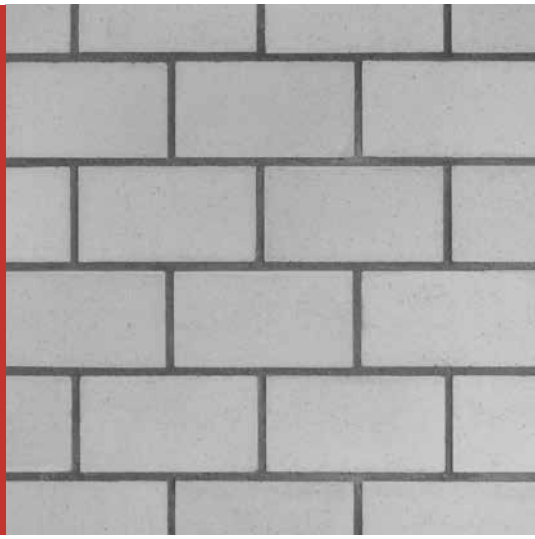
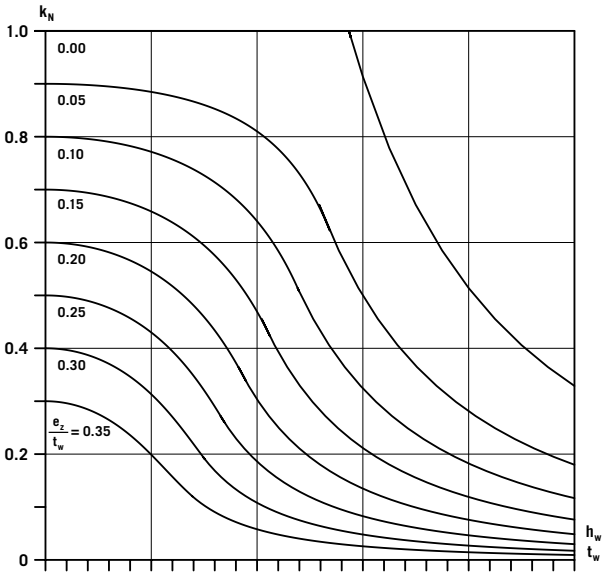
MURS EN BRIQUES SILICO-CALCAIRES

Dimensionnement selon la norme SIA 266:2015 applicable à un ouvrage de maçonnerie à simple paroi standard

BRIQUE SILICO CALCAIRE





Réalisé par:
Dr. Schwartz Consulting AG
6300 Zug

Edition de l'automne 2015

K·S·V

ASSOCIATION SUISSE DES PRODUCTEURS
DE BRIQUES SILICO-CALCAIRES

SOMMAIRE

Bases 2

Principe d'utilisation des diagrammes et des formules 2

Terminologie et abréviations 3

Excentricité prédéfinie d'un mur 4

Gauchissement d'un mur sous des contraintes 5

Sécurité structurale d'une maçonnerie à simple paroi standard 6

Aptitude au service 7–8

Exemple 1 9–10

Exemple 2 11

Maçonnerie armée 12–13

Remarques sur la construction 14–15

BASES

Basée sur les normes SIA 260 et 261, la norme SIA 266 relative à la «maçonnerie» fait foi pour dimensionner des maçonneries et notamment des systèmes assurant la liaison de murs et de dalles. Les formules et les diagrammes figurant ci-après visent à faciliter l'appréciation de la sécurité structurale et de l'aptitude au service dans les situations statiques survenant fréquemment. En outre, il est prévu d'élaborer un programme informatique servant à dimensionner des murs en maçonnerie.

Il incombe dans tous les cas à l'ingénieur d'interpréter ces aides de calcul en rapport avec le problème statique concerné dans le cadre des normes déterminantes et des principes spécifiques de la discipline.

PRINCIPE D'UTILISATION DES DIAGRAMMES ET DES FORMULES

La preuve de la sécurité structurale et de l'aptitude au service correspond exactement à la procédure stipulée par la norme.

Dalles partiellement encastrées

Il convient de respecter l'article 4.3.1.5 de la norme SIA 266 en présence de systèmes de murs extérieurs comprenant des dalles partiellement encastrées. La hauteur du mur h_w est admise comme étant équivalente à la hauteur du niveau et la profondeur d'encastrement de la dalle doit être prise en considération lors du dimensionnement (article 4.3.1.5 relatif à la poussée des terres s'exerçant dans la zone d'appui de la dalle).

sia

SIA 266:2015 Bauwesen

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera

505 266

Ersetzt Norm SIA 266:2003

Construction en maçonnerie
Costruzioni di muratura
Masonry

Mauerwerk

Référence:
norme SIA 266:2015
(vente: SIA)

TERMINOLOGIE ET ABRÉVIATIONS APPLICABLES À UNE MAÇONNERIE À SIMPLE PAROI STANDARD

Il est fait usage en premier lieu de la terminologie et des abréviations de la norme SIA 266 dans la mesure du possible:

t_w épaisseur du mur [mm]

e_z excentricité de la force N_x ou N_{xd} appliquée dans le sens perpendiculaire au plan du mur [mm]

h_w hauteur du mur se référant aux centres des dalles attenantes [m]

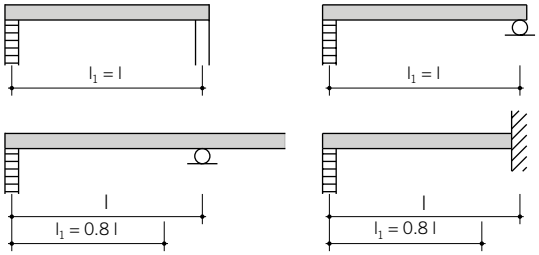
h_{cr} longueur de flambage du mur [m]

h_o hauteur de la couche [mm]

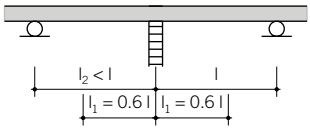
t_D épaisseur de la dalle [m]

l_1 portée de référence de la dalle [m]

Murs extérieurs:



Cloisons:



l_w longueur du mur [m]

g poids propre de la dalle [kN/m²] (y compris la chape, etc.)

q charge utile [kN/m²]

γ_G facteur partiel, applicable au poids propre, en général 1.35 pour la sécurité structurale (1.0 pour l'aptitude au service)

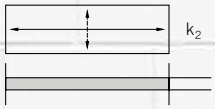
γ_Q facteur partiel, applicable à la charge utile, en général 1.5 pour la sécurité structurale (1.0 pour l'aptitude au service)

