



Mardi 27 mars 2012
Lundi 2 et mardi 3 avril 2012

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence

Journées techniques
organisées avec l'appui du Sétra
et sous l'égide de la CoTITA

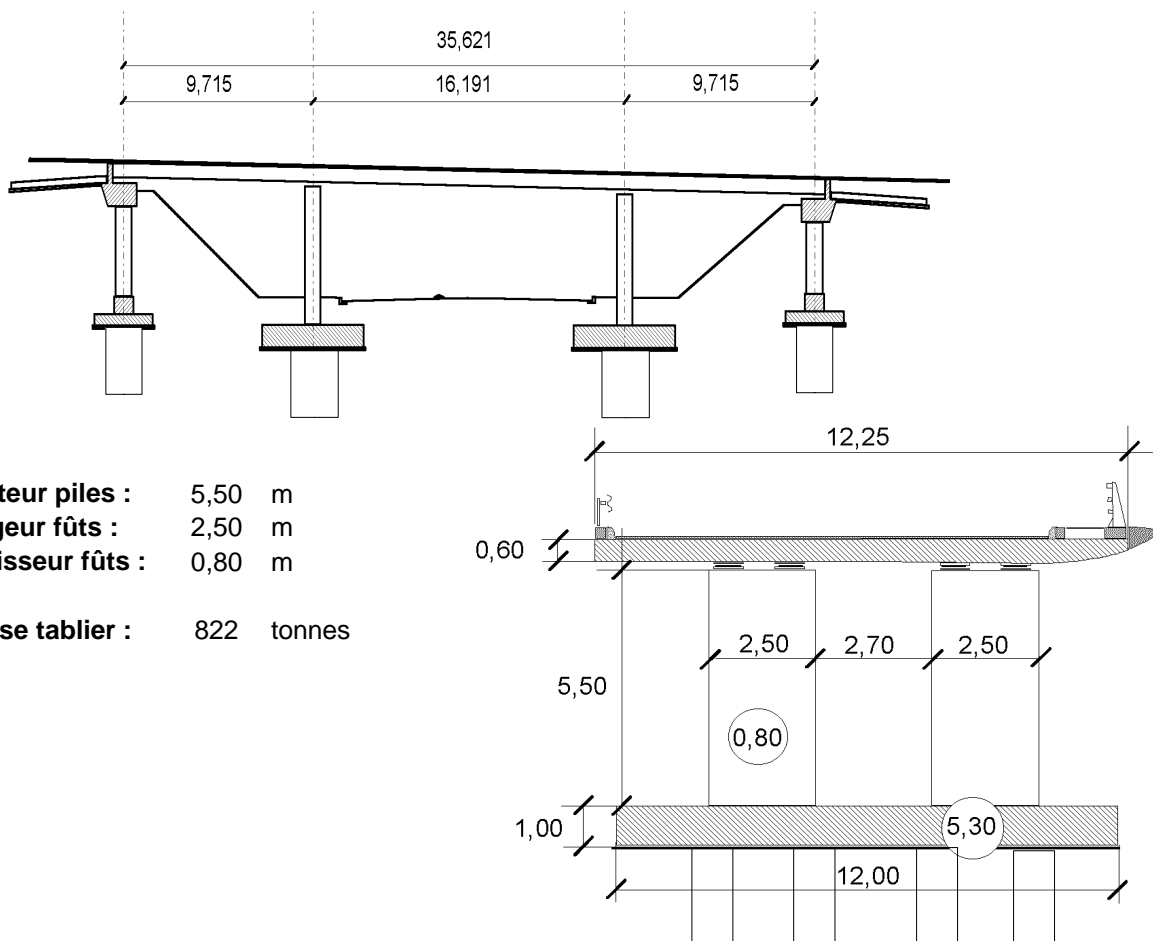
PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Exemples de calculs sismiques Cas d'un pont dalle courant (corrigé)

D. DAVI

DONNEES D'OUVRAGE

Géométrie : 3 travées : 9,715 m - 16,191 m - 9,715 m
Biais : 100 g



Hauteur piles : 5,50 m
Largeur fûts : 2,50 m
Épaisseur fûts : 0,80 m
Masse tablier : 822 tonnes

Caractéristiques matériaux :

Béton : C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$E = 34\,077 \text{ MPa}$$

$$\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$$

Acier : Fe 500

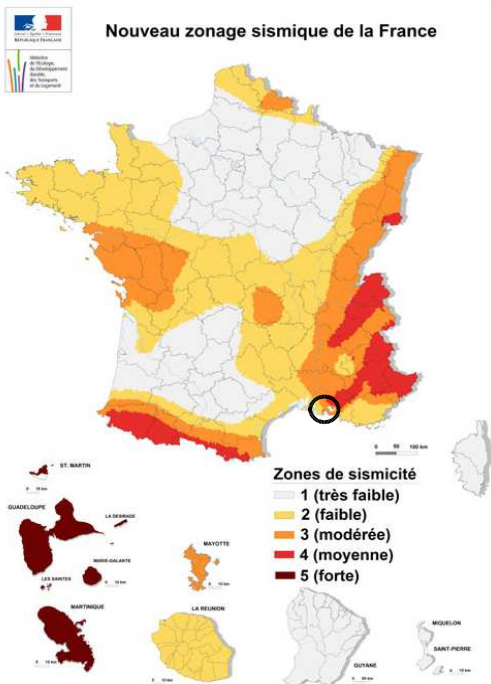
Élastomère : $G_{\text{néop_séisme}} = 1,0 \text{ MPa}$

Hypothèses simplificatrices :

- Tablier supposé infiniment rigide
- Fondations supposées parfaitement encastrées dans le sol (souplesse négligée)

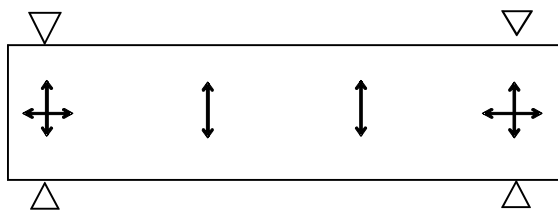
1. OUVRAGE SITUE A MARTIGUES (13)

Hypothèses sismiques



Zone de sismicité : 3 (modérée)
Catégorie importance : III
Classe de sol : C
Aucun relief, coefficient topo : $\tau = 1,0$

Cas 1a : Ouvrage de conception « ductilité limitée »



Conditions d'appui :

- **Direction longitudinale :**
AA glissants sur culées, bloqués sur piles (rotations libres en tête)
- **Direction transversale :**
AA glissants sur piles et culées
Butées de blocage latéral sur culées

Caractérisation de l'action sismique

Accélération de référence au rocher : $a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$

Coefficient d'importance : $\gamma_i = 1,2$

Accélération de calcul : $a_g = 1,32 \text{ m/s}^2$

Coefficient de sol : $S = 1,5$

Coefficients spectraux : $TB = 0,06 \text{ s}$ $TC = 0,4 \text{ s}$

$TD = 2 \text{ s}$

Analyse sous séisme transversal

Calcul des efforts obtenus au droit de chacun des appuis :

Coefficient de comportement : $q_{trans} = 1,5$

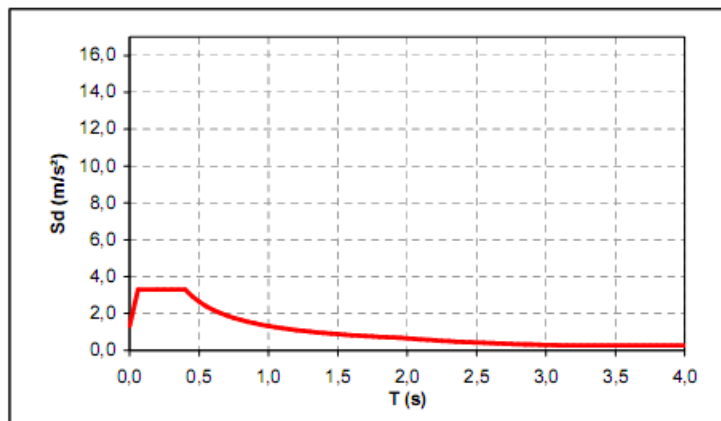
Mode de tablier :

