

V JUSTIFICATION DE LA SECURITE

5	JUSTIFICATION DE LA SECURITE	83
5.1	Généralités	
5.2	Combinaisons d'actions	
5.3	Justification vis-à-vis de la résistance	
5.4	Justification vis-à-vis de la ductilité	
5.5	Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble	
5.6	Justification vis-à-vis de la résistance des planchers	
5.7	Justification de la stabilité des fondations	
5.8	Justification de la largeur des joints sismiques	
5.9	Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ	
5.10	Justification vis-à-vis des déplacements inter-étages	



5. JUSTIFICATION DE LA SECURITE

5.1 Généralités

Les objectifs de sécurité de la structure, soumise aux effets de l'action sismique, sont réputés atteints si les critères ci-après relatifs à la résistance, la ductilité, l'équilibre d'ensemble, la résistance des planchers, la stabilité des fondations, les joints sismiques, déplacements inter-étages et la stabilité de forme (effet P-Δ) sont respectés.

5.2 Combinaisons d'actions

Au sens du principe de calcul aux Etats Limites, l'action sismique est considérée, du fait de sa brève durée d'application, comme une action accidentelle. L'action sismique est caractérisée par trois composantes qui agissent simultanément :

- Deux composantes horizontales, E_x et E_y , agissant suivant deux directions orthogonales dans le plan de la structure
- Une composante verticale, E_z , qui agit suivant l'axe vertical de la structure.

5.2.1 Composantes horizontales de l'action sismique

Les composantes de l'action sismique, E_x et E_y , agissant suivant les deux directions horizontales, sont supposées indépendantes mais représentées par le même spectre de réponse. Les actions sismiques de dimensionnement des structures, sont combinées aux actions permanentes et aux actions variables par le biais des Eqns.(5.1) & (5.2) :

$$\left\{ \begin{array}{l} G + \psi.Q + E_1 \\ G + \psi.Q + E_2 \end{array} \right. \quad (5.1)$$

où:

- G : charges permanentes
- Q : charges d'exploitation, non pondérées

- ψ : Coefficient d'accompagnement, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le Tableau (4.2).

et:

$$\begin{cases} E_1 = \pm E_x \pm 0.3E_y \\ E_2 = \pm 0.3E_x \pm E_y \end{cases} \quad (5.2)$$

Commentaire :

- La réponse de la structure, à chaque composante horizontale, doit être évaluée séparément en utilisant les règles de combinaison des réponses modales indiquées au § 4.3.4.
- Les effets, dus à la combinaison des composantes horizontales de l'action sismique, doivent être calculés en utilisant les deux combinaisons, cf. Eqn. (5.2).
- Dans les combinaisons, Eqns.(5.1) & (5.2), le signe adopté pour chaque composante doit être le plus défavorable pour l'effet particulier considéré.
- Lorsqu'une analyse chronologique non linéaire est utilisée, avec un modèle spatial de la structure, des accélérogrammes, agissant simultanément, doivent être pris pour agir dans les deux directions.
- Pour les bâtiments qui respectent les critères de régularité en plan et pour lesquels des voiles ou des systèmes triangulés indépendants, dans les deux directions principales, sont les seuls éléments de contreventement, il peut être supposé que l'action sismique agit indépendamment et sans avoir à considérer les combinaisons suivant les deux axes principaux horizontaux (orthogonaux) de la structure.

5.2.2 Composante verticale de l'action sismique

Les effets de la composante verticale de l'action sismique, définie au § 3.3.2, doivent être pris en compte, si la valeur du produit ($A_v.I.g$) est supérieure à (0.25g), dans les cas suivants:

- Eléments de structure horizontaux ou presque horizontaux de 15 m de portée ou plus ;
- Eléments horizontaux ou presque horizontaux en console de plus de 2.00 m de long ;
- Eléments précontraints horizontaux ou presque horizontaux ;
- Poutres supportant des poteaux ;
- Structures sur appuis parasismiques.

