

02

UN MANUEL DE CONSTRUCTION POUR UN BATIMENT EN ROW LOCK BOND

PRINCIPES DE STRUCTURES
Row Lock Bond



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

PROECCO

PROmotion de l'Emploi favorable au
Climat par la COnstruction durable

Élaboré par :

skat Swiss Resource Centre and
Consultancies for Development

en collaboration avec:

MASS.



INTRO

Ce **MANUEL DE CONSTRUCTION** est un guide pratique complet et étape par étape, destiné aux superviseurs, aux maçons, aux constructeurs, aux architectes et aux ingénieurs, sur la manière de construire un bâtiment en étages en utilisant la technologie Rowlock Bond (RLB). Le manuel est présenté en trois volumes, couvrant **01 les principes de RLB, 02 les principes de structurels et 03 le processus de construction**. Chaque volume comprend une liste complète d'annexes couvrant le contrôle de la qualité, les spécifications et les outils utiles à utiliser pour vérifier la conception, les calculs structurels ou les travaux de construction par rapport aux normes établies.

TABLE DE MATIERES

01 RESUME EXECUTIF	4
02 ORGANIGRAMME DE CONCEPTION	6
03 GUIDE DE CONCEPTION DE LA STRUCTURE	8
A. Hypothèses clés, limites et exigences	8
A.1 Normes de conception	
A.2 A.2 Propriétés des matériaux	
A.1 Qualité et contrôle généraux de la construction	
A.2 Règles générales concernant le positionnement des ouvertures dans les murs	
A.3 Exigences minimales en matière d'armature	
A.4 Autres limitations de l'outil de conception	
A. Approche de conception sismique pour l'analyse globale	14
A.1 Sismicité du Rwanda	
A.2 Etablissement de la conception de l'accélération du sol	
A.3 Méthode de la force statique équivalente (FSE)	
B. CHARGES VERTICALES	19
C. SYSTÈME DE STRUCUTRE SUPPOSE	20
C.1 Murs de referend avec barres d'ancorage	
C.2 Système de diagramme de moment	
D. STRUCTURES PLUS COMPLEXES, ANALYSE DÉTAILLÉE ET TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES	25
04 EXEMPLE CALCULS	26
05 FEUILLE DE CALCUL EXCEL	42
E. APPENDIX A : NOMENCLATURE	44

01

RESUME EXECUTIF

Vue d'ensemble

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

CETTE FEUILLE DE CALCUL EST FOURNIE.

"EN L'ÉTAT", SANS GARANTIE D'AUCUNE SORTIE, EXPRESSE OU IMPLICITE, INCLUSIF MAIS NON LIMITE AUX GARANTIES DE QUALITÉ MARCHANDE, D'ADÉQUATION À UN USAGE PARTICULIER ET DE NON-VIOLATION.

EN AUCUN CAS LES AUTEURS OU LES DÉTENTEURS DE DROITS D'AUTEUR NE PEUVENT ÊTRE TENUS RESPONSABLES DE TOUTE RÉCLAMATION, DE TOUT DOMMAGE OU DE TOUTE AUTRE RESPONSABILITÉ CONTRACTUELLE, DÉLICTEUELLE OU AUTRE, EN RAPPORT AVEC LE LOGICIEL, L'UTILISATION OU D'AUTRES OPÉRATIONS DANS LE LOGICIEL.

Les bâtiments dotés de la technologie Row Lock Bond utilisent une combinaison de maçonnerie à cavités porteuses et d'une ossature en béton pour obtenir les propriétés antisismiques requises par le code du bâtiment.

A. La maçonnerie :

La maçonnerie Row Lock Bond s'articule autour de la brique d'argile cuite RLB. Ce type spécifique de brique est produit de manière industrielle ou semi-industrielle et présente une résistance minimale de 10 MPa, ce qui lui permet d'être utilisée pour les constructions porteuses et plus particulièrement pour les maçonneries à cavités comme le Row Lock Bond.

B. L'ossature antisismique en béton armé :

Les cavités de la maçonnerie permettent de construire une structure en béton à l'intérieur des murs porteurs, s'intégrant parfaitement à la forme du bâtiment. La maçonnerie et l'ossature sont construites simultanément, formant un lien solide et créant une structure composée résistante aux séismes.