E'_c module d'élasticité du béton, valeur à long terme tenant compte des effets du fluage, en général $12 \cdot 10^6$ kN/m²

E'_{cd} valeur de dimensionnement du module d'élasticité, en général $10 \cdot 10^6$ kN/m²

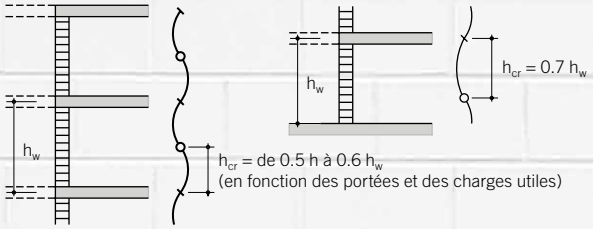
k_1 facteur prenant en considération la fissuration de la dalle: non fissurée $k_1 = 1$, fissurée $k_1 = 2$

k_2 part du transfert de charge de la dalle dans la direction concernée (charge totale = 1.0)

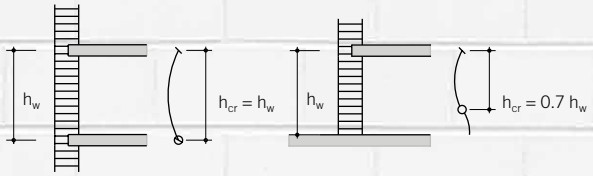


h_{cr} longueur de flambage du mur [m]:

en cas de dalles complètement encastrées:



En cas de dalles partiellement encastrées:



k_N coefficient servant à évaluer la résistance

r ouverture de fissure calculée [mm]

N_x effort normal par mètre courant de mur [kN/m¹] (compression = positive)

N_{xo} grandeur de référence [kN/m¹]

N_{xd} valeur de dimensionnement de l'effort normal [kN/m¹]

f_{xd} valeur de dimensionnement de la résistance à la compression de la maçonnerie = 3.5 N/mm²

f_{xk} valeur caractéristique de la résistance à la compression de la maçonnerie = 7.0 N/mm²

E_{xd} valeur de dimensionnement du module d'élasticité de la maçonnerie = 3.5 kN/mm²

E_{xk} module d'élasticité = 7.0 kN/mm²

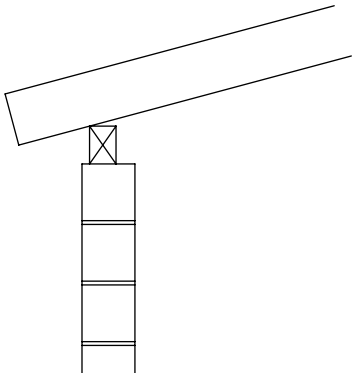
ϑ angle de rotation de l'appui de la dalle [rad]

ϑ_d valeur de dimensionnement de l'angle de rotation de l'appui [rad]

EXCENTRICITÉ PRÉDÉFINIE D'UN MUR

Dimensionnement et vérification avec des diagrammes

La vérification est effectuée selon la théorie du second ordre, telle qu'elle est énoncée dans l'article 4.3.1 de la norme SIA 266.

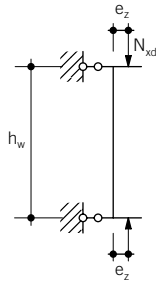


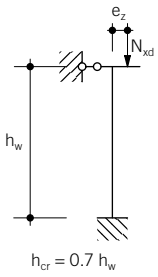
Sécurité structurale

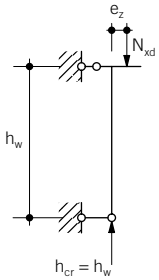
La preuve de la sécurité structurale est fournie lorsque la condition suivante est remplie:

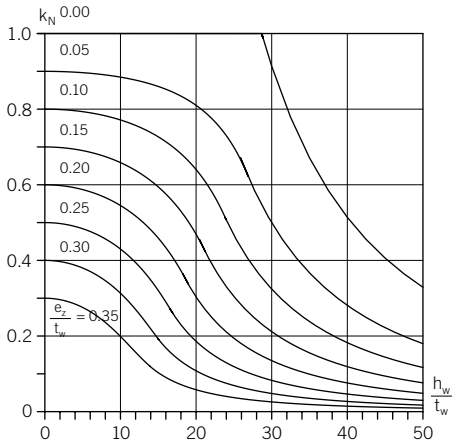
$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_w \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

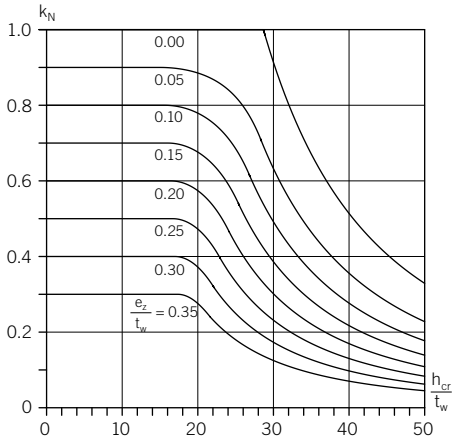
Le facteur k_N peut être déterminé à l'aide des diagrammes suivants:











Aptitude au service

Il peut être admis que l'aptitude au service est garantie lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$\frac{e_z}{t_w} \leq \frac{1}{6}$$

GAUCHISSEMENT D'UN MUR SOUS DES CONTRAINTES

Dimensionnement et vérification avec des diagrammes

La vérification est effectuée selon la théorie du second ordre, telle qu'elle est énoncée dans l'article 4.3.1 de la norme SIA 266.

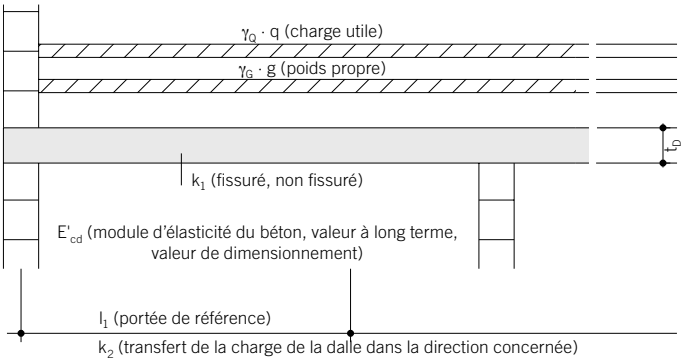
Sécurité structurale

L'appréciation se déroule à l'aide de la valeur de dimensionnement ϑ_d (angle de rotation de la dalle portant sur un seul appui) d'après la formule suivante:

$$\vartheta_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q) \cdot l_1^3}{2 \cdot E'_{cd} \cdot t_D^3} \; [rad]$$

La charge limite N_{xd} résulte du diagramme établi en fonction de la longueur de flambage h_{cr} du mur.
Il est permis d'interpoler entre les différentes courbes.

