

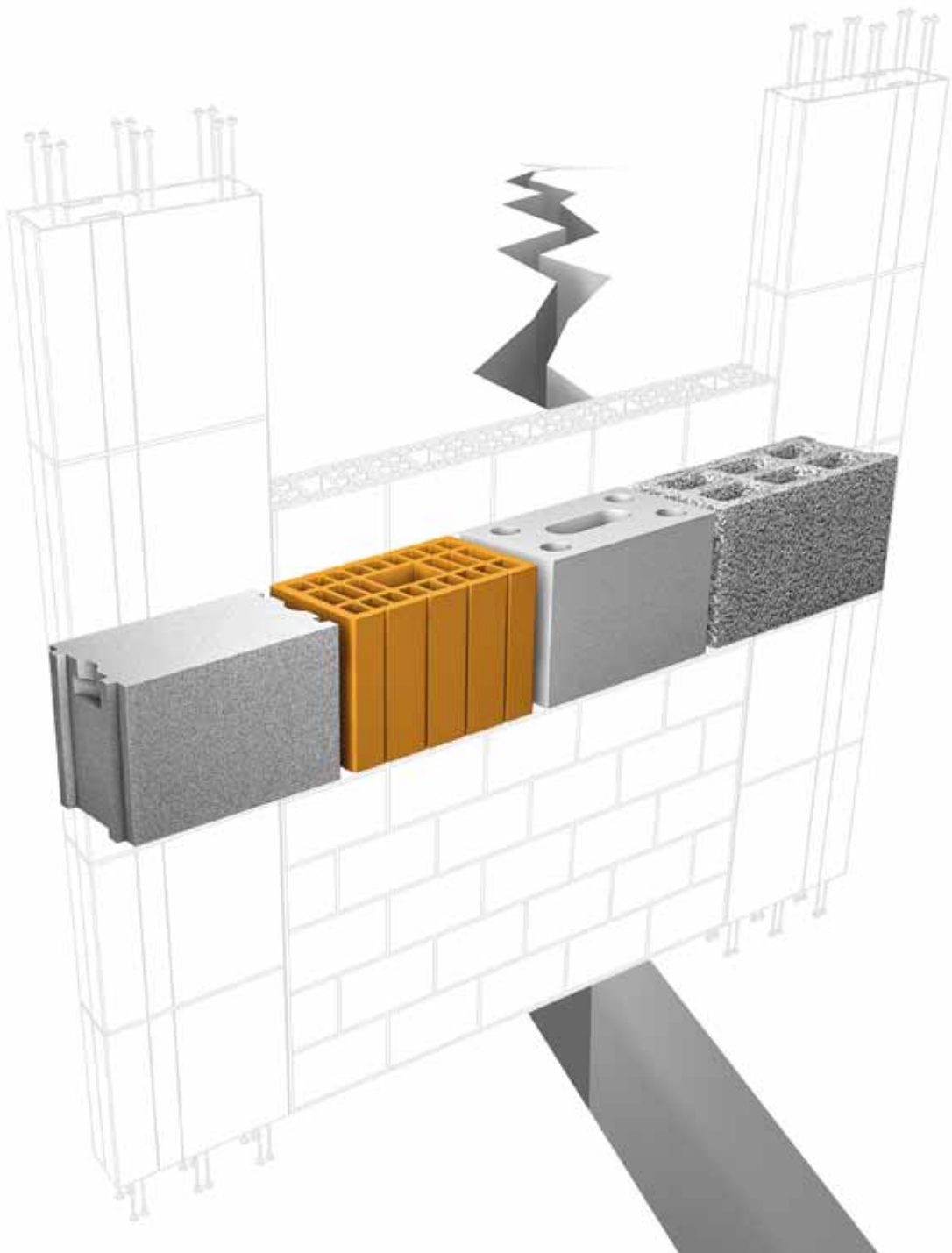


Construire
avec maçonnerie

Partenaires suisses
pour la maçonnerie



Construction parasismique en maçonnerie







| | |
|---|-----------|
| 1. Dix bonnes raisons en faveur de la maçonnerie | 4 |
| 2. Introduction de la norme SIA 266 Maçonnerie (2015) | 6 |
| 2.1 Changements et compléments principaux par rapport à la norme SIA 266: 2003 | 6 |
| 2.2 Maçonnerie sous contrainte de cisaillement et effort normal centré | 6 |
| 2.3 Mode de fonctionnement pour maçonnerie avec éléments de traction (Système mural Seismur) | 7 |
| 3. Modélisation de bâtiments sous sollicitation sismique | 8 |
| 3.1 Preuve de la sécurité parasismique à l'aide d'un modèle 3D en barres et avec la méthode de la force de remplacement | 8 |
| 3.2 Preuve par les déformations avec des modèles de calcul basés sur des éléments macroscopiques | 9 |
| 4. Exemple d'un immeuble locatif à Lyss | 10 |
| 4.1 Statique 3D en barres avec méthode Push-Over (promur) | 10 |
| 4.2 Statique 3D en barres avec méthode des spectres de réponse (Statik 6.0 Cubus) | 12 |
| 4.3 Calcul sur la base d'éléments macroscopiques avec la méthode Push-Over (3muri) | 13 |
| 5. Littérature | 14 |

1. Dix bonnes raisons en faveur de la maçonnerie

Ecologie

Le recours à des matières premières régionales raccourcit les trajets de transports. La maçonnerie est particulièrement durable grâce à sa grande longévité. Le recyclage du matériau de construction et la renaturation des sites d'extraction autorisent des cycles complets et fermés.



