

ICAB PS - Séisme

Génération Automatique des charges sismiques

manuel de référence

Table des matières

ICAB PS	2
DEFINITION DES CHARGES SISMIQUES PS92	3
MAGNITUDE A_N	3
CLASSES DE RISQUE DES OUVRAGES	4
MODELISATION DU MOUVEMENT DU SOL	4
Spectres de dimensionnement normalisés $R_D(T)$, $R_E(T)$	5
Classification des sites	5
CORRECTION D'AMORTISSEMENT ρ	6
COEFFICIENT D'AMPLIFICATION TOPOGRAPHIQUE τ	7
COEFFICIENT DE COMPORTEMENT Q	8
MASSES A PRENDRE EN COMPTE DANS LES CALCULS, FRACTION ϕ	9
METHODE FORFAITAIRE DE REPARTITIONS DES CHARGES	9
METHODE GENERALE – ANALYSE MODALE SPECTRALE	11
COMBINAISON DES CHARGES	13
ANNEXE A: ZONAGE SISMIQUE EN FRANCE	14
DEFINITION DES CHARGES SISMIQUES EUROCODE 8	24
CLASSE DE SOLS	24
SPECTRE DE REPONSE ELASTIQUE HORIZONTAL	24
SPECTRE DE REPONSE ELASTIQUE VERTICAL	25
SPECTRE DE CALCUL POUR L'ANALYSE ELASTIQUE AVEC COEFFICIENT DE COMPORTEMENT	25
DETERMINATION DE L'ACCELERATION A_G (RISQUE NORMAL)	27
<i>Carte de l'aléa sismique en France</i>	32
INSTALLATIONS CLASSEES	34
ANNEX B: UBC 1997 - EARTHQUAKE DESIGN	39

ICAB PS

Cette application vient compléter ICAB Force en lui ajoutant des fonctions de génération des charges sismiques selon les :

« Règles de construction parasismique », Règles PS applicables aux bâtiments – PS92 (norme AFNOR NF P06-013)

A titre indicatif, une référence au code UBC 1997 est donnée en annexe.

Les charges sismiques sont introduites à partir de la commande « calcul, calcul sismique »:

Masses sismiques : les charges sismiques sont établies à partir de combinaisons des masses sismiques. La combinaison par défaut est au moins :

G poids propre
(G + ϕ Qe) ...

D'autres combinaisons réglementaires sont éventuellement à introduire avec les charges d'exploitation et les charges de neige. Ces charges (G, Qe, Sn) doivent être présentes pour la création des charges sismiques. Si les conditions de charge sont modifiées ultérieurement, la génération des charges sismiques doit être effectuée à nouveau.

Intensité : Les accélérations sont définies à partir de la zone de sismicité, de la classe de l'ouvrage, du site, du coefficient de comportement q, de l'amortissement ξ , du coefficient de site τ , ainsi que de la fréquence fondamentale correspondant à la structure chargée selon la combinaison des masses sismiques.

Méthodes : plusieurs méthodes de calcul et de répartition des charges sont applicables en fonction du type de structure.

Les charges sismiques sont créées dans quatre directions : verticale Ez et horizontales Ex, Ey, Exy correspondant à la direction bissectrice et les cas de charges sismiques sont créés à partir du numéro indiqué (par défaut : 20).

Les sections suivantes de ce document explicitent les calculs mis en œuvre.

Définition des charges sismiques PS92

L'accélération spectrale est telle que : $R(T) = a_N \tau \rho R_D(T)$ avec les notations définies ci-après.

Magnitude a_N

L'accélération nominale a_N , calant un spectre défini, spécifie le niveau d'agression à prendre en compte dans l'établissement d'un projet et dépend des zones de sismicité et des classes de protection des ouvrages :

Zones de sismicité	a_N en m/s^2 (PS92 3.3)			
	Classe d'ouvrage			
	A	B	C	D
0				
I _a		1.0	1.5	2.0
I _b		1.5	2.0	2.5
II		2.5	3.0	3.5
III		3.5	4.0	4.5

Les quatre zones de sismicité sont définies par le décret du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique. En fonction des zones de sismicité et des classes de risques, les valeurs a_N sont fixées par voie d'arrêté.



Départements	Zones sismiques
01 Ain	IA, IB
04 Alpes de Haute Provence	IA, IB, II
05 Hautes Alpes	IA, IB
06 Alpes Maritimes	IB, II
07 Ardèche	IA
09 Ariège	IA, IB
11 Aude	IA, IB
13 Bouches du Rhône	IA, IB, II
14 Calvados	IA
15 Cantal	IA
17 Charente Maritime	IA
25 Doubs	IA, IB
26 Drôme	IA, IB
30 Gard	IA
31 Haute Garonne	IA, IB
32 Gers	IA
37 Indre et Loire	IA
38 Isère	IA, IB
39 Jura	IA

43 Haute Loire	IA
44 Loire Atlantique	IA
63 Puy de Dôme	IA, IB
64 Pyrénées Atlantique	IA, IB, II
65 Hautes Pyrénées	IA, IB, II
66 Pyrénées Orientales	IB, II
67 Bas Rhin	IA, IB
68 Haut-Rhin	IA, IB, II
70 Haute Saône	IA, IB
73 Savoie	IA, IB
74 Haute Savoie	IA, IB
79 Deux Sèvres	IA
83 Var	IA, IB
84 Vaucluse	IA, IB
85 Vendée	IA
86 Vienne	IA
88 Vosges	IA, IB
90 Territoire de Belfort	IB
Guadeloupe, Martinique, Réunion	III

Classes de risque des ouvrages

PS92 annexe 2:

Classe A : ouvrages dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économiques ;

Perrons et escaliers posés à même le sol, murs de clôture de moins de 1.80m de hauteur ; constructions agricole à usage principal de logement de cheptel vif, de remisage du matériel et des récoltes dans les exploitations individuelles ; constructions en simple rez-de-chaussée à usage de garage ou d'atelier privé, etc.

Classe B : ouvrages et installations offrant un risque « courant » pour les personnes ; Habitations, bureaux, locaux à usage commercial, ateliers, usines, garages à usage collectif, etc.

Classe C : ouvrages représentant un risque élevé pour les personnes ou en raison de leur fréquentation ou de leur importance socio-économique ;

Etablissement d'enseignement, stades, salles de spectacles, halls de voyageurs et d'une façon générale, Etablissement Recevant du Public (ERP) de 1^{re}, 2^e, 3^e catégorie ; musées, centre de production ou de distribution d'énergie, etc.

Classe D : ouvrages et installations dont la sécurité est primordiale pour les besoins de la Sécurité Civile, de l'ordre public, de la Défense et de la survie de la région ;

Hôpitaux, casernes, garages d'ambulances, dépôts de matériel de lutte contre l'incendie, etc., musées, bibliothèques, abritant des œuvres majeures ou des collections irremplaçables, etc.

modélisation du mouvement du sol

Le mouvement du sol dans l'emprise d'un ouvrage est considéré dans le règles PS92 comme résultant de la composition :

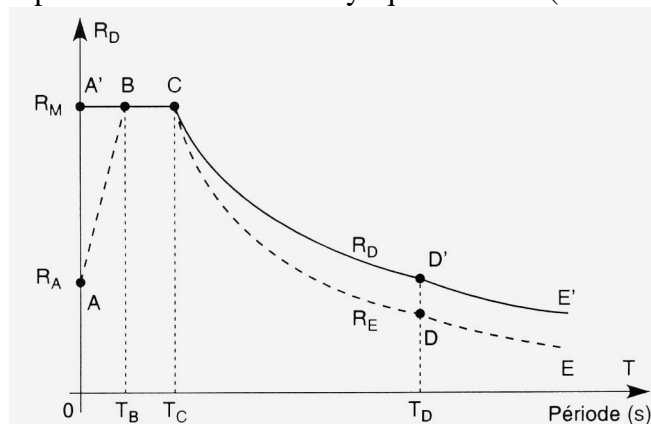
- d'un mouvement de translation d'ensemble, dans lequel tous les points du sol sont animés à tout instant du même mouvement
- et de mouvements différentiels, fonction de la distance séparant les points considérés.

Le mouvement de translation est défini par trois composantes : deux composantes horizontales orthogonales et la composante verticale.

Chaque composante du mouvement est caractérisée par un spectre de réponse en terme d'accélération. La composante verticale est, sauf spécification contraire, considérée comme d'intensité égale à 70% de celle des composantes horizontales.

Spectres de dimensionnement normalisés $R_D(T)$, $R_E(T)$

Les spectres de dimensionnement normalisés sont donnés pour la valeur de 5% de l'amortissement relatif et rapportés à la valeur unité de l'accélération nominale. Leur forme répond à la définition analytique suivante (PS92 5.23):



branche A'C : $R_D(T) = R_M$
 branche CD' : $R_D(T) = R_M (T_C/T)^{2/3}$
 branche D'E' : $R_D(T) = R_M (T_C/T_D)^{2/3} (T_D/T)^{5/3}$

Type de site	T_B (s)	T_C	T_D	R_A	R_M
S_0	0.15	0.30	2.67	1.0	2.5
S_1	0.20	0.40	3.20	1.0	2.5
S_2	0.30	0.60	3.85	0.9	2.25
S_3	0.45	0.90	4.44	0.8	2.0

Selon l'annexe 1, les spectres élastiques normalisés sont :

branche AB : $R_E(T) = R_A + (R_M - R_A)T/T_B$
 branche AC : $R_E(T) = R_M$
 branche CD : $R_E(T) = R_M (T_C/T)$
 branche DE : $R_E(T) = R_M (T_C/T) (T_D/T)$

Ces spectres $R_E(T)$ sont utilisés pour le calcul des structures par méthode spectrale dans le cas où la structure conserve un comportement élastique pendant toute la durée du mouvement ; le coefficient de comportement est pris égal à $q=1$.

