

Murs en maçonnerie et éléments connexes

Document technique 07-06

Informations utiles à l'utilisation
des valeurs indiquées dans les
certificats

Document technique 07-06 rev 01
13/06/2019

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document technique, faite sans l'autorisation du CSTB, est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (article L. 122-5 du Code de la propriété intellectuelle). Le présent document a été rédigé sur l'initiative et sous la direction du CSTB qui a recueilli le point de vue de l'ensemble des parties intéressées

© CSTB

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

N° de révision	Date application	Modifications
00	13/06/2019	Première rédaction

Table des matières

1.	Objet du présent document technique	5
2.	Tableau des valeurs utiles pour le dimensionnement	5
2.1.	Coefficients partiels matériaux applicables	6
3.	Utilisation des valeurs indiquées dans le certificat pour le dimensionnement de maçonnerie	6
3.1.	Résistance sous charges verticales	6
3.1.1.	Valeur de calcul de la résistance aux charges verticales	6
3.1.2.	Effets de l'élanement et de l'excentricité des charges.....	6
3.1.3.	Résistance au feu.....	7
3.1.4.	Contreventement des maçonneries chaînées.....	7
3.1.4.1.	Vérifications de la zone comprimée	7
3.1.4.2.	Vérification de non-cisaillement.....	8
3.1.5.	Contreventement des maçonneries non armées	9
3.1.5.1.	Vérifications de la zone comprimée	9
3.1.5.2.	Cisaillement.....	9
3.2.	Utilisation en zones sismiques	10
3.2.1.	Prescriptions applicables aux maisons individuelles.....	10

1. Objet du présent document technique

Le présent document est à utiliser en association avec le certificat QB07 pour les procédés de murs en maçonnerie entrant dans le domaine traditionnel. Les procédés non traditionnels peuvent s'appuyer sur tout ou partie du présent document mais les prescriptions des Avis Techniques prévalent.

Les définitions et notations sont celles de l'Eurocode 6 et du DTU 20.1.

Il convient de se référer au référentiel de certification QB 07 « Murs en maçonnerie et éléments connexes », §1.1 « Champs d'application » pour cerner les contours de la certification QB07 et à la Partie 5 de ce même document pour les définitions utiles.

2. Tableau des valeurs utiles pour le dimensionnement

Les certificats fournissent les valeurs listées dans le Tableau 1, qui sont utiles pour le dimensionnement de la maçonnerie. Les paragraphes 2.1 à 3.2 donnent des explications complémentaires relatives à l'utilisation de ces valeurs. Les méthodes de calculs proposées ci-après sont conformes à l'Eurocode 6 (NF EN 1996-1-1+A1 (mars 2013) + Annexe Nationale et NF EN 1996-3 (juin 2006) + Annexe Nationale), au DTU 20.1 de 2019 et à la jurisprudence du GS16 à la date de passage dans le domaine traditionnel des procédés concernés.

Tableau 1 Valeurs utiles pour la conception structurale mentionnés dans le certificat QB

Résistance moyenne en compression normalisée des éléments	f_b	Caractéristique certifiée	Voir Certificat QB07
Résistance caractéristique en compression de la maçonnerie*	f_k	Caractéristique complémentaire certifiée	Voir Certificat QB07
Résistance initiale au cisaillement	f_{vk0}	Caractéristique informative non certifiée Sauf dans le cas de l'option sismique, où il s'agit alors d'une caractéristique certifiée	Voir Certificat QB07
Résistance caractéristique en cisaillement du béton	f_{cvk}	Valeur tabulée	0,45 MPa (Béton C25/30)
Coefficient partiel de sécurité matériau sur la résistance de la maçonnerie	γ_M	Caractéristique informative non certifiée	Voir Tableau 2
Coefficient partiel de sécurité matériau sur la résistance du béton	γ_C	Caractéristique informative non certifiée	1,5 pour actions durables ou transitoires et 1,3 pour actions sismiques
Module d'élasticité de la maçonnerie	E	Caractéristique informative non certifiée	Voir Certificat QB07
Coefficient de comportement**	q	-Dans le cas de l'option sismique sans sous-option « validation de q » : Caractéristique informative non certifiée -Dans le cas de l'option sismique avec sous-option « validation de	Voir Certificat QB07

		q » : Caractéristique certifiée optionnelle	
Résistance au feu	REI	Caractéristique informative non certifiée	Voir Certificat QB07

*Attention : Si le système est ouvert la valeur affichée de f_k ne pourra pas être une valeur obtenue par essai murets, la formule DTU doit être utilisée.

