

La radioactivité éventuellement émise dans les constructions est due, principalement, à la présence de Radium (Ra 226) et/ou Thorium (Th 232) dans le sous-sol et dans les matériaux utilisés. Parmi ceux-ci, le béton cellulaire est un de ceux qui en contiennent le moins, comme en atteste le tableau ci-dessous.

Emissions radioactives moyennes de différents matériaux de construction (pCi/g) [19]		
	Ra 226	Th 232
Brique en terre cuite	2,5	2,3
Béton	0,8	1
Plâtre	19	0,7
Silico-calcaire	0,7	0,7
Béton cellulaire*	0,3	0,3

* Mesures effectuées au laboratoire des sciences naturelles de l'Université de Gand.

La très faible radioactivité du béton cellulaire provient du fait qu'il est principalement composé de sable pur ($\pm 70\%$), une matière première dont la radioactivité est très faible (en moyenne 3 fois moindre que celle de l'argile utilisé pour fabriquer les briques) et qu'il en faut relativement peu pour obtenir 1m^3 de produit fini (à nouveau 3 fois moins que pour la plupart des autres matériaux porteurs de gros œuvre).

4.8.7 Cycle de vie

“Un développement durable est un développement qui répond aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre la satisfaction des besoins des générations suivantes.”

La construction durable comprend plusieurs axes :

- l'efficacité énergétique des bâtiments, qui est déterminée e.a. par l'isolation thermique du bâtiment
- utilisation de matériaux à faible impact environnemental, donc des matériaux qui préservent la nature et l'être humain durant tous leurs cycles de vie.
- diminution des déchets de construction et de démolition

La politique évolue aujourd'hui vers le concept du développement durable, vers une responsabilisation pour toutes les phases du cycle de vie d'un produit. Un nouveau concept a été défini : l'engineering du cycle de vie. Cet 'engineering' va concilier les impératifs environnementaux et les impératifs économiques, et va donc prendre en compte tous les cycles de vie des matériaux. Cela signifie moins de matières premières, d'énergie, de déchets, d'emballages et plus de recyclage, avec pour objectif de diminuer les coûts de production et d'obtenir un meilleur bilan écologique.

L'engineering des produits suppose également la création de produits ergonomiques, avec plus de confort pour les utilisateurs. Le béton cellulaire répond parfaitement aux exigences d'aujourd'hui, permet de construire durablement et montre un cycle de vie optimal.

4.9 Calcul de la maçonnerie portante soumise à une charge verticale

4.9.1 Selon NBN B 24-301 (mars 1980)

Les calculs sont effectués selon la méthode des contraintes admissibles.

La résistance de la maçonnerie se calcule sur la base des essais réalisés sur des matériaux ou sur des éléments de construction.

4.9.1.1 f_k par essais sur des matériaux de construction

Les blocs de béton cellulaire sont agréés BENOR.

a) Résistance caractéristique à la compression : f_{bk}
 Cette valeur est calculée sur la base de la valeur moyenne f_{bm} obtenue lors d'une série d'essais de compression effectués sur des blocs individuels conformément à NBN B 24-201.

b) Résistance caractéristique à la compression corrigée : $(f_{bk})_{corr}$
 Il s'agit d'une valeur corrigée utilisée afin de tenir compte du format des différents blocs. L'échantillon standard est un cube de 200 mm de côté. Cette valeur est le résultat de la division de f_{bk} par un facteur de forme c .

$$(f_{bk})_{corr} = \frac{f_{bk}}{c}$$

Le facteur de forme pour des blocs en béton cellulaire est environ égal à 1.

Dimensions (mm)	Facteur de forme c
600 x 250 x 150	1,0017
600 x 250 x 200	1,0699
600 x 250 x 240	1,0819
600 x 250 x 300	1,0991

c) Catégories de mortier

Les différentes catégories de mortier sont déterminées sur base de leur résistance moyenne mesurée selon NBN B 12-208. Il existe 5 classes différentes de mortier : M1 à M5.

Le mortier colle pour le béton cellulaire appartient à la classe M2 et affiche une résistance à la compression de 12 N/mm^2 .



d) Résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie : f_k

Sur la base de la résistance caractéristique corrigée à la compression ($f_{bk,corr}$) et du type de mortier, il est possible de déterminer la valeur f_k au moyen du tableau 5 de la norme NBN B 24-301.