NB : sur la branche (A'B), $R_D(T)$ est choisi comme la plus grande valeur de :
 $R_D(T) = \max(R_M/q, R_E(T))$

Classification des sites

Les quatre types de sites correspondant aux descriptions suivantes (PS92 5.22):

- Sites S_0 - sites rocheux (site de référence)
 - sols du groupe a en épaisseur inférieure à 15m
- Sites S_1 - sites du groupe a en épaisseur supérieures à 15m
 - sols du groupe b en épaisseur inférieure à 15m
- Sites S_2 - sites du groupe b en épaisseur comprise entre 15 et 50m
 - sols du groupe c en épaisseur supérieure à 50m
- Sites S_3 - sites du groupe b en épaisseur supérieure à 50m
 - sols du groupe c en épaisseur comprise entre 10 et 100m

Le classement des sols en quatre groupes en fonction de leur propriétés mécaniques est indiqué ci-après :

- rocher sain
- Groupe a : sols de résistance bonne à très bonne (par exemple sables et graviers compacts, marnes ou argiles raides fortement consolidées)
- Groupe b : sols de résistance moyenne (par exemple roches altérées, sables et graviers moyennement compacts, marnes ou argiles de raideur moyenne)
- Groupe c : sols de faible résistance (par exemple sables ou graviers lâches, argiles molles, craies altérées, vases)

TYPE DE SOL		Pénétré- mètre Statique : résis- tance (Mpa)	SPT Nombre de coups	Pressiomètre		Résis- tance Compres- sion simple (Mpa)	Densité relative (%)	Indice de compres- sion Cc	Vitesse des ondes de cisail- lement (m/s)	Vitesse des ondes longitudinales	
				Module (Mpa)	Pression limite (Mpa)					Sous la nappe (m/s)	Hors nappe (m/s)
ROCHERS	Rochers sains et craies dures			> 100	> 5	> 10			> 800		> 2 500
GROUPE a Sols de bonne à très bonne résistance mécanique	Sols granulaires compacts	> 15	> 30	> 20	> 2		> 60		> 400	> 1 800	> 800
	Sols cohérents (argiles ou marnes dures)	> 5		> 25	> 2	> 0,4	< 0,02			> 1 800	
GROUPE b Sols de résistance mécanique moyenne	Rocher altéré ou fracturé			50 à 100	2,5 à 5	1 à 10			300 à 800		400 à 2 500
	Sols granulaires moyennement compacts	5 à 15	10 à 30	6 à 20	1 à 2		40 à 60		1 500 à 1 800	1 500 à 1 800	500 à 800
	Sols cohérents moyennement consistants et craies tendres	1,5 à 5		5 à 25	0,5 à 2	0,1 à 0,4		0,02 à 0,10			1 000 à 1 800
GROUPE c Sols de faible résistance mécanique	Sols granulaires lâches	< 5	< 10	< 6	< 1		< 40		< 150	< 1 500	< 500
	Sols cohérents mous (argiles molles ou vases) et craies altérées	< 1,5	< 2	< 5	< 0,5	< 0,1	> 0,10				

correction d'amortissement ρ

Les spectres de dimensionnement à utiliser pour des valeurs de l'amortissement relatif différentes de 5% sont obtenus en multipliant les ordonnées des spectres normalisés par le facteur :

$$\rho = (5\% / \xi)^{0.4}$$

ξ étant l'amortissement relatif.

Lorsque les éléments structuraux sont constitués d'un seul type de matériau, la valeur du pourcentage d'amortissement critique est la même pour tous les modes et est donnée dans le tableau suivant en fonction du matériau (PS92 6.234) :

Matériau	Amortissement critique (%)
Acier soudé	2
Acier boulonné	4
Béton non armé	3
Béton armé et/ou chaîné	4
Béton précontraint	2
Bois lamellé-collé	4
Bois cloué	5
Maçonnerie armée	6
Maçonnerie chaînée	5

coefficient d'amplification topographique τ

Il est tenu compte d'un coefficient multiplicateur τ dit d'amplification topographique pour les ouvrages situés en rebord de crête (PS92 5.24).

Si l'on considère une arête C délimitant un versant aval de pente I (tangente de l'angle de pente) et un versant amont de pente i, et si :

- $H > 10\text{m}$ (H étant la hauteur au-dessus de la base du relief)

- $i < I/3$

le coefficient τ prend pour valeur

$$\tau = 1 \quad I - i < 0.4$$

$$\tau = 1 + 0.8 (I - i - 0.4) \quad 0.4 < I - i < 0.9$$

$$\tau = 1.4 \quad I - i > 0.9$$

Sur le tronçon CB du versant amont défini par la largeur b de sa projection horizontale (en m)

$$b = \text{minimum de } \{ 20 I, (H+10)/4 \}$$

- fait l'objet d'un raccordement linéaire entre les valeurs 1 et τ le long des deux tronçons AC et BD, de longueur $a = AC = H/3$ et $c = BD = H/4$

- prend la valeur 1 à l'aval du point A

5.24

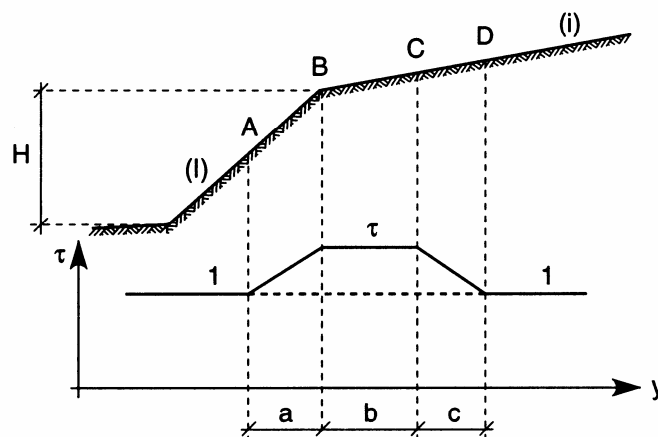


Figure 5.24

coefficient de comportement q

Pour les structures de bâtiment ne présentant que des non-linéarité de comportement des matériaux et des non-linéarités géométriques peut accusées, un calcul linéaire équivalent peut être conduit dans les conditions suivantes :

- modèle : la structure est fictivement considérée comme étant indéfiniment élastique, et sans modification de ses conditions de liaisons quelle que soit l'intensité des actions sismiques ;
- mouvement sismique : on utilise les spectres de dimensionnement normalisés (PS92 5.23) ;
- les déplacements de la structure sont en principe considérés comme égaux à ceux calculés pour leur modèle élastique fictif, à partir du spectre de dimensionnement, sauf dans le cas d'une détermination directe du coefficient de comportement ;
- les forces et sollicitations de calcul sont obtenues en divisant les forces et sollicitations calculées dans les mêmes conditions que ci-dessus par un coefficient « q » dit « coefficient de comportement ».

Le coefficient de comportement relatif à la composante verticale du séisme doit être pris égal à :

$$q_z = \max(1, q/2)$$

A titre indicatif, le coefficient de comportement des structures métalliques sont indiqués ci-après (PS92 13.4) :

structures à cadres structures à contreventement excentré structures à cadres et contreventées	q
Structures multi-étagées à cadres	6
Portique ou structure à contreventement excentré	5.5

<i>Type de structure</i>	q
Structure avec diaphragme	2
Structure en console	2

<i>Type de structure</i> structures à contreventement centré	q
Contreventement en croix de Saint-André	4
Contreventement en V	2
Contreventement en K	1

Le comportement de comportement est majoré par la classe des sections d'acier employées (PS92 13.5):

Coefficient de comportement q	Classe de section
$q < 6$	Classe A
$q < 4$	Classe B
$q < 2$	Classe C

masses à prendre en compte dans les calculs, fraction ϕ

Les masses à faire entrer en ligne de compte pour la détermination des actions sismiques sont celles des charges permanentes et d'une fraction ϕ des charges d'exploitation et de la charge de neige entrant dans les règles de combinaisons d'actions.

Le coefficient de masse partielle ϕ est donné ci-après :

Nature	ϕ
0 – bâtiment d'habitation ou d'hébergement, bureaux et assimilés	0.20
1 – halles divers, salles d'exposition, autres locaux destinés principalement au transit des personnes, salles de réunions, lieux de culte, salles et tribunes de sport, salles de danse et tout autre lieu avec places debout et utilisation périodique	0.25
2 – salles de classe, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0.40
3 – archives, entrepôts	0.80
4 – autres locaux non visés en 0, 1, 2 et 3	0.65
5 – bâtiments industriels	
catégorie a 1	1
catégorie a 2	0
catégorie a 3	0.65
Neige, altitude inférieure à 500m	0
Neige, altitude supérieure à 500m	0.30
Charges d'exploitation pour le calcul des actions locales	1

Méthode forfaitaire de répartitions des charges

PS92 6.6122 : il est choisi forfaitairement pour la forme du mode fondamental, la courbe d'équation

$$u = z^\alpha$$

formule dans laquelle z désigne la cote a-dimensionnelle d'un niveau et u le déplacement à ce niveau dans la direction de calcul.

Contreventement par voiles

Contreventement par portiques

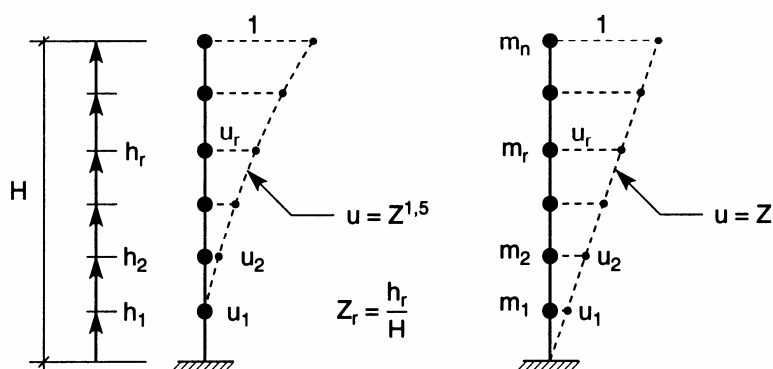


Figure 6.612.2

L'exposant α est fonction du système de contreventement et on peut prendre :

$\alpha=1$ pour les ossatures dont la stabilité est assurée par des portiques.

$\alpha=1.5$ pour les ossatures dont le contreventement est assuré par des voiles ou des palées triangulées.

