

3 Conditions de sol et actions sismiques

3.1 Conditions de sol

3.1.1 Généralités

(1)P Des investigations appropriées doivent être réalisées en vue de classer le sol conformément aux classes indiquées en 3.1.2.

(2) D'autres indications concernant l'investigation et la classification des sols sont données dans l'EN 1998-5:2004, 4.2.

(3) Il y a lieu que le site de construction et la nature du terrain de fondation soient normalement exempts de risques de rupture du terrain, d'instabilité des pentes et de tassements permanents causés par liquéfaction ou densification du sol en cas de séisme. La possibilité d'apparition de tels phénomènes doit être examinée conformément aux exigences de l'EN 1998-5:2004, Article 4.

(4) Selon le degré d'importance de la structure et les conditions particulières du projet, il convient de mener des investigations du sol et/ou des études géologiques pour déterminer les actions sismiques.

NOTE L'annexe nationale peut spécifier les conditions dans lesquelles il est possible de ne pas effectuer d'investigations de sol en complément des investigations nécessaires pour le dimensionnement vis-à-vis des actions non sismiques, et d'utiliser une classification du sol par défaut.

3.1.2 Identification des classes de sol

(1) 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.

NOTE Le schéma de classification des sols prenant en compte la géologie profonde à utiliser dans un pays peut être spécifié dans son annexe nationale, y compris les valeurs des paramètres S , T_B , T_C et T_D qui définissent les spectres horizontaux et verticaux de réponse élastique selon 3.2.2.2 et 3.2.2.3.

Tableau 3.1 — Classes de sol

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	> 800	—	—
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	360 – 800	> 50	> 250
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	180 – 360	15 – 50	70 – 250
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	< 180	< 15	< 70

(à suivre)

Tableau 3.1 — Classes de sol (fin)

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	c_u (kPa)
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			
S ₁	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.	< 100 (valeur indicative)	—	10 – 20
S ₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S ₁ .			

(2) Il convient de classer le site selon la valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement, $v_{s,30}$, si elle est disponible. Dans le cas contraire, il convient d'utiliser la valeur des N_{SPT} .

(3) Il convient de calculer la vitesse moyenne des ondes de cisaillement, $v_{s,30}$, conformément à l'expression suivante :

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad \dots (1)$$

expression dans laquelle h_i et v_i désignent l'épaisseur (en mètres) et la célérité des ondes de cisaillement (à un niveau de distorsion inférieur ou égal à 10^{-5}) de la i -ème formation ou couche, sur un total de N existant sur les 30 m supérieurs.

(4)P Pour les sites dont les conditions de sol correspondent à l'une des deux classes spéciales S₁ ou S₂, des études particulières sont nécessaires pour la définition de l'action sismique. Pour ces classes, et notamment pour S₂, la possibilité de défaillance du sol sous une action sismique doit être prise en compte.

NOTE Il convient d'accorder une attention particulière au cas où le dépôt relève de la classe de sol S₁. Ces sols ont généralement des valeurs de v_s très faibles, un amortissement interne faible et un domaine anormalement étendu de comportement linéaire, et peuvent donc produire des effets anormaux d'amplification du mouvement sismique du site et d'interaction entre le sol et la structure ; voir l'EN 1998-5:2004, Article 6. Dans ce cas, il convient de mener une étude particulière pour la définition de l'action sismique afin de déterminer la dépendance du spectre de réponse vis-à-vis de l'épaisseur et de la valeur de v_s de la couche d'argile molle/vase, ainsi que vis-à-vis du contraste de rigidité qui existe entre cette couche et les matériaux situés en dessous.

3.2 Action sismique

3.2.1 Zones sismiques

(1)P Dans le cadre de l'EN 1998, les territoires nationaux doivent être divisés par les autorités nationales en zones sismiques, en fonction de l'aléa local. Par définition, à l'intérieur de chaque zone, l'aléa peut être supposé constant.

(2) Pour la plupart des applications de l'EN 1998, l'aléa est pris en compte par un seul paramètre, l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A, a_{gR} . Des paramètres additionnels requis pour des types spécifiques de structure sont données dans les parties concernées de l'EN 1998.

NOTE L'accélération maximale de référence pour un sol de classe A, a_{gR} , à utiliser dans un pays ou des parties de celui-ci peut être déduite des cartes de zonage données dans l'annexe nationale au présent document.

