				
18 000	20 000	298	0,0002	0,074	1	2,10	0	0	59				
20 000	25 000	88	0,0002	0,074	1	1,88	0	0	66				
25 000	30 000	98	0,0002	0,074	1	1,72	0	0	73				
30 000	40 000	444	0,0002	0,074	1	1,49	0	0	84				
40 000	50 000	436	0,0002	0,074	1	1,33	0	0	94				
50 000	60 000	200	0,0002	0,074	1	1,22	0	0	103				
60 000	70 000	92	0,0002	0,074	1	1,12	0	0,00	111				
70 000	80 000	262	0,0002	0,074	1	1,05	0	0,00	119				
80 000	90 000	34	0,0002	0,074	1	0,99	0,00	0,00	126				
90 000	100 000	56	0,0002	0,074	1	0,94	0,01	0,05	133				
100 000	120 000	368	0,0002	0,074	1	0,86	0,02	0,85	145				
120 000	140 000	12	0,0002	0,074	1	0,80	0,02	0,04	157				
140 000	160 000	6	0,0002	0,074	1	0,74	0,03	0,03	168				
		3822						0,98					
								OK					

Pylône pour
125 MN
à la rupture

Par approximations
pour atteindre

$$AF=1*10^{-4}$$

DEUXIEME METHODE DE CALCUL

EUROCODE 1 – Actions sur les structures

Partie 1-7 : Actions accidentelles

§ C.4.4 Calcul avancé du choc d'un bateau de navigation maritime

§ C.4.4 Choc d'un bateau de navigation maritime

C.4.4 Calcul avancé du choc d'un bateau de navigation maritime

(1) La valeur de calcul de la force dynamique d'impact pour des navires marchands de tonnage compris entre 500 et 300 000 tonnes de port en lourd (DWT) peut être déterminée à partir de l'expression (C.11) :

$$F_{\text{bow}} = \begin{cases} F_0 \cdot \bar{L} \left[\bar{E}_{\text{imp}} + (5,0 - \bar{L}) \bar{L}^{1,5} \right]^{0,5} & \text{pour } \bar{E}_{\text{imp}} \geq \bar{L}^{2,6} \\ 2,24 \cdot F_0 \left[\bar{E}_{\text{imp}} \bar{L} \right]^{0,5} & \text{pour } \bar{E}_{\text{imp}} < \bar{L}^{2,6} \end{cases} \quad \dots (C.11)$$

où :

$$\bar{L} = L_{\text{pp}} / 275 \text{ m}$$

$$\bar{E}_{\text{imp}} = E_{\text{imp}} / 1\,425 \text{ MNm}$$

$$E_{\text{imp}} = \frac{1}{2} m_x v_r^2$$

et

F_{bow} est la force maximale d'impact par l'avant [MN] ;

F_0 est la force d'impact de référence (210 MN) ;

E_{imp} est l'énergie à absorber par déformation plastique ;

L_{pp} est la longueur du navire [m] ;

m_x la masse plus la masse ajoutée correspondant au mouvement longitudinal [10^6 kg] ;

v_r est la vitesse de navigation (vitesse d'impact) du navire, $v_r = 5 \text{ m/s}$ (dans les ports : $2,5 \text{ m/s}$).

(2) Des modèles probabilistes des variables de base qui déterminent l'énergie de déformation ou le comportement au choc du bateau peuvent être utilisés lorsque la détermination de la valeur de calcul de la force d'impact est basée sur des méthodes probabilistes.

(3) À partir du bilan énergétique, la pénétration maximale s_{max} est déterminée à l'aide de l'expression (C.12) :

$$s_{\text{max}} = \frac{\pi E_{\text{imp}}}{2 F_{\text{bow}}} \quad \dots (C.12)$$

(4) La durée d'impact associée, T_0 , est représentée par l'expression (C.13) :

$$T_0 \approx 1,67 s_{\text{max}} / v_r \quad \dots (C.13)$$

(5) Lorsque cela n'est pas spécifié par le projet individuel, une vitesse de navigation v_r (vitesse d'impact) de 5 m/s , corrigée de la vitesse de l'eau, est recommandée ; dans les ports, la vitesse peut être supposée égale à $2,5 \text{ m/s}$.