**Si le système est ouvert ou si le système n'a pas fait l'objet d'essais, la valeur affichée de q ne pourra pas être une valeur obtenue par essais sismiques, on prendra $q=1,5$.

2.1. Coefficients partiels matériaux applicables

Tableau 2 Coefficients partiels matériaux applicables à la maçonnerie

Matériau	Type de charges	γ_M	
		Niveau de contrôle	
		IL2	IL1
Procédé de mur non certifié*	Charges permanentes et variables	2,0	2,5
	Charges sismiques	1,5	1,67
Procédé de mur certifié**	Charges permanentes et variables	1,7	2,1
	Charges sismiques	1,5	1,5

* Procédés de murs en maçonneries dont tous les composants (éléments + mortier) ne sont pas certifiés suivant un même référentiel de certification ;

** Procédés de mur en maçonnerie dont tous les composants (éléments + mortier) sont certifiés suivant un même référentiel de certification.

3. Utilisation des valeurs indiquées dans le certificat pour le dimensionnement de maçonnerie

3.1. Résistance sous charges verticales

3.1.1. Valeur de calcul de la résistance aux charges verticales

À l'état-limite ultime, la valeur de calcul de la charge verticale appliquée par mètre de longueur de mur N_{Ed} (Obtenu suivant les normes NF EN 1990 et 1991) doit être inférieure ou égale à la valeur de calcul de la résistance aux charges verticales, N_{Rd} , exprimée en MN/m et donnée par l'expression suivante (NF EN 1996-1-1, §6,1) :

$$N_{Rd} = \frac{\Phi t \cdot f_k}{\gamma_M}$$

Où :

f_k est la résistance caractéristique en compression de la maçonnerie en MPa ;

Φ est le coefficient de réduction pour tenir compte de l'élançement du mur, l'excentricité des charges verticales appliquées et l'effet de fluage (voir paragraphe suivant) ;

t est l'épaisseur de la maçonnerie en m ;

γ_M est le coefficient partiel de matériau sur la résistance de la maçonnerie.

3.1.2. Effets de l'élançement et de l'excentricité des charges

Les valeurs de Φ peuvent être calculées de deux façons :

1 - Méthode standard : Calcul suivant NF EN 1996-1-1, §6,1 ;

2 – Méthode simplifiée.

Si on respecte les prescriptions des règles NF EN 1996-3, §4.2 et les hypothèses ci-dessous :

Elancement des murs < 20 ;

Portée du plancher ≤ 6 m ;

Hauteur libre d'un étage ≤ 3 m.

On peut alors utiliser les valeurs de Φ ci-dessous (calculées suivant la méthode simplifiée NF EN 1996-3, §4.2.2.3) :

Tableau 3 - Valeurs de Φ

Epaisseur mur (cm)	Mur - intermédiaire	Mur - de rive	Mur du niveau le plus élevé
15	0,41	0,55	0,4
20	0,60	0,55	0,4
25	0,69	0,55	0,4
30	0,74	0,55	0,4
35	0,77	0,55	0,4
40	0,79	0,55	0,4

3.1.3. Résistance au feu

Pour les murs de bâtiments soumis à exigences réglementaires en matière de résistance au feu, la charge verticale N_{Ed} pondérée par le coefficient de réduction η_{fi} doit être inférieure ou égale à la valeur de la charge maximale indiquée dans le Procès-Verbal de classement. On prendra par défaut $\eta_{fi} = 0,7$. En outre, la hauteur maximale du mur est limitée à la valeur indiquée dans ce Procès-Verbal.