(3) L'accélération maximale de référence du sol, choisie par les autorités nationales pour chaque zone sismique, correspond à la période de retour de référence T_{NCR} de l'action sismique pour l'exigence de non-effondrement (ou, de manière équivalente, la probabilité de dépassement de référence en 50 ans, P_{NCR}) choisie par les autorités nationales (voir **2.1(1)P**). Un coefficient d'importance γ_I égal à 1,0 est associé à cette période de retour de référence. Pour des périodes de retour autres que la période de référence (voir les classes d'importance en **2.1(3)P** et **(4)**), l'accélération de calcul au niveau d'un sol de classe A, a_g , est égale à a_{gr} multipliée par le coefficient d'importance γ_I ($a_g = \gamma_I \cdot a_{gr}$). (voir la Note de **2.1(4)**).

(4) En cas de faible sismicité, des procédures de dimensionnement sismique réduites ou simplifiées pour certains types ou catégories de structure peuvent être utilisées.

NOTE Le choix des catégories de structure, des classes de sol et des zones sismiques dans un pays pour lesquelles les dispositions de faible sismicité s'appliquent peut être trouvé dans son annexe nationale. Il est recommandé de considérer comme sismicité faible les cas pour lesquels l'accélération de calcul au niveau d'un sol de classe A, a_g , n'est pas supérieure à 0,08 g (0,78 m/s²) ou les cas pour lesquels le produit $a_g S$ n'est pas supérieur à 0,1 g (0,98 m/s²). Le choix de l'utilisation de la valeur de a_g ou du produit $a_g S$ dans un pays pour définir le seuil des cas de faible sismicité peut être trouvé dans son annexe nationale.

(5)P Dans les cas de très faible sismicité, il n'est pas nécessaire de respecter les dispositions de l'EN 1998.

NOTE Le choix des catégories de structure, des classes de sol et des zones sismiques dans un pays pour lesquelles il n'est pas nécessaire de respecter les dispositions de l'EN 1998 (cas de très faible sismicité) peut être trouvé dans son annexe nationale. Il est recommandé de considérer les cas de très faible sismicité comme les cas dans lesquels l'accélération de calcul au niveau d'un sol de classe A, a_g , n'est pas supérieure à 0,04 g (0,39 m/s²) ou les cas dans lesquels le produit $a_g S$ n'est pas supérieur à 0,05 g (0,49 m/s²). Le choix de l'utilisation de la valeur de a_g ou du produit $a_g S$ dans un pays pour définir le seuil des cas de très faible sismicité peut être trouvé dans son annexe nationale.

3.2.2 Représentation de base de l'action sismique

3.2.2.1 Généralités

(1)P Dans le domaine d'application de l'EN 1998, le mouvement dû au séisme en un point donné de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite «spectre de réponse élastique».

(2) Les deux niveaux d'action sismique décrits en **2.1(1)P** et **2.2.1(1)P** sont représentés par la même forme de spectre de réponse élastique pour l'exigence de non-effondrement (état limite ultime — action sismique de calcul) et pour l'exigence de limitation des dommages.

(3)P L'action sismique horizontale est décrite par deux composantes orthogonales supposées indépendantes et représentées par le même spectre de réponse.

(4) Pour les trois composantes de l'action sismique, une ou plusieurs autres formes de spectre de réponse peuvent être adoptées selon les sources sismiques et leurs magnitudes.

NOTE 1 Le choix de la forme du spectre de réponse élastique à utiliser dans un pays ou une partie de celui-ci peut être trouvé dans l'annexe nationale au présent document.

NOTE 2 Lors du choix de la forme appropriée du spectre, il convient de tenir compte de la magnitude des séismes qui contribuent principalement à l'aléa sismique défini pour l'évaluation probabiliste de l'aléa, plutôt que de limites supérieures conservatrices (par exemple, le séisme maximal prévisible) définies dans ce but.

(5) Lorsque les séismes affectant un site sont engendrés par des sources très différentes, il convient de considérer plusieurs formes de spectre pour représenter de manière appropriée l'action sismique de calcul. Dans de telles circonstances, des valeurs différentes de a_g seront normalement exigées pour chaque type de spectre et de séisme.

(6) Pour les structures importantes ($\gamma_I > 1,0$), il y a lieu de tenir compte des effets d'amplification topographique.

NOTE L'annexe informative A de l'EN 1998-2:2004 fournit des informations sur les effets d'amplification topographique.

(7) Des représentations chronologiques du mouvement sismique peuvent être utilisées (voir **3.2.3**).

(8) La prise en compte de la variation du mouvement du sol dans l'espace ainsi que dans le temps peut être exigée pour certains types de structure (voir l'EN 1998-2, l'EN 998-4 et l'EN 1998-6).

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 ($a_g = \gamma_1 \times a_{gR}$) ;

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, voir (3) du présent paragraphe.