Il est supposé en pratique que la résistance de la maçonnerie réalisée en blocs de béton cellulaire et mortier colle n'est pas réduite par la liaison des blocs au moyen du mortier colle. En effet, le mortier utilisé affiche une résistance à la compression 3 à 4 fois supérieure à celle des blocs.

On admet donc que $f_k = (f_{bk,corr})$

4.9.1.2 f_k par essais sur murets

Il est également possible de déterminer f_k directement par des essais sur murets.

Après avoir déduit la valeur f_k , le calcul proprement dit peut être entrepris.

La résistance à la compression admissible f_{adm} est une fraction de f_k et peut être calculée en divisant f_k par un coefficient de sécurité de 4,5.

Cette résistance à la compression admissible est multipliée par un coefficient de minoration Φ afin de tenir compte de l'élançement du mur et de l'excentricité de la charge appliquée, ce qui mène aux contraintes admissibles dans le mur.

Il convient de vérifier encore si:
la contrainte produite $\leq f_{adm} \cdot \Phi$

4.9.2 Selon NBN EN 1996-1-1, Eurocode 6 avec DAN (juin 1998)

La norme belge NBN B 24-301 sera progressivement remplacée par la norme européenne. Depuis 1998, il existe un DAN (document d'application national) sur EN 1996-1-1 (Design of masonry structures. General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry (1995)).

L'EN est valable 3 ans, avec une prolongation éventuelle de 2 ans à partir de sa publication. Pendant ce temps, les états membres utilisent la norme telle qu'elle, ou doivent introduire des propositions visant à modifier certaines dispositions. Ces modifications sont reprises pour chaque pays dans le DAN. En Belgique, le DAN est élaboré et publié par l'IBN.

Pour l'instant, deux normes sont donc en vigueur en Belgique :

- la NBN B 24, ratifiée par un A.R.
- le DAN relatif à la NBN EN 1996-1-1

Dans la pratique, il est souhaitable d'encourager l'application du DAN pour EC 6 car, dans un futur proche, celui-ci remplacera la norme NBN 24-301.

Le DAN relatif à la NBN EN 1996-1-1 est explicité ci-après, avec des exemples de calcul pour le béton cellulaire.

Nous nous attarderons aux murs porteurs non armés soumis à des charges verticales. Dans la pratique, il est conseillé de placer des armatures dans les joints de maçonnerie, ce qui augmente les résistances en traction, flexion et compression de la maçonnerie. Les détails de calcul de la maçonnerie armée ne sont pas explicités ici, mais sont repris dans l'Eurocode 6.

Le calcul est effectué selon la méthode de l'état limite extrême. La résistance de la maçonnerie se calcule sur base des essais réalisés sur des matériaux ou sur des éléments de construction. Les calculs effectués sur base d'essais réalisés sur matériaux étant plus courants, nous allons étudier ce cas-ci.

4.9.2.1 Résistance à la compression normalisée des blocs de maçonnerie : f_b

La résistance moyenne est obtenue sur des cubes séchés à l'air de 100 mm de hauteur et de côté.

En Belgique, la résistance à la compression est, en général, donnée comme une valeur caractéristique f_{bk} déduite de la valeur moyenne f_{bm} qui résulte d'une série d'essais de compression sur des blocs conformément à EN 772-1.

Afin de parvenir à la résistance moyenne équivalente $f_{bm,eq}$ définie dans EC 6, le DAN propose de multiplier la valeur caractéristique par un facteur de 1,2.

$$f_{bm,eq} = 1,2 f_{bk}$$

La résistance moyenne équivalente est ensuite convertie en résistance normative par conversion à la condition à l'air sec, si ce n'est pas encore le cas, et par la multiplication par un facteur de forme δ

$$\text{On a ainsi : } f_b = \delta \cdot f_{bm,eq}$$

Le facteur de forme δ est déterminé suivant le tableau ci-dessous :

Hauteur [mm]	Dimensions horizontales [mm]				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

4.9.2.2 Catégories de mortier: f_m

Les différentes catégories de mortier sont réparties sur la base de leur résistance moyenne mesurée conformément à EN 1015-11. Il existe 5 classes différentes de mortier.

