

Table des matières

1	OBJET	3
2	DOMAINE D'APPLICATION	5
3	CALCUL DE L'ACTION SISMIQUE	7
3.1	Masse sujette à l'action sismique	7
3.2	Critères de choix de la méthode d'analyse.....	10
3.3	Calcul de l'action sismique	10
3.4	Application de la méthode des forces latérales à un système de murs	13
3.5	Effets de la torsion autour d'un axe vertical (cf. art. 4.3.2 et 4.3.3 de la norme NF EN 1998-1)	15
3.6	Répartition de la force sismique de niveau, sur les éléments de contreventement.....	16
3.7	Utilisation d'un modèle spatial	17
3.8	Utilisation de deux modèles plans	18
4	JUSTIFICATIONS DES MURS EN MAÇONNERIE CHAÎNÉE	19
4.1	Principe de justifications.....	19
4.2	Justifications de la résistance des murs en maçonnerie chaînée.....	19
4.3	Schéma d'analyse	20
4.4	Justification de la traction dans les chaînages.....	20
4.5	Justification du cisaillement dans la maçonnerie.....	21
4.6	Justification de la compression dans le corps de la maçonnerie.....	23
5	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES AUX MAÇONNERIES CHAÎNÉES.....	25
6	EXEMPLE PRATIQUE DE CALCUL	27
6.1	Présentation de l'exemple.....	27
6.2	Données.....	27
6.3	Masses sujettes à l'action sismique.....	28
6.4	Période de vibration.....	29
6.5	Effort tranchant à la base de la structure	29
6.6	Distribution des forces sismiques, en élévation	29
6.7	Calcul des centres de rigidités pour chaque niveau	30
6.8	Répartition de la force horizontale sismique sur les murs.....	31
6.9	Charges verticales supportées par les murs	33
6.10	Calcul des armatures de chaînages et vérification de la compression dans la maçonnerie.....	34
6.11	Vérification du cisaillement dans les murs.....	35
6.12	Dispositions constructives.....	36

EFFETS DU SÉISME SUR LES BÂTIMENTS CONTREVENTÉS PAR DES MURS EN MAÇONNERIE CHAÎNÉE

7	RÉFÉRENCES	37
	ANNEXES	39
Annexe 1	Méthode de calcul permettant de prendre en compte les déformations d'effort tranchant dans un mur sollicité latéralement dans son plan	39
Annexe 2	Cas particulier de murs non superposés	43

3. CALCUL DE L'ACTION SISMIQUE

3.1 Masse sujette à l'action sismique

La masse à prendre en compte dans les calculs permet la détermination des effets d'inertie de l'action sismique de calcul. Ces effets sont évalués en prenant en compte la présence des masses associées à toutes les charges gravitaires qui apparaissent dans la combinaison d'actions suivante :

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{cf. art. 3.2.4 de la norme NF EN 1998-1}) ;$$

où :

- $G_{k,j}$ est la valeur caractéristique de l'action permanente j ;
- $Q_{k,i}$ est la valeur caractéristique de l'action variable i ;
- $\psi_{E,i}$ est le coefficient de combinaison pour les actions variables i , ce coefficient prend en compte :
 - la probabilité que ces charges variables ne soient pas présentes sur la totalité de la structure pendant le séisme ;
 - la participation réduite des masses dans le mouvement de la structure, du fait de liaisonnement imparfaitement rigide entre elles ;

ce coefficient est obtenu par le produit $\varphi \cdot \psi_{2i}$ (cf. art. 4.2.4 de la norme NF EN 1998-1), où :

- ψ_{2i} représente le coefficient de combinaison, pour la valeur quasi-permanente de l'action variable $Q_{k,i}$;
- φ est un coefficient d'ajustement relatif à la concomitance des charges variables, et dépend de la catégorie du bâtiment ainsi que de la localisation de la charge dans le bâtiment. Les valeurs de ce coefficient sont données dans l'Annexe Nationale française de la norme NF EN 1998-1. Les valeurs recommandées sont données dans le tableau suivant (cf. art. 4.2.4 de la norme NF EN 1998-1) :

Type d'action variable	Étage	φ
Catégories A à C	Toit	1,0
	Étages à occupations corrélées	0,8
	Étages à occupations indépendantes	0,5
Catégories D à F, et archives		1,0

Tableau 3.1 : Coefficient d'ajustement φ , dû à la concomitance des charges variables sur les divers planchers d'un même bâtiment.