Zonage sismique	A.I (horizontal)	Coefficient d'accélération			
		$A_v.I$ (vertical)			
		Catégorie d'Importance			
		1A	1B	2	3
I	0.07 I	0.054	0.046	0.039	0.031
II	0.10 I	0.077	0.066	0.055	0.044
III	0.15 I	0.116	0.099	0.083	0.066
IV	0.20 I	0.252	0.216	0.180	0.144
V	0.25 I	0.315	0.270	0.225	0.180
VI	0.30 I	0.378	0.324	0.270	0.216

L'action sismique verticale, A_v , est obligatoire lorsque ($A_v.I.g$) dépasse **0.25 g**

Table 5.1: Coefficients d'accélération verticale en fonction de la zone sismique et du groupe d'importance

Dans le cas de la composante verticale, les combinaisons d'actions suivantes doivent être utilisées :

$$\left\{ \begin{array}{l} G + \psi \cdot Q + E_3 \\ G + \psi \cdot Q + E_4 \\ G + \psi \cdot Q + E_5 \end{array} \right. \quad (5.3)$$

où: E_3 , E_4 et E_5 représentent la combinaison des composantes, horizontales (E_x , E_y) et la composante verticale (E_z), définies par :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_3 = \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \\ E_4 = \pm 0.3E_x \pm E_y \pm 0.3E_z \\ E_5 = \pm 0.3E_x \pm 0.3E_y \pm E_z \end{array} \right. \quad (5.4)$$

Commentaire :

- L'analyse permettant de déterminer les effets, de la composante verticale de l'action sismique, peut être réalisée sur la base d'un modèle partiel de la structure qui inclut les éléments, dans lesquels la composante verticale est supposée agir, et prend en compte la rigidité des éléments adjacents.
- Il est nécessaire de prendre en compte les effets, de la composante verticale, seulement pour les éléments considérés et pour les éléments supports ou les infrastructures qui leur sont directement associés.

5.3 Justification vis-à-vis de la résistance

La condition de résistance suivante doit être satisfaite pour tous les éléments structuraux, leurs assemblages, ainsi que les éléments non structuraux critiques :

$$S_d \leq R_d \quad (5.5)$$

où:

S_d : sollicitation agissante de calcul résultant des combinaisons, cf. Eqns. (5.1) à (5.4), incluant éventuellement les effets du 2^e ordre.

R_d : sollicitation résistante de calcul de l'élément, calculée en fonction des propriétés du matériau constitutif.

5.4 Justification vis-à-vis de la ductilité

Les exigences de ductilité minimale sont réputées satisfaites si toutes les dispositions constructives relatives au matériau et aux éléments structuraux telles que définies dans les chapitres correspondants du présent document technique réglementaire sont appliquées.

5.5 Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble

Cette condition d'équilibre se réfère à la stabilité d'ensemble du bâtiment ou de l'ouvrage, soumis à des effets de renversement et/ou de glissement dus aux sollicitations résultant des combinaisons d'actions.

Chaque bâtiment doit être vérifié vis-à-vis de la stabilité au renversement par rapport au niveau de ses fondations.

Le moment de renversement, au niveau des fondations, est égal à la somme des forces latérales, à chaque niveau, multipliées par la hauteur de chacune d'entre elles, depuis le niveau de fondation.

Le coefficient de sécurité vis-à-vis du renversement doit être au minimum de 1.3.

Le moment stabilisant doit être déterminé à partir des charges verticales qui sont considérées pour la détermination de la force sismique latérale.

Les poids de la fondation et du sol, au-dessus, sont ajoutés à ces charges verticales.

Le moment stabilisant doit être calculé au niveau bas de la fondation, par rapport au bord extrême.

Pour la stabilité au glissement, dans le cas où sa vérification est nécessaire, le coefficient de sécurité à prendre est de 1.25 au minimum.

5.6 Justification vis-à-vis de la résistance des planchers

La capacité des planchers doit permettre de transmettre, aux éléments verticaux de contreventement, les effets des forces sismiques de calcul (cf. § 6.1.2).