Ce guide de conception structurelle analyse la technologie et fournit aux ingénieurs structurels des méthodes et des outils pour vérifier la conformité d'un projet donné à l'Eurocode et au code de construction rwandais.

Cela se fait au moyen de :

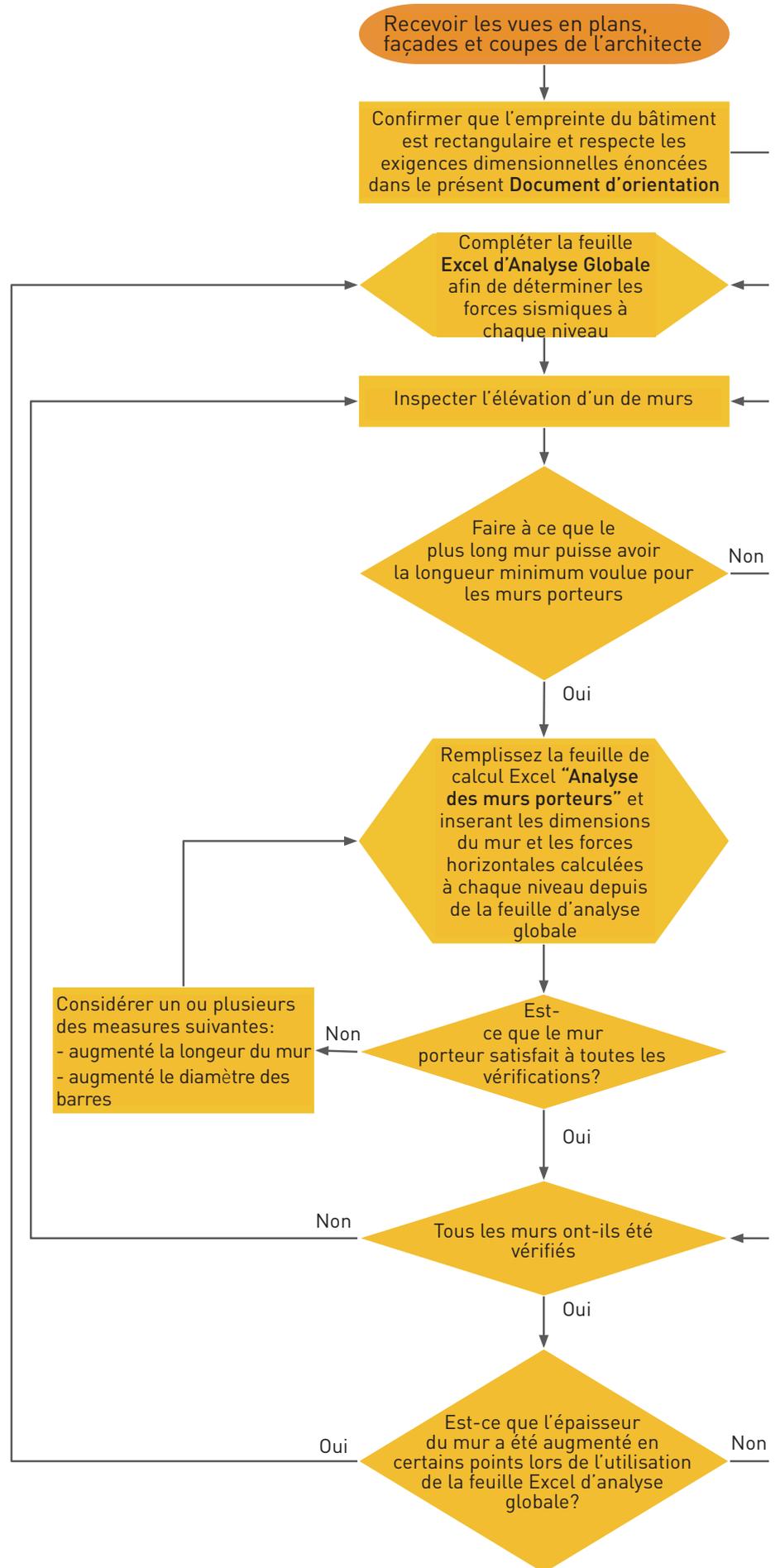
- Un diagramme de flux de travail, qui guide l'utilisateur à travers les étapes de la conception structurelle.
- Guide de conception structurelle
- Un exemple du projet de relogement de Mpazi avec la technologie Rowlock Bond.
- Une feuille de calcul Excel pour vérifier les résultats de la solution proposée.