Contrairement à la NBN B 24-301, le chiffre situé après le M renseigne la résistance moyenne à la compression du mortier.

Le tableau ci-dessous compare l'ancienne classification NBN B 14-001 et la nouvelle classification selon EC 6.

Catégorie de mortier selon NBN EN 1996-1-1	Résistance moyenne [N/mm ²]	Catégorie de mortier selon NBN B24-301
M20	20	M1
M12	12	M2
M8	8	M3
M5	5	M4
M2,5	2,5	M5

Le mortier colle pour béton cellulaire appartient dans le cas présent à la classe M12 et affiche donc une résistance moyenne à la compression après 28 jours $f_m = 12 \text{ N/mm}^2$.

4.9.2.3 Résistance caractéristique à la compression f_k de la maçonnerie non armée

Sur base de la résistance en compression normalisée des blocs de maçonnerie f_b et de la résistance du mortier f_m , il est possible de calculer la résistance caractéristique de la maçonnerie f_k au moyen des formules suivantes :

a) Pour la maçonnerie de tout type réalisée avec du mortier normal, on a :

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} \quad [\text{N/mm}^2]$$

avec K compris entre 0,40 et 0,60 en fonction du type de maçonnerie. Les 4 groupes de maçonnerie sont déterminés selon l'article 3.1.1 de l'EC 6 (voir tableau ci-dessous)

Répartition des groupes	Maçonnerie en briques de terre cuite	Maçonnerie en blocs de béton et blocs silico-calcaires
Groupe 1	moins de 25% d'espaces creux	moins de 25% d'espaces creux
Groupe 2a	25-45% d'espaces creux	25-50% d'espaces creux
Groupe 2b	45-55% d'espaces creux	50-60% d'espaces creux
Groupe 3	jusqu'à 70% d'espaces creux	jusqu'à 70% d'espaces creux

Si la largeur du mur est égale à l'épaisseur des blocs :

- pour la maçonnerie du groupe 1 : $K = 0,60$
- pour la maçonnerie du groupe 2a : $K = 0,55$
- pour la maçonnerie du groupe 2b : $K = 0,50$
- pour la maçonnerie du groupe 3 : $K = 0,40$

b) Pour les maçonneries du groupe 1 placées avec du mortier colle (joints minces de 1 à 3 mm d'épaisseur), comme c'est le cas pour le béton cellulaire, f_k est déterminé comme suit :

$$f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,85} \quad [\text{N/mm}^2]$$

4.9.2.4 Valeur de f_k pour différents types de maçonnerie

La valeur f_k pour un mur en béton cellulaire de type C3/450 et de 200 mm d'épaisseur se calcule de la manière suivante (dimension des blocs : 600 x 250 x 200 mm) :

$$f_{bk} = 3 \text{ N/mm}^2 \text{ (voir § 4.2.)}$$

$$f_{bm, eq} = 1,2 \cdot f_{bk} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_b = \delta \cdot f_{bm, eq} = 1,00 \cdot f_{bm, eq} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,85} = 2,38 \text{ N/mm}^2$$

Cette valeur de $f_k = 2,38 \text{ N/mm}^2$ calculée selon EC 6 peut être comparée à la valeur $f_k = 1,90 \text{ N/mm}^2$ calculée selon NBN B 24-301. On remarque une augmentation de la résistance de plus de 25% par rapport à l'ancienne norme belge. Cette augmentation de résistance provient des dernières recherches qui ont démontré les excellentes performances des maçonneries à joint mince.

Le tableau récapitulatif ci-dessous reprend les valeurs de f_k pour le béton cellulaire calculées selon EC 6 et pour différentes densités de blocs.

Valeur de f_k (N/mm ²) selon NBN EN 1996-1-1 pour le béton cellulaire Dimension des blocs : L = 600 mm, H = 250 mm				
Epaisseur (mm)	Classe f de résistance en compression (+ type)			
	f2 (C2/400)	f3 (C3/450)	f4 (C4/550)	f5 (C5/650)
150	1,68	2,38	3,03	3,67
175	1,68	2,38	3,03	3,67
200	1,68	2,38	3,03	3,67
240	1,68	2,38	3,03	3,67
300	1,68	2,38	3,03	3,67
365	1,68	2,38	3,03	3,67

La résistance importante des murs en béton cellulaire provient du fait que les joints sont collés au mortier colle (joints minces) et que les blocs sont pleins (pas de vide à l'intérieur).