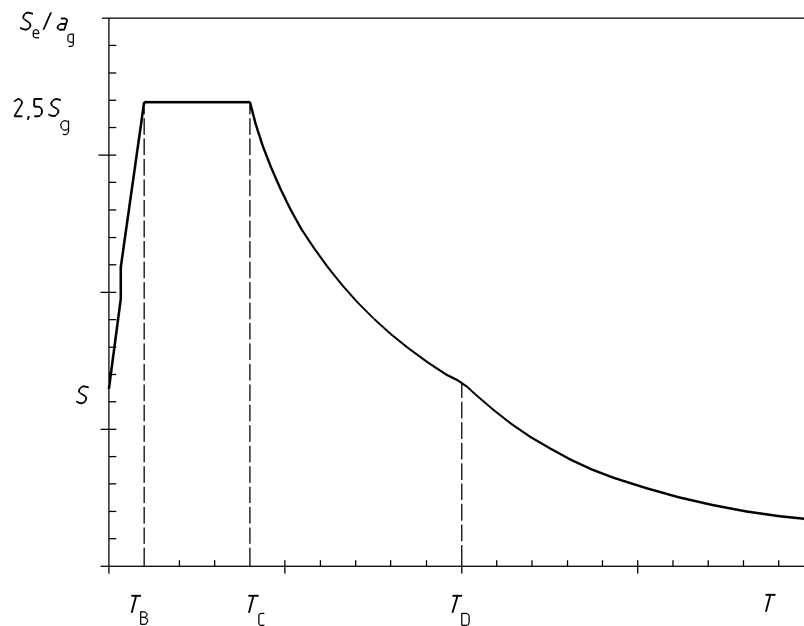


Figure 3.1 — Forme du spectre de réponse élastique

(2)P Les valeurs des périodes T_B , T_C et T_D et du paramètre du sol S qui décrivent la forme du spectre de réponse élastique dépendent de la classe de sol.

NOTE Les valeurs devant être attribuées à T_B , T_C , T_D et S pour chaque classe de sol et type (forme) de spectre à utiliser dans un pays peuvent être trouvées dans son annexe nationale. Si la géologie profonde n'est pas prise en compte (voir **3.1.2(1)**), il est recommandé d'utiliser deux types de spectre : les types 1 et 2. Si les séismes qui contribuent le plus à l'aléa sismique défini pour le site dans le cadre de l'évaluation probabiliste de l'aléa ont une magnitude déduite des ondes de surface, M_s , inférieure ou égale à 5,5, il est recommandé d'adopter le type de spectre 2. Pour les cinq classes de sol A, B, C, D et E, les valeurs recommandées des paramètres S , T_B , T_C et T_D sont données dans le Tableau 3.2 pour le spectre de type 1 et dans le Tableau 3.3 pour le spectre de type 2. Les Figures 3.2 et 3.3 montrent respectivement les formes des spectres recommandés de type 1 et de type 2, pour 5 % d'amortissement et normalisé par a_g . Différents spectres peuvent être définis dans l'annexe nationale si la géologie profonde est prise en compte.

Tableau 3.2 — Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique recommandés de type 1

Classe de sol	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tableau 3.3 — Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique recommandés de type 2

Classe de sol	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

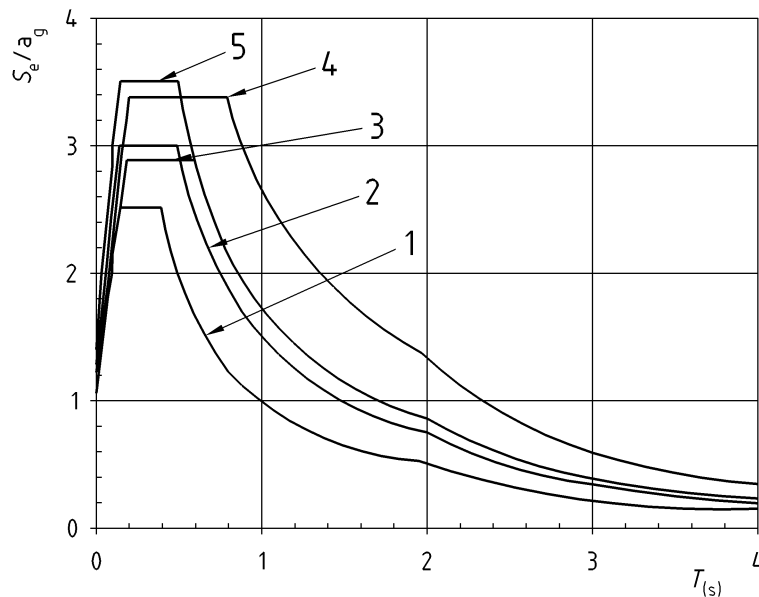


Figure 3.2 — Spectres de réponse élastique de type 1 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