Pas de défenses

§ C.4.4 Choc d'un bateau DWT 120 000 t Cas fréquent

DWT	120 kt	Choix	Conservateur	150 kt par	précaution ?
mx	160 Mt	dont 20 de masse ajoutée			
Vitesse Vr	3,5 m/s	7 nœuds	(dont 2	pour courant)	
Eimp	$0,5 \cdot mx \cdot Vr^2$		980 MJ		
Longueur Lpp	270 m	LOA			
EUROCODE 1 Part 1-7		§ C.4.4			
$\underline{L}$	0,98				
Force d'impact de référence		Fo	210 MN		
$\underline{L}^{2,6}$	0,95				
$\underline{Eimp}/1425$	0,69	inf. à	0,95 d'où 2ème formule (C11)		
Impact	390 MN				

Avec DWT 150 Mt,
« rare »
Impact 460 MN

Encore à x 1,30
pour effet
dynamique sur la
structure

EUROCODE 1 – Part 7 Vs AASHTO 2009/Revision 2010

MENTARY FOR VESSEL COLLISION DESIGN OF HIGHWAY BRIDGES

government, however a probability value of $p = 1 \times 10^{-4}$ is recommended in the code as a representative acceptance value in determining the risk that the accidental action might occur. This Eurocode risk acceptance value is the same as the 1 in 10,000 year Critical/Essential Bridge acceptance criteria found in the AASHTO vessel collision requirements.

Recent investigations associated with the Great Belt Bridge in Denmark (Larsen 1993, and Pedersen 1993), have indicated that the maximum ship impact force over time should be considered in the vessel collision analysis and protection system design, rather than the average impact force over time recommended by the AASHTO Specifications, and in Eurocode 1, Part 2.7 which had a similar equation which resulted in only slightly higher ship impact forces. Sophisticated time-domain computer finite element analysis studies and low strain rate (essentially “static”) physical model tests of ship bows conducted by Pederson in Denmark, have indicated a time-history behavior different than that measured by Woisin (Figure C1). It is possible that the differences indicated in Figure C1 are attributable to the dynamic versus static methods used in the physical model tests.

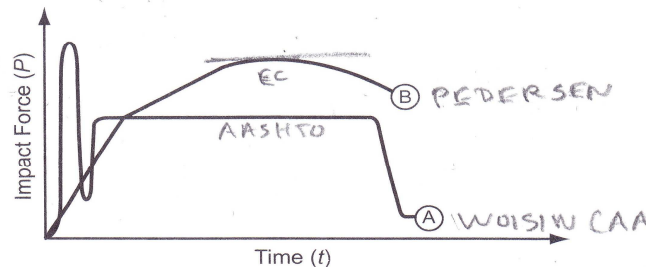


Figure C3.9.1-1—Comparison of Ship Impact Force Time Histories by Woisin (A), and recent research by Pedersen (B).

The consequences of using the maximum impact force for design are significant, since the impact force is approximately twice the average value. A comparison of typical ship impact forces (taken from Table C1. in the current Eurocode based on Pedersen's equations) with similar forces from AASHTO are shown in Table C1. The forces in this table are based on an impact speed of 10 knots, with the Eurocode ship impact forces based on Pederson's equations for computing the maximum impact force.

Les calculs EF et essais montreraient des valeurs de pointe (EC- Pedersen) doubles des valeurs moyennes (AASHTO- Woisin).

« C'est ce max. qu'il faudrait considérer et non la valeur moyenne AASHTO »,
ce qui conforterait les formules EUROCODES, mais en calcul dynamique de choc?