$T_{trans} = 0 \text{ s}$
 $S_d(T) = 3,30 \text{ m/s}^2$

$F_{trans \text{ total}} = 2\,713 \text{ kN}$
 $F_{trans \text{ culée}} = 1\,356 \text{ kN}$
 $F_{trans \text{ pile}} = 0 \text{ kN}$

Mode propre de pile (pour 1 fût) :

$T_{fût \text{ trans}} = 0,02 \text{ s}$
 $S_d(T) = 3,30 \text{ m/s}^2$
 $F_{fût \text{ trans}} = 91 \text{ kN}$
 $M_{fût \text{ trans}} = 250 \text{ kNm}$



Coeff de sécurité rupture fragile : $\gamma_{Bd} = 1,25$

$V_{fût \text{ trans}} = 170 \text{ kN}$

$M_{fût \text{ trans}} = 250 \text{ kNm}$

Analyse sous séisme longitudinal

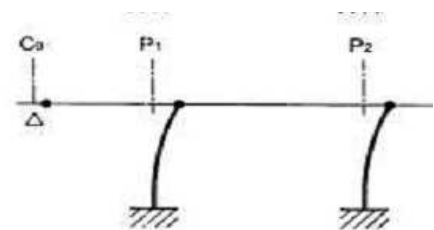
Coefficient de comportement : $q_{long} = 1,5$

Masse vibrante = 877 tonnes

$k_{long \text{ 1fût}} = 65\,543 \text{ kN/m}$

$k_{long \text{ syst}} = 262\,171 \text{ kN/m}$

T_{long} (s)	$S_d(T)$ (m/s ²)	$F_{long \text{ total}}$ (kN)	$F_{long /culée}$ (kN)	$F_{long /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long \text{ tab}}$ (m)	déf pile (m)
0,36	3,30	2 894	0	724	1,69	0,019	0,019



Moment de dimensionnement à la base de chaque fût : $M_{Ed \text{ fût long base}} = 3\,979 \text{ kNm}$

Moment de dimensionnement à mi-hauteur : $M_{Ed \text{ fût long h/2}} = 1\,990 \text{ kNm}$

Effort tranchant de dimensionnement : $V_{Ed \text{ fût long}} = 1\,357 \text{ kN}$

Moment résistant calculé à la base des fûts (dimensionnement Arma) : $M_{Rd \text{ fût long}} = 4\,156 \text{ kNm}$
(HA32 e200, enrob 5cm)

Ré-évaluation du déplacement sismique :

$\epsilon_s = 0,00247$ (résultat calcul Arma)

$\phi = 2,1 \epsilon_s / d = 0,0069 \text{ m}^{-1}$

$J_{eff} = 1,2 M_{Rd} / E \cdot \phi = 0,021 \text{ m}^4 = 20 \% I_{brute}$

$K_{eff} = 52\,011 \text{ kN/m}$

T_{long} (s)	$S_d(T)$ (m/s ²)	$F_{long \text{ total}}$ (kN)	$F_{long /culée}$ (kN)	$F_{long /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long \text{ tab}}$ (m)	déf pile (m)
0,82	1,61	1 412	0	353	1,5	0,041	0,041

Rq : Vérifications de cohérence

- $M_{Ed \text{ 2ème itér}} = 1\,941 \text{ kNm}$

- Coefficient de réduction de force :

$r_i = q \cdot M_{Ed} / M_{Rd} = 0,70 < q$

- Ductilité appelée :

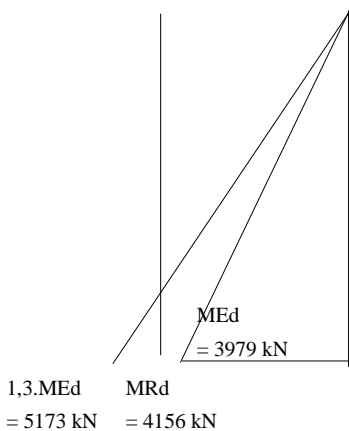
$\mu_i = d_{long \text{ tab}} / d_y = 0,58$

avec $d_y = \phi \cdot H^2 / 3 = 0,07 \text{ m}$



Possibilité d'optimiser le dimensionnement

Dispositions constructives :



H critique = 1,08 m

$s_L = 0,16 \text{ m}$ $s_L \leq \delta d_{bi}$
 $5 \leq \delta = 2,5(f_{tk}/f_{yk}) + 2,25 \leq 6$

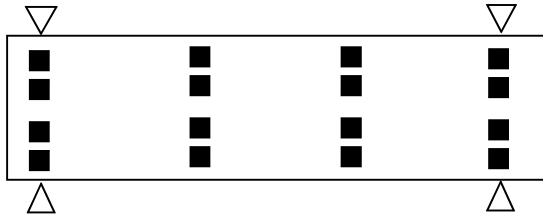
Confinement :

$\omega_{nd,y} \geq \max \left(\frac{A_c}{A_{cc}} 0,28 \eta_k + 0,13 \frac{f_{yd}}{f_{cd}} (\rho_l - 0,01), \frac{2}{3} 0,12 \right)$

Anti-flambement :

$A_T \geq \frac{\sum A_L f_{ys}}{1,6 f_{yt}} \times s_T$

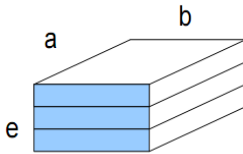
Cas 1b : Utilisation d'appareils d'appui en élastomère fretté



Conditions d'appui :

- **Direction longitudinale :**
AA élastomère fretté sur piles et culées
- **Direction transversale :**
AA élastomère fretté sur piles
Butées de blocage latéral sur culées

4 AA 400 x 400 x 5 (10+3) par pile
4 AA 300 x 400 x 5 (10+3) par culée



	AA pile	AA culée
a (m)	0,400	0,300
b (m)	0,400	0,400
e (m)	0,050	0,050

Caractérisation de l'action sismique

Idem cas précédent 1a

Analyse sous séisme transversal

Idem cas précédent 1a

Analyse sous séisme longitudinal

Coefficient de comportement :

$$q_{long} = 1,0$$

Coefficient d'amortissement :

$$\xi = 5 \%$$

Masse vibrante = 822 tonnes

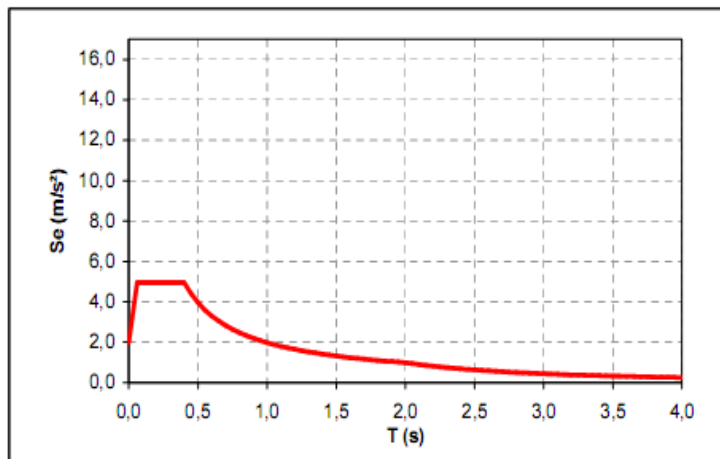
$$k_{1néop\ pile} = 3\ 200\ kN/m$$

$$k_{1néop\ culée} = 2\ 400\ kN/m$$

$$k_{long\ 1fût} = 65\ 543\ kN/m$$

$$k_{long\ 1fût+2néop} = 5\ 831\ kN/m$$

$$k_{long\ syst} = 42\ 523\ kN/m$$



T_{long} (s)	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{long\ total}$ (kN)	$F_{long\ /culée}$ (kN)	$F_{long\ /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long\ tab}$ (m)	déf pile (m)	déf AA pile (m)
0,87	2,28	1 874	423	257	1	0,044	0,004	0,040