Climat intérieur

Les murs maçonnés offrent un climat de vie sain et agissent, par leur perméabilité à la diffusion, en régulateurs d'humidité, ce qui constitue la condition principale pour un bon confort. En outre, aucun polluant n'est émis et vous pouvez respirer tranquillement.



Efficacité énergétique

Les bonnes propriétés d'isolation garantissent la protection thermique nécessaire en hiver. Grâce à leur capacité d'accumulation thermique, les parois en construction massive influent positivement sur le comportement du bâtiment aux températures estivales.



Durée de vie

Depuis des centaines d'années, la maçonnerie a fait la preuve de sa grande longévité. La durabilité du matériau de construction conduit à de faibles coûts d'entretien.



Efficacité des coûts

La maçonnerie est un mode de construction économique et très efficace dans sa mise en œuvre. Les coûts de construction générés sont bas. Le travail de planification pour la maçonnerie est particulièrement faible.



Valeur ajoutée

La maçonnerie possède une grande durabilité, ce qui permet de conserver une haute valeur à la revente. Une construction maçonnée est synonyme d'une assurance vie en dur.



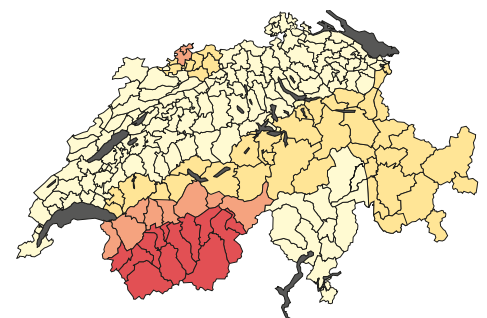
Protection acoustique

Les différents types de maçonnerie permettent de répondre aux diverses exigences en matière de protection acoustique. Les murs maçonnés présentent une forte protection contre le bruit intérieur et extérieur, réduisant ainsi le bruit solidien par leur masse et leur effet découplant.



Sécurité parasismique

Grâce aux constructions et systèmes de maçonnerie moderne, les bâtiments peuvent être conçus de manière parasismique. Des solutions innovantes et des logiciels de dimensionnement adaptés sont disponibles.



Zone Z1 Zone Z2 Zone Z3a Zone Z3b

Protection incendie

La maçonnerie présente la meilleure protection qui soit contre l'incendie, grâce à des matériaux non combustibles. En outre, en cas d'incendie, aucun gaz de combustion nocif n'est dégagé.



Résistance structurale

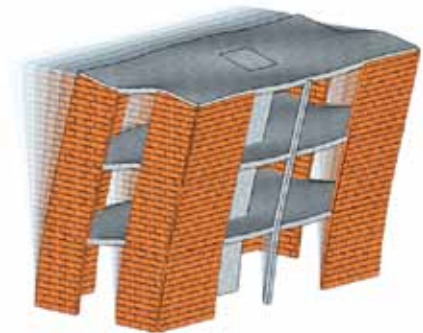
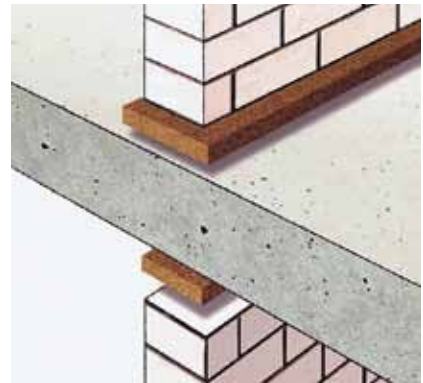
En raison de leur excellente résistance à la compression, des solutions de maçonneries minces peuvent être réalisées. Les efforts normaux résultants peuvent être repris sans problème.



2. Introduction de la norme SIA 266 Maçonnerie (2015)

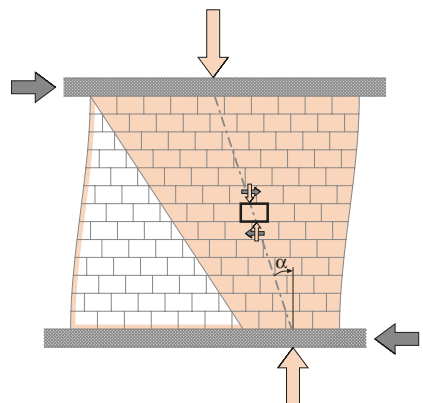
2.1 Changements et compléments principaux par rapport à la norme SIA 266: 2003