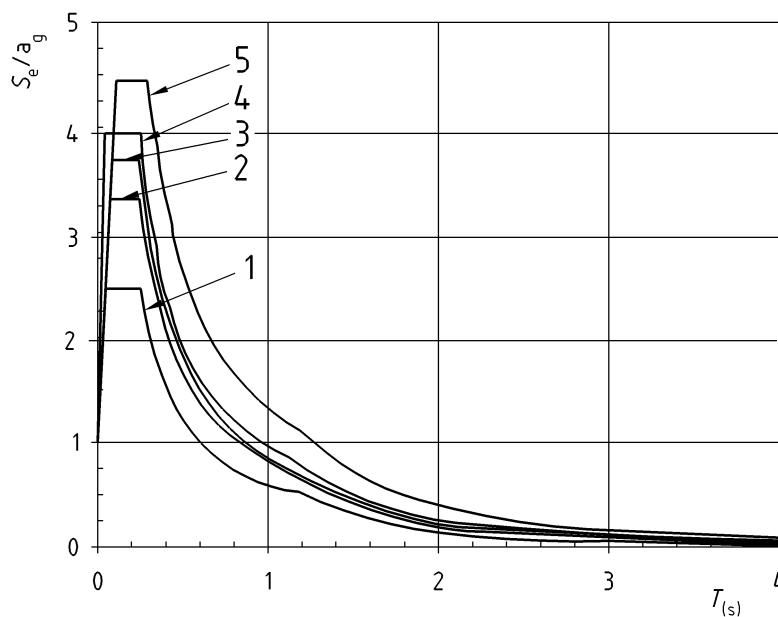


Figure 3.3 — Spectres de réponse élastique de type 2 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

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 :

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

où :

ξ 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.

(5)P Le spectre de réponse élastique en déplacement, $S_{De}(T)$, doit être obtenu par transformation directe du spectre de réponse élastique en accélération, $S_e(T)$, en utilisant la relation suivante :

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad \dots (3.7)$$

(6) Il convient normalement d'appliquer la relation (3.7) pour des périodes de vibration ne dépassant pas 4,0 s. Pour les structures présentant des périodes de vibration supérieures à 4,0 s, une définition plus complète du spectre de réponse élastique en déplacement est possible.

NOTE Pour le spectre de réponse élastique de type 1 mentionné dans la note de **3.2.2.2(2)P**, une telle définition est présentée dans l'annexe informative A en termes de spectre de réponse en déplacement. Pour les périodes supérieures à 4,0 s, le spectre de réponse élastique en accélération peut être déduit du spectre de réponse élastique en déplacement en inversant la relation (3.7).

3.2.2.3 Spectre de réponse élastique vertical

(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).

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

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

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

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

NOTE Les valeurs devant être attribuées à T_B , T_C , T_D et a_{vg} pour chaque classe de sol et type (forme) de spectre à utiliser dans un pays peuvent être trouvées dans l'annexe nationale au présent document. Il est recommandé d'utiliser deux types de spectre : les types 1 et 2. Comme pour les spectres qui définissent les composantes horizontales de l'action sismique, si les séismes qui contribuent le plus à l'aléa sismique défini pour le site dans le cadre de l'évaluation probabiliste de l'aléa ont une magnitude déduite des ondes de surface, M_S , inférieure ou égale à 5.5, il est recommandé d'adopter le type de spectre 2. Pour les cinq classes de sol A, B, C, D et E, les valeurs recommandées des paramètres qui décrivent les spectres verticaux sont données dans le Tableau 3.4. Ces valeurs recommandées ne s'appliquent pas aux sols spéciaux de classes S_1 et S_2 .

Tableau 3.4 — Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique vertical

Spectre	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Type 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Type 2	0,45	0,05	0,15	1,0

3.2.2.4 Déplacement de calcul du sol

(1) Sauf dans le cas où des études particulières, basées sur les informations disponibles, conduiraient à une autre valeur, le déplacement de calcul au niveau du sol d_g , correspondant à l'accélération de calcul au niveau du sol, peut être estimée à l'aide de l'expression suivante :

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad \dots (3.12)$$

les valeurs de a_g , S , T_C et T_D étant celles définies en **3.2.2.2**.

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.

3.2.3 Autres représentations de l'action sismique

3.2.3.1 Représentation temporelle

3.2.3.1.1 Généralités

(1)P Le mouvement sismique peut également être représenté par une accélération du sol fonction du temps ou par des grandeurs associées (vitesse et déplacement).