Les diaphragmes, dans les plans horizontaux, doivent pouvoir transmettre, avec une sur-résistance suffisante, les effets de l'action sismique aux divers contreventements auxquels ils sont liés. Cette condition est satisfaite si les effets de l'action sismique, dans le diaphragme, obtenus à partir de l'analyse sont multipliés par un coefficient de sur-résistance égal à 1.3, selon la combinaison de charges suivante :

$$\begin{cases} G + \psi.Q \pm 1.3E_x \\ G + \psi.Q \pm 1.3E_y \end{cases} \quad (5.6)$$

Cette combinaison de charges est utilisée pour le calcul et la justification des diaphragmes en béton armé, dans les structures possédant les caractéristiques suivantes :

- Formes irrégulières ou complexes en plan avec entailles ou excroissances ;
- Ouvertures grandes ou irrégulières dans le diaphragme ;
- Distribution irrégulière des masses et/ou des rigidités (comme par exemple dans le cas d'excroissances ou de retraits) ;
- Sous-sol avec murs périphériques partiels ou murs dans une partie seulement du rez-de-chaussée.

5.7 Justification de la stabilité des fondations

Pour les justifications de la stabilité des fondations, il y a lieu de se référer aux prescriptions et /ou exigences du Chapitre X et aux combinaisons de charges, cf. Eqns.(5.7) & (5.8) :

- Pour les fondations d'éléments verticaux individuels (voiles ou poteaux), la combinaison de charges suivante est utilisée :

$$\begin{cases} G + \psi.Q \pm \frac{R}{Q_F} \cdot E_x \\ G + \psi.Q \pm \frac{R}{Q_F} \cdot E_y \end{cases} \quad (5.7)$$

- Pour les fondations communes à plusieurs éléments verticaux (longrines de fondation, semelles filantes, radiers, etc), la combinaison de charges suivante est utilisée :

$$\begin{cases} G + \psi.Q \pm 1.4E_x \\ G + \psi.Q \pm 1.4E_y \end{cases} \quad (5.8)$$

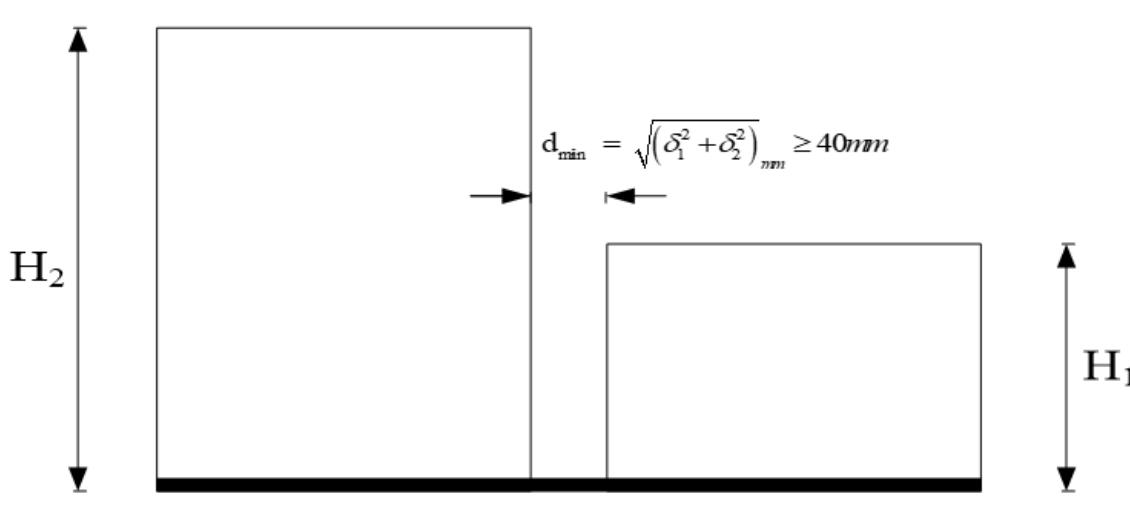
5.8 Justification de la largeur des joints sismiques