« Mais les différences sont peut-être liées aux méthodes d'essai dynamiques Vs statiques. »

EUROCODE 1 – Part 7 Vs AASHTO 2009/10

Table C3.9.1-1—Comparison of Ship Impact Forces

Ship Description	Eurocode		AASHTO
	Displacement • Tonnage	Impact Force (kips)	Impact Force (kips)
Small Ship	3,000	6,750	6,900
Medium Ship	10,000	18,000	12,300
Large Ship	40,000	54,000	25,800
Very Large Ship	100,000	103,500	41,300

A significant difference between the Eurocode and the AASHTO code is that the Eurocode recommends that the quasi-static impact forces in Table C1 (which include the dynamic effects of the colliding ship, but not in the structure) be increased by multiplying by an appropriate dynamic amplification factor. The Eurocode recommends a dynamic amplification factor of 1.3 for frontal (head-on) impacts and 1.7 for lateral impacts. The recommended Eurocode lateral impact forces for ship collision are based on a value equal to 50 percent of the head-on impact force (similar to AASHTO).

Recent research using state-of-the-art numerical finite element model (FEM) simulations of ship collisions against a concrete bridge pier have been carried out by the Tongji University, Shanghai, China. The simulations computed dynamic impact forces for a head-on collision of a 50,000 ton bulk carrier against a rigid wall vs. time, compared with the estimated equivalent static loads from the various formulas mentioned above. Naturally, the simplified code equations can only give rough estimations for impact loads. The AASHTO and Eurocode equivalent loads appear to lie on the safe side when compared with Tongji's calculated dynamic values, whereas the Pedersen equation gives about double those values.

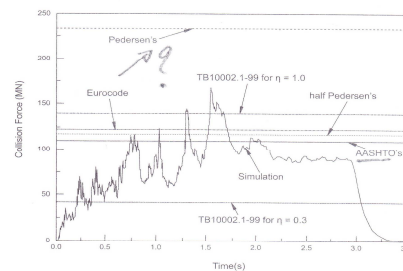


Figure C3.9.1-2—Dynamic Ship Collision Force vs. Time for a Rigid Wall Impact to Simulate Equivalent Static Loads

Pour Déplacement 100 Kt, rapport 2,5 !

Incohérence du graphique avec tableau, à éclaircir.

EUROCODE 1 – Part 7 Vs AASHTO 2009/10

Ship Collisions with Pile-Supported Structures—Estimates of Strength and Ductility Requirements

Linh Cao Hoang, Prof.; Marie Lützen, Asst. Prof.; Institute of Technology and Innovation, University of Southern Denmark, Denmark. Contact: lch@iti.sdu.dk
DOI: 10.2749/101686612X13363929518054

Abstract

This paper describes an analytical approach for design of pile-supported structures subjected to ship collisions. The main problem being addressed is how deformation of both ship and structure, in a simple way, can be taken into account when determining the collision force. Such an approach will lead to more accurate calculations of the maximum collision force as compared to methods, which assume the impact energy to be absorbed solely by ship deformations. The approach described here requires knowledge about the load-deformation characteristics of the structure and the ship. A major challenge in this context is to establish the so called load-indentation curves for ships. The paper demonstrates a principle to establish load-indentation curves, which, in a mechanically consistent way, are linked to the Eurocode collision force formula. The obtained load-indentation curves have been used to develop analytical criteria for strength and ductility assessment of pile-supported structures. Calculations based on the outlined approach show that the maximum collision force reduces significantly as compared to calculations, where the deformation capacity of the structure is disregarded. The reduction of the maximum collision force can be transformed into similar reduction of the required number of piles.

Keywords: ship collisions; Eurocode 1; piles; piers; bridge protection structures; deformation capacity; load-indentation curves.

Introduction

The mechanical phenomena involved in a ship-structure collision event are complex and can only be analysed in detail by simulation with nonlinear FE models.¹ Such an approach, however, is not suitable for many design situations. This is particularly true for the tender and preliminary design phase, where several structural concepts and layouts are usually considered; often in conjunction with risk analyses. To this end, simple and design oriented methods allowing efficient parametric studies are desirable.