A titre d'exemple, nous avons comparé les valeurs de f_k pour des matériaux de maçonnerie de même f_{bk} placés au mortier, ou au mortier colle (pour le béton cellulaire)

- 1) Blocs de béton cellulaire, épaisseur 200 mm, densité C4/550, placés au mortier colle de classe M12

$$f_k = 3,03 \text{ N/mm}^2$$

- 2) Blocs de maçonnerie du groupe 1 (moins de 25% d'espace creux) placés au mortier de classe M12 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, format des blocs : L = 290, H = 140, ép. = 190 mm, soit $\delta = 1$)

$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

avec $K = 0,50$ et $f_m = 12 \text{ N/mm}^2$

$$f_k = 2,58 \text{ N/mm}^2$$

- 3) Blocs de maçonnerie du groupe 3 (jusqu'à 70% d'espace creux) placés au mortier de classe M12 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, format des blocs : L = 290, H = 140, ép. = 190 mm, soit $\delta = 1$)

$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

avec $K = 0,40$ et $f_m = 12 \text{ N/mm}^2$

$$f_k = 2,06 \text{ N/mm}^2$$

- 4) Blocs de maçonnerie du groupe 3 (jusqu'à 70% d'espace creux) placés au mortier de classe M5 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, format des blocs : L = 290, H = 140, ép. = 190 mm, soit $\delta = 1$)

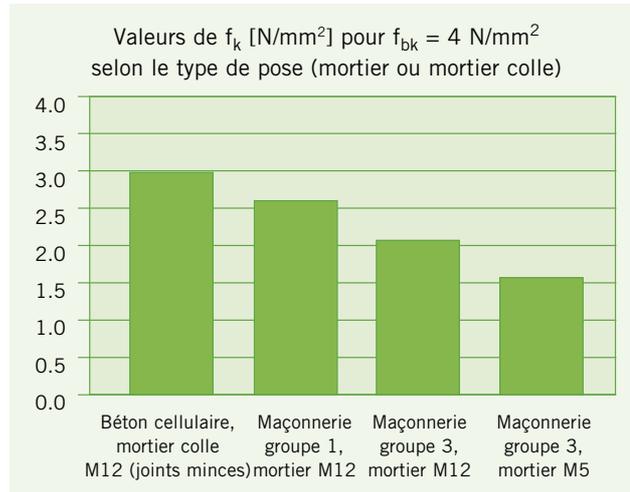
$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

avec $K = 0,40$ et $f_m = 5 \text{ N/mm}^2$

$$f_k = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

Ces valeurs sont reprises dans le graphique ci-dessous :



On remarque clairement sur le graphique la plus grande résistance des murs posés au mortier colle. On remarque également l'influence de la résistance en compression du mortier, ainsi que l'influence du pourcentage d'espaces creux dans les blocs (groupe 1 et 3).

4.9.2.5 Calcul de la résistance du mur selon NBN EN 1996-1-1 avec DAN

Pour le calcul de la résistance du mur, on va introduire un facteur de réduction Φ qui tient compte de l'élanement et de l'excentricité. Cette méthode de calcul suit le même principe que la NBN B 24-301, mais les formules pour obtenir Φ diffèrent. Les résultats obtenus sont fort semblables à la NBN.

4.9.2.5.1 Elancement du mur

On définit h = hauteur du mur
 L = distance entre murs verticaux
 t = épaisseur du mur

On définit l'élanement S du mur :

$$S = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 27$$

avec h_{ef} = hauteur effective du mur
 t_{ef} = épaisseur effective du mur

On a :

- 1) $h_{ef} = \rho_n \cdot h$ avec $n = 2, 3$ ou 4 en fonction de la façon dont le mur est soutenu.
- 2) dans notre cas, $t_{ef} = t$ car l'épaisseur des blocs est égale à l'épaisseur du mur (voir EC 6)

a. Mur soutenu uniquement en bas et en haut (et pas sur les côtés verticaux)