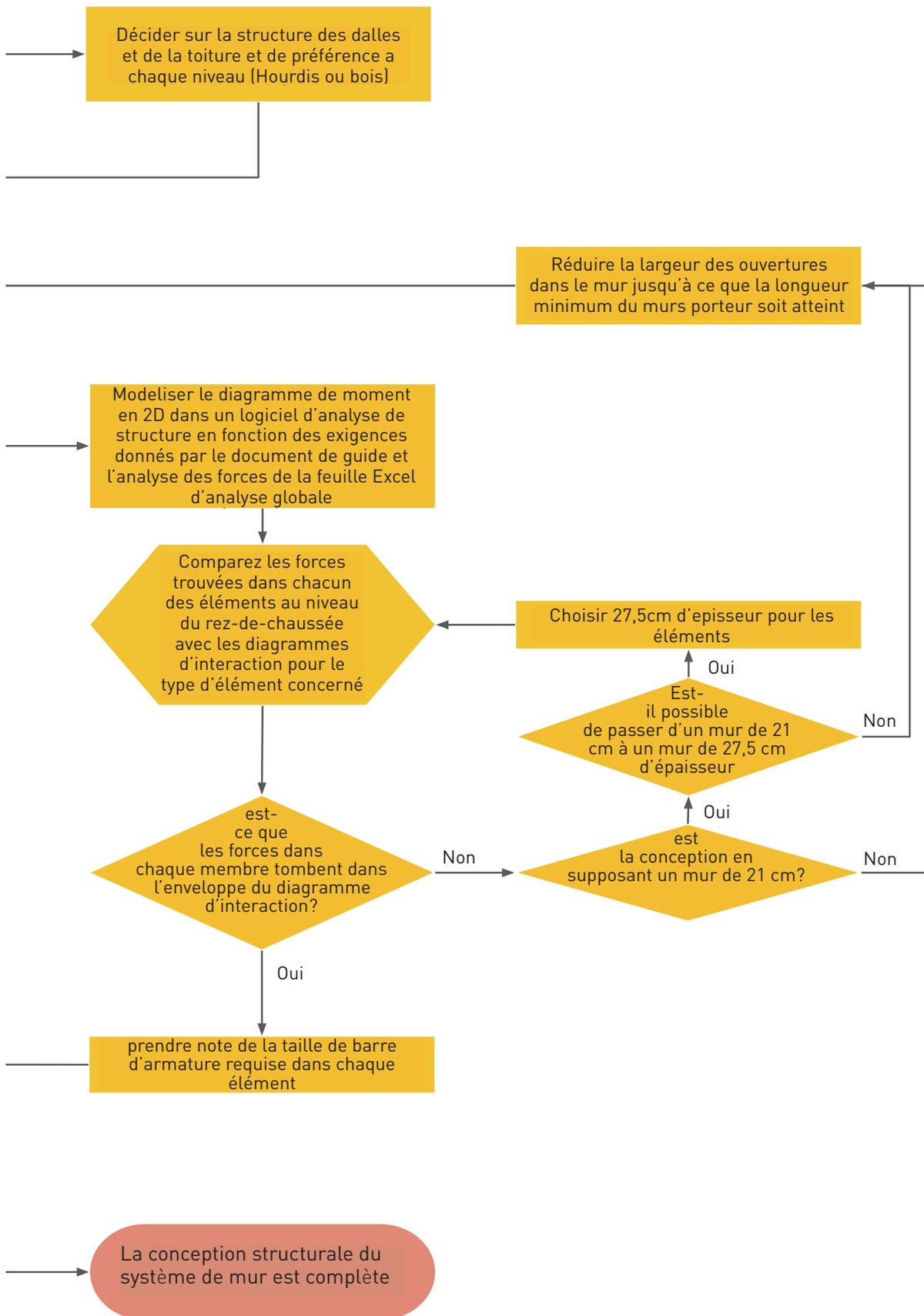


02

ORGANIGRAMME DE CONCEPTION

Étapes séquentielles de conception des structures RLB





03

GUIDE DE CONCEPTION DE LA STRUCTURE

Liste des Eurocodes pertinents

BS EN 1990
Base de la conception
structurelle

BS EN 1996
Conception de structures
de maçonnerie

BS EN 1998
Conception de structures
pour la résistance
sismique

A. Hypothèses clés, limites et exigences

A.1 Normes de conception

Les Eurocodes ont été les principaux documents de référence dans les cas suivants l'élaboration d'orientations et d'outils structurels pour le système Rowlock Bond.

Cependant, d'autres directives de conception ont été utilisées à titre d'information Complémentaire et sont référencées en conséquence. Informations complémentaires et sont référencées en conséquence.

A.2 A.2 Propriétés des matériaux

Les propriétés des matériaux suivantes ont été considérées comme des valeurs par défaut pour les besoins du conception structurelle :