Les catégories A à F sont des catégories d'usage. Elles sont définies dans la norme NF EN 1991-1-1 [2]. Les valeurs des charges d'exploitation à prendre en compte pour les différentes catégories, ainsi que pour les différents éléments d'un même bâtiment, sont données à l'article 6.2 de cette norme.

3.6 Répartition de la force sismique de niveau, sur les éléments de contreventement

Le principe consiste à écrire l'équilibre en translation et en rotation du plancher considéré, soumis :

- à la force F_i qui lui revient ;
- à un moment de torsion en plan $M_t = F_i \cdot e$, e étant la distance entre la position du centre de masses G (après le décalage décrit au paragraphe 3.5 ci-dessus) et le centre des rigidités du niveau en translation. Ce centre de rigidité est défini comme étant le barycentre des rigidités des murs du niveau. Le mode de détermination de ce point est indiqué dans ce qui suit.

On a représenté dans la figure ci-dessous la vue en plan d'un étage de bâtiment. Les murs sont pochés.

On appelle k_{xi} les rigidités des murs parallèles à l'axe des X et k_{yi} les rigidités des murs parallèles à l'axe des Y (la convention adoptée ici, pour la notation des rigidités, est que l'indice se réfère à l'axe perpendiculaire à celui autour duquel le moment d'inertie du mur est calculé).

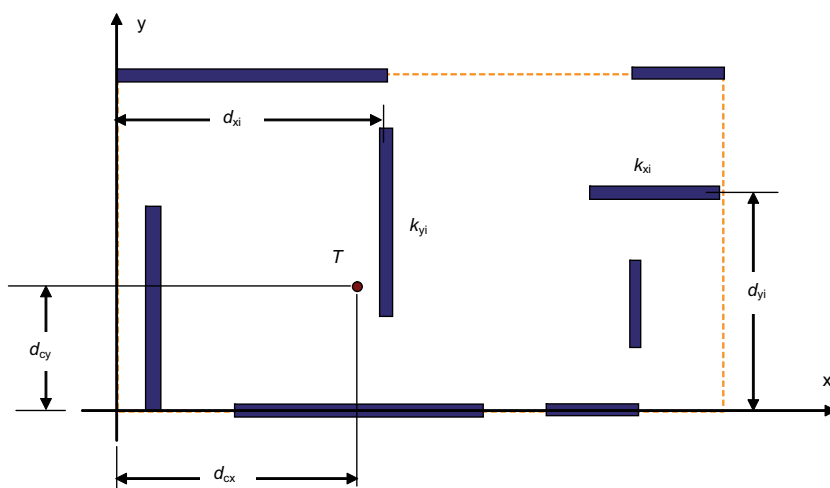


Figure 3.2 : Vue en plan pour la définition des paramètres de calcul.

On appelle d_{xi} les distances, à l'axe Y, des centres de gravité des murs parallèles à Y.

On appelle d_{yi} les distances, à l'axe X, des centres de gravité des murs parallèles à X.

Éléments de maçonnerie en	f_{vko} (MPa)		
	Mortier d'usage courant de la classe de résistance donnée	Mortier de joints minces ^(a) (joint d'assise $\geq 0,5$ mm et ≤ 3 mm)	Mortier allégé ^(a)
Terre cuite	M10 - M20	0,30	0,30
	M5 - M9 ^(a)	0,20	
Silico-calcaire	M10 - M20	0,20	0,40
	M5 - M9 ^(a)	0,15	
Béton de granulats courants	M10 - M20	0,20	0,30
Béton cellulaire autoclavé	M5 - M9 ^(a)	0,15	
Pierre reconstituée	M5 - M9 ^(a)	0,15	
Pierre naturelle dimensionnée	M2,5 - M4 ou M5 - M9	0,15	0,15
	M10 - M20		

(a) : Les garde-fous ci-dessus sur les classes de mortier de montage permettent d'éviter un poinçonnement prématuré de celui-ci, notamment dans le cas des produits multi-alvéolés à parois minces largement utilisés en France. Des indications utiles à ce sujet sont données dans la norme **NF DTU 20.1** [5], P10-202 (pour les pierres dimensionnées, afin d'assurer la prise en compte de la cohérence avec la norme **NF DTU 20.1** : > M2,5 pour les pierres tendres, > M5 pour les pierres fermes, > M10 pour les pierres dures).