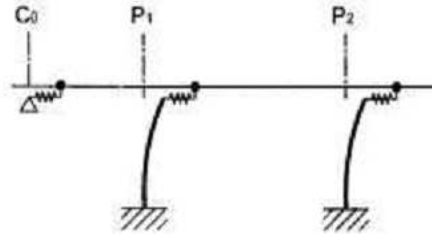
Mode propre de pile (pour 1 fût) :

$$T_{fût\ long} = 0,06\ s$$

$$S_e(T) = 4,95\ m/s^2$$

$$F_{fût\ long} = 136\ kN$$

$$M_{fût\ long} = 374\ kNm$$



Moment de dimensionnement à la base de chaque fût : $M_{Ed\ fût\ long\ base} = 1\ 462\ kNm$

Moment de dimensionnement à mi-hauteur : $M_{Ed\ fût\ long\ h/2} = 731\ kNm$

Coeff de sécurité rupture fragile : $\gamma_{Bd} = 1,25$

Effort tranchant de dimensionnement : $V_{Ed\ fût\ long} = 364\ kN$

Moment résistant calculé à la base des fûts (dimensionnement Arma) : $M_{Rd\ fût\ long} = 2\ 041\ kNm$
(HA20 e200, enrob 5cm)

Ré-évaluation du déplacement sismique :

$\epsilon_s = 0,00159$ (résultat calcul Arma)

$\phi = 2,1 \epsilon_s / d = 0,0044\ m^{-1}$

$J_{eff} = 1,2 M_{Rd} / E \cdot \phi = 0,016\ m^4 = 15\ \% I_{brute}$

$k_{long\ 1fût} = 9\ 951\ kN/m$

$k_{long\ 1fût+2néop} = 3\ 895\ kN/m$

$k_{long\ syst} = 34\ 780\ kN/m$

T_{long} (s)	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{long\ total}$ (kN)	$F_{long\ /culée}$ (kN)	$F_{long\ /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long\ tab}$ (m)	déf pile (m)	déf AA (m)
0,97	2,04	1 677	463	188	1	0,048	0,019	0,029

Rq : Vérifications de cohérence

- $M_{Ed\ 2ème\ itér} = 1\ 099\ kNm$

- Coefficient de réduction de force :

$r_i = q \cdot M_{Ed} / M_{Rd} = 0,54$

- Ductilité appelée :

$\mu_i = def_{pile} / d_y = 0,27$

avec $d_y = \phi \cdot H^2 / 3 = 0,07\ m$



aucune plastification

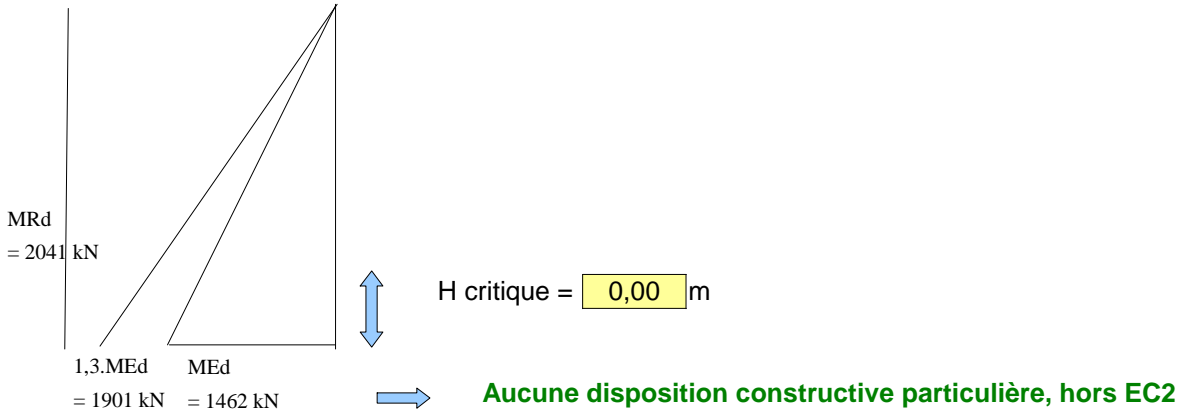
OK !

Vérification des appareils d'appui

Coeff de fiabilité : $\gamma_{is} = 1,50$

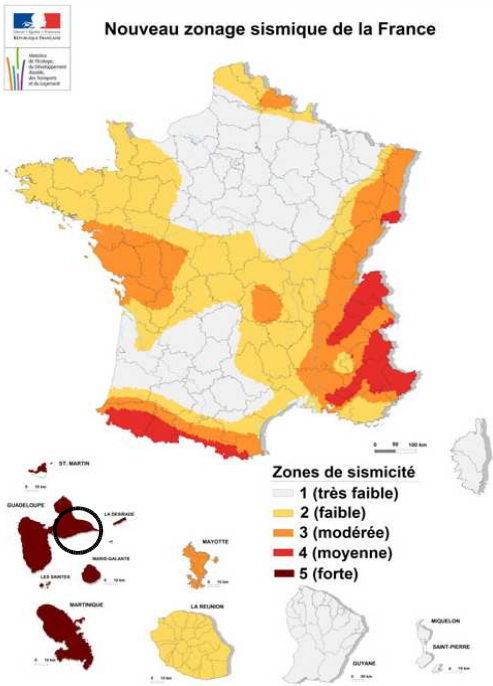
Distorsion maxi (AA culées) = $1,45 \leq 2,0$ **OK !**

Dispositions constructives :



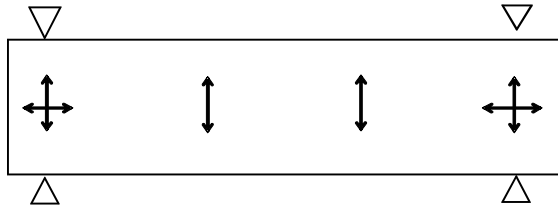
2. OUVRAGE SITUE EN GUADELOUPE

Hypothèses sismiques



Zone de sismicité : 5 (forte)
 Catégorie importance : IV
 Classe de sol : C
 Relief marqué, coefficient topo : $\tau = 1,4$

Cas 2a : Ouvrage de conception « ductile »



Conditions d'appui : *Idem cas 1a :*

- Direction longitudinale :

AA glissants sur culées, bloqués sur piles (rotations libres en tête)

- Direction transversale :

AA glissants sur piles et culées

Butées de blocage latéral sur culées

Caractérisation de l'action sismique

Accélération de référence au rocher : $a_{gr} = 3,0 \text{ m/s}^2$

Coefficient d'importance : $\gamma_I = 1,4$

Accélération de calcul : $a_g = 4,2 \text{ m/s}^2$

Coefficient de sol : $S = 1,15$
 Coefficients spectraux : $TB = 0,2 \text{ s}$ $TC = 0,6 \text{ s}$ $TD = 2 \text{ s}$

Analyse sous séisme transversal

Calcul des efforts obtenus au droit de chacun des appuis :

Coefficient de comportement : $q_{trans} = 1,5$

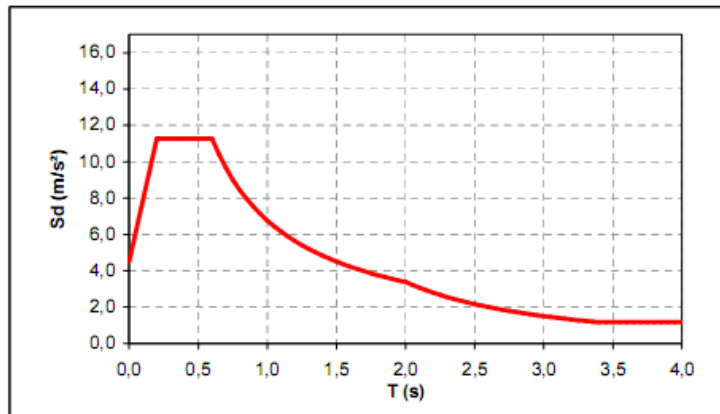
Mode de tablier :