Les forces statiques équivalentes qui s'appliquent à chaque niveau dans la direction de calcul s'expriment par la relation (PS92 6.6124) :

$$f_r = \rho_0 \cdot m_r \cdot u_r \cdot \frac{\sum_i m_i \cdot u_i}{\sum_i m_i \cdot u_i^2} \cdot \frac{R(T)}{q}$$

Avec les notations :

f_r charge appliquée sur tout nœud (r) de la structure

$R(T) = a_N \cdot R_D(T) \cdot \rho \cdot \tau$ accélération (PS92 5.2)

u_i est le déplacement de mode fondamental au nœud i qui peut être approché par :

$$u_i = (Z_i)^\alpha, \quad Z_i \text{ est la hauteur au-dessus du sol,}$$

$\alpha = 1.5$ pour les ossatures dont la stabilité latérale est assurée par des portiques

m_i est la masse « sismique » au nœud i, correspondant au poids propre et à une fraction ϕ des charges d'exploitation « $G + \phi Q + \phi_n S_n$ » (PS92 6.21) complétée éventuellement par une fraction $\phi_n=0.3$ de la charge de neige pour les altitudes supérieures à 500m

ρ_0 coefficient majorateur correspondant aux participations des modes complémentaires du mode fondamental.

$$\rho_0 = 1 + C_r \left(\frac{T}{T_C} \right)^{3/2}$$

avec

$C_r=0.10$ et $\rho_0 > 1.10$ pour les contreventement par voiles ($\alpha=1.5$)

$C_r=0.05$ et $\rho_0 > 1.05$ pour les portiques ($\alpha=1.0$)

Les charges sismiques horizontales sont simulées dans les directions E_x (selon la direction x) et E_y (selon la direction y).

Les forces verticales sont similaires mais calculées ainsi :

$$R(T)_Z = 0.7 R(T) \quad (PS92 5.1)$$

$$q_Z = 1 = \max(1; q/2) \quad (PS92 6.33)$$

La charge totale sismique peut être l'une des combinaisons :

$$E = \pm \lambda \cdot E_x(y) \pm \mu \cdot E_z$$

Avec $\lambda = \mu = 1$ pour obtenir des charges enveloppes (PS92 6.4).

Avec $E = \pm E_x(y) + E_z$, E_z correspondant à une charge dirigée vers le sol. Il n'est pas prévu de cumuler simultanément le vent et le séisme.

PS92 6.6136 : méthode forfaitaire applicable aux bâtiments de faible hauteur.

Pour les bâtiments de faible hauteur, dont la hauteur H_0 au-dessus du sol est inférieure à 10m ou comportant 3 niveaux de superstructure au plus on peut appliquer la méthode des bâtiments réguliers, mais en prenant en compte toute la masse M et en appliquant le coefficient q des bâtiments réguliers :

$$f_r = m_r \cdot u_r \frac{M}{\sum_i m_i \cdot u_i} \cdot \frac{R(T)}{q}$$

avec $u = Z$

Méthode générale – analyse modale spectrale

PS92 6.621 : le système est modélisé sous la forme d'un système élastique tridimensionnel. Le mouvement sismique de calcul est pris en compte sous la forme d'un spectre de dimensionnement.

NB : cette méthode d'analyse modale spectrale n'est applicable qu'avec le module ICAB Dynamique.

Le calcul des modes propres d'une structure, à savoir les couples (f_i , fréquences propres, $\{V_i\}$ vecteurs propres ou déformées modales), est calculée comme suit:

$$[K]\{V_i\} = \omega_i^2 [M]\{V_i\}$$

$$\omega_i = 2\pi f_i$$

$$\{V_i\}^T [K]\{V_i\} = k_i$$

$$\{V_i\}^T [M]\{V_i\} = m_i$$

$$[V] = [\{V_1\}, \{V_2\}, \dots, \{V_n\}]$$

$$\frac{k_i}{m_i} = \omega_i^2$$

Si les vecteurs propres sont orthogonaux à la matrice d'amortissement $[C]$, les équations dynamiques de la réponse de la structure sont :

$$[M] \cdot \frac{\partial^2 \{u(t)\}}{\partial t^2} + [C] \cdot \frac{\partial \{u(t)\}}{\partial t} + [K] \cdot \{u(t)\} = \{f(t)\}$$

$$\{u\} = [V]\{z\}, \{p\} = [V]^T \{f\}$$

$$[m] = [V]^T [M][V], [c] = [V]^T [C][V], [k] = [V]^T [K][V]$$

$$m_i \frac{\partial^2 z_i}{\partial t^2} + c_i \frac{\partial z_i}{\partial t} + k_i z_i = p_i$$

$$\frac{\partial^2 z_i}{\partial t^2} + 2\xi_i \omega_i \frac{\partial z_i}{\partial t} + \omega_i^2 z_i = \frac{p_i}{m_i}$$

$$2\xi_i \omega_i = \frac{c_i}{m_i}, \omega_i^2 = (2\pi f_i)^2 = \frac{k_i}{m_i}$$

où $u(t)$ est le vecteur des déplacements en fonction du temps t , $z(t)$ le vecteur des déplacements modaux.

Une accélération sismique a_g produit des forces dont la distribution spatiale est :

$$f(t) = [M] \cdot \{r\} \cdot a_g(t)$$

le vecteur $\{r\}$ correspond à une translation unitaire dans l'une des directions X, Y ou Z.

Dans la base modale, les accélérations deviennent :

$$\gamma_i(t) = \frac{p_i(t)}{m_i} = \frac{\{V_i\}^T \cdot [M] \cdot \{r\}}{\{V_i\}^T [M] \{V_i\}} \cdot a_g(t)$$

Pour le dimensionnement para-sismique, on cherche la valeur maximum de la réponse par rapport au spectre de dimensionnement $S(\xi, T)$. Le vecteur des forces élastiques maximums du mode (i) est obtenu à partir de :

$$f_{i,\max} = [M] \cdot \{V_i\} \cdot \frac{\{V_i\}^T \cdot [M] \cdot \{r\}}{\{V_i\}^T [M] \{V_i\}} \cdot S(\xi_i, T_i)$$

avec

$$S(\xi, T) = a_N \cdot R_E(T) \cdot \rho \cdot \tau \quad \text{pour une réponse élastique}$$

$$S(\xi, T) = a_N \cdot R_D(T) \cdot \rho \cdot \tau / q \quad \text{pour un coefficient de comportement } q > 1$$

Combinaison des réponses modales à une direction sismique

La méthode de combinaison quadratique complète (CQC Complete Quadratic Combination) est utilisée pour l'obtention de la réponse maximale R à partir des réponses R_i de n modes :

$$R = \pm \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{i,j} \cdot R_i \cdot R_j \right)^{\frac{1}{2}}$$

Les coefficients de corrélation β_{ij} sont calculés comme suit :

$$(i = j) \Rightarrow \beta_{ii} = 1$$

$$(i \neq j) \Rightarrow \beta_{ij} = \frac{8 \cdot \sqrt{\xi_i \cdot \xi_j} \cdot (\xi_i + \rho \cdot \xi_j) \cdot \rho^{\frac{3}{2}}}{K \cdot (1 - \rho^2)^2 + 4 \cdot \xi_i \cdot \xi_j \cdot \rho \cdot (1 + \rho^2) + 4 \cdot (\xi_i^2 + \xi_j^2) \cdot \rho^2}$$

$$\rho = \frac{T_j}{T_i} = \frac{f_i}{f_j} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

avec

$$K=10^4 \quad \text{si les amortissements sont exprimés en pourcentage } (\xi=5\%)$$

$$K=1 \quad \text{si les amortissements sont relatifs par rapport à l'unité } (\xi=0.05)$$

Troncature modale

Dans la mesure où le nombre de modes utilisés pour la superposition modale est inférieur au nombre de degrés de liberté de la structure, une partie de la masse n'est pas prise en compte.

L'inertie totale mise en jeu lors du mouvement $\{r\}$ est :

$$M_{TOT} = r^T \cdot M \cdot r$$

L'inertie mise en jeu par les n modes propres est :

$$r = [V] \cdot z$$

$$[V]^T \cdot [M] \cdot r = [V]^T \cdot [M] \cdot [V] \cdot z$$

$$z_i = \frac{\{V_i\}^T \cdot [M] \cdot r}{m_i}$$

$$M_m = \sum_{i=1}^n m_i \cdot z_i^2 = r^T \cdot [M]^T \cdot [V] \cdot [V]^T \cdot [M] \cdot r$$

La différence entre la masse totale et la masse mise en jeu par les modes peut être estimée comme :

$$e = \frac{M_{TOT} - M_m}{M_{TOT}}$$

Conformément à la section PS92 6.622, la contribution des modes manquant associée à la troncature modale est ajoutée au prorata du coefficient « e » :

$$f_{i,troncature} = [M] \cdot \{r\} \cdot \frac{M_{TOT} - M_m}{M_{TOT}} \cdot S(\xi, T_t)$$

$$\frac{1}{T_t} = \max\left(\frac{1}{T_n}, 33\text{Hz}\right)$$

Le spectre S est calculé à la fréquence majorant celle du dernier mode de l'analyse modale ou 33Hz qui est la fréquence de coupure pour l'analyse spectrale (cf PS92 6.622).

NB : les règles PS92 recommandent d'estimer les modes propres de la structure jusqu'à 33Hz et en nombre suffisant de manière à ce que la somme des masses modales dépassent 90% de la masse totale (e < 10%).

Combinaison des charges

Les charges sismiques horizontales sont simulées dans les directions verticale Ez et horizontales Eh (avec h=x, y ou xy c'est à dire dans les directions x, y, et la bissectrice xy)

La charge totale sismique peut être l'une des combinaisons :

$$E = \pm\lambda \cdot Eh \pm \mu \cdot Ez$$

Avec $\lambda=\mu=1$ pour obtenir des charges enveloppes (PS92 6.4).

La charge sismique E est ajoutée à la combinaison ayant servi à la création de cette charge E.

Les actions sismiques sont considérées comme des actions accidentelles (ELA état limite accidentel). En conséquence, elles sont définies par des valeurs nominales et sont pondérées dans les calculs par un coefficient égal à 1. (PS92 2.1)

Pour les combinaisons AISC-ASD, le coefficient de pondération est $1/1.4=0.714$

Annexe A: zonage sismique en France

Les zones sismiques sont définies par décrets ; la mise à jour de ces zones est disponible sur le site du ministère de l'environnement www.prim.net



01 - Ain		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Belley	I b	Belley, Champagne-en-Valromey, Seyssel, Virieu-le-Grand
	I a	Hauteville-Lompnes, Lhuis, Saint-Rambert-en-Bugey
Gex	I b	Collonges, <i>Ferney-Voltaire</i> , Gex
Nantua	I b	Bellegarde-sur-Valserine
	I a	Brénod, Nantua, Oyonnax (tous les cantons)
Décret : 12 juin 1990 (J.O. du 16 juin 1990).		