In practice, it is normal to design the impacted structure to withstand an equivalent static collision force. For this purpose, a number of formulas for calculation of the collision force have been proposed in the literature, see e.g. Refs [2,3,4]. One of these formulas, proposed in Ref. [4], has been adopted

in the Eurocode 1.⁵ This formula is based on results of numerical simulations of ships colliding with an infinite rigid wall. For head-on bow collision, the formula reads:

$$F_c = \begin{cases} 2,24 \cdot F_0 \left[\bar{E}_{def} \cdot \bar{L}_s \right]^{0,5} & \text{for } \bar{E}_{def} < \bar{L}_s^{2,6} \quad (a) \\ F_0 \cdot \bar{L}_s \left[\bar{E}_{def} + (5 - \bar{L}_s) \bar{L}_s \right]^{0,5} & \text{for } \bar{E}_{def} \geq \bar{L}_s^{2,6} \quad (b) \end{cases} \quad (1)$$

Here $\bar{L}_s = L_s/L_0$ and $\bar{E}_{def} = E_{def}/E_0$, where L_s (also referred to as L_{pp}) is the length between the perpendiculars and E_{def} is the energy absorbed by ship deformation. $L_0 = 275$ m, $E_0 = 1425$ MNm and $F_0 = 210$ MN are reference values. According to Eurocode 1,³ E_{def} should be taken as the kinetic energy, $E_{kin} = 0,5 m_s v^2$, where v is the initial speed and $m_s = 1,05 m$ is the mass of the ship plus 5% added mass representing the hydrodynamic contribution of the surrounding water. Equation (1) is valid for 500 to 250,000 deadweight tonnage (DWT) vessels.

Although simple to use, Eq. (1) has some disadvantages. First, the equation

overestimates the maximum collision force when dealing with flexible structures. As for example seen from the FE simulations in Ref. [1], the maximum collision force is considerably lower for impact against a pile-supported pier than against a rigid wall. Second, the equation can only be used for strength verification and sizing of members, whereas, structural ductility cannot be accounted for. In other words, the ability of the structure to dissipate energy (for example obtained by the use of highly ductile reinforcement steel) cannot be utilised to verify the structural integrity.

To determine the maximum collision force with account for energy dissipation by both ship and structure, one may use three-dimensional (3D) nonlinear FE simulations as mentioned above. It is also possible to carry out less time consuming simulations if the detailed 3D FE model of the ship is replaced by a lumped mass attached to a nonlinear spring to represent the vessel characteristics.⁶ This approach

is, however, still not suitable for parametric studies and risk-based designs.

Risk-based designs are usually performed in three steps covering estimation of the probability of collisions, analysis of the consequences and recommendations for decision-making. A practical example of risk-based design has been demonstrated in Ref. [7]. As the procedure requires consideration of many different scenarios, a simplified model is preferable.

In this paper, a simple approach for assessment of strength and ductility of pile-supported structures subjected to head-on ship collisions will be

Un article intéressant de l'Université du Danemark:

L'influence de la flexibilité des pieux

A noter, que les formules de choc prises en compte dans l'article sont celles EUROCODE.

Peer-reviewed by international experts and accepted for publication by SFI Editorial Board

Paper received: February 20, 2012
Paper accepted: April 10, 2012

Structural Engineering International 3/2012

Scientific Paper 359

CONCLUSIONS

Problématiques:

1-Dans l' EC, quel choix du DWT sans recourir à une analyse probabiliste type AASHTO?

2-La valeur du choc pour un bateau donné DWT/W/LOA/Vitesse :

Par exemple, avec un DWT 120 kt, l'AASHTO donne 145 MN, à comparer avec 390 MN en EC , encore à multiplier par le coefficient dynamique de 1,30.

Ou bien 145 en calcul pseudo-statique et 390 en calcul dynamique type « choc »?

3-La prise en compte de protection, défenses ou ducs d'Albe...dans les deux Règlements, en déviation de trajectoire et diminution de vitesse d'impact.

Intéressants dans l' AASHTO:

La prise en compte de l' histogramme des trafics, de l' éloignement de la pile/axe chenal, de la courbure en plan du chenal, de l'intensité du trafic, ...

et aussi: La bande d' impact possible/ axe chenal (2 x 1800m en AASHTO)

CHOCS de BATEAUX

EUROCODE 1–Part 7 Vs AASHTO 2009/Rev 2010

MERCI de votre attention