Le facteur de réduction $\rho_n = \rho_2$

où $\rho_2 = 0,75$ lorsque le mur est encastré dans le sol
 $\rho_2 = 1$ dans les autres cas

b. Mur soutenu des deux côtés horizontaux et d'un seul côté vertical

Le facteur de réduction $\rho_n = \rho_3$

avec pour $h \leq 3,5 L$

$$\rho_3 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot L} \right]^2} > 0,3$$

pour $h > 3,5 L$

$$\rho_3 = \frac{1,5 \cdot L}{h}$$

c. Mur soutenu des deux côtés horizontaux et de deux côtés verticaux

Le facteur de réduction $\rho_n = \rho_4$

avec pour $h \leq L$

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2}$$

pour $h > L$

$$\rho_4 = \frac{0,5 \cdot L}{h}$$

4.9.2.5.2 Excentricité des charges

On calcule l'excentricité e_i en bas et en haut du mur, ainsi que l'excentricité e_{mk} à mi-hauteur du mur :

$$e_i = \frac{M_i}{N_i} + e_{hi} + e_a \geq 0,05t$$

$$e_{mk} = \frac{M_m}{N_m} + e_{hm} + e_a + e_k \geq 0,05t$$

où M_i = le moment de flexion en haut et en bas du mur dû à l'excentricité de la charge verticale
 N_i = la charge verticale dans la section considérée
 e_{hi} = l'excentricité par les charges horizontales (le vent par exemple)
 e_a = l'excentricité accidentelle = $h_{ef} / 450$
 M_m = le moment de flexion au milieu du mur dû à l'excentricité de la charge verticale

- N_m = la charge verticale dans la section considérée
- e_{hm} = l'excentricité par les charges horizontales (le vent par exemple)
- e_k = l'excentricité suite au fluage

4.9.2.5.3 Contrôle de la résistance du mur (maçonnerie non armée)

a. Contrôle de la section en haut et en bas du mur
 La valeur pondérée des charges en état limite extrême N_{sd} doit être inférieure à :

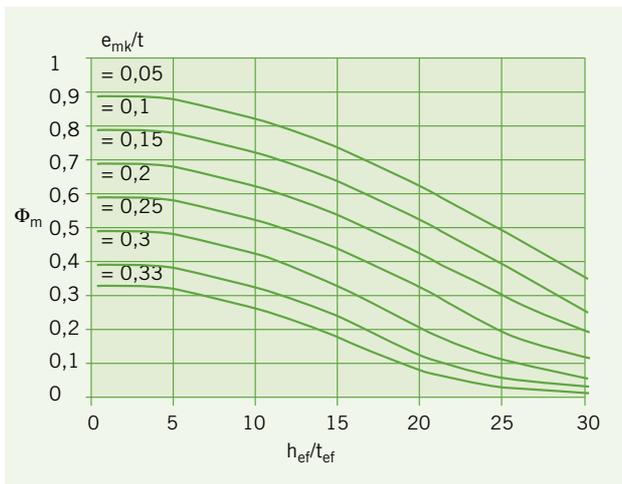
$$N_{sd} < \frac{\Phi_i \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m}$$

avec $\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$

b. Contrôle de la section à mi-hauteur
 La valeur pondérée des charges en état limite extrême N_{sd} doit être inférieure à :

$$N_{sd} < \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m}$$

avec Φ_m donné dans le tableau ci-dessous en fonction de l'élançement et de l'excentricité. [21]



Les valeurs de γ_m sont données dans le tableau ci-dessous

γ_m	Classe d'exécution		
	A	B	C
Catégorie de contrôle 1	1,7	2,2	2,7
Catégorie de contrôle 2	2,0	2,5	3,0

La catégorie de contrôle 1 correspond à un matériau dont un contrôle permanent est effectué avec une interprétation statistique (procédure BENOR ou équivalente). Si aucun contrôle permanent n'est effectué, on prend la catégorie 2. Les fabricants de béton cellulaire belge possèdent le label BENOR et entrent donc dans la catégorie 1.

