

# Prise en compte de la neige dans l'analyse sismique d'un bâtiment d'après l'Eurocode 8

## Introduction

Lors d'un tremblement de terre, le passage des ondes sismiques en surface provoque des mouvements vibratoires du sol. Ces déplacements, agissant au niveau des fondations, entraînent des oscillations dans les bâtiments, ce qui a pour conséquence l'apparition de forces d'inertie dans la structure, s'opposant à sa mise en mouvement, orientées dans le sens contraire aux déplacements imposés.

Les forces d'inertie sont par nature proportionnelles aux masses. Pour le calcul des effets d'inertie de l'action d'un séisme, il est donc nécessaire d'évaluer les masses qui seront probablement présentes lors de cet événement. Dans l'Eurocode 8, les masses à prendre en compte dans une analyse sismique (clause 3.2.4 (2) EN 1998-1 [1]) doivent être obtenues en combinant :

- la totalité des masses permanentes (associées aux charges  $G_i$ ) ;
- avec la somme de toutes les fractions  $\psi_{E,j}$  des masses associées aux charges variables gravitaires ( $Q_j$ ).

Cette règle revient à prendre en compte la présence des masses associées à toutes les charges gravitaires apparaissant dans la combinaison d'actions suivante :

$$\sum G_{k,i} + \sum \psi_{E,j} Q_{k,j} \quad (1)$$

La fraction  $\psi_{E,j}$  est calculée à l'aide de la formule suivante (clause 4.2.4 (2) de l'EN 1998-1) :

$$\psi_{E,j} = \varphi \psi_{2,j} \quad (2)$$

où :  $\psi_{2,j}$  est le coefficient de combinaison pour la valeur quasi-permanente de l'action variable  $Q_j$  ;



*Pour les charges d'exploitation d'un bâtiment, les valeurs de  $\psi_{2,j}$  sont définies dans l'EN 1990 et son annexe nationale.*

$\varphi$  est un coefficient de corrélation qui par défaut doit être pris égal à 1. Pour les catégories de charges d'exploitation A à C, telles que définies dans l'EN 1991-1-1, il est possible de considérer  $\varphi = 0,8$  pour les étages à occupation corrélée et  $\varphi = 0,5$  pour les étages à occupation indépendante.



*Les notions d'occupation corrélée et d'occupation indépendante ne sont pas définies dans l'EN 1998-1. Le guide [7] préconise de supposer en général une occupation corrélée sauf éventuellement quand chaque étage est utilisé par un occupant différent. Il est recommandé ici d'admettre par défaut une occupation corrélée et de ne considérer une occupation indépendante que lorsque les documents du marché ou un accord entre le maître d'œuvre, le bureau d'études et le bureau de contrôle le permettent explicitement.*

Le **Tableau 1** ci-après donne la synthèse des valeurs de  $\varphi$ ,  $\psi_2$  et  $\psi_E$  à prendre en compte pour les actions variables les plus courantes.