Maçonnerie Row Lock Bond

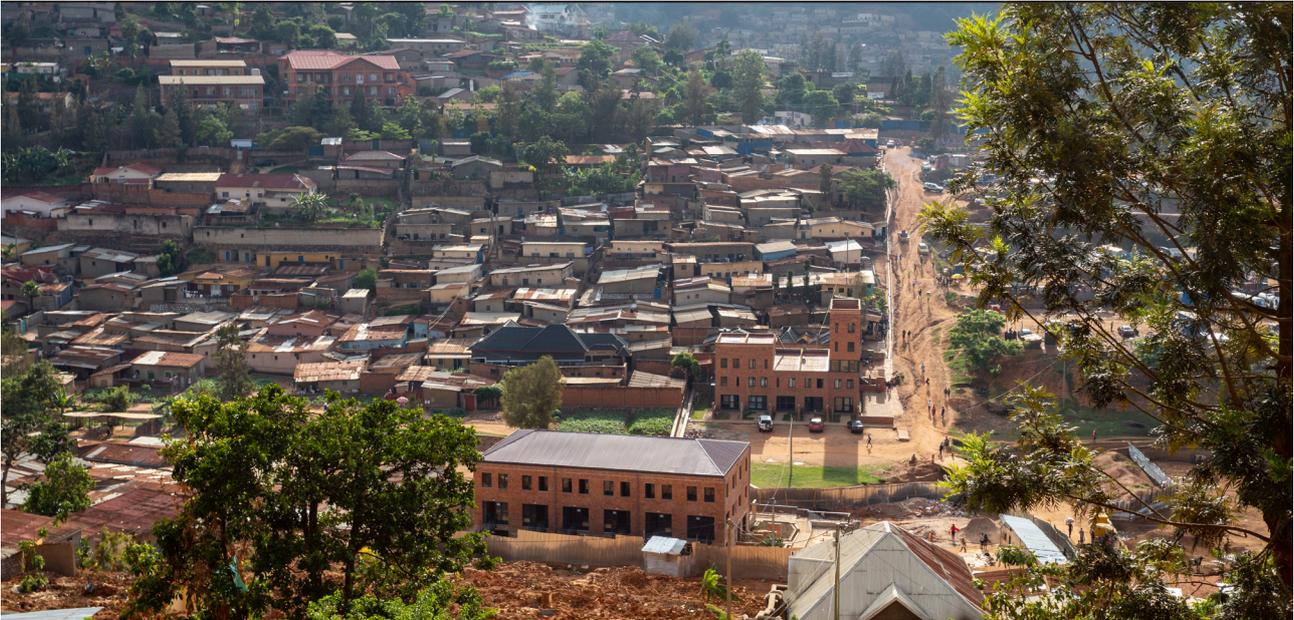
- Résistance à la compression moyenne normalisée de la brique, $f_b = 10 \text{ Mpa}$
- Résistance à la compression du mortier, $f_m = 10 \text{ Mpa}$
- Résistance à la compression caractéristique de la maçonnerie, $f_k = 5 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité, $E = 1000 f_k = 5000 \text{ MPa}$
- Densité, $\rho = 20 \text{ kN/m}^3$
- Facteur partiel pour la maçonnerie, $\gamma_m = 2.0$
- Les briques sont considérées comme faisant partie du groupe 1
 - Le volume de tous les trous est inférieur à 25 % du volume total de la brique.
 - Le volume d'un seul trou est inférieur à 12,5 % du volume total.
- Les briques sont considérées comme appartenant à la catégorie 1
 - Les unités ont une résistance à la compression déclarée avec une probabilité de ne pas l'atteindre supérieure à 5 %.