Catégories d'exécution	Exigences minimales
A	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance continue par personnel qualifié et expérimenté de l'entreprise • Contrôle régulier et fréquent des travaux par du personnel indépendant de l'entreprise • Mortier préparé mécaniquement et testé
B	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance continue par personnel qualifié et expérimenté de l'entreprise • Mortier préparé mécaniquement et testé
C	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance "normale" des matériaux approvisionnés et de l'exécution + suivi "courant" par l'auteur du projet

4.9.2.5.4 Coefficients de sécurité sur les charges γ_f

γ_f	Défavorable	Favorable
Charges permanentes γ_g	1,35	0,90
Charges variables γ_q	1,50	0

4.9.2.5.5 Exemples de calcul selon NBN EN 1996-1-1 avec DAN

Exemple 1

Calcul de la résistance d'un mur extérieur en blocs de béton cellulaire avec brique de parement (mur en béton cellulaire 200 mm + vide + brique de parement).

Données : L = 5,00 m, h = 2,80 m,
Blocs de densité C4/550, épaisseur 200 mm
Excentricité due à la poussée du vent: 5 mm
Excentricité des charges de plancher
(hourdis): 20 mm
Sécurité sur la maçonnerie: $\gamma_m = 2,2$
Le mur est soutenu des quatre côtés
extrêmes

Calcul :

a) $f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, donc $f_k = 3,03 \text{ N/mm}^2$
(voir § 4.9.2.4)

b) Elancement :

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} = 0,76 \quad \text{avec } \rho_2 = 1$$

donc $h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$

$$S = \frac{2,13}{0,2} = 10,66 < 27$$

c) Excentricité :

$e_a = \text{excentricité accidentelle} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$

$e = e_a + e_{vent} + e_{pl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$

d) Contrôle du mur :

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,70$$

$\Phi_m = 0,62$ pour $\frac{e_{mk}}{t} = 0,15$

La valeur de calcul de la résistance du mur dans l'état limite extrême N_{Rd} sera alors :

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 171,1 \text{ kN/m}$$

Exemple 2

Nous allons comparer l'exemple 1 avec un mur semblable construit en blocs type snelbouw. Le mur a la composition suivante : blocs type snelbouw épaisseur 140 mm + isolant 60 mm + vide + brique de parement

Données : L = 5,00 m, h = 2,80 m
 $f_{bk} = 12 \text{ N/mm}^2$, mortier de classe M8,
groupe 2b
Format des blocs : H = 140, L = 190 mm
Excentricité due à la poussée du vent : 5 mm
Excentricité des charges de plancher
(hourdis) : 20 mm
Sécurité sur la maçonnerie : $\gamma_m = 2,2$
Le mur est soutenu des quatre côtés
extrêmes

Calcul :

a) $f_{bk} = 12 \text{ N/mm}^2$

$f_{bm, eq} = 1,2 f_{bk} = 14,4 \text{ N/mm}^2$

$f_b = \delta \cdot f_{bm, eq} = 1,10 f_{bm, eq} = 15,84 \text{ N/mm}^2$

$f_k = 0,50 f_b^{0,65} f_m^{0,25} = 5,06 \text{ N/mm}^2$

b) Elancement :

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} = 0,76 \quad \text{avec } \rho_2 = 1$$

donc $h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$

$$S = \frac{2,13}{0,14} = 15,2 < 27$$

c) Excentricité :

$e_a = \text{excentricité fortuite} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$

$e = e_a + e_{vent} + e_{pl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$

d) Contrôle du mur :

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,58$$

$\Phi_m = 0,39$ pour $\frac{e_{mk}}{t} = 0,21$

La valeur de calcul de la résistance du mur dans l'état limite extrême N_{Rd} devient alors :

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 126,9 \text{ kN/m}$$

Exemple 3

Nous allons comparer l'exemple 1 et 2 avec un mur semblable construit en blocs de béton. Le mur a alors la composition suivante : blocs de béton épaisseur 140 mm + isolant 60 mm + vide + brique de parement