$T_{trans} = 0 \text{ s}$
 $S_d(T) = 11,27 \text{ m/s}^2$

$F_{trans \text{ total}} = 9\,264 \text{ kN}$
 $F_{trans \text{ culée}} = 4\,632 \text{ kN}$
 $F_{trans \text{ pile}} = 0 \text{ kN}$

Mode propre de pile (pour 1 fût) :

$T_{fût \text{ trans}} = 0,02 \text{ s}$
 $S_d(T) = 11,27 \text{ m/s}^2$
 $F_{fût \text{ trans}} = 310 \text{ kN}$
 $M_{fût \text{ trans}} = 852 \text{ kNm}$



Coeff de sécurité rupture fragile : $\gamma_{Bd} = 1,25$

$V_{fût \text{ trans}} = 581 \text{ kN}$
 $M_{fût \text{ trans}} = 852 \text{ kNm}$

Analyse sous séisme longitudinal

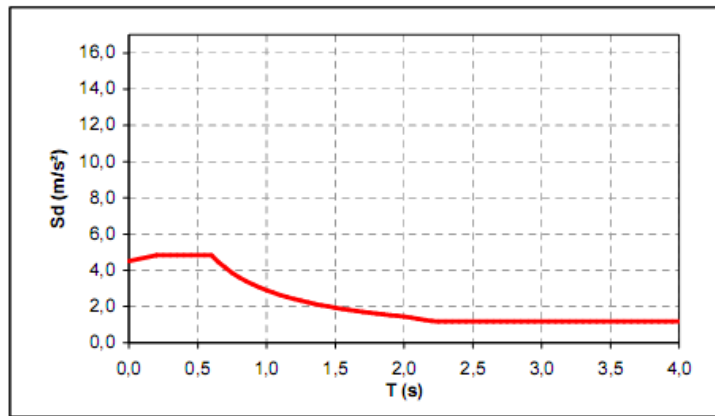
Coefficient de comportement :

$$\alpha_s = 6,88$$

$$\lambda(\alpha_s) = 1,0$$

$$q_{long} = 3,5$$

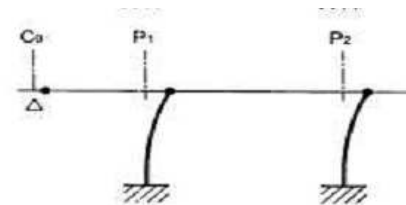
Masse vibrante = 877 tonnes



$$k_{long\ fût} = 26\ 217\ \text{kN/m}$$

(On considérera en 1ère approximation que $I_{fiss} = 0,4 I_{brute}$)

$$k_{long\ syst} = 104\ 869\ \text{kN/m}$$



T_{long} (s)	$S_d(T)$ (m/s ²)	$F_{long\ total}$ (kN)	$F_{long\ /culée}$ (kN)	$F_{long\ /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long\ tab}$ (m)	déf pile (m)
0,57	4,83	4 236	0	1 059	4,26	0,172	0,172

Moment de dimensionnement à la base de chaque fût : $M_{Ed\ fût\ long\ base} = 5\ 824\ \text{kNm}$

Moment résistant calculé à la base des fûts (dimensionnement Arma) : $M_{Rd\ fût\ long} = 6\ 097\ \text{kNm}$
(HA40 e200, enrob 5cm)

Coeff de surcapacité : $\gamma_0 = 1,35$
Coeff de sécurité rupture fragile : $\gamma_{Bd} = 1,25$

Moment de dimensionnement à mi-hauteur : $M_{Ed\ fût\ long\ h/2} = 4\ 115\ \text{kNm}$

Effort tranchant de dimensionnement : $V_{Ed\ fût\ long} = 1\ 871\ \text{kN}$

Ré-évaluation du déplacement sismique :

$$\phi = 2,1 \varepsilon_{sy} / d = 0,0070\ \text{m}^{-1}$$

$$J_{eff} = 1,2 M_{Rd} / E \cdot \phi = 0,031\ \text{m}^4 = 29\ \% I_{brute}$$

$$K_{eff} = 75\ 386\ \text{kN/m}$$

T_{long} (s)	$S_d(T)$ (m/s ²)	$F_{long\ total}$ (kN)	$F_{long\ /culée}$ (kN)	$F_{long\ /fût}$ (kN)	μ_d	$d_{long\ tab}$ (m)	déf pile (m)
0,68	4,26	3 736	0	934	3,77	0,187	0,187

Rq : Vérifications de cohérence

- $M_{Ed\ 2\text{ème itér}} = 5\,137$ kNm

- Coefficient de réduction de force :

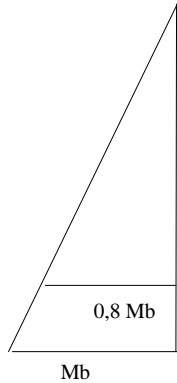
$r_i = q \cdot M_{Ed} / M_{Rd} = 2,95 \approx < q$

- Ductilité appelée :

$\mu_i = d_{long\ tab} / d_y = 2,64$
avec $d_y = \phi_y \cdot H^2 / 3 = 0,07$ m

➔ **Plastification atteinte OK !**

Dispositions constructives :



$s_L = 0,32$ m

H rotule plastique potentielle = 1,10 m

$s_L = 0,16$ m

$s_L \leq \delta d_{bl}$

$s_L \leq \min(6 d_{bl}; \frac{1}{5} b_{min})$

$5 \leq \delta = 2,5(f_{tk}/f_{yk}) + 2,25 \leq 6$

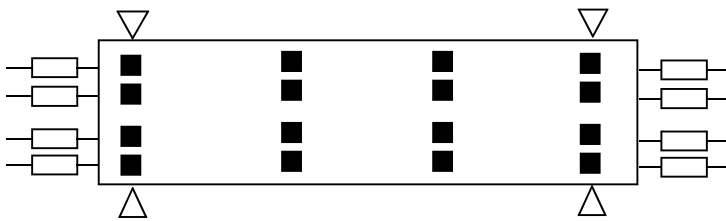
Confinement :

$\omega_{wd,r} \geq \max\left(\frac{A_z}{A_{cc}} \cdot 0,37 \eta_k + 0,13 \frac{f_{ysd}}{f_{cd}} (\rho_i - 0,01); \frac{2}{3} \cdot 0,18\right)$

Anti-flambement :

$A_T \geq \frac{\sum A_L f_{ys}}{1,6 f_{yt}} \times s_T$

Cas 2b : Utilisation de dispositifs amortisseurs



Conditions d'appui : *Idem cas 2a + amort*

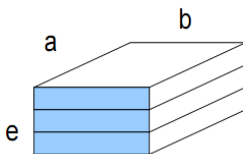
- **Direction longitudinale :**

AA élastomère fretté sur piles et culées
Amortisseurs sur culées

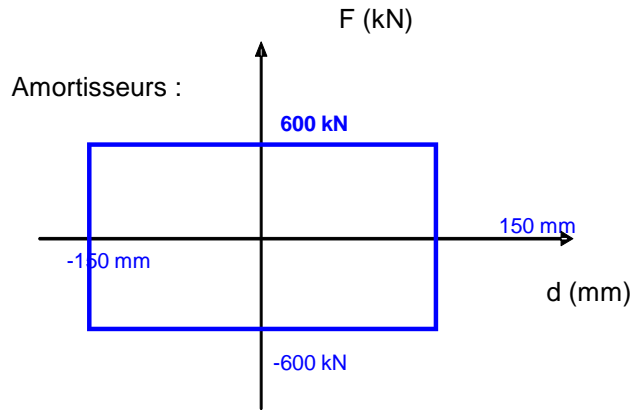
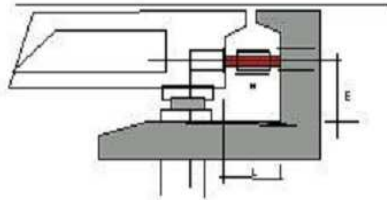
- **Direction transversale :**