Béton

- Qualité : C20/25
- Résistance caractéristique du cube, $f_{cu,k} = 25 \text{ MPa}$
- Résistance caractéristique du cylindre, $f_k = 20 \text{ MPa}$
- Densité, $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

Armatures

- Classe: B500
- Résistance caractéristique, $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- Résistance de calcul $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$
- Facteur partiel - armature en acier, $\gamma_{ms} = 1.15$



Complexe de batiments en Row Lock Bond, Mpazi, Kimisagara, Kigali

A.1 Qualité et contrôle généraux de la construction

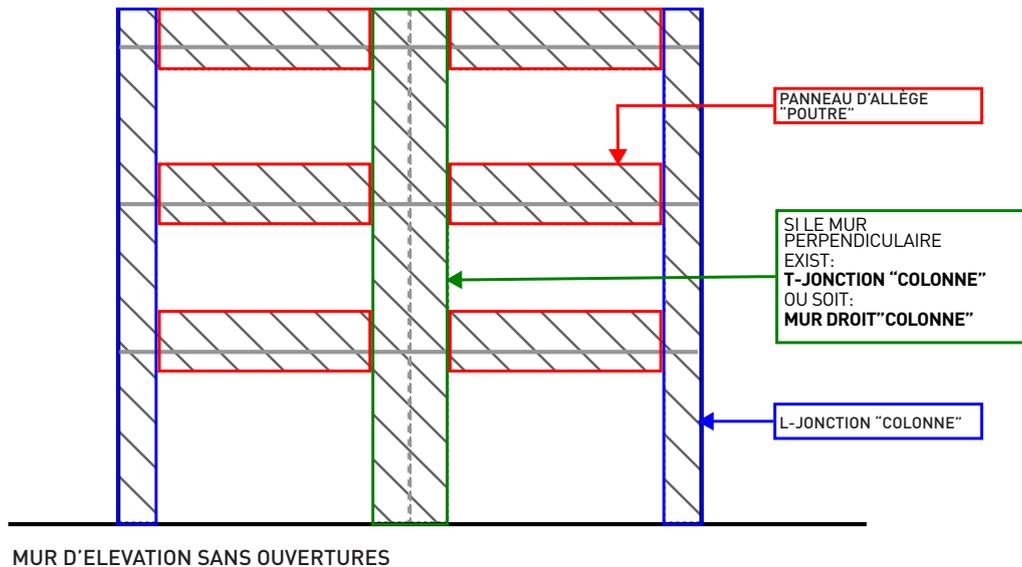
Les méthodes de conception et les conseils inclus ici supposent que l'exécution du processus de construction est réalisée conformément à l'EN 1996 Partie 2: Considérations de conception, sélection des matériaux et exécution de la maçonnerie, y compris la supervision et l'inspection appropriées.

Les principales exigences sont les suivantes :

- La construction des murs en maçonnerie est réalisée par des maçons qualifiés qui ont suivi une formation suffisante pour obtenir une régularité et des résultats constants.
- Un ingénieur dûment qualifié et indépendant de l'entrepreneur (c'est-à-dire l'ingénieur concepteur) doit superviser et inspecter régulièrement la construction, en veillant à ce qu'elle soit conforme aux hypothèses et aux détails de la conception.
- Les briques sont saturées d'eau avant la pose afin de minimiser l'absorption d'eau par le mélange de mortier.
- Les joints de mortier doivent avoir une largeur constante de 10 mm. Le mortier ne doit pas être utilisé au-delà de sa durée de vie utile.
- La déviation de la verticalité ne doit pas excéder 20 mm dans chaque direction pour chaque étage, et pas plus de 50 mm sur toute la hauteur du bâtiment.
- La rectitude des murs ne doit pas s'écarter de plus de 10 mm par mètre de longueur, ni de plus de 50 mm sur une longueur de 10 mètres.
- Des essais de compression sur cube sont effectués sur des échantillons de mortier au début de la construction pour s'assurer que le mélange sélectionné répond aux exigences de conception. Des essais réguliers de résistance à la compression sont effectués sur des échantillons de mortier du chantier pour vérifier que les résistances requises sont atteintes.
- Des essais de compression de cubes doivent être effectués sur des échantillons de béton au début de la construction pour s'assurer que le mélange sélectionné répond aux exigences de conception. Chaque fois que du béton est coulé sur le chantier, au moins six cubes doivent être produits et écrasés pour confirmer la cohérence du mélange tout au long de la construction.