Charges variables <sup>(1)</sup> Catégories de l'EN 1991-1		$\varphi$	$\psi_2$	$\psi_E$
<b>Catégorie A : Habitation</b>	Etages	à occupation corrélée	0,8	<b>0,24</b>
		à occupation indépendante	0,5	<b>0,15</b>
	Toiture	inaccessible (catégorie H) accessible (catégorie I)	1	<b>0</b> <b>0,3</b>
<b>Catégorie B : Bureaux</b>	Etages	à occupation corrélée	0,8	<b>0,24</b>
		à occupation indépendante	0,5	<b>0,15</b>
	Toiture	inaccessible (catégorie H) accessible (catégorie I)	1	<b>0</b> <b>0,3</b>
<b>Catégorie C : Lieux de réunion</b>	Etages	à occupation corrélée	0,8	<b>0,48</b>
		à occupation indépendante	0,5	<b>0,30</b>
	Toiture	inaccessible (catégorie H) accessible (catégorie I)	1	<b>0</b> <b>0,6</b>
<b>Catégorie D : Commerce</b>	Etages		1	<b>0,6</b>
	Toiture	inaccessible (catégorie H) accessible (catégorie I)	1	<b>0</b> <b>0,6</b>
<b>Catégorie E : Stockage et bâtiments industriels</b>	E1 : Stockage		1	<b>0,8</b>
	E2-a : Installation et Unités de production		1	<b>1</b>
	E2-b : Matériels roulants lourds liés à la manutention des produits ou à l'entretien des machines		1	<b>0,3</b>
	E2-c : Personnel, approvisionnement en produits, déchets et matériel roulant léger, liés au fonctionnement des machines		1	<b>0,6</b>
<b>Ponts roulants :</b>	Masse propre du pont roulant (poids $Q_c$ )		1	<b>1</b>
	Masse soulevée (poids $Q_h$ )	directions horizontales	0	<b>0,2</b> <sup>(1)</sup>
		direction verticale	1	<b>0,2</b> <sup>(1)</sup>
<b>Catégorie F : zone de trafic, véhicules de poids <math>\leq 30</math> kN (Parkings ...)</b>		1	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Charges de neige :</b>	Altitude du terrain inférieure à 1000 m		1	<b>0</b>
	supérieure à 1000 m			<b>0,2</b>

(1) : Valeur à considérer en l'absence d'indications plus précises dans les documents du marché

(2) : La clause 4.3.3.5.2 (1) de la NF EN 1998-1 définit les conditions pour lesquelles la prise en compte de la direction verticale de l'action sismique est obligatoire.

*Tableau 1 : Synthèse des fractions de masse à prendre en compte dans l'analyse sismique d'un bâtiment pour les actions variables courantes*

## Masse de neige à prendre en compte dans une analyse sismique

La neige fait partie des charges variables gravitaires agissant sur un bâtiment. Elle doit donc à ce titre être prise en considération lors d'une analyse sismique. La fraction de la masse de neige à intégrer dans le modèle de calcul se détermine de la manière suivante :

- la neige est appliquée en toiture, donc  $\varphi = 1$  ;
- le coefficient de combinaison  $\psi_2$  est défini par la clause 4.2 (1) de l'Annexe Nationale [5] de l'EN 1991-1-3 [4]. Il vaut 0,2 pour les bâtiments situés à une altitude par rapport au niveau de la mer supérieure à 1000 m et 0 dans les autres cas.

Pour tous les bâtiments situés à moins de 1000 m d'altitude, il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte la neige dans une analyse sismique. Par contre, au-delà de 1000 m d'altitude, une masse représentant 20 % de celle associée à la charge caractéristique de neige doit être ajoutée en toiture dans le modèle utilisé pour calculer les charges sismiques, le cas échéant. Cette masse peut être uniformément répartie et il n'y a pas lieu de tenir compte des accumulations de neige. Les effets éventuels d'une répartition non homogène de la neige sur le comportement sismique de la structure sont pris en compte indirectement grâce à l'excentricité accidentelle prévue à cet effet dans l'EN 1998-1 (clause 4.3.2 (1)).

### Exemple d'application

Un bâtiment industriel (**Figure 1**) doit être construit en Isère, en zone de sismicité 4, à 1200 m d'altitude. Ce département est situé en région de neige C2 au sens de l'Annexe Nationale [5]. Les dimensions du bâtiment sont de 30 m de longueur par 18 m de largeur. La toiture comporte deux versants inclinés à 4°.