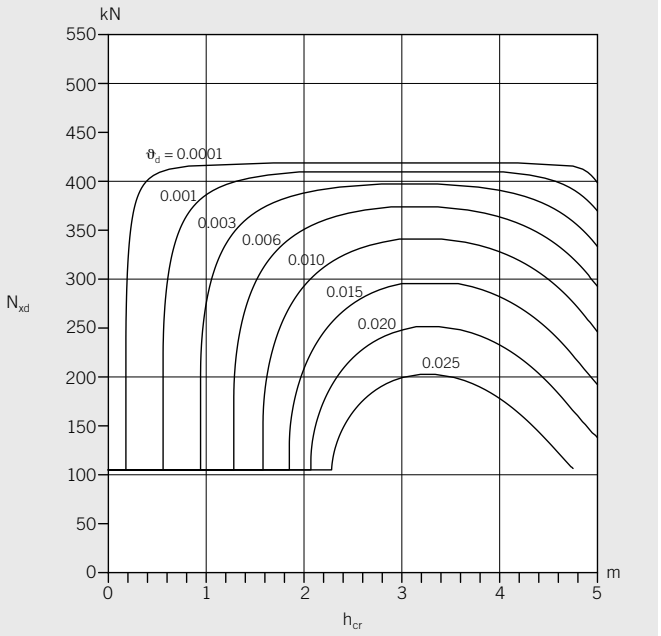
La valeur caractéristique déterminant ϑ_d est déduite du calcul statique de la dalle de plancher afférente comme suit:



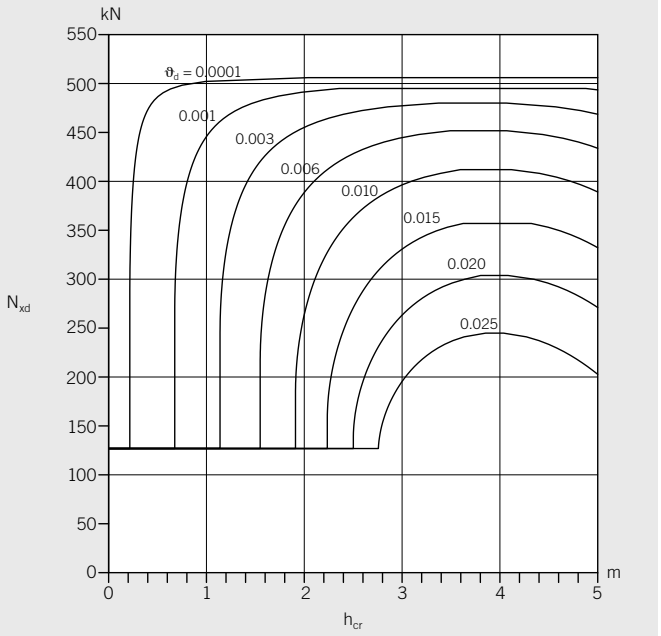
SÉCURITÉ STRUCTURALE D'UNE MAÇONNERIE À SIMPLE PAROI STANDARD MK

f_{xd} = 3.5 N/mm²
E_{xd} = 3.5 kN/mm²

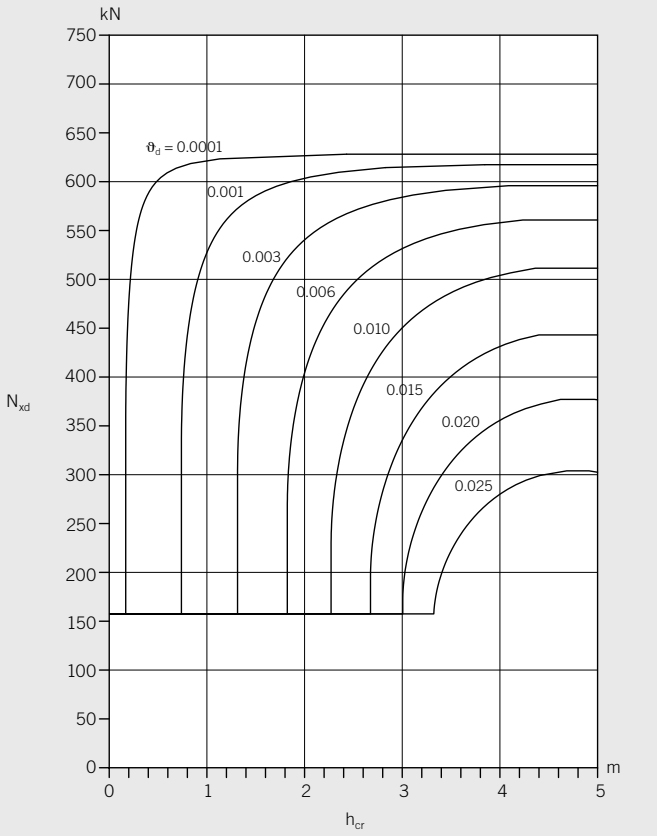
t_w = 120 mm



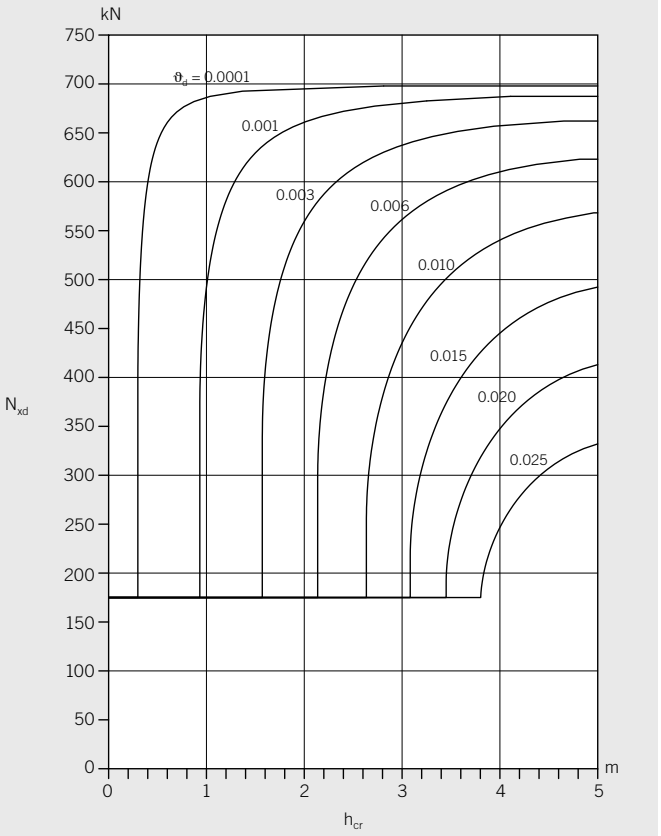
t_w = 145 mm



t_w = 180 mm



t_w = 200 mm



APTITUDE AU SERVICE

L'évaluation est réalisée avec l'angle de rotation ϑ de la dalle portant sur un seul appui d'après la formule suivante:

$$\vartheta_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (g + q) \cdot l_1^3}{2 \cdot E'_{cd} \cdot t_D^3} \; [rad]$$