04 - Alpes-de-Haute-Provence		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Barcelonnette	I b	Barcelonnette, Le Lauzet-Ubaye
Castellane	II	Entrevaux
	I b	Allos-Colmars (chef-lieu : Colmars), Annot, Castellane, Saint-André-les-Alpes
Digne-les-Bains	II	Les Mées, Valensole
	I b	Barrême, Digne-les-Bains (tous les cantons), La Javie, Mézel, Moustiers-Sainte-Marie, Riez, Seyne
Forcalquier	II	Manosque (tous les cantons), Peyruis
	I b	Forcalquier, Reillanne, Saint-Etienne-les-Orgues, Sisteron, Turriers, Volonne
	I a	Banon, La Motte-du-Caire, Noyers-sur-Jabron

05 - Hautes-Alpes		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Briançon	I b	Aiguilles, L'Argentière-la-Bessée, Briançon (tous les cantons), Guillestre
	I a	La Grave, Le Monétier-les-Bains
Gap	I b	Chorges, Embrun, Savines-le-Lac
	I a	La Bâtie-Neuve, Gap (tous les cantons), Laragne-Montéglin, Orcières, Ribiers, Tallard

06-Alpes-Maritimes		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Grasse	II	Cagnes-sur-Mer (cantons Ouest et Centre), Carros, Coursegoules, Saint-Laurent-du-Var-Cagnes-sur-Mer-Est (chef-lieu: Saint-Laurent-du-Var), Vence
	I b	Antibes-Biot, Antibes-Centre, Cannes (cantons Est et Centre), Grasse (tous les cantons), Le Bar-sur-Loup, Le Cannet, Mandelieu-Cannes-Ouest (chef-lieu: Mandelieu-La Napoule), Mougins, Saint-Auban, Saint-Vallier-de-Thiery, Vallauris-Antibes-Ouest
Nice	II	Beausoleil, Breil-sur-Roya, Contes, L'Escarène, Guillaumes, Lantosque, Levens, <i>Menton</i> (tous les cantons), Nice (tous les cantons), Puget-Théniers, Roquebillière, Roquesteron, Saint-Etienne-de-Tinée, Saint-Martin-Vésubie, Saint-Sauveur-sur-Tinée, Sospel, Tende, Villars-sur-Var, Villefranche-sur-Mer

07 - Ardèche		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Privas	I a	Bourg-Saint-Andéol, Rochemaure, Viviers

09 - Ariège		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Canton</i>
Foix	I b	Ax-les-Thermes, Les Cabannes, Quérigut, Tarascon-sur-Ariège, Vicdessos
	I a	La Bastide-de-Sérou, Foix-Ville, Foix-Rural (chef-lieu : Montgaillard), Lavelanet
Pamiers	I a	Le Mas-d'Azil, Varilhes
Saint-Girons	I b	Castillon-en-Couserans, Massat, Oust, Saint-Girons, Saint-Lizier
	I a	Sainte-Croix-Volvestre

11 - Aude		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Carcassonne	I a	Mouthoumet
Limoux	I b	Axat
	I a	Belcaire, Couiza, Quillan
Narbonne	I b	Tuchan
	I a	Durban-Corbières, Sigean

13 - Bouches-du-Rhône		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Aix-en-Provence	II	Lambesc, <i>Pélissanne</i> , Peyrolles-en-Provence, <i>Salon-de-Provence</i>
	I b	Aix-en-Provence (tous les cantons), Trets
	I a	<i>Les Pennes-Mirabeau</i> , Gardanne
Arles	I b	Eyguières, Orgon
	I a	Arles-Est, Châteaurenard, Saint-Rémy-de-Provence
Istres	I b	<i>Berre-l'Étang</i> , Istres (tous les cantons), Vitrolles
	I a	<i>Châteauneuf-Côte-Bleue</i> , Marignane, Martigues (tous les cantons)
Marseille	I a	Roquevaire

14 - Calvados		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Caen	I a	Bourguébus, Bretteville-sur-Laize, Cabourg, Caen (tous les cantons), Creully , Douvres-la-Délivrande , Evrecy, Hérouville-Saint-Clair (Caen 51 canton), Ouistreham, Tilly-sur-Seulles, Troarn

15 - Cantal		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Saint-Flour	I a	Massiac

17 - Charente-Maritime		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Rochefort	I a	Le Château-d'Oléron, Marennes, Rochefort (tous les cantons), Saint-Agnant, Saint-Pierre-d'Oléron, La Tremblade

25 - Doubs		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Besançon	I a	Pierrefontaine-les-Varans
Montbéliard	I b	<i>Audincourt, Etupes</i> , Hérimoncourt, Maïche, Montbéliard (tous les cantons), Pont-de-Roide, Saint-Hippolyte, Sochaux-Grand-Charmont (chef-lieu : Sochaux), Valentigney
	I a	Clerval, L'Isle-sur-le-Doubs, Le Russey
Pontarlier	I a	Morteau, Mouthe, Pontarlier

26 - Drôme		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Die	I b	La Chapelle-en-Vercors
	I a	Châtillon-en-Diois, Die
Nyons	I b	Pierrelatte, Saint-Paul-Trois-Châteaux
	I a	Buis-les-Baronnies, Grignan, Nyons
Valence	I b	Montélimar (tous les cantons)
	I a	Dieulefit, Marsanne, Saint-Jean-en-Royans

30 - Gard		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Nîmes	I a	Bagnols-sur-Cèze, Pont-Saint-Esprit, Roquemaure, Villeneuve-lès-Avignon

31 - Haute-Garonne		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Saint-Gaudens	I b	Aspet, Bagnères-de-Luchon, Barbazan, Montréjeau, Saint-Béat
	I a	Boulogne-sur-Gesse, Saint-Gaudens, Salies-du-Salat

37 - Indre-et-Loire		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Chinon	I a	Chinon, L'Île-Bouchard, Richelieu, Sainte-Maure-de-Touraine

38 - Isère		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Grenoble	I b	Allevard, Clelles, Domène, Echirolles (tous les cantons), Eybens, Fontaine-Sassenage, Fontaine-Seyssinet, Goncelin, Grenoble (tous les cantons), Meylan, Monestier-de-Clermont, La Mure , Rives, Saint-Egrève, Saint-Ismier, Saint-Laurent-du-Pont, Saint-Martin-d'Hères (tous les cantons), Le Touvet, Tullins, Vif, Villard-de-Lans, Vizille, Voiron
	I a	Le Bourg-d'Oisans, Corps, Mens, Pont-en-Royans, Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs, Saint-Marcellin, Valbonnais , Vinay

La Tour-du-Pin	I b	Le Pont-de-Beauvoisin, Saint-Geoire-en-Valdaine, Virieu
	I a	Bourgoin-Jallieu (tous les cantons), Le Grand-Lemps, <i>Morestel</i> , <i>La Tour-du-Pin</i>
Décrets : 27 janvier 1993 (J.O. du 29 janvier 1993), 6 décembre 1994 (J.O. du 13 décembre 1994), 26 février 1997 (J.O. du 27 février 1997).		
39 - Jura		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Saint-Claude	I a	Les Bouchoux, Morez, Saint-Claude

43 - Haute-Loire		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Brioude	I a	Blesle

44 - Loire-Atlantique		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Nantes	I a	Machecoul, Saint-Philbert-de-Grand-Lieu
Saint-Nazaire	I a	Bourgneuf-en-Retz

63 - Puy-de-Dôme		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Clermont-Ferrand	I b	Aubière, Beaumont, Chamalières, Clermont-Ferrand (tous les cantons), Cournon-d'Auvergne, Gerzat, Montferrand (chef-lieu : Clermont-Ferrand), Pont-du-Château, Royat, Saint-Amant-Tallende, Vertaizon, Veyre-Monton
	I a	Billom, Rochefort-Montagne, Saint-Dier-d'Auvergne, Vic-le-Comte
Issoire	I a	Ardes, Besse-et-Saint-Anastaise, Champeix, Issoire, Saint-Germain-Lembron
Riom	I b	Ennezat, Riom (tous les cantons)
	I a	Aigueperse, Combronde, Manzat, Pontgibaud, Randan
Thiers	I a	Courpière, Lezoux, Maringues, Thiers

64 - Pyrénées-Atlantiques		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Bayonne	I a	Iholdy, Saint-Etienne-de-Bdgorry, Saint-Jean-Pied-de-Port
Oloron-Sainte-Marie	II	Arudy, Laruns
	I b	Accous, Aramits, Lasseube, Oloron-Sainte-Marie (tous les cantons), Tardets-Sorholus
	I a	Mauléon-Licharre, Monein, Navarrenx
Pau	II	Nay-Bourdettes (tous les cantons)
	I b	Jurançon (chef-lieu : Pau), Pau (tous les cantons), Pontacq
	I a	Billère, Lescar, Montaner, Morlaàs

65 - Hautes-Pyrénées		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Argelès-Gazost	II	Argelès-Gazost, Aucun, Lourdes (tous les cantons), Saint-Pé-de-Bigorre
	I b	Luz-Saint-Sauveur
Bagnères-de-Bigorre	II	Arreau, Bagnères-de-Bigorre, La Barthe-de-Neste, Campan
	I b	Bordères-Louron, Lannemezan, Mauléon-Barousse, Saint-Laurent-de-Neste, Vielle-Aure
Tarbes	I b	Aureilhan, Bordères-sur-l'Echez, Galan, Laloubère, Ossun, Pouyastruc, Séméac, Tarbes (tous les cantons), Tournay, Trie-sur-Baïse
	I a	Castelnau-Magnoac, Rabastens-de-Bigorre, Vic-en-Bigorre
	0	Castelnau-Rivière-Basse, Maubourguet

66 - Pyrénées-Orientales		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Céret	II	Arles-sur-Têch, Prats-de-Mollo-la-Preste
	I b	Argelès-sur-Mer, Céret, Côte Vermeille (chef-lieu Port-Vendres)
Perpignan	I b	<i>Canet-en-Roussillon, La Côte Radieuse</i> (chef-lieu Saint-Cyprien), Elne, Latour-de-France, Millas, Perpignan (tous les cantons), Rivesaltes, Saint-Estève, <i>Saint-Laurent-de-la-Salanque</i> , Saint-Paul-de-Fenouillet, Thuir, Toulouges
Prades	II	Mont-Louis, Olette, Saillagouse
	I b	Prades, Sournia, Vinça

67 - Bas-Rhin		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Haguenau	I b	Bischwiller
	I a	Haguenau
Molsheim	I a	Molsheim, Rosheim, Wasselonne
Pflestat-Erstein	I b	Benfeld, Erstein, Marckolsheim
	I a	Barr, Obernai, Sélestat, Villé
Strasbourg-Campagne	I b	Bischheim, Brumath, Geispolsheim, Illkirch-Graffenstaden, Mundolsheim, Schiltigheim
	I a	Hochfelden, Truchtersheim
Strasbourg-Ville	I b	Strasbourg (tous les cantons)
Wissembourg	I b	Eauterbourg, Seltz
	I a	Soultz-sous-Forêts, Wissembourg, Woerth