AA élastomère fretté sur piles
Butées de blocage latéral sur culées

- 4 AA 400 x 400 x 5 (10+3) par pile
- 4 AA 300 x 400 x 5 (10+3) par culée



	AA pile	AA culée
a (m)	0,400	0,300
b (m)	0,400	0,400
e (m)	0,050	0,050



4 Amortisseurs /culée

Capacité : **600 kN**
Souffle maxi : 150 mm

Caractérisation de l'action sismique

Idem cas précédent 2a

Analyse sous séisme transversal

Idem cas précédent 2a

Analyse sous séisme longitudinal

- 1ère itération : calcul sans amortisseurs

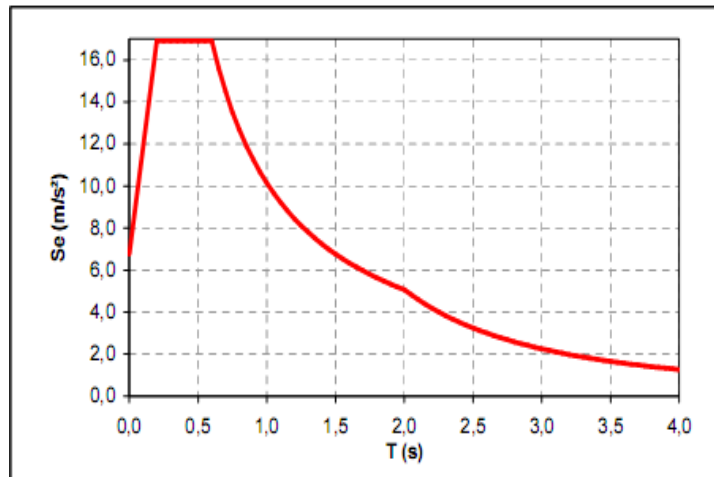
Masse vibrante = 822 tonnes

$$k_{culée} = 9\,600 \text{ kN/m}$$

$$k_{long\ 1fût+2néop} = 5\,831 \text{ kN/m}$$

$$k_{long\ syst} = 42\,523 \text{ kN/m}$$

(idem cas 1b)



T_{long} (s)	ξ (%)	η_{eff}	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{long\ total}$ (kN)	$F_{long\ /culée}$ (kN)	$F_{long\ /fût}$ (kN)	$d_{long\ tab}$ (m)
0,87	5	1,00	11,66	9 585	2 164	1 314	0,225

Vérification des appareils d'appui

Coeff de fiabilité : $\gamma_{is} = 1,50$

Distorsion maxi (AA culées) = $6,76 \leq 2,0$ **non vérifié !**

- 2ème itération : évaluation des caractéristiques équivalentes des amortisseurs à partir du déplacement précédemment calculé

Raideurs :

$$k_{\text{equiv amort}} = 2\,662 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{culée}} = 20\,248 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long 1fût+2néop}} = 5\,831 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long syst}} = 63\,818 \text{ kN/m}$$

Amortissement :

Énergie totale dissipée dans les amortisseurs : $\Sigma E_D = 4\,328 \text{ kN.m}$

$\xi_{\text{equiv syst}} = 21 \%$

T_{long} (s)	ξ (%)	η_{eff}	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{\text{long total}}$ (kN)	$F_{\text{long /culée}}$ (kN)	$F_{\text{long /fût}}$ (kN)	$d_{\text{long tab}}$ (m)
0,71	21	0,62	8,86	7 283	2 311	665	0,114

- 3ème itération :

Raideurs :

$$k_{\text{equiv amort}} = 5\,258 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{culée}} = 30\,631 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long 1fût+2néop}} = 5\,831 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long syst}} = 84\,584 \text{ kN/m}$$

Amortissement :

Énergie totale dissipée dans les amortisseurs : $\Sigma E_D = 2\,191 \text{ kN.m}$

$\xi_{\text{equiv syst}} = 30 \%$

T_{long} (s)	ξ (%)	η_{eff}	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{\text{long total}}$ (kN)	$F_{\text{long /culée}}$ (kN)	$F_{\text{long /fût}}$ (kN)	$d_{\text{long tab}}$ (m)
0,62	30	0,53	9,00	7 398	2 679	510	0,087

- 4ème itération :

Raideurs :

$$k_{\text{equiv amort}} = 6\,860 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{culée}} = 37\,040 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long 1fût+2néop}} = 5\,831 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long syst}} = 97\,403 \text{ kN/m}$$

Amortissement :

Énergie totale dissipée dans les amortisseurs : $\Sigma E_D = 1\,679 \text{ kN.m}$

$$\xi_{\text{equiv syst}} = 30 \%$$

T_{long} (s)	ξ (%)	η_{eff}	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{\text{long total}}$ (kN)	$F_{\text{long /culée}}$ (kN)	$F_{\text{long /fût}}$ (kN)	$d_{\text{long tab}}$ (m)
0,58	30	0,53	9,30	7 645	2 907	458	0,078

...

- 8ème itération :

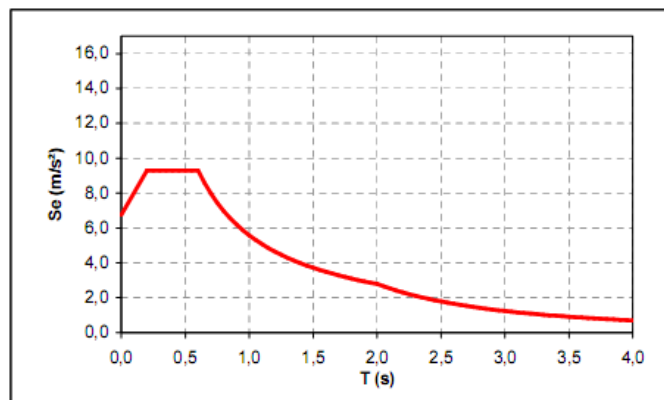
Raideurs :

$$k_{\text{equiv amort}} = 8\,696 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{culée}} = 44\,384 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long 1fût+2néop}} = 5\,831 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{long syst}} = 112\,091 \text{ kN/m}$$



Amortissement :

Énergie totale dissipée dans les amortisseurs : $\Sigma E_D = 1\,325 \text{ kN.m}$

$$\xi_{\text{equiv syst}} = 30 \%$$

T_{long} (s)	ξ (%)	η_{eff}	$S_e(T)$ (m/s ²)	$F_{\text{long total}}$ (kN)	$F_{\text{long /culée}}$ (kN)	$F_{\text{long /fût}}$ (kN)	$d_{\text{long tab}}$ (m)
0,54	30	0,53	9,30	7 645	3 027	398	0,068

Moment de dimensionnement à la base de chaque fût :

$$M_{\text{Ed fût long base}} = 2\,187 \text{ kNm}$$

(vérifié avec HA25 e200, enrob 5cm)

Vérification des appareils d'appui et amortisseurs :

Coeff de fiabilité : $\gamma_{\text{is}} = 1,50$

Distorsion maxi (AA culées) = $2,05 \leq 2,0$ **OK !**

Souffle amortisseurs = $0,10 \leq 0,15$ **OK !**

Annexes

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

Arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal »

NOR : DEVP1125429A

Publics concernés : professionnels de la conception et de la construction de ponts, maîtres d'ouvrage publics et privés de ce type d'ouvrages (entreprises, collectivités territoriales, Etat...).

Objet : définition des règles de construction parasismique applicables aux ponts.