La largeur calculée des fissures découle du diagramme dressé en fonction de la longueur de flambage h_{cr} du mur.

Pour exploiter les diagrammes, il convient de convertir ces valeurs:

Ordonnée: $r_{200} \cdot \frac{N_{xo}}{N_x}$ *avec:*

N_{xo}: grandeur de référence selon le diagramme (grandeur de référence sans importance d'un point de vue physique servant à optimiser les domaines d'application des diagrammes)

r_{200}: largeur des fissures pour une hauteur de couche de 200 mm

La formule suivante s'applique en général:

$$r = \frac{h_o}{200} \cdot r_{200}$$

h_o: hauteur d'une brique plus un joint = hauteur de la couche (la largeur des fissures est influencée par l'emploi d'une valeur $h_0 \neq 200$ mm)

Abscisse: $h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{xo}}}$

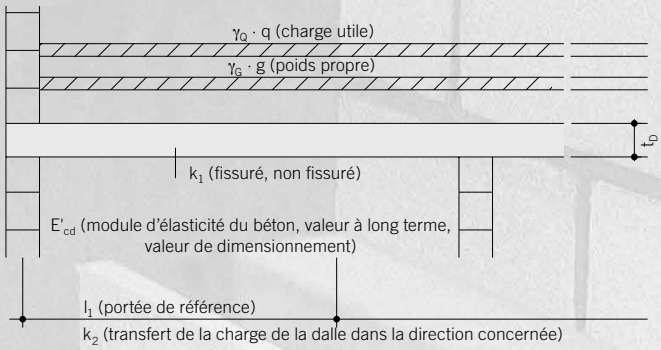
Paramètre de la courbe: $\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{xo}}{N_x}}$

Exigence requise par la norme SIA 266:

Exigences normales: $r \leq 0.20$ mm

Exigences élevées: $r \leq 0.05$ mm

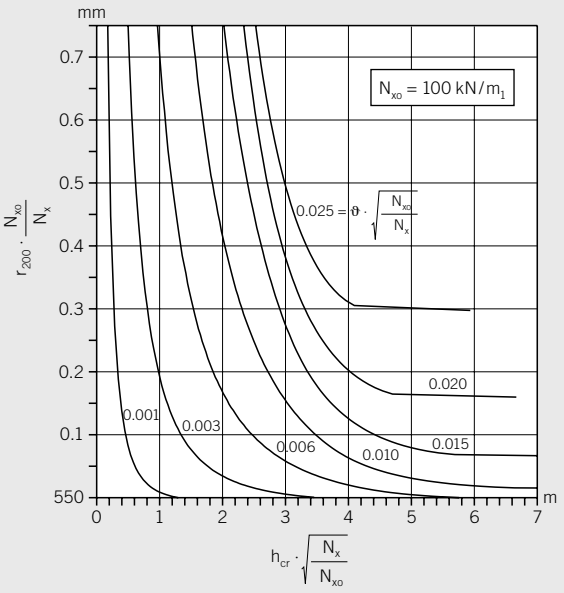
Les valeurs caractéristiques déterminant ϑ sont déduites du calcul statique de la dalle de plancher afférente comme suit:



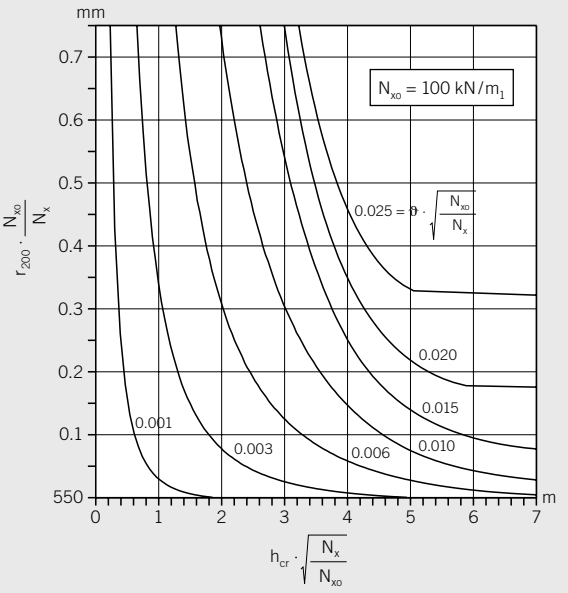
APTITUDE AU SERVICE D'UNE MAÇONNERIE À SIMPLE PAROI STANDARD MK

f_{xk} = 7.0 N/mm²
E_{xk} = 7.0 kN/mm²

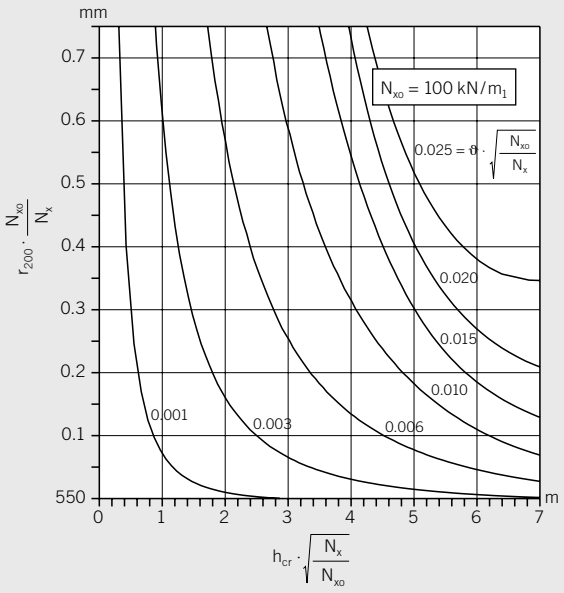
t_w = 120 mm



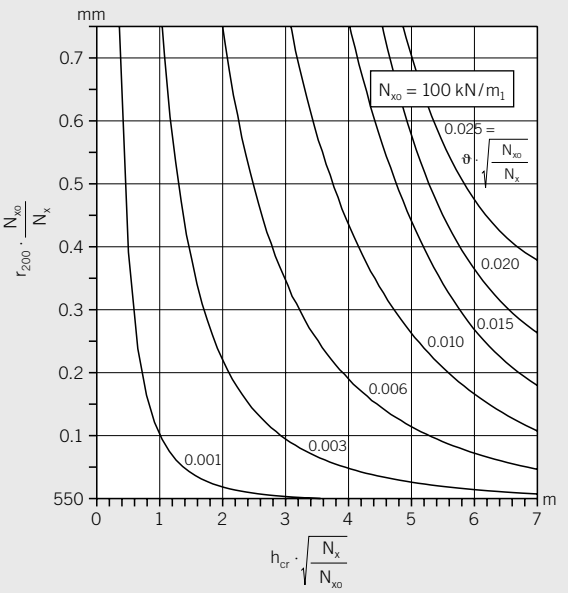
t_w = 145 mm



t_w = 180 mm

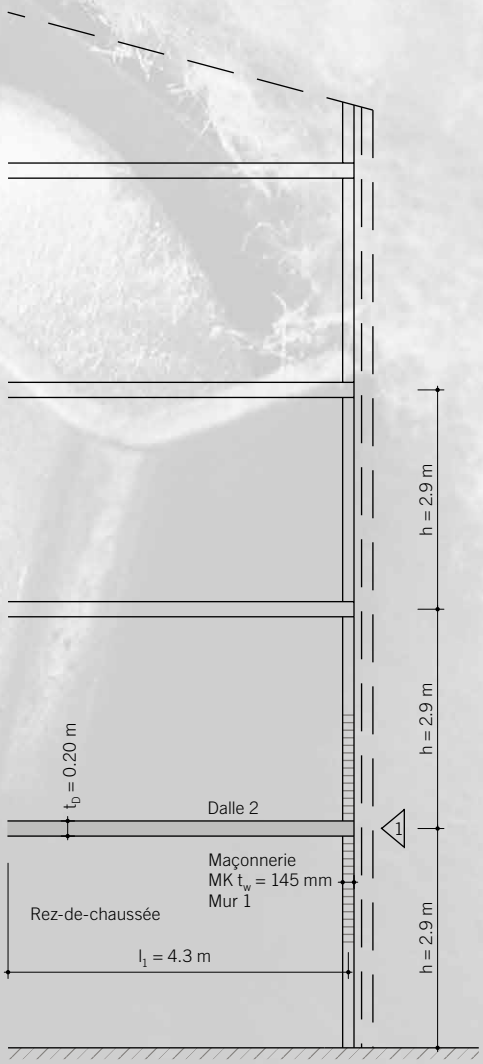


t_w = 200 mm



EXEMPLE 1

Paroi intérieure d'un mur extérieur dans une maçonnerie à double paroi d'un bâtiment à plusieurs étages



- Hauteur de référence du mur h_{cr}, en supposant:
  aux étages intermédiaires $h_{cr} = 0.5 \cdot 2.9 = 1.45$ m
  à l'étage inférieur $h_{cr} = 0.7 \cdot 2.9 = 2.03$ m

- Transfert de charge de la dalle:
  dans la direction déterminante, définie ainsi à l'aide des descentes de charges
  Hypothèse: $k_2 = 0.70$

- Charges:
  Dalle en béton armé + chape: $g = 7.5$ kN/m²
  Charge utile: $q = 4.0$ kN/m²

Pour vérifier la sécurité structurale

- Effort normal par étage (avec $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$):

de la dalle: $7.5 \cdot 1.35 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7 = 15.2$

$4.0 \cdot 1.5 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7 = 9.0$

du mur: $2.1 \cdot 1.35 \cdot 2.7 = 7.7$

$N_{xd} = 31.9$ kN/m¹

(la réduction applicable aux étages supérieurs n'est pas prise en compte en l'occurrence)

Preuve de la sécurité structurale

En présence de 4 étages (+ combles) à l'étage inférieur, mur 1:

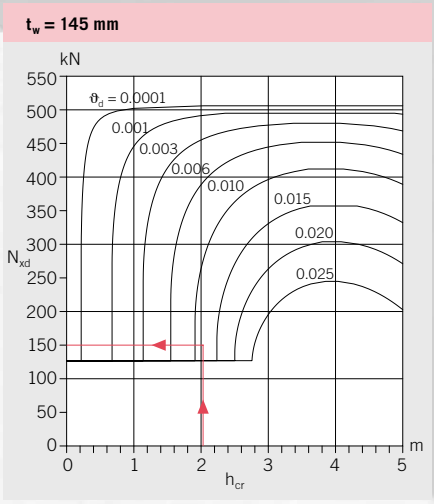
$N_{xd} = 4 \cdot 31.9 = 127.6$ kN/m¹
$h_{cr} = 2.03$ m

$$\vartheta_{d1} = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 4.0) \cdot 4.3^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.011 \; rad$$

Vérification dans le cas de 4 étages:

Diagramme MK t_w = 145 mm:
$N_{xd} \cong 150$ kN/m¹ > 127.6 kN/m¹ = N_{xd} antérieur

Sécurité structurale certifiée!



Preuve de l'aptitude au service

Vérification de la largeur calculée des fissures, bien que ces dernières ne posent, en règle générale, aucun problème au niveau de la paroi intérieure d'une maçonnerie à double paroi.