3.1.4. Contreventement des maçonneries chaînées

Le cahier du CSTB N°3719 « Note d'information : Contreventement par murs en maçonnerie de petits éléments » est partie intégrante de ce document.

La justification de l'aptitude du mur à assurer sa fonction de contreventement passe par les deux vérifications suivantes :

3.1.4.1. Vérifications de la zone comprimée

Le non écrasement de la zone comprimée de la maçonnerie en pied de mur.

Cette vérification de non-écrasement s'écrit :

$$\frac{2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{h}{l} + l}{l_c \cdot \left(1 - \frac{l_c}{3}\right)} \cdot N_{Ed} \cdot l \leq \frac{\Phi \cdot t \cdot f_k}{\gamma_M}$$

Avec :

- V_{Ed} : force horizontale appliquées au mur, exprimée en MN ;
- l et h : respectivement longueur et hauteur du mur, exprimées en mètres ;
- l_c : longueur comprimée du mur (cf. § 6.2 de l'EN 1996-1-1), exprimée en mètres, est donnée dans les tableaux ci-après en fonction de la nature des blocs, de la longueur du mur et du rapport $V_{Ed}/(l \cdot N_{Ed})$:

Tableau 4 - Valeurs de l_c pour les murs en maçonneries courantes de briques creuses de terre cuite ou de blocs creux en béton de 20 cm d'épaisseur, de 2,60 m de hauteur et comportant des armatures de chaînage vertical de section minimale 4HA8

		longueur du mur de contreventement (m)					
		1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
$V_{Ed}/(N_{Ed}\cdot l)$	0	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
	0,1	1,47	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
	0,2	0,94	1,53	2,22	2,94	4,00	5,00
	0,3	0,69	1,08	1,62	2,26	3,68	5,00
	0,4	0,58	0,85	1,22	1,71	2,98	4,41

Tableau 5 - Valeurs de l_c pour les murs en maçonneries courantes de briques creuses de terre cuite ou de blocs creux en béton de 20 cm d'épaisseur comportant des armatures de chaînage vertical de section minimale 4 HA 10 (cas de rapports $V_{Ed}/(N_{Ed}\cdot l)$ importants ou situation sismique)

		longueur du mur de contreventement (m)					
		1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
$V_{Ed}/(N_{Ed}\cdot l)$	0	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
	0,2	0,99	1,59	2,28	3,00	4,00	5,00
	0,4	0,64	0,93	1,32	1,83	3,10	4,53
	0,6	0,54	0,73	0,96	1,25	2,08	3,25
	0,8	0,49	0,64	0,82	1,02	1,54	2,33

Pour des valeurs du rapport $V_{Ed}/(l\cdot N_{Ed})$ comprises entre deux lignes des tableaux ci-dessus ou pour des longueurs du mur comprises entre deux colonnes des tableaux ci-dessus, il est possible de procéder à une interpolation linéaire pour en déduire la valeur l_c à utiliser.

3.1.4.2. Vérification de non-cisaillement

L'absence de rupture prématuré par cisaillement à l'interface éléments de maçonnerie/joint horizontal est à vérifier en utilisant le modèle de cisaillement décrit au § 6.2 de l'EN 1996-1.1. La valeur de calcul de la force de cisaillement appliquée V_{Ed} doit être inférieure ou égale à la valeur de la résistance au cisaillement du mur, V_{Rd} , exprimée en MN et donnée par l'expression suivante :

$$V_{rd} = \frac{t \cdot l \cdot f_{vk}}{\gamma_M} + \sum A_c \cdot \frac{f_{cvk}}{\gamma_C}$$

Avec :

f_{vk} : résistance caractéristique en cisaillement de la maçonnerie, exprimée en MPa ;

l est la longueur de l'ouvrage de maçonnerie entre chaînages ;

$\sum A_c$ est la somme des sections de béton des chaînages ;

f_{cvk} est la résistance caractéristique au cisaillement du béton ;

γ_c est le coefficient partiel de sécurité relatif au béton.