(2)P Lorsqu'un modèle spatial de la structure est exigé, le mouvement sismique doit consister en trois accélérogrammes agissant simultanément. Le même accélérogramme ne peut pas être utilisé simultanément pour les deux directions horizontales. Des simplifications sont possibles conformément aux parties concernées de l'EN 1998.

(3) En fonction de la nature de l'application et des informations disponibles, la description du mouvement sismique peut être fondée sur l'utilisation d'accélérogrammes artificiels (voir **3.2.3.1.2**) ou d'accélérogrammes enregistrés ou simulés (voir **3.2.3.1.3**).

3.2.3.1.2 Accélérogrammes artificiels

(1)P Les accélérogrammes artificiels doivent être établis de manière à correspondre aux spectres de réponse élastique donnés en **3.2.2.2** et **3.2.2.3** pour un amortissement visqueux de 5 % ($\xi = 5\%$).

(2)P La durée des accélérogrammes doit être compatible avec la magnitude et les autres caractéristiques propres à l'événement sismique servant à la définition de a_g .

(3) Lorsqu'on ne dispose pas de données spécifiques, il convient que la durée minimale T_s de la partie stationnaire des accélérogrammes soit égale à 10 s.

(4) Il convient que la suite d'accélérogrammes artificiels respecte les règles suivantes :

- a) il convient d'utiliser un minimum de 3 accélérogrammes.
- b) il convient que la moyenne des valeurs de l'accélération spectrale à période nulle (calculée à partir des accélérogrammes) ne soit pas inférieure à la valeur de $a_g S$ pour le site en question.
- c) dans le domaine des périodes comprises entre $0,2T_1$ et $2T_1$, où T_1 est la période fondamentale de la structure dans la direction suivant laquelle l'accélérogramme va être appliqué, il convient qu'aucune valeur du spectre de réponse élastique moyen avec 5 % d'amortissement, calculé à partir de tous les accélérogrammes, ne soit inférieure à 90 % de la valeur correspondante du spectre de réponse élastique avec 5 % d'amortissement.

3.2.3.1.3 Accélérogrammes enregistrés ou simulés

(1)P Des accélérogrammes enregistrés, ou des accélérogrammes élaborés à partir d'une simulation physique des mécanismes à la source et de propagation des ondes, peuvent être utilisés, à condition que les échantillons utilisés soient reconnus comme représentatifs des caractéristiques des sources sismogènes et des conditions de sol du site, et que leurs valeurs soient calées par rapport à la valeur de $a_g S$ pour la zone considérée.

(2) Pour l'analyse des amplifications des mouvements de sol et pour les vérifications de la stabilité dynamique des pentes, voir l'EN 1998-5:2004, **2.2**.

(3) Il convient que la suite d'accélérogrammes enregistrés ou simulés à utiliser soit conforme à **3.2.3.1.2(4)**.

3.2.3.2 Modèle spatial de l'action sismique

(1)P Pour les structures ayant des caractéristiques particulières telles qu'il n'est pas raisonnable d'admettre l'hypothèse d'une excitation identique à tous les points d'appui, des modèles spatiaux de l'action sismique doivent être utilisés (voir **3.2.2.1(8)**).

(2)P Ces modèles spatiaux doivent être en concordance avec les spectres de réponse élastique utilisés pour la définition de base de l'action sismique conformément à **3.2.2.2** et **3.2.2.3**.

3.2.4 Combinaisons de l'action sismique avec d'autres actions

(1)P La valeur de calcul E_d des effets des actions en situation sismique doit être déterminée conformément à l'EN 1990:2002, **6.4.3.4**.

(2)P Les effets d'inertie de l'action sismique de calcul doivent être évalués en prenant en compte la présence des masses associées à toutes les charges gravitaires qui apparaissent dans la combinaison d'actions suivante :

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad \dots (3.17)$$

où :

$\psi_{E,i}$ est le coefficient de combinaison pour les actions variables i (voir 4.2.4).

(3) Les coefficients de combinaison $\psi_{E,i}$ prennent en compte la probabilité que les charges $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ ne soient pas présentes sur la totalité de la structure pendant le séisme. Ces coefficients peuvent également prendre en compte une participation réduite des masses dans le mouvement de la structure, due à un liaisonnement non rigide entre elles.

(4) Les valeurs de $\psi_{2,i}$ sont données dans l'EN 1990:2002 et les valeurs de $\psi_{E,i}$ pour les bâtiments ou d'autres types de structure sont données dans les parties concernées de l'EN 1998.