Données : L = 5,00 m, h = 2,80 m

$f_{bk} = 8 \text{ N/mm}^2$, mortier de classe M8, groupe 3

Format des blocs : H = 190, L = 290 mm

Excentricité due à la poussée du vent : 5mm

Excentricité des charges de plancher (hourdis) : 20 mm

Sécurité sur la maçonnerie : $\gamma_m = 2,2$

Le mur est soutenu des quatre côtés extrêmes

Calcul :

a) $f_{bk} = 8 \text{ N/mm}^2$

$$f_{bm,eq} = 1,2 \cdot f_{bk} = 9,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_b = \delta \cdot f_{bm,eq} = 1,25 \cdot f_{bm,eq} = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 0,40 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} = 3,38 \text{ N/mm}^2$$

b) Elancement :

$$\rho_4 = 0,76$$

$$\text{donc } h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$$

$$S = \frac{2,13}{0,14} = 15,2 < 27$$

c) Excentricité :

$$e_a = \text{excentricité accidentelle} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$$

$$e = e_a + e_{vent} + e_{pl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$$

d) Contrôle du mur :

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,58$$

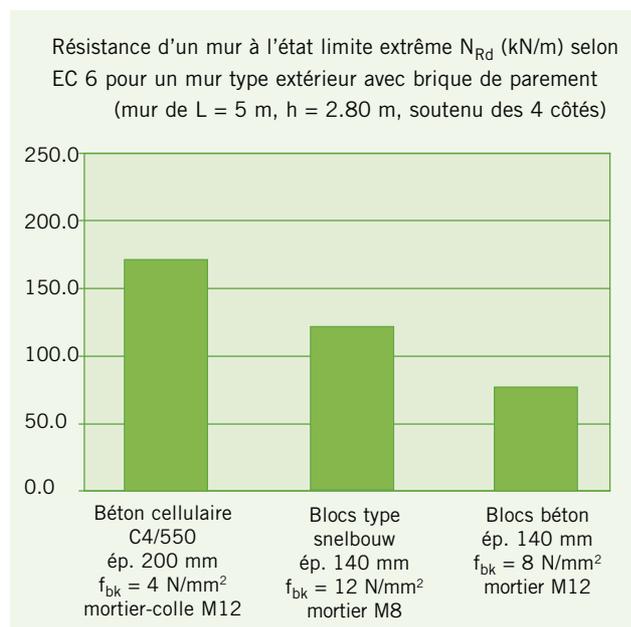
$$\Phi_m = 0,39 \quad \text{pour } \frac{e_{mk}}{t} = 0,21$$

La valeur de calcul de la résistance du mur dans l'état limite extrême N_{Rd} devient alors :

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 84,4 \text{ kN/m}$$



Les résultats des 3 exemples sont repris dans le graphique ci-dessous. Ces trois exemples se basent sur un type de bloc bien précis, qui correspondent aux blocs le plus couramment utilisés. La plupart des blocs de construction peuvent avoir des caractéristiques qui varient, tant en dimensions qu'en résistance en compression.



Les résultats montrent clairement la plus grande résistance des murs en béton cellulaire, par rapport à d'autres systèmes traditionnels qui présentent une résistance en compression f_{bk} supérieure. Cette résistance en compression supérieure du mur provient de 3 facteurs combinés :

- Les murs en béton cellulaire sont posés au mortier colle.
- Les blocs de béton cellulaire sont pleins, à l'inverse des autres systèmes traditionnels qui ont des pourcentages variables d'espaces creux.
- En béton cellulaire, on travaille sans isolant, avec des épaisseurs de mur légèrement supérieures (200 mm à la place de 140 mm ou 300mm à la place de 190 mm). Ceci permet de reprendre des efforts supérieurs.

La résistance en compression des blocs de béton cellulaire est suffisante pour reprendre des charges de plusieurs étages. On peut utiliser ceux-ci sans craintes en tant que blocs porteurs pour des immeubles à appartements ou de bureaux sur plusieurs niveaux.

Exemple 4 :

Immeuble à appartements de 5 niveaux (rez + 4)

Voir schéma

- Données: Murs extérieurs en béton cellulaire de 300 mm d'épaisseur + crépi.
 Murs intérieurs porteurs en blocs de béton cellulaire de 200 mm d'épaisseur.
 Murs intérieurs non porteurs en blocs de béton cellulaire de 100 mm d'épaisseur.
 Hourdis en béton armé (L = 5,5 m)
 Toiture inclinée (charpente en bois)

Calculs

a) Charges pondérées :

- Hourdis + chape + finition :
 $4,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,35 = 6 \text{ kN/m}^2$
- Charge variable sur hourdis :
 $2,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}^2$
- Charge pondérée totale hourdis :
 $6 + 3,75 = 9,75 \text{ kN/m}^2$
- Toiture : $1,5 \cdot 1,35 + 1,0 \cdot 1,5 = 3,52 \text{ kN/m}^2$

b) Résistance des murs N_{Rd} (état limite extrême) :