68 - Haut-Rhin		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Altkirch	II	Altkirch, Ferrette, Hirsingue
	I b	Dannemarie
Colmar	I b	Andolsheim, Colmar (tous les cantons), Munster, Neuf-Brisach, Wintzenheim
Guebwiller	I b	Ensisheim, <i>Guebwiller</i> , Rouffâch, <i>Soultz-Haut-Rhin</i>
Mulhouse	II	Habsheim, Huningue, Sierentz
	I b	Illzach, Mulhouse (tous les cantons), Wittenheim
Ribeauvillé	I b	Kaysersberg
	I a	Lapoutroie, Ribeauvillé, Sainte-Marie-aux-Mines
Thann	I b	Cernay, Masevaux, Saint-Amarin, Thann

70 - Haute-Saône		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Lure	I b	Faucogney-et-la-Mer, Héricourt (tous les cantons)
	I a	Champagny, Lure (tous les cantons), Luxeuil-les-Bains, Mélissey, Saint-Loup-sur-Semouse, Saint-Sauveur, Villersexel

73 - Savoie		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Albertville	I b	Albertville (tous les cantons), Beaufort, Bourg-Saint-Maurice, Grésy-sur-Isère, Moûtiers, Ugine
	I a	Aime, Bozel
Chambéry	I b	Aix-les-Bains-Centre, Aix-les-Bains-Sud (chef-lieu : Drumettaz-Clarafond), Aix-les-Bains-Nord-Grésy (chef-lieu: Grésy-sur-Aix), Albens, Chambéry (tous les cantons), <i>Chamoux-sur-Gelon</i> , Le Châtelard, Cognin, Les Echelles, <i>Montmélian</i> , La Motte-Servolex, Le Pont-de-Beauvoisin, La Ravoire, La Rochette, Ruffieux, Saint-Alban-Laysse, Saint-Genix-sur-Guiers, Saint-Pierre-d'Albigny, Yenne
Saint-Jean-de-Maurienne	I b	Aiguebelle, La Chambre, Saint-Jean-de-Maurienne
	I a	Lanslebourg-Mont-Cenis, Modane, Saint-Michel-de-Maurienne
Décret : 27 janvier 1993 (J.O. du 29 janvier 1993).		

74 - Haute-Savoie		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Annecy	I b	Alby-sur-Chéran, Annecy (tous les cantons), Annecy-le-Vieux, Faverges, Rumilly, Seynod, Thônes, Thorens-Glières
Bonneville	I b	Bonneville, Chamonix-Mont-Blanc, Cluses, La Roche-sur-Foron, Saint-Gervais-les-Bains, Saint-Jeoire, Sallanches, Samoëns, Scionzier
	I a	<i>Taninges</i>

Saint-Julien-en-Genevois	I b	Annemasse (tous les cantons), Cruseilles, Frangy, Reignier, Saint-Julien-en-Genevois, Seyssel
Thonon-les-Bains	I b	Douvaine
	I a	Abondance, <i>Le Biot</i> , Boège, Evian-les-Bains, <i>Thonon-les-Bains</i> (tous les cantons)
Décrets : 15 mars 1993 (J.O. du 20 mars 1993), 26 février 1997 (J.O. du 27 février 1997).		

79 - Deux-Sèvres		
Arrondissement	Zone	Cantons
Bressuire	I a	Thouars II' canton
Parthenay	I a	Airvault, Parthenay, Saint-Loup-Lamairé

83 - Var		
Arrondissement	Zone	Cantons
Draguignan	I b	Comps-sur-Artuby
	I a	Callas, Draguignan, Fayence, Fréjus, Saint-Raphaël, Salernes
	0	Grimaud, Lorgues, Le Luc, Le Muy, Saint-Tropez
Toulon	0	Le Beausset, Collobrières, La Crau, Cuers, La Garde, Hyères (tous les cantons), Ollioules, Saint-Mandrier-sur-Mer, La Seyne-sur-Mer, Six-Fours-les-Plages, Solliès-Pont, Toulon (tous les cantons), La Valette-du-Var
Brignoles	I b	Aups, Rians
	I a	Barjols, Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, Tavernes
	0	Besse-sur-Issole, Brignoles, Cotignac, La Roquebrussanne

Décret : 13 janvier 1997 (J.O. du 15 janvier 1997).

84 - Vaucluse		
Arrondissement	Zone	Cantons
Apt	I b	Apt, Bonnieux, Cadenet, Cavaillon, Pertuis
	I a	Gordes
Avignon	I a	Avignon (tous les cantons), Bédarrides, Bollène, L'Isle-sur-la-Sorgue, Orange (tous les cantons), Valréas
Carpentras	I a	Beaumes-de-Venise, Carpentras (tous les cantons), Malaucène, Mormoiron, Pernes-les-Fontaines, Sault, Vaison-la-Romaine

85 - Vendée		
Arrondissement	Zone	Cantons
Les Sables-d'Olonne	I a	Beauvoir-sur-Mer, Challans

86 - Vienne		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Châtellerault	I a	Loudun, Moncontour, Les Trois-Moutiers

88 - Vosges		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Epinal	I b	Plombières-les-Bains, Remiremont
	I a	Bruyères, Epinal (tous les cantons), Saulxures-sur-Moselotte, Le Thillot, Xertigny
Saint-Dié	I a	Corcieux, Fraize, Gérardmer

90 - Territoire de Belfort		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Belfort	I b	Beaucourt, Belfort (tous les cantons), Châtenois-les-Forges, Danjoutin, Delle, Fontaine, Giromagny, Grandvillars, Offemont, Rougemont-le-Château, Valdoie

971 - Guadeloupe		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Basse-Terre	III	Baie-Mahault, Basse-Terre (tous les cantons), Bouillante, Capesterre-Belle-Eau (tous les cantons), Gourbeyre, Goyave, Lamentin, Petit-Bourg, Pointe-Noire, Saint-Claude, Sainte-Rose (tous les cantons), Les Saintes (chef-lieu Terre-de-Bas), Trois-Rivières, Vieux-Habitants
Pointe-à-Pitre	III	Les Abymes (tous les cantons), Anse-Bertrand, Capesterre-de-Marie-Galante, La Désirade, Gosier, Grand-Bourg, Morne-à-l'Eau (tous les cantons), Moule (tous les cantons), Petit-Canal, Pointe-à-Pitre (tous les cantons), Saint-François, Saint-Louis, Sainte-Anne (tous les cantons)
Saint-Martin-Saint-Barthélemy	III	Saint-Barthélemy, <i>Saint-Martin</i> (tous les cantons)

972 - Martinique		
<i>Arrondissement</i>	<i>Zone</i>	<i>Cantons</i>
Fort-de-France	III	Le Carbet, Case-Pilote-Bellefontaine, Fort-de-France (tous les cantons), Lamentin (tous les cantons), Le Morne-Rouge, Le Prêcheur, Saint-Joseph, Saint-Pierre, Schoelcher (tous les cantons)
La Trinité	III	L'Ajoupa-Bouillon, Basse-Pointe, Gros-Morne, Le Lorrain, Macouba, Le Marigot, Le Robert (tous les cantons), Sainte-Marie (tous les cantons), La Trinité
Le Marin	III	Les Anses-d'Arlet, Le Diamant, Ducos, François (tous les cantons), Le Marin, Rivière-Pilote, Rivière-Salée, Saint-Esprit, Sainte-Anne, Sainte-Luce, Les Trois-Îlets, Le Vauclin

	<i>Zone</i>
Mayotte, Futuna	lb
Wallis	la
Réunion, Guyane	0
Saint-Pierre et Miquelon	0
Nouvelle Calédonie	0

Les cantons définis au 1er septembre 1997 sont classés par département, arrondissement et zone de sismicité conformément à l'annexe du décret n° 91-461 du 14 mai 1991 (découpage cantonal au 1er janvier 1989).

NB - Les cantons modifiés ou créés depuis le 1er janvier 1989 sur plusieurs zones de sismicité sont signalés en caractères gras. Les cantons modifiés ou créés depuis le 1er janvier 1989 dans la même zone de sismicité sont signalés en caractères italiques. Les références des décrets correspondants sont données pour les départements concernés.

Définition des charges sismiques Eurocode 8

La norme de référence EN1998-1 (AFNOR P06-030-1), « calcul des structures pour leur résistance aux séismes, Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments » définit les actions sismiques.

Classe de sols

Les classes de sol A, B, C, D et E, décrites par les profils stratigraphiques et les paramètres donnés dans le Tableau 3.1 et décrits ci-dessous, peuvent être utilisées pour prendre en compte l'influence des conditions locales de sol sur l'action sismique. Cette influence peut aussi être prise en compte en considérant en plus l'influence de la géologie profonde sur l'action sismique.

<i>Classe de sol</i>	<i>Description du profil stratigraphique</i>
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s
S1	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ($PI > 40$) et une teneur en eau importante.
S2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S 1 .

Spectre de réponse élastique horizontal

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

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

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

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

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

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 ($a_g = c_1 \times a_{gR}$) ;

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

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

Spectre de réponse élastique verticale

Le spectre de réponse élastique $S_{ve}(T)$ pour les composantes verticales de l'action sismique est défini par les expressions suivantes (EN1998-1 3.2.2.3):

3.2.2.3 Spectre de réponse élastique verticale

(1)P La composante verticale de l'action sismique doit être représentée par un spectre de réponse élastique, $S_{ve}(T)$, calculé en utilisant les expressions (3.8) à (3.11).

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \quad \dots (3.8)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \quad \dots (3.9)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad \dots (3.10)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad \dots (3.11)$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique avec coefficient de comportement

(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) 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) Pour les composantes horizontales de l'action sismique, le spectre de calcul, $S_d(T)$, doit être défini par les expressions suivantes (EN1998-1 3.2.2.5):

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

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

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

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

Où

q est le coefficient de comportement

β est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre horizontal de calcul. La valeur recommandée est $\beta=0.2$

Détermination de l'accélération A_g (risque normal)

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

I. — Classification des bâtiments.

Pour l'application du présent arrêté, les bâtiments de la classe dite « à risque normal » sont répartis en quatre catégories d'importance définies par l'article R. 563-3 du code de l'environnement et précisées par le présent article. Pour les bâtiments constitués de diverses parties relevant de catégories d'importance différentes, c'est le classement le plus contraignant qui s'applique à leur ensemble.