Deux blocs voisins doivent être séparés par des joints sismiques dont la largeur minimale d_{min} satisfait la condition suivante :

$$d_{min} = \text{Max} \begin{cases} \sqrt{(\delta_1^2 + \delta_2^2)} \\ 40 \text{ mm} \end{cases} \quad (5.9)$$

δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs, calculés selon § 4.5.2, au niveau du sommet du bloc le moins élevé incluant les composantes dues à la torsion et éventuellement celles dues à la rotation des fondations.

Figure 5.1: Largeur minimum du joint sismique



5.9 Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ

Les effets du 2° ordre (ou effet P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\left(\theta_k = \frac{P_k \cdot \Delta_k}{V_k \cdot h_k} \right) \leq 0.10 \quad (5.10)$$

avec :

- Δ_k défini comme:

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1} \quad (5.11)$$

- P_k : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au dessus du niveau « k », (cf. § 4.2.3):

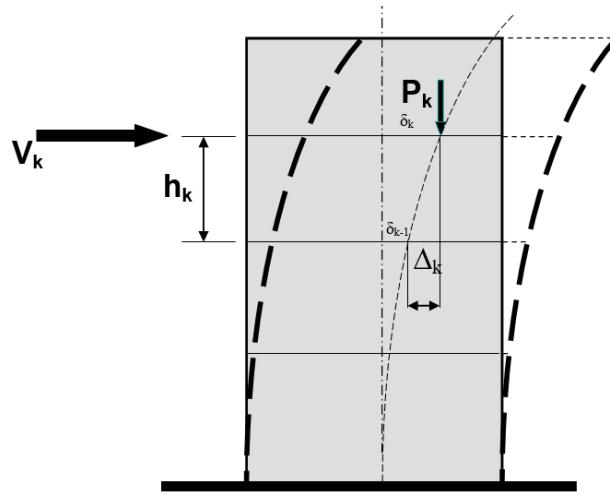
$$P_k = \sum_{i=k}^n (G_i + \psi \cdot Q_i)$$

- V_k : effort tranchant d'étage au niveau "k" : $V_k = \sum_{i=k}^n F_i$
- Δ_k : déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 », (cf. § 4.5.2 et Eqn. (4.16).)
- h_k : hauteur du niveau « k ».

Selon la valeur de θ_k , il convient de considérer que:

- Si $(0.10 \leq \theta_k \leq 0.20)$, les effets P-Δ peuvent être pris en compte, de manière approchée, en amplifiant les effets de l'action sismique calculés au moyen d'une analyse élastique du 1^o ordre par le facteur $(\frac{1}{1-\theta_k})$.
- Si $(\theta_k \geq 0.20)$, la structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée.

Figure 5.2: Effet P-Δ



5.10 Justification vis-à-vis des déplacements inter-étages

Les déplacements relatifs latéraux, d'un étage par rapport à l'étage du dessous, tels que calculés selon § 4.5.2 (cf. Eqn. (5.11)), réduits en fonction du groupe d'importance au travers du coefficient réducteur v , ne doivent pas dépasser les limites, $\bar{\Delta}_k$, données dans le Tableau (5.2) et Eqn. (5.12), i.e.:

$$v_A \cdot \Delta_k \leq \bar{\Delta}_k \quad (5.12)$$

Type de Structure	Déplacement limite: $\bar{\Delta}_k$
Bâtiments en Acier	0.0100 h_k
Bâtiments en Béton Armé	0.0075 h_k
Bâtiment en PAF	0.0050 h_k
Bâtiments en Bois	0.0075 h_k
Bâtiments en Maçonnerie Chainée	0.0050 h_k

Légende: h_k est la hauteur du niveau « k »

Le coefficient réducteur v_A est défini en § 1.2 : il est pris égal à 0.5

Table 5.2: Valeurs limites des déplacements inter-étages