Entrée en vigueur : 1^{er} janvier 2012.

Notice : en application des décrets n° 2010-1254 et n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 relatifs à la prévention du risque sismique et au nouveau zonage sismique français, le présent arrêté fixe les nouvelles modalités d'application des règles de construction parasismique applicables aux ponts : les dénominations des zones sismiques et des catégories d'importance de ponts sont actualisées, les modalités d'application des règles parasismiques Eurocode 8 sont définies. Ces nouvelles règles s'appliquent aux ponts nouveaux, de catégories d'importance II, III et IV, construits en zone de sismicité 2, 3, 4 ou 5.

Références : le présent arrêté peut être consulté sur le site Légifrance (<http://www.legifrance.gouv.fr>).

Le ministre de la défense et des anciens combattants, la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement et le ministre de l'intérieur, de l'outre-mer, des collectivités territoriales et de l'immigration,

Vu le code de la route, notamment son article L. 110-3 ;

Vu le code de la voirie routière, notamment ses articles L. 122-1 et L. 151-1 ;

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 563-1, R. 563-1 à R. 563-8 et D. 563-8-1 ;

Vu la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile ;

Vu le décret du 17 avril 1985 portant approbation du schéma directeur des voies navigables ;

Vu le décret n° 92-355 du 1^{er} avril 1992 approuvant le schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande vitesse ;

Vu l'arrêté du 10 juillet 2006 relatif aux caractéristiques techniques de certains aérodromes terrestres utilisés par les aéronefs à voilure fixe ;

Vu l'avis de la commission consultative d'évaluation des normes en date du 5 février 2009 et du 8 septembre 2011 ;

Vu l'avis du commissaire à la simplification en date du 18 août 2011,

Arrêtent :

Art. 1^{er}. – Le présent arrêté définit les règles de classification et de construction parasismique pour les ponts nouveaux de la classe dite « à risque normal » en application des articles R. 563-3 à R. 563-5 du code de l'environnement, mentionnant les mesures préventives devant être appliquées aux bâtiments, équipements et installations nouveaux de cette classe.

Sont visés par le présent arrêté les ponts nouveaux définitifs, incluant les passerelles, publics ou privés ainsi que les murs de soutènement qui en sont solidaires.

Art. 2. – Pour l'application du présent arrêté, les ponts de la classe dite « à risque normal » sont classés comme suit :

En catégorie d'importance I : les ponts qui n'appartiennent pas au domaine public et ne desservant pas d'établissement recevant du public et qui ne sont rangés ni en catégorie d'importance III ni en catégorie d'importance IV.

En catégorie d'importance II : les ponts qui n'appartiennent pas au domaine public mais qui desservent un établissement recevant du public ainsi que les ponts qui appartiennent au domaine public et ne sont rangés ni en catégorie d'importance III ni en catégorie d'importance IV.

En catégorie d'importance III :

- les ponts qui appartiennent au domaine public et qui portent, franchissent ou longent au moins une des voies terrestres ci-après :
 - autoroutes mentionnées à l'article L. 122-1 du code de la voirie routière ;
 - routes express mentionnées à l'article L. 151-1 du code de la voirie routière ;
 - voies à grande circulation définies à l'article L. 110-3 du code de la route ;
 - liaisons ferroviaires à grande vitesse mentionnées au décret du 1^{er} avril 1992 susvisé ;
- les ponts-canaux qui n'appartiendraient pas à la classe à risque spécial ;
- les ponts situés dans les emprises des ports maritimes et fluviaux, à l'exclusion des ports de plaisance ;
- les ponts des pistes d'aérodrome et les ponts de voies de circulation d'aéronefs situés aux abords des pistes d'aérodrome qui ne sont pas rangés en catégorie d'importance IV.

En catégorie d'importance IV :

- les ponts des pistes d'aérodrome ayant un code lettre C, D, E ou F au sens de l'arrêté du 10 juillet 2006 relatif aux caractéristiques techniques de certains aérodromes terrestres utilisés par les aéronefs à voilure fixe ;
- les ponts des voies de circulation d'aéronefs et situés aux abords d'une piste, ayant un code lettre C, D, E ou F au sens de l'arrêté du 10 juillet 2006 cité ci-dessus ;
- les ponts dont l'utilisation est primordiale pour les besoins de la sécurité civile, de la défense nationale ainsi que pour le maintien de l'ordre public. Le classement en catégorie d'importance IV est prononcé par le préfet chaque fois que l'ouvrage constitue un point essentiel pour l'organisation des secours.

Tout pont nouveau définitif de catégorie d'importance II ou III dont l'endommagement pourrait provoquer des dommages à un bâtiment, un équipement ou une installation de catégorie d'importance IV reçoit le classement de pont de catégorie d'importance IV.

Art. 3. – Les ponts nouveaux définitifs de catégories d'importance II, III ou IV par l'application de l'article 2 du présent arrêté et situés dans les zones de sismicité 2, 3, 4 ou 5 définies par les articles R. 563-4 et D. 563-8-1 du code de l'environnement doivent être construits par application des règles mentionnées à l'article 4 du présent arrêté.

Tout pont qui a des fondations dans deux zones de sismicité différentes est considéré comme étant situé tout entier dans la zone de sismicité supérieure.

Les ponts de catégorie d'importance I ou en zone de sismicité très faible (zone 1) ne sont pas soumis à l'application des règles parasismiques définies à l'article 4 du présent arrêté.

Art. 4. – I. – Les règles de construction à appliquer aux ponts nouveaux définitifs, mentionnées à l'article 3 du présent arrêté, sont celles des normes NF EN 1998-2, NF EN 1998-1 et NF EN 1998-5, dites « règles Eurocode 8 », accompagnées des documents dits « annexes nationales » des normes NF EN 1998-2/NA, NF EN 1998-1/NA, NF EN 1998-5/NA s'y rapportant.

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'un coefficient d'importance γ_1 (au sens de la norme NF EN 1998-2) attribué à chacune des catégories d'importance de pont. Les valeurs des coefficients d'importance γ_1 sont données par le tableau suivant :

CATÉGORIES D'IMPORTANCE de pont	COEFFICIENT D'IMPORTANCE γ_1
II	1
III	1,2
IV	1,4

II. – Le mouvement dû au séisme, à partir duquel les règles de construction doivent être appliquées, est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite « spectre de réponse élastique ».

Le spectre de réponse élastique est caractérisé par les paramètres suivants :

a) L'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1), dénommée a_{gr} , résultant de la situation du pont par rapport à la zone sismique d'implantation, telle que définie par les articles R. 563-4 et D. 563-8-1 du code de l'environnement.

Les valeurs des accélérations a_{gr} , exprimées en mètres par seconde au carré, sont données par le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	A_{gr}
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3

b) L'accélération horizontale de calcul au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1), a_g , qui est égale à a_{gr} multipliée par le coefficient d'importance γ_1 défini au I du présent article soit $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gr}$.

c) La nature du sol, en ce qui concerne les composantes horizontales du séisme, par l'intermédiaire du paramètre de sol, S. Les valeurs du paramètre de sol, S, résultant de la classe de sol (au sens de la norme NF EN 1998-1) sous le pont sont données par le tableau suivant :

CLASSES DE SOL	S (pour les zones de sismicité 2 à 4)	S (pour la zone de sismicité 5)
A	1	1
B	1,35	1,2
C	1,5	1,15
D	1,6	1,35
E	1,8	1,4

Les modalités d'utilisation du paramètre de sol, S, sont définies dans la norme NF EN 1998-1.