Les bâtiments sont classés comme suit :

En catégorie d'importance I :

Les bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée et non visés par les autres catégories du présent article.

En catégorie d'importance II :

- les bâtiments d'habitation individuelle ;
- les établissements recevant du public des 4^e et 5^e catégories au sens des articles R. 123-2 et R. 123-19 du code de la construction et de l'habitation, à l'exception des établissements scolaires ;
- les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 28 mètres :
 - bâtiments d'habitation collective ;
 - bâtiments à usage commercial ou de bureaux, non classés établissements recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction et de l'habitation, pouvant accueillir simultanément un nombre de personnes au plus égal à 300 ;
- les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle pouvant accueillir simultanément un nombre de personnes au plus égal à 300 ;
- les bâtiments abritant les parcs de stationnement ouverts au public.

En catégorie d'importance III :

- les établissements scolaires ;
- les établissements recevant du public des 1^{re}, 2^e et 3^e catégories au sens des articles R. 123-2 et R. 123-19 du code de la construction et de l'habitation ;
- les bâtiments dont la hauteur dépasse 28 mètres :
 - bâtiments d'habitation collective ;
 - bâtiments à usage de bureaux ;
- les autres bâtiments pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes appartenant notamment aux types suivants :
 - les bâtiments à usage commercial ou de bureaux, non classés établissements recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction et de l'habitation ;
 - les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle ;
 - les bâtiments des établissements sanitaires et sociaux, à l'exception de ceux des établissements de santé au sens de [l'article L. 711-2 du code de la santé publique](#) qui dispensent des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique et qui sont mentionnés à la catégorie d'importance IV ci-dessous ;
 - les bâtiments des centres de production collective d'énergie quelle que soit leur capacité d'accueil.

En catégorie d'importance IV :

- les bâtiments dont la protection est primordiale pour les besoins de la sécurité civile et de la défense nationale ainsi que pour le maintien de l'ordre public et comprenant notamment :
- les bâtiments abritant les moyens de secours en personnels et matériels et présentant un caractère opérationnel ;
- les bâtiments définis par le ministre chargé de la défense, abritant le personnel et le matériel de la défense et présentant un caractère opérationnel ;
- les bâtiments contribuant au maintien des communications, et comprenant notamment ceux:
 - des centres principaux vitaux des réseaux de télécommunications ouverts au public ;
 - des centres de diffusion et de réception de l'information ;
 - des tours hertziennes stratégiques ;
 - les bâtiments et toutes leurs dépendances fonctionnelles assurant le contrôle de la circulation aérienne des aérodromes classés dans les catégories A, B et C2 suivant les instructions techniques pour les aérodromes civils (ITAC) édictées par la direction générale de l'aviation civile, dénommées respectivement 4 C, 4 D et 4 E suivant l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) ;
 - les bâtiments des établissements de santé au sens de l'[article L. 711-2 du code de la santé publique](#) qui dispensent des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique ;
 - les bâtiments de production ou de stockage d'eau potable ;
 - les bâtiments des centres de distribution publique de l'énergie ;
 - les bâtiments des centres météorologiques.

II. — Détermination du nombre de personnes.

Pour l'application de la classification ci-dessus, le nombre des personnes pouvant être simultanément accueillies dans un bâtiment est déterminé comme suit :

- pour les établissements recevant du public : selon la réglementation en vigueur ;
- pour les bâtiments à usage de bureaux ne recevant pas du public : en comptant une personne pour une surface de plancher hors œuvre nette égale à 12 mètres carrés ;
- pour les autres bâtiments : sur déclaration du maître d'ouvrage.

III. — Coefficient d'importance du bâtiment.

Un coefficient d'importance g_I (au sens de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005) est attribué à chacune des catégories d'importance de bâtiment. Les valeurs des coefficients d'importance g_I sont données par le tableau suivant :

CATÉGORIES D'IMPORTANCE de bâtiment	COEFFICIENTS d'importance g_I
I	0,8
II	1
III	1,2
IV	1,4

IV. — Le coefficient de réduction n (au sens de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005) appliqué à l'action sismique de calcul pouvant être utilisé pour obtenir l'action sismique

servant à la vérification de l'état de limitation des dommages est égal à 0,4 quelle que soit la catégorie d'importance du bâtiment.

Article 3

Les règles de construction définies à l'article 4 s'appliquent :

1° A la construction de bâtiments nouveaux des catégories d'importance III et IV dans la zone de sismicité 2 définie par l'article R. 563-4 du code de l'environnement ;

2° A la construction de bâtiments nouveaux des catégories d'importance II, III et IV dans les zones de sismicité 3, 4 et 5 définies par l'article R. 563-4 du code de l'environnement ;

3° Aux bâtiments existants dans les conditions suivantes :

Conditions générales :

La catégorie d'importance à considérer pour l'application des dispositions constructives est celle qui résulte du classement du bâtiment après travaux ou changement de destination.

Les extensions de bâtiments désolidarisées par un joint de fractionnement respectent les règles applicables aux bâtiments neufs telles qu'elles sont définies à l'article 4.

Les travaux, de quelque nature qu'ils soient, réalisés sur des bâtiments existants ne doivent pas aggraver la vulnérabilité de ceux-ci au séisme.

En cas de travaux visant uniquement à renforcer le niveau parasismique d'un bâtiment, le niveau de dimensionnement de ce renforcement au sens de la norme NF-EN 1998-3 décembre 2005 « évaluation et renforcement des bâtiments » à savoir quasi-effondrement, dommage significatif ou limitation des dommages relève du choix du maître d'ouvrage.

Conditions particulières :

I. — En zone de sismicité 2 :

1. Pour les bâtiments de catégories d'importance III et IV, en cas de remplacement ou d'ajout d'éléments non structuraux, ils respecteront les dispositions prévues dans la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 pour ces éléments.

2. Pour les bâtiments de catégories d'importance IV, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 % ou supprimant plus de 30 % d'un plancher à un niveau donné, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,42 \text{ m/s}^2$.

II. — En zone de sismicité 3 :

Pour les bâtiments de catégories d'importance II, III et IV :

1. Le remplacement ou l'ajout d'éléments non structuraux respectera les dispositions prévues dans la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 pour ces éléments.

2. En cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 % ou supprimant plus de 30 % d'un plancher à un niveau donné, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,66 \text{ m/s}^2$ ou de la norme NF P 06-104 mars 1995 amendée A1 février 2001 s'il s'agit de bâtiments vérifiant les conditions d'utilisation de cette norme même après réalisation des travaux en utilisant les dispositions applicables à la zone de sismicité immédiatement inférieure, soit la zone 2.

III. — En zone de sismicité 4 :

1. Pour les bâtiments de catégories II, III et IV, le remplacement ou l'ajout d'éléments non structuraux respectera les dispositions prévues dans la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 pour ces éléments.

2. Pour les bâtiments de catégories d'importance II et vérifiant les conditions d'application de la norme NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 %, il sera fait application de la norme NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001 en utilisant les dispositions applicables dans la zone de sismicité immédiatement inférieure soit la zone 3.

3. Pour les bâtiments de catégories d'importance II et ne vérifiant pas les conditions

d'application de la norme NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 % ou supprimant plus de 30 % de planchers à un niveau donné, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,96 \text{ m/s}^2$.

4. Pour les bâtiments de catégories d'importance III, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 20 %, ou de supprimer plus de 30 % de planchers à un niveau donné, ou de supprimer plus de 20 % du contreventement vertical, ou de mettre en place des équipements lourds en toiture, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,96 \text{ m/s}^2$.

5. Pour les bâtiments de catégories d'importance IV, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 20 %, ou de supprimer plus de 30 % de planchers à un niveau donné, ou de supprimer plus de 20 % du contreventement vertical, ou de mettre en place des équipements lourds en toiture, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,96 \text{ m/s}^2$.

IV. — En zone de sismicité 5 :

1. Pour les bâtiments de catégories II, III et IV, le remplacement ou l'ajout d'éléments non structuraux respectera les dispositions prévues dans la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 pour ces éléments.

2. Pour les bâtiments de catégories d'importance II et vérifiant les conditions d'application de la norme NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 %, il sera fait application du document « Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles, CP-MI Antilles » de 2004, rédigé par l'Association française de génie parasismique (AFPS).

3. Pour les bâtiments de catégories d'importance II et ne vérifiant pas les conditions d'application de la norme NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 20 %, ou de supprimer plus de 30 % de planchers à un niveau donné, ou de supprimer plus de 20 % du contreventement vertical, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 1,8 \text{ m/s}^2$.

4. Pour les bâtiments de catégories d'importance III et IV, en cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 20 %, ou de supprimer plus de 30 % de planchers à un niveau donné, ou de supprimer plus de 20 % du contreventement vertical, ou de mettre en place des équipements lourds en toiture, il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 1,8 \text{ m/s}^2$.

Article 4

I. — Les règles de construction applicables aux bâtiments mentionnés à l'article 3 sont celles des normes NF EN 1998-1 septembre 2005, NF EN 1998-3 décembre 2005, NF EN 1998-5 septembre 2005, dites « règles Eurocode 8 » accompagnées des documents dits « annexes nationales » des normes NF EN 1998-1/NA décembre 2007, NF EN 1998-3/NA janvier 2008, NF EN 1998-5/NA octobre 2007 s'y rapportant.

Les dispositifs constructifs non visés dans les normes précitées font l'objet d'avis techniques ou d'agrément techniques européens.

II. — Le mouvement dû au séisme en un point donné de la surface du sol, 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 ».