Exemple de la dalle la plus basse en présence de 4 étages:

- Charges de service par étage:

de la dalle: $7.5 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7 = 11.3$

avec $q_{ser,\,long} = 2.0\ kN/m^2$

$2.0 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7 = 3.0$

du mur: $2.0 \cdot 2.7 = 5.4$

$N_x = 19.7\ kN/m^1$

$$\vartheta = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot (7.5 + 2.0) \cdot 4.3^3}{2 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.0055\ rad$$

- Vérification à l'étage inférieur; mur 1

$N_x = 4 \cdot 19.7 = 78.8\ kN/m^1$

Diagramme MK, $t_w = 145$ mm

$$h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{xo}}} = 2.03 \cdot \sqrt{\frac{78.8}{100}} = 1.80\ m$$

$$\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{xo}}{N_x}} = 0.0055 \cdot \sqrt{\frac{100}{78.8}} = 0.0062\ rad$$

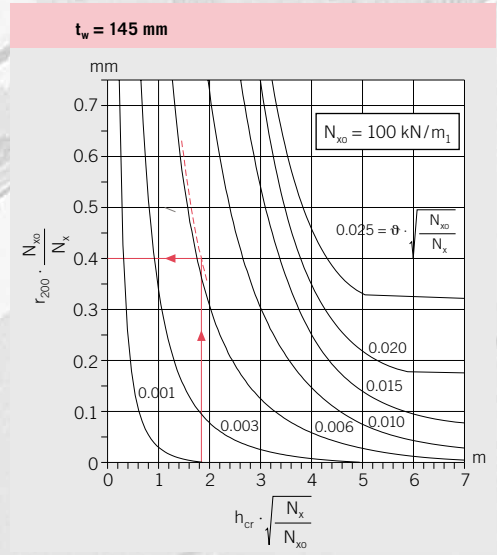
Largeur de la fissure:

$$r_{200} \cdot \frac{N_{xo}}{N_x} \cong 0.4\ mm$$

$$r_{200} \cong 0.4 \cdot \frac{80.0}{100} = 0.32\ mm$$

Pour une hauteur de couche de 150 mm:

$$r_{eff} = \frac{150}{200} \cdot r_{200} = 0.24\ mm$$

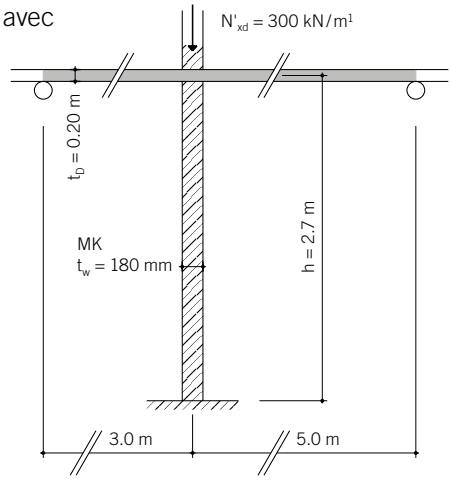


Appréciation:

La fissure relevée sur la face extérieure de la paroi porteuse d'un mur en maçonnerie à double paroi ne présente aucun risque. La fissure intérieure apparaît à la jonction de la dalle et du mur au niveau de la chape en présence d'efforts normaux pas trop élevés.

EXEMPLE 2

Mur de refend soumis à une charge élevée à l'étage inférieur avec différentes portées de dalle



Un mur de maçonnerie est alors considéré comme encastré (lié) si l'élément porteur sur lequel il repose ne peut subir aucun vrillage.

- Hauteur de référence du mur h_{cr}:
  $h_{cr} = 0.7 \cdot 2.7 = 1.89$ m
- Portée de référence déterminante de la dalle:
  $l_1 = 0.6 \cdot 5.0 = 3.00$ m
- Dans l'hypothèse d'un transfert de charge de la dalle:
  $k_2 = 0.80$
- Charges:
  exercées sur le mur
  par les étages supérieurs: $N'_{xd} = 300$ kN/m¹
  sur la dalle en béton armé: $g = 7.5$ kN/m²
  Charge utile: $q = 4.0$ kN/m²
- Effort normal exercé sur le mur (avec $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$):

par les étages supérieurs: 300.0 kN/m¹

de la dalle: $7.5 \cdot 1.35 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8 =$ 32.4 kN/m¹

$4.0 \cdot 1.5 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8 =$ 19.2 kN/m¹

$N_{xd} =$ 351.6 kN/m¹

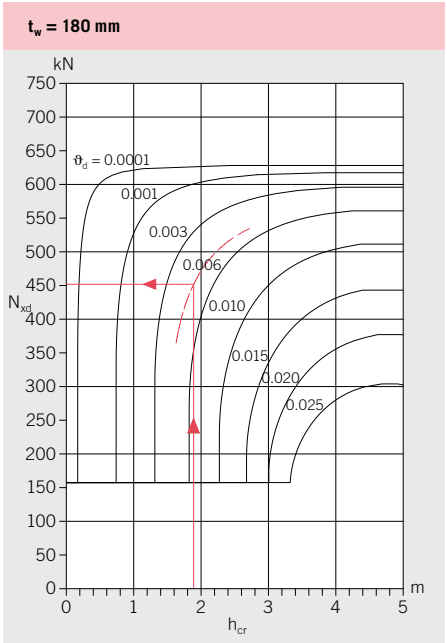
Preuve de la sécurité structurale

$$\vartheta_d = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 4.0) \cdot 3.0^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.0044 \; rad$$

Vérification:

Avec le diagramme MK $t_w = 180$ mm:
$N_{xd} \cong 450$ kN/m¹ > 351.6 kN/m¹ = N_{xd} antérieur

Sécurité structurale certifiée!



MAÇONNERIE ARMÉE

Calcul statique

Le calcul est exécuté d'après la norme SIA 260 intitulée «Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses», la norme SIA 261 intitulée «Actions exercées par les charges» et la norme SIA 266 intitulée «Maçonnerie», en référence à la norme SIA 262 intitulée «Construction en béton».

Dimensionnement en flexion

Les valeurs caractéristiques suivantes sont déterminantes pour calculer la résistance à la flexion d'une maçonnerie:

- Valeur de dimensionnement de la résistance à la compression d'une maçonnerie f_{xd} à la perpendiculaire des joints d'assise
- Valeur de dimensionnement de la résistance à la compression d'une maçonnerie f_{yd} parallèlement aux joints d'assise
- Valeur de dimensionnement de la limite d'élasticité de l'acier

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

Coefficients de résistance:
Maçonnerie $\gamma_M = 2.0$
Acier $\gamma_S = 1.15$

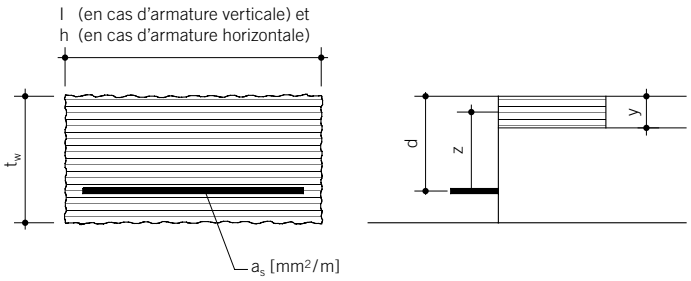
En outre, il convient de prendre en considération les restrictions suivantes:

- Hauteur statique de la section de maçonnerie armée. La valeur théorique est réduite de 10 mm pour tenir compte de la tolérance de construction dans le cas de la fixation axiale des éléments d'armature dans leurs trous d'insertion avec du mortier.
- La zone de compression de la section de maçonnerie est limitée au ¼ de l'épaisseur de la maçonnerie pour tenir compte de la capacité de déformation du matériau.