- Une maçonnerie hourdée avec un mortier-colle est considérée comme une maçonnerie standard si les résistances minimales sont atteintes et si une condition de rupture en flexion est vérifiée (chiffre 3.1.3.3).
- La preuve de la résistance à la traction transversale des briques n'est plus requise (chiffre 3.2.5).
- Une brique est considérée comme conforme pour un type de maçonnerie standard si les résistances minimales sont atteintes lors de l'utilisation avec un mortier de référence traditionnel.
- Les efforts des appuis de centrage ainsi que la rotation maximale tolérée de la dalle correspondante sur la maçonnerie doivent être déclarées.
- Les appuis phoniques ne doivent pas réduire la résistance structurale de la maçonnerie, sans quoi cette réduction doit être déclarée.
- Les valeurs de dimensionnement pour les maçonneries standards ont été révisées et sont présentées dans de nouveaux tableaux (chiffre 4.2.1.1).
- La sécurité structurale sous sollicitation à l'effort normal et au cisaillement sous effort normal centré peut être effectuée par une vérification simple ou plus poussée (chiffres 4.3.1.2/3 et 4.3.2.2/3).
- Situation de projet séisme (chap. 4.7):
 - La condition d'élanement pour les murs soumis au cisaillement a été ôtée. La vérification des murs sollicités doit cependant être effectuée dans le plan du mur ainsi que perpendiculairement à ce dernier (chiffre 4.7.1.2).
 - Le coefficient de comportement q peut être déterminé à l'aide de la contrainte d'effort normal ou d'après la capacité de déformation (chiffre 4.7.1.5).
 - Le recours à une méthode basée sur les déformations est autorisé (chiffre 4.7.1.6).



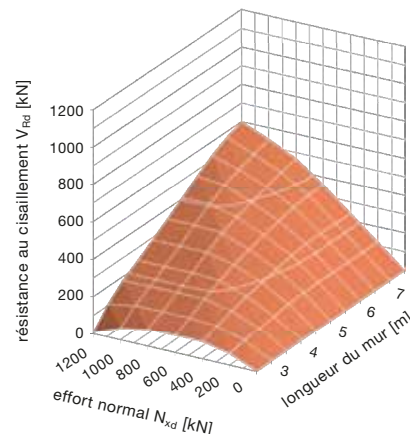
2.2 Maçonnerie sous contrainte de cisaillement et effort normal centré

- On se base, en général, sur un état de contrainte admissible. La sécurité structurale est vérifiée lorsque la résistance à la compression n'est dépassée en aucun point. Jusqu'à la valeur $f_{\alpha d}$, les contraintes de compression obliques peuvent être superposées aux contraintes de compressions f_{xd} - $f_{\alpha d}$ perpendiculaires à l'assise.



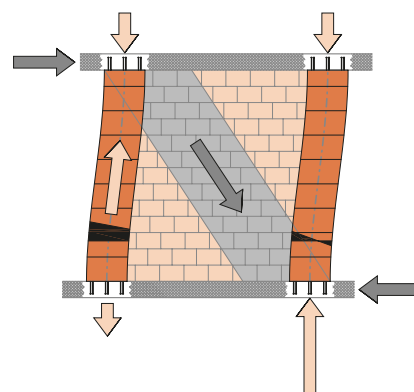


- La limite pour la résistance au cisaillement est donnée par le cisaillement du joint d'assise sous un angle maximum de 31° . Avec une meilleure exploitation du mur relativement à l'effort normal, la capacité en cisaillement diminue. En pratique cela se produit surtout pour les murs courts.



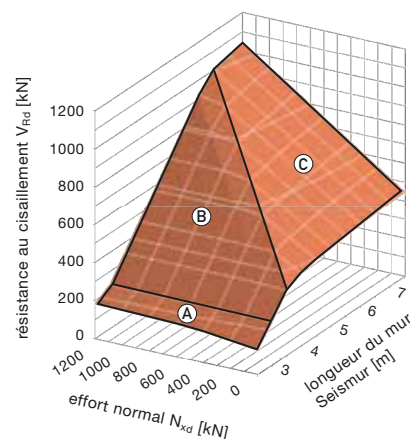
2.3 Mode de fonctionnement pour maçonnerie avec éléments de traction (Système mural Seismur)

- Le système mural Seismur transforme un mur maçonné non armé en une maçonnerie avec des éléments de traction. Ces éléments de traction sont constitués par des éléments de mur précontraints aux extrémités du mur et grâce auxquels les efforts de traction sont ancrés dans les dalles.
- Les dalles et les éléments de mur constituent un cadre autour de la maçonnerie.
- Les efforts de traction sont repris par les éléments de murs précontraints et transmis aux dalles.
- Indépendamment de la contrainte d'effort normal, la maçonnerie peut devenir le siège d'un champ d'efforts de compression.



Mécanismes de limitation de la résistance:

- A** Résistance au cisaillement V_{Rs} issue de la résistance maximale en flexion des éléments Seismur
- B** Résistance au cisaillement V_{Rm} issue de la diagonale de compression maximale de la maçonnerie
- C** Résistance au cisaillement V_{Rp} issue de l'effort maximal en traction de l'armature d'acier précontrainte des éléments Seismur



3. Modélisation de bâtiments sous sollicitation sismique

3.1 Preuve de la sécurité parasismique à l'aide d'un modèle 3D en barres et avec la méthode de la force de remplacement

- **Preuve de la sécurité parasismique avec activation de murs soumis au cisaillement spécialement prévus à cet effet**

La preuve dans laquelle la résistance des murs maçonnés au cisaillement n'est pas prise en compte représente la pratique actuelle pour les murs en béton armé soumis au cisaillement. Les murs maçonnés ne transmettant que des charges verticales, le calcul se fait avec le coefficient de comportement $q = 2.0$. Une étude analogue peut être faite pour la mise en place de murs soumis au cisaillement, constitués d'une maçonnerie avec éléments de traction (système mural Seismur), car ce système présente la ductilité nécessaire.