La forme du spectre de réponse élastique dépend des paramètres suivants :

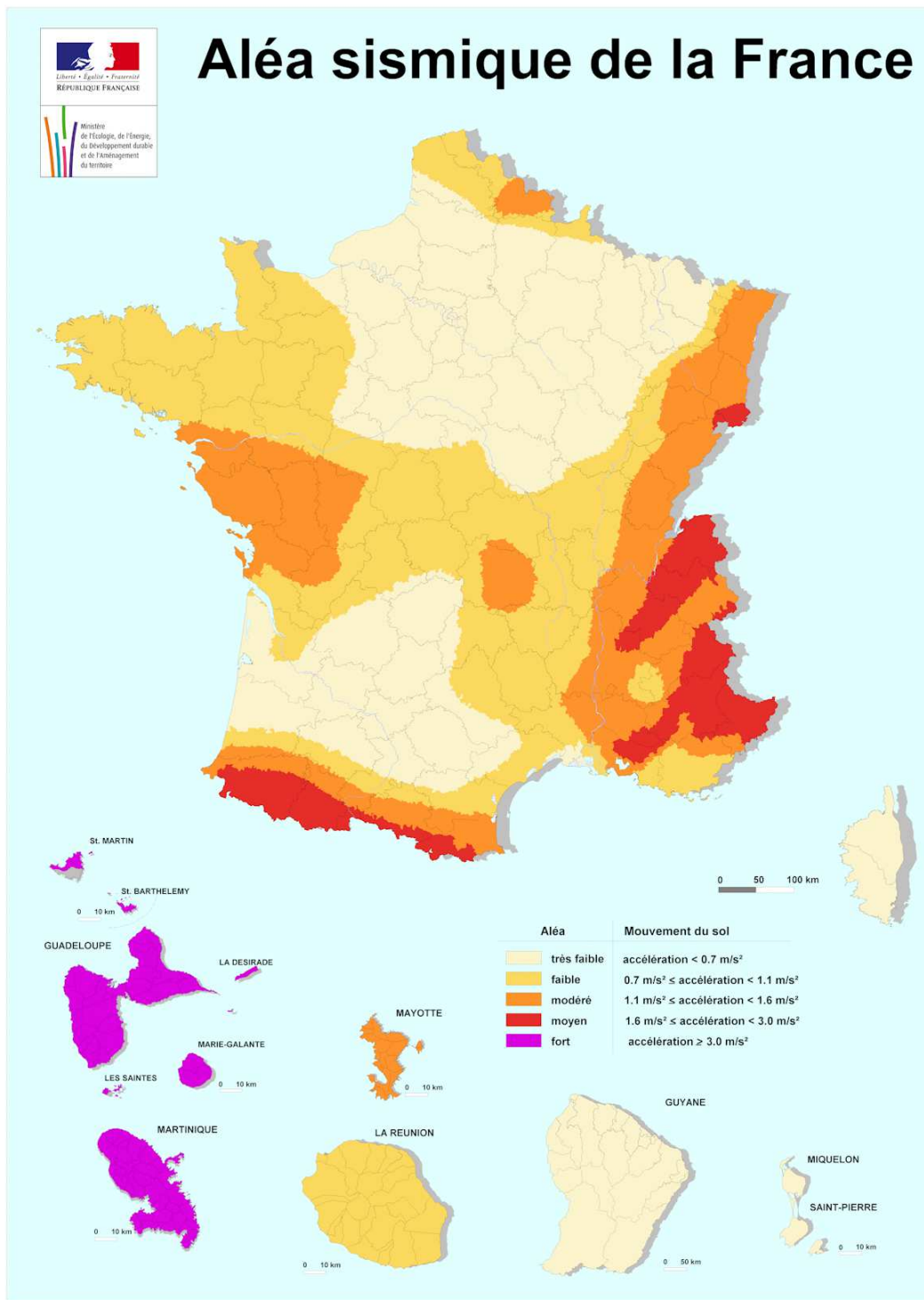
a) L'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005), dénommée a_{gr} , résultant de la situation du bâtiment par rapport à la zone sismique d'implantation, telle que définie par l'article R. 563-4

du code de l'environnement et son annexe.

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

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

Carte de l'aléa sismique en France



- 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 septembre 2005), a_g , est égale à a_{gr} multipliée par le coefficient d'importance g_I défini à l'article 2 du présent arrêté, soit $a_g = g_I \cdot a_{gr}$.
- c) Les paramètres des spectres de réponse élastiques verticaux à employer pour l'utilisation de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005 :

--	--	--	--

ZONES DE SISMICITÉ	avg/ag	TB	TC	TD
1 (très faible) à 4 (moyenne)	0,8	0,03	0,20	2,5
5 (forte)	0,9	0,15	0,40	2

d) La nature du sol 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 septembre 2005) sous le bâtiment sont données par le tableau suivant :

CLASSES DE SOL	S (pour les zones de sismicité 1 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 septembre 2005.

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

Les valeurs de TB, TC et TD, 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 1 à 4			POUR LA ZONE DE SISMICITÉ 5		
	TB	TC	TD	TB	TC	TD
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

*Installations classées***Arrêté du 24 janvier 2011 fixant les règles parasismiques applicables à certaines installations classées****Dispositions relatives aux règles parasismiques applicables à certaines installations**

« Art. 9.-Les dispositions de l'article 11 s'appliquent à l'ensemble des installations classées soumises à autorisation.

Les dispositions des articles 12 à 15 s'appliquent aux seuls équipements au sein d'installations classées soumises à l'arrêté du 10 mai 2000 susvisé susceptibles de conduire, en cas de séisme, à un ou plusieurs phénomènes dangereux dont les zones des dangers graves pour la vie humaine au sens de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 susvisé dépassent les limites du site sur lequel elles sont implantées, sauf si les zones de dangers graves ainsi déterminées pour ces équipements ne concernent, hors du site, que des zones sans occupation humaine permanente.

« Art. 10.-Sont définies comme installations nouvelles au sens de la présente section les installations autorisées après le 1er janvier 2013.

« Sont définies comme installations existantes au sens de la présente section les autres installations.

« Sont définies comme zones sans occupation humaine permanente au sens de la présente section les zones ne comptant aucun établissement recevant du public, aucun lieu d'habitation, aucun local de travail permanent, ni aucune voie de circulation routière d'un trafic supérieur à 5 000 véhicules par jour et pour lesquelles des constructions nouvelles sont interdites.

« Art. 11.-Les installations mentionnées au premier alinéa de l'article 9 respectent les dispositions prévues pour les bâtiments, équipements et installations de la catégorie dite " à risque normal " par les arrêtés pris en application de l'article R. 563-5 du code de l'environnement dans les délais et modalités prévus par lesdits arrêtés.

« Art. 12.-L'exploitant établit, pour son site, les spectres de réponse élastique (verticale et horizontale) en accélération représentant le mouvement sismique d'un point à la surface du sol au droit de son site. A cette fin, il repère la zone de sismicité définie à l'article R. 563-4 du code de l'environnement correspondant à la commune ou aux communes d'implantation de l'installation. Il associe ensuite les accélérations de calcul au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1, version de septembre 2005), suivant le tableau de l'article 12-1 pour les installations nouvelles et celui de l'article 12-2 pour les installations existantes.

« Il prend ensuite en compte la nature du sol sur lequel est implantée l'installation par l'intermédiaire des coefficients fixés à l'article 12-3.

« Art. 12-1.-Les accélérations de calcul applicables aux installations nouvelles sont les suivantes :

ZONE DE SISMICITÉ	ACCÉLÉRATION HORIZONTALE DE CALCUL (m/ s²)	ACCÉLÉRATION VERTICALE DE CALCUL (m/ s²)
Zone de sismicité 1	0,88	0,70
Zone de sismicité	1,54	1,23

2		
Zone de sismicité 3	2,42	1,94
Zone de sismicité 4	3,52	3,17
Zone de sismicité 5	6,60	5,94

« Art. 12-2.-Les accélérations de calcul applicables aux installations existantes sont les suivantes :

ZONE DE SISMICITÉ	ACCÉLÉRATION HORIZONTALE DE CALCUL (m/ s²)	ACCÉLÉRATION VERTICALE DE CALCUL (m/ s²)
Zone de sismicité 1	0,74	0,59
Zone de sismicité 2	1,3	1,02
Zone de sismicité 3	2,04	1,63
Zone de sismicité 4	2,96	2,66
Zone de sismicité 5	5,55	5

« Art. 12-3.-Les coefficients de sols à prendre en compte sont les paramètres de sol TB et Tc respectivement la limite inférieure et supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante, et TD qui est la valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant.

« Les valeurs du paramètre de sol S résultant de la classe de sol (A, B, C, D ou E au sens de la norme NF EN 1998-1, version de septembre 2005) sous l'installation sont les suivantes :

CLASSE DE SOL	S (pour les zones de sismicité 1 à 3)	S (pour les zones de sismicité 4 et 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 valeurs de TB et Tc et TD à prendre en compte pour l'évaluation des composantes horizontales du mouvement sismique, exprimées en secondes, sont les suivantes :

CLASSE de sol	POUR LES ZONES DE SISMICITÉ 1 À 3			POUR LES ZONES DE SISMICITÉ 4 ET 5		
	TB	TC	TD	TB	TC	TD
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	0,8	0,2	2
E	0,08	0,45	1,25	0,15	0,5	2

« Les valeurs de TB et TC et TD à prendre en compte pour l'évaluation des composantes verticales du mouvement sismique quelle que soit la classe de sol, exprimées en secondes, sont les suivantes :

ZONE DE SISMICITÉ	TB	TC	TD
1 (très faible) à 3 (modérée)	0,03	0,20	2,5
4 (moyenne) et 5 (forte)	0,15	0,40	2

« Les modalités d'utilisation des paramètres de sol S, TB et Tc et TD sont définies dans la norme NF EN 1998-1, version de septembre 2005.

« Art. 13.-Pour les équipements mentionnés à l'alinéa 2 de l'article 9, l'exploitant élabore une étude permettant de déterminer les moyens techniques nécessaires à leur protection parasismique.

« Au titre de la présente section, il est considéré qu'un équipement bénéficie de la protection parasismique nécessaire lorsqu'il répond à au moins l'un des deux critères suivants :

« — soit les mouvements sismiques déterminés en application de l'article 12 ne peuvent plus mener au (x) phénomène (s) dangereux redouté (s) ;

« — soit, a minima, il résulte de ces mouvements sismiques des phénomènes dangereux réduits dont les effets graves pour la vie humaine, au sens de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 susvisé, ne sortent plus des limites du site sur lequel l'équipement est implanté, ou les zones de dangers graves ainsi déterminées pour ces équipements ne concernent plus, hors du site, que des zones sans occupation humaine permanente.

« Cette étude peut s'appuyer sur des guides techniques reconnus par le ministère chargé de l'écologie.

« Art. 14.-Pour les installations nouvelles, l'étude mentionnée à l'article 13 est produite au plus tard lors du dépôt du dossier de demande d'autorisation d'exploiter et les moyens techniques nécessaires à la protection parasismique des équipements mentionnés à l'alinéa 2 de l'article 9 sont mis en œuvre à la mise en service de l'installation.

« Pour les installations existantes, l'étude mentionnée à l'article 13 est produite au plus tard le 31 décembre 2015.

« Avant le 31 décembre 2016, le préfet fixe par arrêté l'échéancier de mise en œuvre des moyens techniques nécessaires à la protection parasismique des équipements mentionnés à l'alinéa 2 de l'article 9, sans toutefois dépasser le 1er janvier 2021.