Schéma du dimensionnement

conformément à la norme SIA 262

Sécurité structurale



Désignations:
t_w: épaisseur du mur [mm]
d: hauteur statique de la section [mm]
d_d: dimensionnement de la hauteur statique réduite (d_d = d-10 mm) [mm]
z: bras de levier des forces intérieures [mm]
y: zone de compression de la maçonnerie [mm]
a_s: taux d'armature [mm²/m]

Orientation de l'armature	verticale	horizontale
Force s'exerçant sur la zone de compression	$D = y \cdot l \cdot f_{xd}$	$D = y \cdot h \cdot f_{yd}$
Force s'exerçant sur l'armature	$Z = l \cdot a_s \cdot f_{sd}$	$Z = h \cdot a_s \cdot f_{sd}$
Z = D	$y = \frac{Z}{l \cdot f_{xd}}$	$y = \frac{Z}{h \cdot f_{yd}}$
	$z = d_d - \frac{y}{2}$	
	$M_d = z \cdot D = z \cdot Z$	

Diagrammes avec les résistances à la flexion d'une maçonnerie

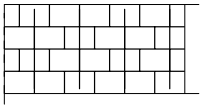
Les résistances de dimensionnement d'une maçonnerie sont indiquées dans les diagrammes en fonction de l'armature. Il convient de remplir complètement les joints verticaux avec du mortier conformément à l'article 4.3.4.3 de la norme SIA 266 afin d'activer f_{yd}.

Dimensionnement en flexion avec un effort normal:
le dimensionnement se déroule de la même manière que celui appliqué aux éléments de construction en béton armé conformément aux normes SIA 262 et SIA 266.

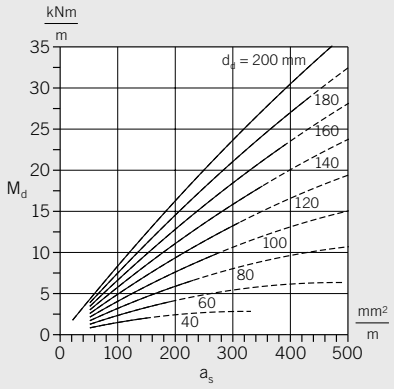
Maçonnerie à armature verticale

Maçonnerie armée à simple paroi standard MK

$f_{xd} = 3.5\ N/mm^2$
$f_{sd} = 435\ N/mm^2$



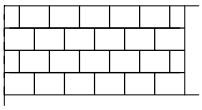
Sécurité structurale **MK** **verticale**



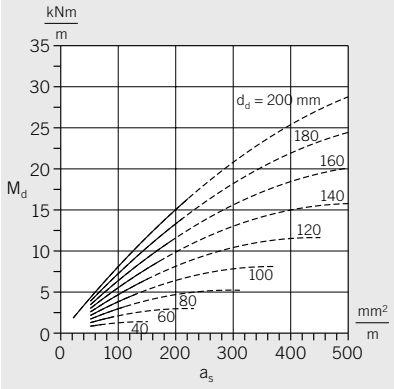
Maçonnerie à armature horizontale

Maçonnerie armée à simple paroi standard MK

$f_{yd} = 1.6\ N/mm^2$
$f_{sd} = 435\ N/mm^2$



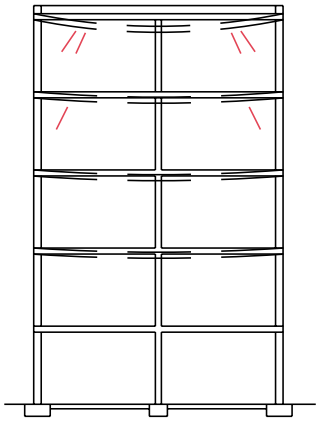
Sécurité structurale **MK** **horizontale**



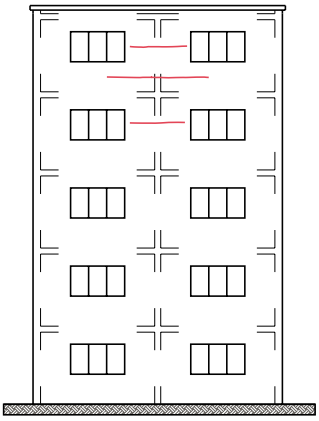
REMARQUES SUR LA CONSTRUCTION

Murs de refend

Les murs intérieurs porteurs ou refends doivent présenter une épaisseur minimale de 12 cm. La qualité des briques et du mortier est choisie en fonction des exigences statiques.
Dans le cas de l'emploi de divers types de maçonnerie (construction mixte) ou en présence de données statiques spéciales, telles que des charges exercées sur les murs variant considérablement, il faut tenir compte des différences de déformation et des contraintes secondaires en résultant dans les murs en maçonnerie. Les différences de déformation s'accroissent à mesure que la hauteur du bâtiment ou le nombre d'étages augmente et elles peuvent occasionner des fissures dans les murs intérieurs (ou les murs extérieurs). La construction mixte de bâtiments comportant jusqu'à trois étages ne pose normalement aucun problème.



Déformation du mur intérieur > déformation du mur extérieur



Déformation du mur extérieur > déformation du mur intérieur et éventuelle formation de fissures dans la façade

Murs intérieurs non porteurs

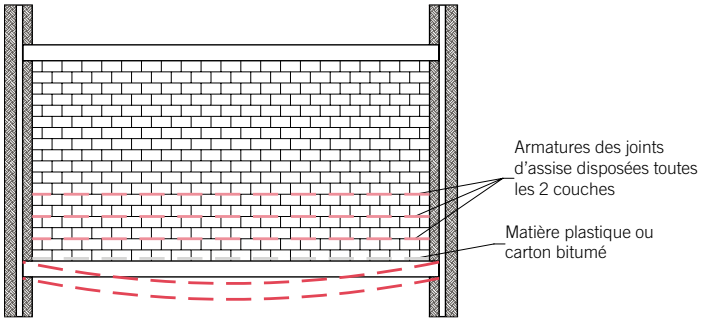
En règle générale, les parois intérieures non portantes (murs de remplissage ou maçonnerie de remplissage) sont exécutées après les travaux de gros œuvre proprement dits. Moyennant une configuration appropriée, elles assurent des fonctions de protection contre le feu, la chaleur, l'humidité et le bruit, tandis que leur haute capacité d'accumulation thermique garantit un climat ambiant équilibré.
La stabilité statique de tels murs doit être assurée par des mesures appropriées (renforts, traverses, raccords, etc.). Il convient de tenir compte des influences exercées ainsi par les déformations d'éléments de construction adjacents, comme la flexion ultérieure de dalles de grande portée, pour exécuter les raccordements.