Dans une telle étude, il convient de vérifier que les déformations qui apparaissent ne dépassent pas la limite de déformation de la maçonnerie.

- **Preuve de la sécurité parasismique avec activation des murs porteurs en maçonnerie**

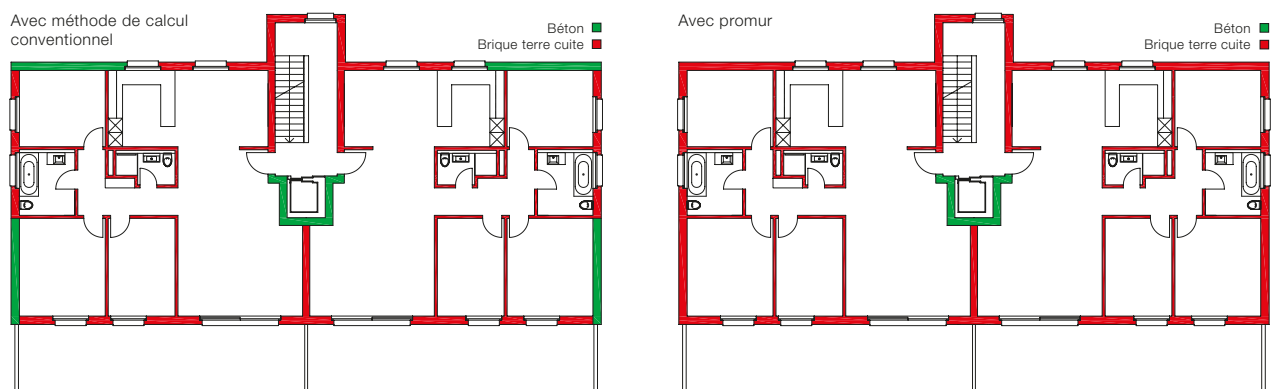
Lorsque la résistance au cisaillement de murs maçonnés est prise en compte par le calcul, il convient de considérer un coefficient de comportement $q = 1.5$. Lors du dimensionnement strictement élastique, la résistance au cisaillement du système complet est fortement sous-estimée. En effet, lors de l'atteinte de la limite de charge du premier mur, sa limite de déformation plastique n'est pas prise en compte et aucune augmentation de la résistance par modification de la répartition des sollicitations n'entre en ligne de compte.

- **Analyse Push-over avec le logiciel promur**

En remplacement du bâtiment défini par les dalles, les murs et les poteaux, une structure porteuse tri-dimensionnelle en barres est élaborée. Les dalles sont considérées comme des plaques rigides dans le plan. Les sollicitations sismiques sont déterminées par la méthode de la force de remplacement et appliquées pas à pas. Lorsqu'un mur atteint sa limite de résistance, une liaison glissière plastique est introduite dans le système. La limite de déformation est déterminée par une méthode simple, en prenant en compte l'effet de l'effort normal et de la géométrie du mur.

Le logiciel promur, pour l'analyse Push-over des bâtiments maçonnés, permet ainsi une bien meilleure exploitation calculatoire de la résistance parasismique existante des bâtiments que le calcul linéaire élastique conventionnel.

Exemple d'une analyse avec promur



3.2 Preuve par les déformations avec des modèles de calcul basés sur des éléments macroscopiques

• Fonctionnement des éléments macroscopiques avec l'exemple du logiciel 3muri

Les éléments macroscopiques se répartissent en 3 types:

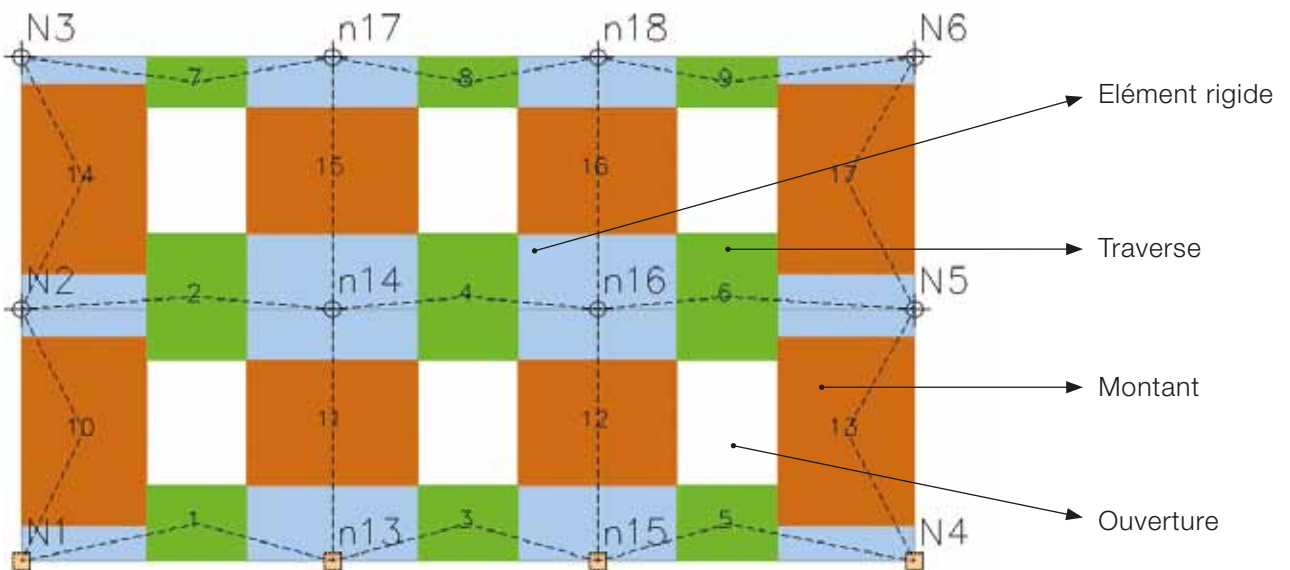
Les montants (à côté des ouvertures)

Les éléments rigides (surfaces de maçonnerie intacte)

Les traverses (en dessus et sous des ouvertures)

La structure du bâtiment est représentée par une structure-cadre équivalente, constituée par l'assemblage de ces éléments. L'élément macroscopique qui, en tant qu'élément déformable de manière bilinéaire, représente la surface de maçonnerie intacte, se compose de 3 zones: les zones du bord supérieur et du bord inférieur pour la déformation axiale et la zone centrale pour la déformation tangentielle par cisaillement. Les montants et traverses de la maçonnerie sont constitués d'éléments de poutre bilinéaire.

Exemple d'une structure d'éléments macroscopiques au niveau d'une façade



Les éléments macroscopiques contiennent des critères de rupture et des limites de déformations. L'effet d'un séisme peut être déterminé selon EC9 ou SIA 260/261. Les critères de ruptures de la maçonnerie sont ceux d'EC6 (SIA 266 n'est pas implémentée). Lors de la modélisation, la résistance structurale des murs orthogonalement au plan ainsi que la flexion locale des dalles sont négligées. Le calcul non-linéaire prend en compte le comportement effectif de la maçonnerie. L'évaluation du comportement en résistance se fait à partir des déformations.