« Par ailleurs, en cas de modification du zonage mentionné à l'article R. 563-4 du code de l'environnement, augmentant le niveau de sismicité de la zone, l'exploitant procède à une nouvelle étude telle que mentionnée à l'article 13 dans un délai de cinq ans suivant la publication du décret modifiant ledit article.

« Art. 15.-Les dispositions prévues aux articles 12,13 et 14 relatives à la protection parasismique des installations existantes font l'objet d'un réexamen après avis du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques sur présentation avant le 1er juillet 2016 d'un rapport du ministre chargé des installations classées faisant la synthèse des conclusions des études prévues à l'article 13. »

Méthodes d'analyse

Méthode générale spectrale

La méthode par superposition spectrale est la méthode générale de calcul sur un bâtiment entier.

Méthode d'analyse par forces latérales

Ce type d'analyse peut être appliqué aux bâtiments dont la réponse n'est pas affectée de manière significative par des contributions de modes de vibration de rang plus élevé que le mode fondamental.

Le bâtiment doit respecter les critères de régularité en élévation (selon EN 1998-1 4.2.3.3)

La section 4.3.3.2.2 de la norme EN1998-1 indique que la l'effort tranchant sismique à la base doit être déterminé, pour chaque direction principale dans laquelle le bâtiment est analysé, au moyen de l'expression suivante :

$$F_b = S_d(T_1) . m . \lambda$$

Où

$S_d(T_1)$ est l'ordonnée du spectre de calcul (EN1998-1 3.2.2.5) pour la période T_1

T_1 est la période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation dans la direction considérée

M est la masse totale du bâtiment au-dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide

λ est le coefficient de correction ; $\lambda=0.85$ si $T_1 < 2T_C$ et si le bâtiment a plus de deux étages, autrement $\lambda=1$

Lorsque le mode fondamental est déterminé de manière approximative en supposant que les déplacements horizontaux croissent linéairement suivant la hauteur, les forces horizontales F_i doivent être prises comme donné par l'expression :

$$F_b = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum_j z_j \cdot m_j}$$

Annex B: UBC 1997 - Earthquake design

In ICAB/PS, the ratio V/W shall be determined using section UBC 1630.2

The following sections are extracts of the UBC 1997.

The International Conference of Building Officials (ICBO, <http://www.icbo.org/>) publishes a family of codes, each correlated with the Uniform Building Code (UBC) to provide jurisdictions with a complete set of building-related regulations for adoption.

Chapter 16, division IV of the UBC 1997

The purpose of the earthquake provisions herein is primarily to safeguard against major structural failures and loss of life, not to limit damage or maintain function.

1628 – Symbols and notations

T= elastic fundamental period of vibration, in seconds, of the structure in the direction under consideration

V= the total design lateral force or shear at the base

W= the total seismic dead load

1629.8.2 Simplified static

The simplified static lateral-force procedure set forth in section 1630.2.3 may be used for the following structures of Occupancy Category 4 or 5:

1. Building of any occupancy (including single-family dwellings) not more than three stories in height excluding basements, that use light-frame construction.
2. Other buildings not more than two stories in height excluding basements.

1630.2 Static Force Procedure

1630.2.1 Design base shear

The total design base shear in a give direction shall be determined from the following formula:

$$V = \frac{C_v \cdot I}{R \cdot T} \cdot W$$

The total design base shear need not exceed the following:

$$V = \frac{2.5 \cdot C_a \cdot I}{R} \cdot W$$

The total design base shear not be less than the following:

$$V = 0.11 \cdot C_a \cdot I \cdot W$$

In addition, for seismic Zone 4, the total base shear shall also not be less than the following:

$$V = \frac{0.8 \cdot Z \cdot N_v \cdot I}{R} \cdot W$$

1630.2.3 Simplified design base shear

Structures conforming to the requirements of section 1629.8.2 may be designed using this procedure.

1630.2.3.2 Base shear

The total design base shear in a given direction shall be determined from the following formula:

$$V = \frac{3.0 \cdot C_a \cdot W}{R}$$

where the value C_a shall be based on Table 16-Q for the soil profile type. When the soil properties are not known in sufficient detail to determine the soil profile type, Type S_D shall be used in Seismic Zones 3 and 4, and Type S_E shall be used in Seismic Zones 1, 2A and 2B. In Seismic Zone 4, the Near-Source Factor, N_a , need not be greater than 1.3 if none of the following structural irregularities are present: Type 1, 4 or 5 of Table 16-L, or Type 1 or 4 of Table 16-M.

1630.3 Determination of Seismic Factors

Structures conforming to the requirements of section 1629.8.2 may be designed using this procedure.

1630.3.1 Determination of Ω_0

For specific elements of the structure, as specifically identified in this code, the minimum design strength shall be the product of the seismic force over strength factor Ω_0 and the design seismic forces set forth in Section 1630. For both Allowable Stress Design and Strength Design, the Seismic Force Over strength Factor Ω_0 , shall be taken from Table 16-N.

1630.3.2 Determination of R

The notation R shall be taken from Table 16-N.

1630.5 Vertical Distribution of Force

The total force shall be distributed over the height of the structure in conformance with the following formulas in the absence of a more rigorous procedure.

$$V = Ft + \sum_{i=1}^n Fi$$

The concentrated force Ft at the top, which is in addition to Fn, shall be determined from the formula:

$$Ft = 0.07 \cdot T \cdot V$$

The value of T used for the purpose of calculating Ft shall be the period that corresponds with the design base shear. Ft need not exceed $0.25V$ and may be considered as zero where T is 0.7 second or less. The remaining portion of the base shear shall be distributed over the height of the structure, including Level n, according to the following formula:

$$Fx = \frac{(V - Ft) \cdot w_x \cdot h_x}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i} \cdot W$$

At each level designed as x, the force Fx shall be applied over the area of the building in accordance with the mass distribution at that level. Structural displacements and design seismic forces shall be calculated as the effect of Forces Fx and Ft applied at the appropriate levels above the base.

TABLE 16-I—SEISMIC ZONE FACTOR Z

ZONE	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

NOTE: The zone shall be determined from the seismic zone map in Figure 16-2.

TABLE 16-J—SOIL PROFILE TYPES

SOIL PROFILE TYPE	SOIL PROFILE NAME/GENERIC DESCRIPTION	AVERAGE SOIL PROPERTIES FOR TOP 100 FEET (30 480 mm) OF SOIL PROFILE		
		Shear Wave Velocity, V_s feet/second (m/s)	Standard Penetration Test, N [or N_{60} for cohesionless soil layers] (blows/foot)	Undrained Shear Strength, s_u , psf (kPa)
S_A	Hard Rock	> 5,000 (1,500)	—	—
S_B	Rock	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)		
S_C	Very Dense Soil and Soft Rock	1,200 to 2,500 (360 to 760)	> 50	> 2,000 (100)
S_D	Stiff Soil Profile	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 to 2,000 (50 to 100)
S_E^1	Soft Soil Profile	< 600 (180)	< 15	< 1,000 (50)
S_F	Soil Requiring Site-specific Evaluation. See Section 1629.3.1.			

¹Soil Profile Type S_E also includes any soil profile with more than 10 feet (3048 mm) of soft clay defined as a soil with a plasticity index, $PI > 20$, $w_{mc} \geq 40$ percent and $s_u < 500$ psf (24 kPa). The Plasticity Index, PI , and the moisture content, w_{mc} , shall be determined in accordance with approved national standards.

TABLE 16-P—R AND Ω_0 FACTORS FOR NONBUILDING STRUCTURES

STRUCTURE TYPE	R	Ω_0
1. Vessels, including tanks and pressurized spheres, on braced or unbraced legs.	2.2	2.0
2. Cast-in-place concrete silos and chimneys having walls continuous to the foundations.	3.6	2.0
3. Distributed mass cantilever structures such as stacks, chimneys, silos and skirt-supported vertical vessels.	2.9	2.0
4. Trussed towers (freestanding or guyed), guyed stacks and chimneys.	2.9	2.0
5. Cantilevered column-type structures.	2.2	2.0
6. Cooling towers.	3.6	2.0
7. Bins and hoppers on braced or unbraced legs.	2.9	2.0
8. Storage racks.	3.6	2.0
9. Signs and billboards.	3.6	2.0
10. Amusement structures and monuments.	2.2	2.0
11. All other self-supporting structures not otherwise covered.	2.9	2.0

TABLE 16-Q—SEISMIC COEFFICIENT C_a

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	See Footnote 1				

¹Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type S_F .

TABLE 16-R—SEISMIC COEFFICIENT C_v

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	$Z = 0.075$	$Z = 0.15$	$Z = 0.2$	$Z = 0.3$	$Z = 0.4$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
S_F	See Footnote 1				

¹Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type S_F .

TABLE 16-S—NEAR-SOURCE FACTOR N_u ¹

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

¹The Near-Source Factor may be based on the linear interpolation of values for distances other than those shown in the table.

²The location and type of seismic sources to be used for design shall be established based on approved geotechnical data (e.g., most recent mapping of active faults by the United States Geological Survey or the California Division of Mines and Geology).

³The closest distance to seismic source shall be taken as the minimum distance between the site and the area described by the vertical projection of the source on the surface (i.e., surface projection of fault plane). The surface projection need not include portions of the source at depths of 10 km or greater. The largest value of the Near-Source Factor considering all sources shall be used for design.

TABLE 16-T—NEAR-SOURCE FACTOR N_v ¹

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

¹The Near-Source Factor may be based on the linear interpolation of values for distances other than those shown in the table.

²The location and type of seismic sources to be used for design shall be established based on approved geotechnical data (e.g., most recent mapping of active faults by the United States Geological Survey or the California Division of Mines and Geology).

³The closest distance to seismic source shall be taken as the minimum distance between the site and the area described by the vertical projection of the source on the surface (i.e., surface projection of fault plane). The surface projection need not include portions of the source at depths of 10 km or greater. The largest value of the Near-Source Factor considering all sources shall be used for design.

TABLE 16-U—SEISMIC SOURCE TYPE¹

SEISMIC SOURCE TYPE	SEISMIC SOURCE DESCRIPTION	SEISMIC SOURCE DEFINITION ²	
		Maximum Moment Magnitude, M	Slip Rate, SR (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

¹Subduction sources shall be evaluated on a site-specific basis.

²Both maximum moment magnitude and slip rate conditions must be satisfied concurrently when determining the seismic source type.