La nature du sol n'est pas prise en compte pour l'évaluation de la composante verticale de l'action sismique.

d) T_B et T_C , qui sont respectivement la limite inférieure et supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante, et T_D , qui est la valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant ;

Les valeurs de T_B , T_C et T_D à prendre en compte pour l'évaluation des composantes horizontales du mouvement sismique, exprimées en secondes, sont données par le tableau suivant :

CLASSES DE SOL	POUR LES ZONES DE SISMICITÉ 2 À 4			POUR LA ZONE DE SISMICITÉ 5		
	T_B	T_C	T_D	T_B	T_C	T_D
A	0,03	0,2	2,5	0,15	0,4	2
B	0,05	0,25	2,5	0,15	0,5	2
C	0,06	0,4	2	0,2	0,6	2
D	0,1	0,6	1,5	0,2	0,8	2
E	0,08	0,45	1,25	0,15	0,5	2

e) Les paramètres des spectres de réponse élastiques verticaux à employer pour l'utilisation de la norme NF EN 1998-2 :

ZONES DE SISMICITÉ	a_{vg}/a_g	T_B	T_C	T_D
2 (très faible) à 4 (moyenne)	0,9	0,03	0,20	2,5
5 (forte)	0,8	0,15	0,40	2

III. – Dans le cadre de l'analyse de la liquéfaction telle que définie dans l'annexe B de la norme NF EN 1998 septembre 2005 par convention, la magnitude à utiliser pour les études est donnée par le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	MAGNITUDE CONVENTIONNELLE
3 (modérée)	5,5
4 (moyenne)	6,0
5 (forte)	7,5

En zones de sismicité 1 et 2 (sismicité très faible et faible), l'analyse de la liquéfaction n'est pas requise.

Art. 5. – Les dispositions du présent arrêté sont applicables à compter du 1^{er} janvier 2012. Elles s'appliquent aux ponts nouveaux définitifs pour lesquels une consultation est lancée ou un avis d'appel public à la concurrence est publié pour le marché de travaux après cette date. Pour le cas des ponts nouveaux définitifs ne faisant pas l'objet d'une consultation ou d'un avis d'appel public à la concurrence pour le marché de travaux, les dispositions s'appliquent pour les ponts dont la date de début de travaux est postérieure au 1^{er} janvier 2012.

A titre transitoire, les règles de construction du document *Guide AFPS 1992 pour la protection parasismique des ponts*, publié par l'Association française du génie parasismique (presse de l'ENPC, 1995), pourront continuer à s'appliquer aux ponts nouveaux définitifs pour lesquels une consultation a été engagée ou un avis d'appel public à la concurrence a été envoyé à la publication pour le marché de travaux avant le 1^{er} avril 2012. Pour le cas des ponts nouveaux définitifs ne faisant pas l'objet d'une consultation ou d'un avis d'appel public à la concurrence pour le marché de travaux, ces règles de construction pourront également s'appliquer pour les ponts nouveaux définitifs pour lesquels la date de début des travaux est antérieure au 1^{er} janvier 2013.

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'une accélération nominale notée a_N , qui caractérise l'action sismique à prendre en compte et dont la valeur résulte à la fois de la situation du pont au regard de la zone sismique et de la catégorie du pont.

Les valeurs de a_N exprimées en m/s^2 sont données par le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	CATÉGORIES D'IMPORTANCE		
	II	III	IV
2	1.0	1.5	2
3	1.5	2	2.5
4	2.5	3.0	3.5
5	3.5	4.0	4.5

Pour les ponts mentionnés au second alinéa du présent article, classés II ou III, pour lesquels la surface utile de la brèche est inférieure à 150 mètres carrés ou pour lesquels la valeur a_N , telle qu'elle ressort du tableau ci-dessus, n'excède pas 1,5 m/s^2 , l'application des règles définies dans le *Guide AFPS 1992 pour la protection parasismique des ponts* peut être limitée à celle des mesures constructives définies par ledit document.

Art. 6. – L'arrêté du 15 septembre 1995 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la catégorie dite « à risque normal » telle que définie par le décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique est abrogé à compter de la date d'entrée en vigueur du présent arrêté.

Art. 7. – Le secrétaire général pour l'administration du ministère de la défense et des anciens combattants, le directeur général de la prévention des risques, le directeur général des infrastructures, des transports et de la mer, le directeur général de l'aviation civile et le directeur de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, le directeur général de la sécurité civile et de la gestion des crises, le directeur général des collectivités locales et le délégué général à l'outre-mer du ministère de l'intérieur, de l'outre-mer, des collectivités territoriales et de l'immigration sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 26 octobre 2011.

*La ministre de l'écologie,
du développement durable,
des transports et du logement,*
NATHALIE KOSCIUSKO-MORIZET

*Le ministre de la défense
et des anciens combattants,*
GÉRARD LONGUET

*Le ministre de l'intérieur,
de l'outre-mer, des collectivités territoriales
et de l'immigration,*
CLAUDE GUÉANT

norme européenne

NF EN 1998-1

Septembre 2005

norme française

Indice de classement : P 06-030-1

ICS : 91.080.01 ; 91.120.25

Eurocode 8

Calcul des structures pour leur résistance aux séismes

Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

E : Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance —
Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildingsD : Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben —
Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkung und Regeln für Hochbauten

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 août 2005 pour prendre effet le 5 septembre 2005.

Est destinée à remplacer les normes expérimentales XP ENV 1998-1-1 et XP ENV 1998-1-2, de décembre 2000, la norme expérimentale XP ENV 1998-1-3, de mars 2003 et la norme homologuée NF P 06-013, de décembre 1995 et ses amendements A1 de février 2001 et A2 de novembre 2004.

Est destinée à remplacer partiellement la norme homologuée NF P 06-014, de mars 1995 et son amendement A1 de février 2001.

Correspondance

La Norme européenne EN 1998-1:2004 a le statut d'une norme française.

Analyse

Le présent document s'applique au dimensionnement des bâtiments et des ouvrages de génie civil en zone sismique afin de s'assurer qu'en cas de séisme :

- les vies humaines sont protégées ;
- les dommages sont limités ;
- les structures importantes pour la protection civile restent opérationnelles.

Les structures spéciales, telles que les centrales nucléaires, les structures en mer et les grands barrages, ne sont pas couvertes par ce document.

Il est destiné à être utilisé conjointement avec les NF EN 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 et 1997.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, génie civil, structure, construction résistant au séisme, conception antisismique, règle de construction, calcul, vérification, sécurité, risque, fondation, structure en béton, maçonnerie, construction en bois, construction métallique, sol, analyse de contrainte, résistance des matériaux, limite, caractéristique, dimension.

Modifications

Par rapport aux documents destinés à être remplacés et destinés à être partiellement remplacés, adoption de la norme européenne.

Corrections



3.2.2.2 Spectre de réponse élastique horizontal

(1)P Le spectre de réponse élastique $S_e(T)$ pour les composantes horizontales de l'action sismique est défini par les expressions suivantes (voir Figure 3.1) :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad \dots (3.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad \dots (3.3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad \dots (3.4)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad \dots (3.5)$$

avec :

$S_e(T)$ spectre de réponse élastique ;

T période de vibration d'un système linéaire à un seul degré de liberté ;

a_g accélération de calcul pour un sol de classe A ($a_g = \gamma_I \times a_{gR}$) ;

T_B limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;

T_C limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;

T_D valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant ;

S paramètre du sol ;

η coefficient de correction de l'amortissement avec la valeur de référence $\eta = 1$ pour 5 % d'amortissement visqueux, voir (3) du présent paragraphe.