Tableau 4.1 : Résistance caractéristique initiale au cisaillement de la maçonnerie.

- γ_M est le coefficient de sécurité sur la résistance de la maçonnerie, en situation sismique de calcul. La clause 9.6(3) de la norme **NF EN 1998-1** fournit les valeurs à retenir pour ce coefficient (renvoi vers l'Annexe Nationale). Le tableau qui suit est extrait du projet d'Annexe Nationale de la norme **NF EN 1996-1-1** :

Matériau		γ_M		
		Niveaux de contrôle		
	Maçonnerie constituée de :	IL3	IL2	IL1
A	Éléments de Catégorie I, mortier performantiel	1,5	2,0	2,5
B	Éléments de Catégorie I, mortier de recette	1,7	2,2	2,7
C	Éléments de Catégorie II, tout mortier	2,3	2,8	3,3
D	Ancrage d'acier d'armature	1,7	2,2	2,7
E	Acier d'armature et de précontrainte	1,15		
F	Composants accessoires	1,7	2,2	2,7
G	Linteaux conformes à la norme NF EN 845-2 [6]	1,5	2,0	2,5

Tableau 4.2 : Coefficient de sécurité pour la maçonnerie.

6.10 Calcul des armatures de chaînages et vérification de la compression dans la maçonnerie

La détermination de la section d'armatures dans les chaînages ainsi que celle des longueurs comprimées des murs résultent d'un calcul de type béton armé. Ce calcul est effectué en considérant la résistance de calcul à la compression f_d de la maçonnerie égale à 2,74 MPa. Cette valeur correspond à une maçonnerie en éléments de béton creux B40, à joints courants, à niveau de contrôle IL2.

Le tableau qui suit indique l'organisation des calculs ainsi que les résultats obtenus :

Murs du premier étage								
Murs (ép. : 0,20 m)	Longueur (m)	Charge verticale totale sur le mur (kN)	Charge horizontale de niveau (kN)	Charge horizontale cumulée (kN)	Moment en pied de mur (kN.m)	Section d'acier calculée (cm ²)	Armatures retenues ($f = 500\text{MPa}$)	Contrainte σ_d sur partie comprimée (MPa)
V1	8,50	343,02	176,83	176,83	530,48	0	4HA10	0,32
V2	2,00	135,24	4,76	4,76	14,28	0	4HA10	0,38
V3	3,00	165,78	20,36	20,36	61,07	0	4HA10	0,37
V4	10,00	336,30	368,68	368,68	1106,05	0	4HA10	0,49
V5	2,00	116,70	7,37	7,37	22,12	0	4HA10	0,36
V6	7,00	357,98	66,35	66,35	199,06	0	4HA10	0,30
V7	7,00	696,85	101,45	101,45	304,34	0	4HA10	0,57
V8	2,00	240,30	5,60	5,60	16,79	0	4HA10	0,65
Murs du rez-de-chaussée								
V1	8,50	726,21	111,15	287,98	1394,42	0	4HA10	0,78
V2	2,00	289,02	2,99	7,75	37,54	0	4HA10	0,83
V3	3,00	353,19	12,82	33,18	160,60	0	4HA10	0,84
V4	10,00	708,65	232,39	601,07	2909,26	0	4HA10	1,98
V5	2,00	248,85	4,65	12,02	58,19	0	4HA10	0,81
V6	7,00	715,96	41,72	108,07	523,28	0	4HA10	0,65
V7	7,00	1393,70	63,95	165,40	800,53	0	4HA10	1,19
V8	2,00	480,60	3,53	9,13	44,19	0	4HA10	1,32

Tableau 6.6 : Calcul des armatures de chaînages et de la contrainte de compression dans la maçonnerie.

On constate que, pour tous les murs, la condition $\sigma_d \leq f_d$ est vérifiée ; où :

- σ_d représente la contrainte de compression calculée dans les deux tableaux précédents (dernière colonne) ;
- f_d représente la résistance de calcul à la compression de la maçonnerie, égale ici à 2,74 MPa.