Murs de remplissage

Les murs de remplissage non porteurs, désignant des murs maintenus sur deux, trois ou quatre côtés, sont exécutés après les travaux de gros œuvre à proprement parler et ils sont fixés au système structural.

Dimensions: les dimensions de mur admissibles dépendent des sollicitations s'exerçant et des conditions de fixation. Les murs d'une longueur supérieure à 10 m doivent être pourvus d'armatures de joints d'assise (tous les 2 joints d'assise).

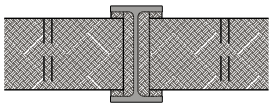
Flexion de dalles: les murs de remplissage dressés sur des dalles ou des sommiers soumis à une flexion risquent notamment de se fissurer. Il est possible de remédier à ce risque de fissuration en limitant la flexion de la dalle ou du sommier et/ou en mettant en place des armatures de joints d'assise.



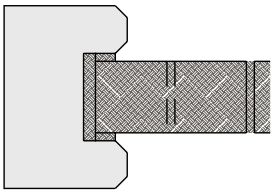
Pour éviter des fissures horizontales dans les joints d'assise inférieurs, il est recommandé d'intercaler un carton bitumé ou une feuille de matière plastique entre les dalles et la maçonnerie et d'employer du mortier à maçonner (mortier de ciment) générant la plus haute résistance à la traction de l'adhérence entre la brique et le mortier.

Raccords aux éléments de construction porteurs adjacents: les illustrations ci-contre représentent des possibilités d'ancrage de murs de remplissage à divers systèmes porteurs.

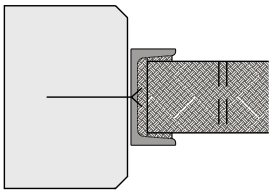
L'ancrage latéral à une poutrelle métallique (a) ou dans les rainures verticales de piliers en béton armé (b) est facile à exécuter et sûr. Si l'on veut éviter l'exécution de rainures pour simplifier le coffrage de piliers en béton armé, un profilé en U peut y être posé ultérieurement (c). Un rail d'ancrage de raccordement chevillé ou encastré (inséré dans un coffrage) à l'intérieur du pilier en béton armé constitue une autre variante (d). L'étrier d'ancrage peut être ainsi aisément scellé dans le joint d'assise avec du mortier. Le nombre d'ancrages par mètre courant vertical est fonction des dimensions du mur et des charges s'y exerçant.
Cette solution convient également très bien lorsque des parois intérieures non portantes doivent être raccordées latéralement à des murs maçonnés ou en béton.



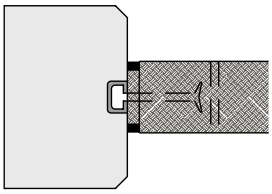
a) raccord à une poutrelle métallique



b) raccord à un pilier en béton armé avec une rainure

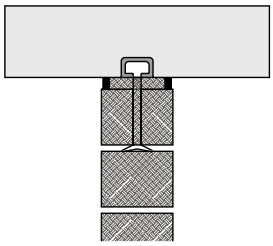


c) raccord à un pilier en béton armé avec un profilé en acier

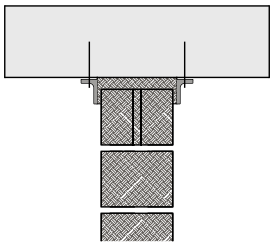


d) raccord à un pilier en béton armé avec un rail d'ancrage

Si des parois intérieures ou des murs de remplissage ne peuvent pas être maçonnés jusqu'en dessous de la dalle, il convient d'exécuter le raccordement supérieur de la même manière que l'ancrage latéral élastique et coulissant.



a) avec rail d'ancrage et ancrage de raccordement

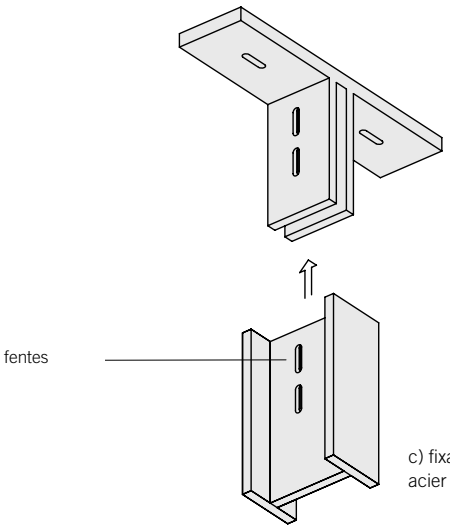


b) avec des profilés en acier

De très longues parois intérieures ou des extrémités de mur isolées doivent être en plus renforcées. Il faut alors veiller à ce que les points de raccordement supérieurs des renforts ne soient pas soumis à des charges du fait de la flexion des dalles. En cas de consolidation avec des poutrelles métalliques (des profilés en [ou en I), dresser ces dernières jusqu'à l'arête supérieure du mur et les fixer à la construction porteuse dans ses parties haute et basse à l'aide de pattes fendues. Les fentes permettent des mouvements verticaux, mais elles empêchent un déplacement horizontal.

Murs isolés

Il faut éviter si possible des murs en maçonnerie isolés et soumis à des sollicitations perpendiculaires à leur plan. Si la technique de construction ne permet pas de maintenir ces murs latéralement, il convient de les munir d'une armature verticale suffisante devant être parfaitement ancrée dans la dalle disposée en bas du mur.



c) fixation de poutrelles en acier servant de renforts

Pour obtenir de plus amples renseignements, d'autres documents informatifs ou une source d'approvisionnement certifiée, veuillez vous adresser à l'

K·S·V
ASSOCIATION SUISSE DES PRODUCTEURS
DE BRIQUES SILICO-CALCAIRES

Association Suisse des Producteurs de briques silico-calcaires, case postale 432, 3250 Lyss
Téléphone 032 387 92 00, info@kalksandstein.ch

www.silico-calcaires.ch

Décembre 2015