La résistance caractéristique au cisaillement de la maçonnerie, f_{vk} , est prise égale à l'une des deux expressions suivantes :

- pose à joints verticaux secs

$$f_{vk} = 0,5f_{vk0} + 0,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{t} \leq 0,045 \cdot f_b$$

- pose à joints verticaux remplis ou collés sur au moins 40% de l'épaisseur de la maçonnerie :

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{t} \leq 0,065 \cdot f_b$$

Avec :

f_{vk0} : Résistance initiale au cisaillement, en MPa;

f_b : Résistance moyenne en compression normalisée des éléments, en MPa

Dans le cas de murs montés à joints verticaux secs, le décalage des briques/blocs d'une rangée sur l'autre doit être proche de la demi-longueur de ces derniers. De plus, la longueur minimale du panneau de contreventement doit

être égale à $h \cdot \frac{l_b}{2 \cdot h_b}$, h étant la hauteur du mur, et l_b et h_b étant respectivement la longueur et la hauteur de l'élément de maçonnerie.

Ils doivent présenter des armatures de chaînages verticaux et horizontaux de section 2cm² minimum.

3.1.5. Contreventement des maçonneries non armées

Le cahier du CSTB N°3719 « Note d'information : Contreventement par murs en maçonnerie de petits éléments » est partie intégrante de ce document.

3.1.5.1. Vérifications de la zone comprimée

Le non-écrasement de la zone comprimée en pied de mur s'écrit :

$$\frac{2 \cdot V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot l}{l_c \cdot t \cdot \left(l - \frac{l_c}{3}\right)} \leq \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Avec :

V_{Ed} = force horizontale appliquée en tête du mur ;

N_{Ed} = force verticale appliquée à mi-longueur du mur ;

l, h, t = longueur, hauteur et épaisseur du mur ;

l_c = longueur comprimée du mur telle que :

$$l_c = \frac{3}{2}l - 3 \frac{h \cdot V_{Ed}}{N_{Ed}}$$

3.1.5.2. Cisaillement

La résistance au cisaillement est déterminée par la formule suivante :

$$V_{rd} = \frac{t \cdot l_c \cdot f_{vk}}{\gamma_M}$$

f_{vk} est la valeur caractéristique de la résistance au cisaillement de la maçonnerie, fondée sur la moyenne des contraintes verticales exercées sur la partie comprimée du mur assurant la résistance au cisaillement ;

γ_M est le coefficient partiel de sécurité sur la résistance de la maçonnerie.

t est l'épaisseur du mur offrant une résistance au cisaillement ;

l_c est la longueur de la partie comprimée du mur, en négligeant toute partie du mur soumise à une tension

3.2. Utilisation en zones sismiques

Les murs montés à l'aide des blocs béton ou terre cuite peuvent être utilisés pour la réalisation d'éléments structuraux principaux de bâtiments soumis à exigences parasismiques au sens du décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, moyennant le respect des prescriptions de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale NF EN 1998-1/NA, et en particulier le respect des prescriptions relatives aux maçonneries chaînées (=confinées au sens de la NF EN 1996-1)..

Seuls les éléments accessoires présentant une section de chaînage pouvant englober un cercle de 15cm ou un carré de 15 cm x15 cm peuvent être utilisés.

Ils doivent présenter des armatures de chaînages verticaux et horizontaux de section 3cm^2 minimum.

3.2.1. Prescriptions applicables aux maisons individuelles

Dans le cas de petits bâtiments de forme simple, définis dans la norme NF P 06-014 , une justification sans nécessité de vérification par calcul est également possible en application de cette norme. Il est rappelé que les bâtiments visés par cette norme doivent être au maximum de type R + 1 + comble, de forme simple tant en plan qu'en élévation, et contreventés par des murs répartis sur le pourtour des planchers.

Pour ces petits bâtiments, la longueur des panneaux dans chaque direction, exprimée en mètres, ne doit pas être inférieure au quotient de la surface S totale construite au sol, en mètres carrés, par le coefficient k donné dans le tableau cité en Annexe du certificat QB. La méthodologie de calcul des coefficients k est indiquée dans le cahier du CSTB N°3719 « Note d'information : Contreventement par murs en maçonnerie de petits éléments ».