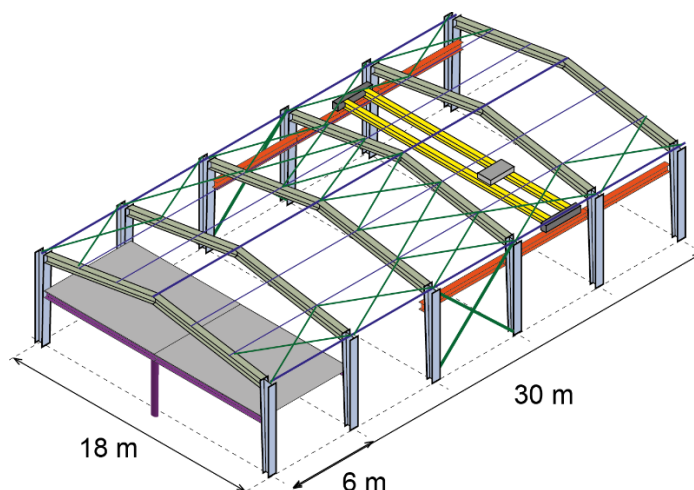


Figure 1 : Bâtiment industriel traité en exemple

Le bâtiment est situé à plus de 1000 m d'altitude, il est donc nécessaire d'ajouter une masse en toiture correspondant à 20 % de la charge de neige. On commence donc par calculer cette dernière. Pour la région de neige C2, l'Annexe Nationale [5] impose :

- une valeur caractéristique de la charge de neige au sol  $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$ , pour une altitude inférieure à 200 m ;

- un supplément de charge de neige pour une altitude  $A$  supérieure à 200 m, défini par :

$$\Delta s_1 = 3,5 A/1000 - 2,45 ; \text{ où } A \text{ est exprimé en m et } \Delta s_1 \text{ en kN/m}^2.$$

$$\text{Pour } 1200 \text{ m d'altitude, ce supplément vaut : } \Delta s_1 = 3,5 \times 1,2 - 2,45 = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

La valeur caractéristique de la charge de neige au sol à 1200 m d'altitude vaut finalement  $s_k = 0,65 + 1,75 = 2,4 \text{ kN/m}^2$ . La charge de neige en toiture s'obtient par la relation :

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (3)$$

où :  $C_e$  est le coefficient d'exposition (pris ici égal à 1) ;

$C_t$  est le coefficient thermique (pris ici égal à 1) ;

$\mu_i$  est le coefficient de forme ; pour une toiture à deux versants symétriques inclinés de  $4^\circ$ , le Tableau 5.2 de l'EN 1991-1-3 donne une valeur de  $\mu_i = 0,8$ .

La charge de neige en toiture pour le bâtiment étudié vaut donc :

$$s = 0,8 \times 2,4 = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

La charge de neige totale en toiture est donc égale à :

$$S = 1,92 \times 18 \times 30 = 1037 \text{ kN}$$

La masse associée à cette charge gravitaire s'obtient par :

$$m_s = 1037 \times 1000 / 9,81 = 105\,700 \text{ kg}$$

Finalement, la masse qu'il faut ajouter en toiture dans le modèle de calcul pour l'analyse sismique du bâtiment vaut :

$$m_{s,E} = 0,2 \times 105\,700 = 21\,140 \text{ kg}$$

Il convient de répartir cette masse uniformément sur la toiture.

## Références

- [1] **NF EN 1998-1** : Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. AFNOR. Septembre 2005.
- [2] **NF EN 1998-1/NA** : Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la NF EN 1998-1. AFNOR – Décembre 2013.
- [3] **NF EN 1991-1-1** : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments. AFNOR. Novembre 2009.
- [4] **NF EN 1991-1-3** : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige. AFNOR. Avril 2004.
- [5] **NF EN 1991-1-3/NA** : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige. Annexe Nationale à la NF EN 1991-1-3. AFNOR. Mai 2007.
- [6] **Arrêté modifié du 22 octobre 2010** relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal », JORF, 24/10/10.
- [7] **Guide pour la conception parasismique des bâtiments en acier ou en béton selon l'Eurocode 8** – AFPS (Association Française de Génie Parasismique) et ISE (Institution of Structural Engineers) – Octobre 2010.