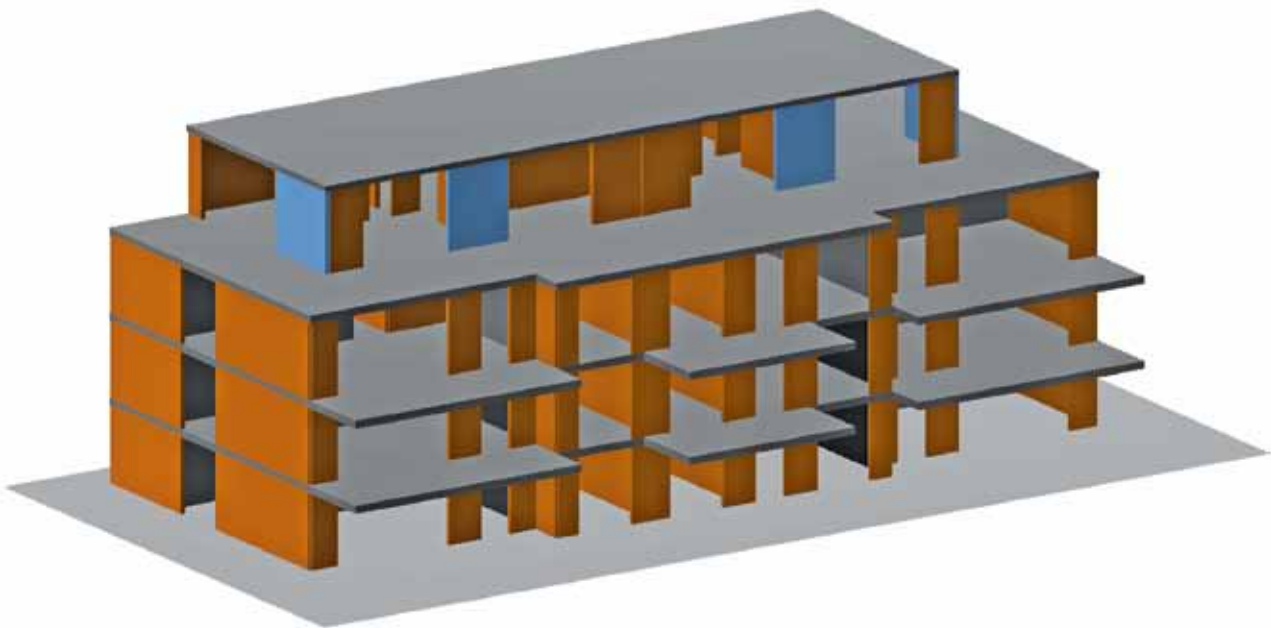
4. Exemple d'un immeuble locatif à Lyss



4.1 Statique 3D en barres avec méthode Push-Over (promur)

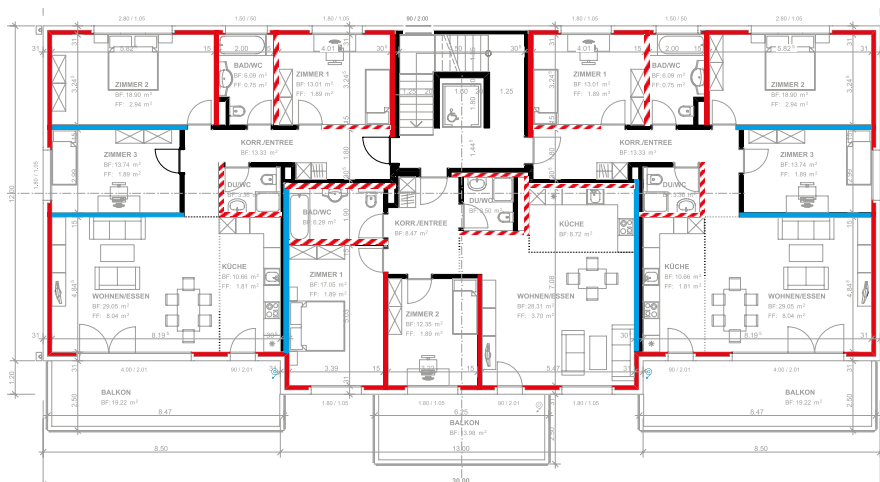
L'analyse Push-Over est à présent intégrée aussi bien dans les modèles structuraux 3D en barres que dans les simulations 3D de bâtiments avec éléments macroscopiques. L'exemple suivant, qui concerne un objet réalisé en 2015, illustre les modèles de calcul mentionnés:




Structure du bâtiment: immeuble locatif à 4 étages dont le 4^{ème} est un attique.
Dalles en béton armé, épaisseur 26 cm
Murs en maçonnerie de 15 et 17.5 cm d'épaisseur

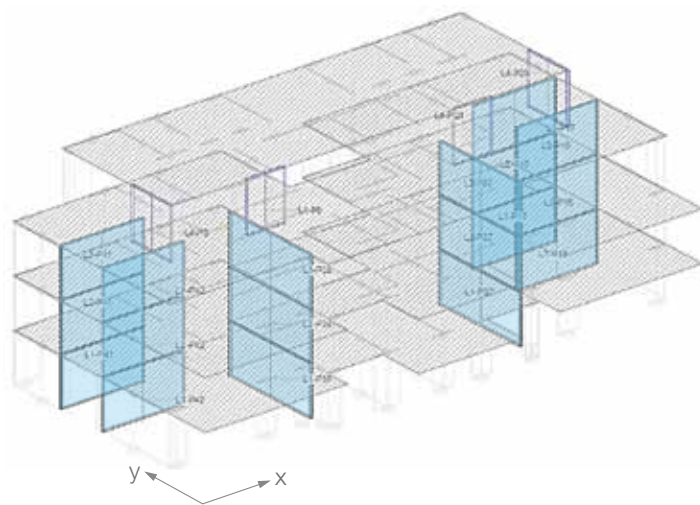


Le bâtiment se trouve dans la zone sismique Z1
Classe de sol E
Classe d'ouvrage I

Principe de la vue en plan des étages 1-3:



-  Système mural Seismur 17.5 cm avec Seismo
-  MB = 15 cm
-  ne porte que verticalement

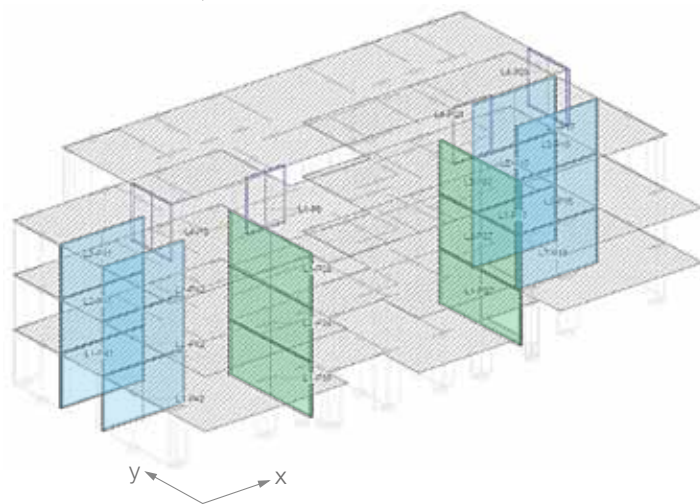


- maçonnerie activée
- murs soumis au cisaillement sélectionnés et pourvus du système mural Seismur

Coefficient de comportement $q = 1.5$

Résultat:

- axe x: 4 murs conçus comme système mural Seismur
- axe y: les deux murs du rez sont surchargés en tant que système mural Seismur



Exécution retenue:

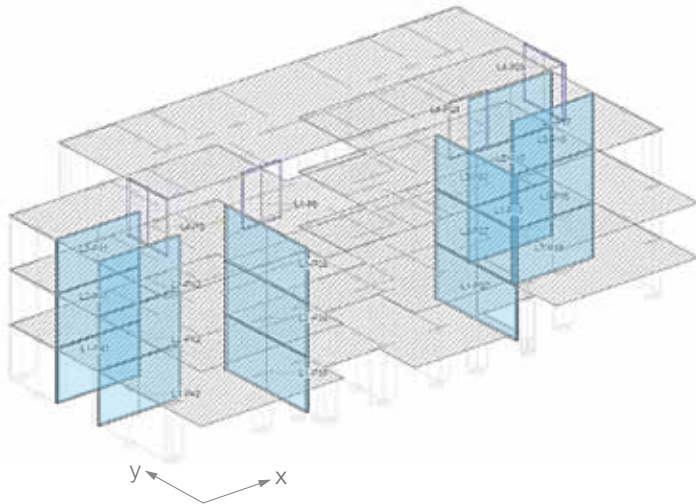
- axe x: 4 murs comme système mural Seismur
- axe y: 2 murs en béton armé



Gros œuvre en mai 2015



4.2 Statique 3D en barres avec méthode des spectres de réponse (Statik 6.0 Cubus)

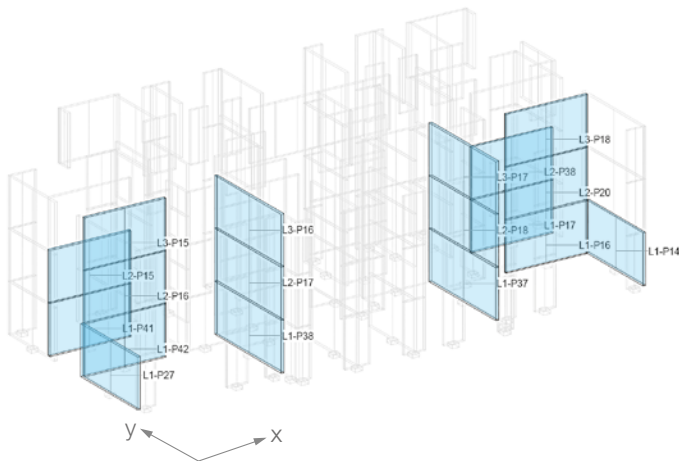


- murs soumis au cisaillement avec système mural Seismur
- pas d'activation des autres murs maçonnés

Coefficient de comportement $q = 2.0$

Le calcul à l'aide de la méthode des spectres de réponse conduit à des résultats comparables au calcul Promur:

Dans ce cas également, les deux murs du rez soumis au cisaillement selon l'axe y sont surchargés. En lieu et place d'une exécution en béton, 2 murs Seismur supplémentaires ont été prévus selon l'axe y au rez. Au 2^{ème} étage, le nombre de murs Seismur selon l'axe x a été réduit de 4 à 2.



Exécution optimisée:

- axe x: - 4 murs comme système mural Seismur (rez + 1^{er} étage)
- 2 murs comme système mural Seismur (2^{ème} étage)
- axe y: - 4 murs comme système mural Seismur (rez)
- 2 murs comme système mural Seismur (1^{er} et 2^{ème} étage)

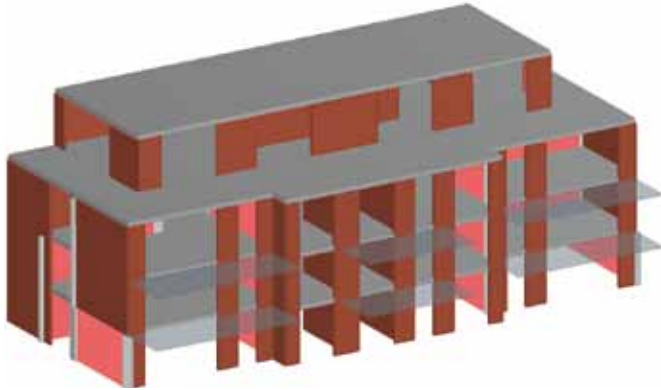
Contrôle des déformations:

Les déformations qui apparaissent sont inférieures à la limite de déformation de la maçonnerie.

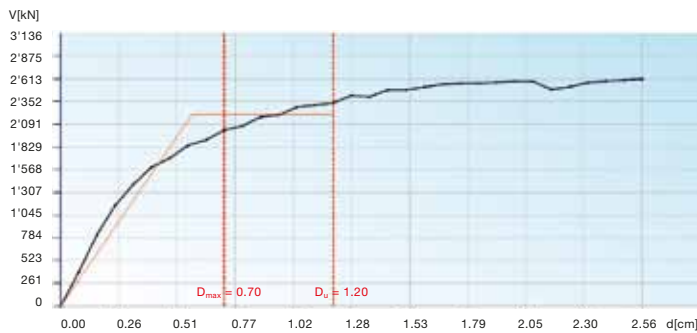
Le coefficient de comportement de 2.0 est acceptable pour le calcul.