- Mur de 300 mm en densité C3/450
 $(f_k = 2,38 \text{ N/mm}^2)$
 On obtient pour $L = 10 \text{ m}$, $h = 2,60 \text{ m}$, mur

soutenu des 4 côtés, excentricité des charges de 20 mm, $\gamma_m = 2,2$:

$$N_{Rd} = 257,2 \text{ kN/m}$$

- Mur de 200 mm en densité C4/550
 $(f_k = 3,03 \text{ N/mm}^2)$
 On obtient pour $L = 4 \text{ m}$; $h = 2,60 \text{ m}$;
 mur soutenu des 4 côtés;
 excentricité = $0,05 \cdot t$; $\gamma_m = 2,2$:

$$N_{Rd} = 234,2 \text{ kN/m}$$

- Pour le même mur (200 mm) en densité C5/650
 $(f_k = 3,67 \text{ N/mm}^2)$, on obtient :

$$N_{Rd} = 283,7 \text{ kN/m}$$

c) Descente de charges :

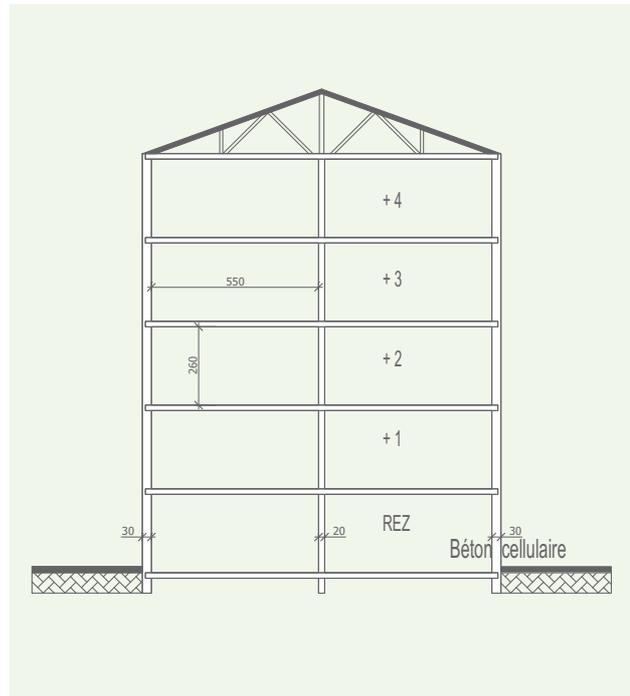
- mur central (ép 200 mm) :

Au rez, charge pondérée N_{Sd}

$$N_{Sd} = 9,75 \cdot 5,5 \cdot 4 + 5,5 \cdot 3,52$$

$$+ 0,20 \cdot 6,35 \cdot 4 \cdot 2,6 \cdot 1,35$$

$$N_{Sd} = 251,7 \text{ kN/m} < N_{Rd} = 283,7 \text{ kN/m}$$



On va donc utiliser une densité C5/650 pour le rez.

Pour les autres étages (1, 2, 3, 4), on va utiliser une densité C4/550.

- mur extérieur (ép 300 mm) :

Au rez, charge pondérée N_{Sd}

$$N_{Sd} = 9,75 \cdot 5,5/2 \cdot 4 + 5,5/2 \cdot 3,52$$

$$+ 0,30 \cdot 5,35 \cdot 4 \cdot 2,6 \cdot 1,35$$

$$N_{Sd} = 139,5 \text{ kN/m} < N_{Rd} = 257,2 \text{ kN/m}$$

On va donc utiliser une densité C3/450 pour tous les niveaux. Cette densité est largement suffisante au niveau portance et offre une isolation thermique excellente ($U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$)

d) Conclusion :

Les blocs de béton cellulaire conviennent donc parfaitement pour construire la totalité des murs porteurs et non porteurs de cet immeuble à appartements de 5 niveaux. La vitesse de pose des blocs combinée à d'excellentes valeurs d'isolation thermique et acoustique permettent d'offrir une solution économique et de grande qualité.