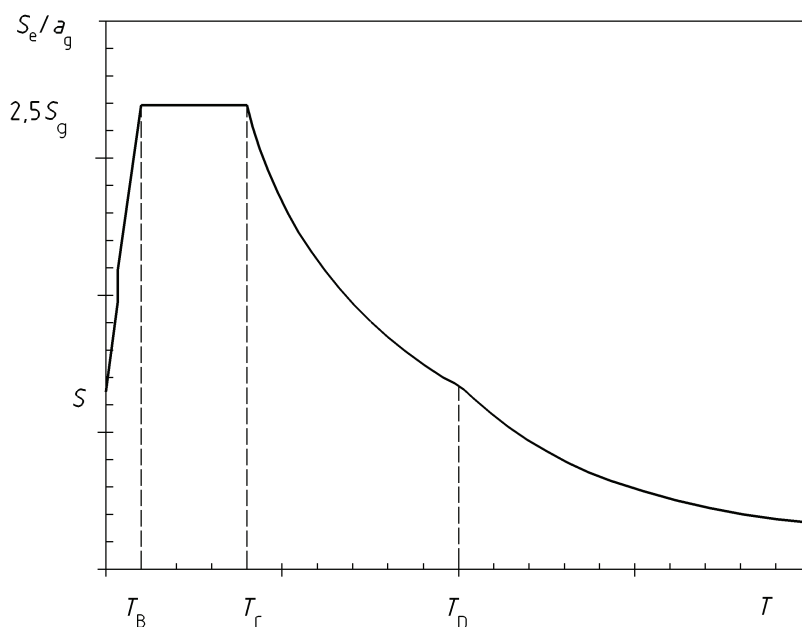


Figure 3.1 — Forme du spectre de réponse élastique

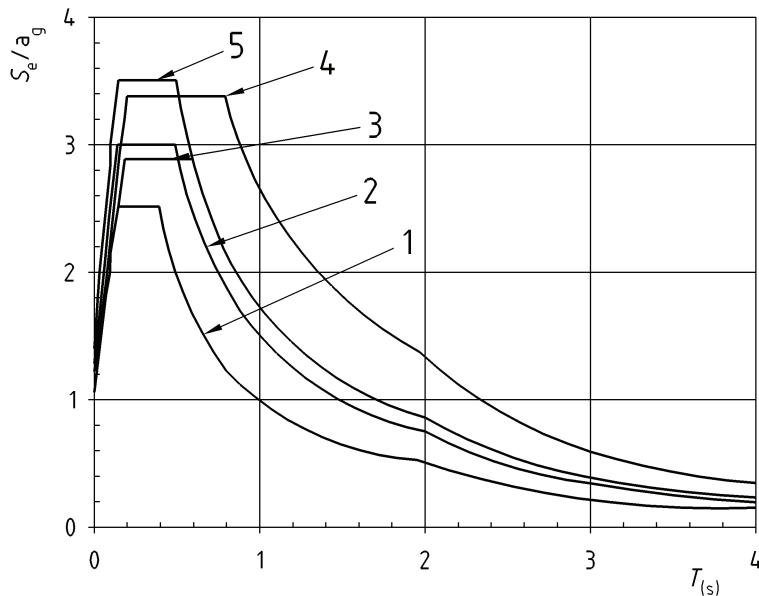


Figure 3.2 — Spectres de réponse élastique de type 1 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

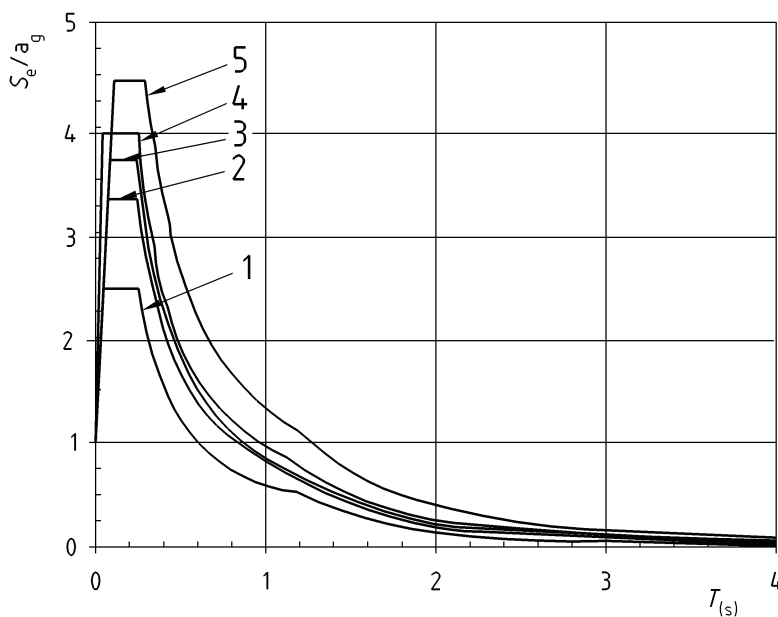


Figure 3.3 — Spectres de réponse élastique de type 2 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

NOTE 2 Pour les sols de classes S_1 et S_2 , il convient de mener des études particulières pour déterminer les valeurs correspondantes de S , T_B , T_C et T_D .

(3) La valeur du coefficient de correction d'amortissement visqueux η peut être déterminée par l'expression :

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \zeta)} \geq 0,55 \quad \dots (3.6)$$

où :

ζ est le coefficient d'amortissement visqueux, exprimé en pourcentage.

(4) Si, dans des cas particuliers, un pourcentage d'amortissement visqueux différent de 5 % est utilisé, cette valeur est indiquée dans la partie concernée de l'EN 1998.

3.2.2.5 Spectre de calcul pour l'analyse élastique

(1) La capacité des systèmes structuraux à résister à des actions sismiques dans le domaine non linéaire permet en général d'effectuer leur dimensionnement pour résister à des forces plus faibles que celles correspondant à une réponse linéaire élastique.

(2) Afin d'éviter d'effectuer, pour le dimensionnement, une analyse structurale non élastique explicite, la capacité de dissipation d'énergie de la structure, obtenue principalement par le comportement ductile de ses éléments et/ou d'autres mécanismes, est prise en compte en réalisant une analyse élastique fondée sur un spectre de réponse réduit par rapport au spectre élastique, dénommé ci-après «spectre de calcul». Cette réduction est réalisée en introduisant le coefficient de comportement q .

(3)P Le coefficient de comportement q est une approximation du rapport entre les forces sismiques que la structure subirait si sa réponse était complètement élastique avec un amortissement visqueux de 5 % et les forces sismiques qui peuvent être utilisées lors de la conception et du dimensionnement, avec un modèle linéaire conventionnel, en continuant d'assurer une réponse satisfaisante de la structure. Les valeurs du coefficient de comportement q , incluant également l'influence d'amortissements visqueux différents de 5 %, sont indiquées, pour divers matériaux et systèmes structuraux, selon divers niveaux de ductilité, dans les parties concernées de l'EN 1998. Les valeurs du coefficient de comportement q peuvent être différentes dans des directions horizontales différentes, bien que la classe de ductilité doive être la même dans toutes les directions.

(4)P Pour les composantes horizontales de l'action sismique, le spectre de calcul, $S_d(T)$, doit être défini par les expressions suivantes :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \dots (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad \dots (3.14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.15)$$

$$T_D \leq T : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.16)$$

où :

a_g , S , T_C et T_D sont définis en 3.2.2.2 ;

$S_d(T)$ est le spectre de calcul ;

q est le coefficient de comportement ;

β est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal.

NOTE La valeur devant être attribuée à β pour être utilisée dans un pays peut être trouvée dans l'annexe nationale au présent document. La valeur recommandée est $\beta = 0,2$.

(5) Pour la composante verticale de l'action sismique, le spectre de calcul est donné par les expressions s (3.13) à (3.16), avec l'accélération de calcul du sol dans la direction verticale, a_{vg} , à la place de a_g , S pris égal à 1,0 et les autres paramètres tels que définis en 3.2.2.3.

(6) Pour la composante verticale de l'action sismique, il convient généralement d'utiliser un coefficient de comportement q au plus égal à 1,5 pour tous les matériaux et tous les systèmes structuraux.

(7) Il convient de justifier par une analyse appropriée l'adoption de valeurs de q supérieures à 1,5 dans la direction verticale.

(8)P Le spectre de calcul tel que défini plus haut ne donne pas une représentation suffisante pour la conception et le dimensionnement de structures sur appuis parasismiques ou munies de dispositifs de dissipation d'énergie.