Bilan: Pour ce genre de constructions de logement à plusieurs étages, la part calculatoire de la résistance au cisaillement provenant de la maçonnerie non prévue spécifiquement pour le cisaillement et avec $q = 1.5$ est du même ordre que la différence avec le cas d'une charge moindre pour un coefficient de comportement $q = 2.0$ et une résistance de ces murs au cisaillement négligée.

4.3 Calcul sur la base d'éléments macroscopiques avec la méthode Push-Over (3muri)



- murs soumis au cisaillement avec le système mural Seismur modélisés par des éléments macroscopiques
- calcul basé sur les déformations



La courbe Push-Over de l'analyse 3muri présente la déformation cible D_u et la déformation effective D_{max} . Le facteur de conformité est de $1.20/0.7 = 1.71$



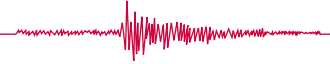
Le graphe d'endommagement de la structure illustre l'état de chacun des éléments

- intact
- plastique en cisaillement
- rupture en cisaillement
- plastique en flexion

Bilan: Le calcul avec les éléments macroscopiques conduit à un facteur de conformité plus élevé que les calculs d'efforts. Les raisons pour cela sont:
Le calcul basé sur les déformations comporte

- une limite de déformation individuelle des éléments macroscopiques en lieu et place d'une limite de déformation forfaitaire par le biais du coefficient de comportement q
- Les contrecœurs et ouverture de fenêtres sont modélisables (négligée dans l'exemple par raison de comparabilité)

5. Littérature



- [1] Norm SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [2] Norm SIA 266 (2015) Mauerwerk, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [3] Dokumentation SIA D 0237 (2010) Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [4] Dokumentation SIA D 0227 (2008) Erdbebensicherheit von Gebäuden - Rechts- und Haftungsfragen, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [5] Merkblatt Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz, Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen www.baudyn.ch, 2006
- [6] Normative Grundlagen und Anwendungsinstrumente zur Erdbebensicherung von Neubauten und bestehenden Bauten, Bundesamt für Umwelt BAFU, www.umwelt-schweiz.ch/erdbeben, 2009
- [7] Erdbebugerechter Entwurf von Hochbauten - Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden, Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann, Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel 2002
- [8] Erdbeben Dokumentation D 0181: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Einwirkungen auf Tragwerke, Einführung in die Normen SIA 260 und 261, Thomas Wenk, Pierino Lestuzzi, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2003.
- [9] Prof. Dr. Joseph Schwartz, Dr. Neven Kostic: Wandsystem Seismur, Bemessungsgrundlagen, 2011
- [10] Christoph Becker, Ruedi Räss, Prof. Dr. Joseph Schwartz: Statisch zyklische Versuche über das Tragverhalten von Mauerwerk mit Seismur-Wandelementen, ETH Zürich und p + f Sursee, 2010
- [11] Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann, Dr. Kerstin Lang: Zur Erdbebensicherung von Mauerwerksbauten, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 2002
- [12] Erdbebensicherheit im Mauerwerksbau, www.swissbrick.ch, Swissbrick AG, 2005
- [13] Dr. Hansruedi Ganz, Prof. Dr. Bruno Thürlimann: Versuche an Mauerwerksscheiben unter Normalkraft und Querkraft, Bericht Nr. 7502-4, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1984
- [14] Erdbebensicher bauen mit Promur. Die Lösung der Schweizer Industriepartner für ein Gebäude mit Mauerwerk, 2010





Les partenaires industriels – vos interlocuteurs compétents pour promur

Associations



ETH Zürich
Prof. Dr. Joseph Schwartz
Professur für
Tragwerksentwurf
ETH Zürich, HIL E 43.2
Stefano-Francini-Platz 5
8093 Zürich
www.schwartz.arch.ethz.ch



Association Suisse des producteurs de briques silico-calcaires KSV
Case postale 432
3250 Lyss
Tél. 032 387 92 00
www.kalksandstein.ch



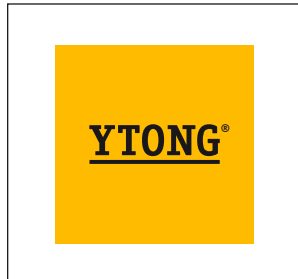
swissbrick.ch
Association Suisse de l'Industrie de la terre cuite
Leidenbergstrasse 1a
Case postale
6210 Sursee
Tél. 052 234 70 30
www.swissbrick.ch



UFPB
Union des Fabricants
de Produits en Béton
de Suisse romande.
Rte Aloys-Fauquez 28
1018 Lausanne
Tél. 021 648 29 49
www.swissmatbeton.ch

Commission Brique Béton
Tél. 027 322 54 85

Entreprises



Xella Porenbeton Schweiz AG
Kernstrasse 37
8004 Zürich
Tél. 043 388 35 35
www.xella.ch



Presyn AG
Ostermundigenstr. 34a
3006 Bern
Tél. 031 333 42 52
www.presyn.ch



Stahlton Bauteile AG
Hauptstrasse 131
Postfach
5070 Frick
Tél. 062 865 75 00
www.stahlton-bauteile.ch



Bricosol AG
Hermetschloostrasse 75
8048 Zürich
Tél. 044 43115 66
www.bricosol.ch