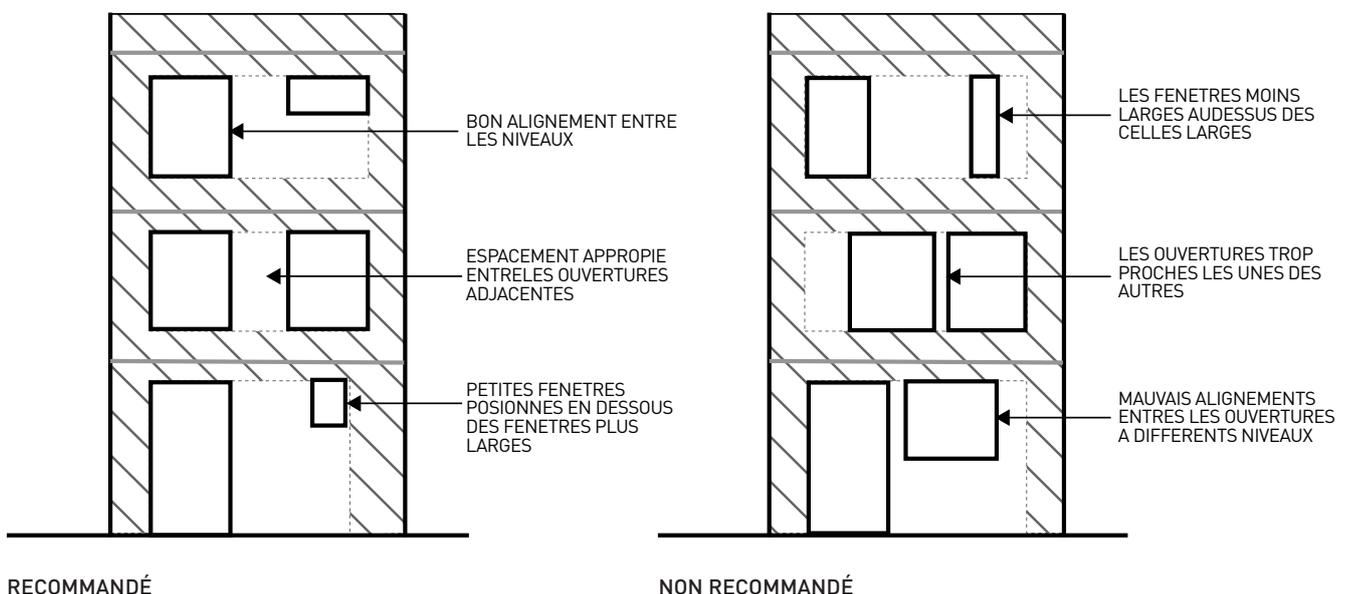
A.2 Règles générales concernant le positionnement des ouvertures dans les murs

L'outil de conception suppose que les jonctions de murs les plus fortement renforcées utilisées dans la technologie Rowlock Bond, c'est-à-dire la jonction en T, la jonction en L et les "colonnes" de murs droits, sont continus sur toute la hauteur du bâtiment et ne sont pas compromises par des ouvertures de fenêtres, de portes ou de services. Il suppose également que la hauteur standard de 1,1 m des panneaux d'allège est maintenue tout autour du bâtiment, à chaque niveau.



En dehors de ces éléments de jonction et d'allège, l'emplacement des ouvertures est en fait laissé à l'appréciation du concepteur. Toutefois, certaines règles de bonne pratique sont recommandées :

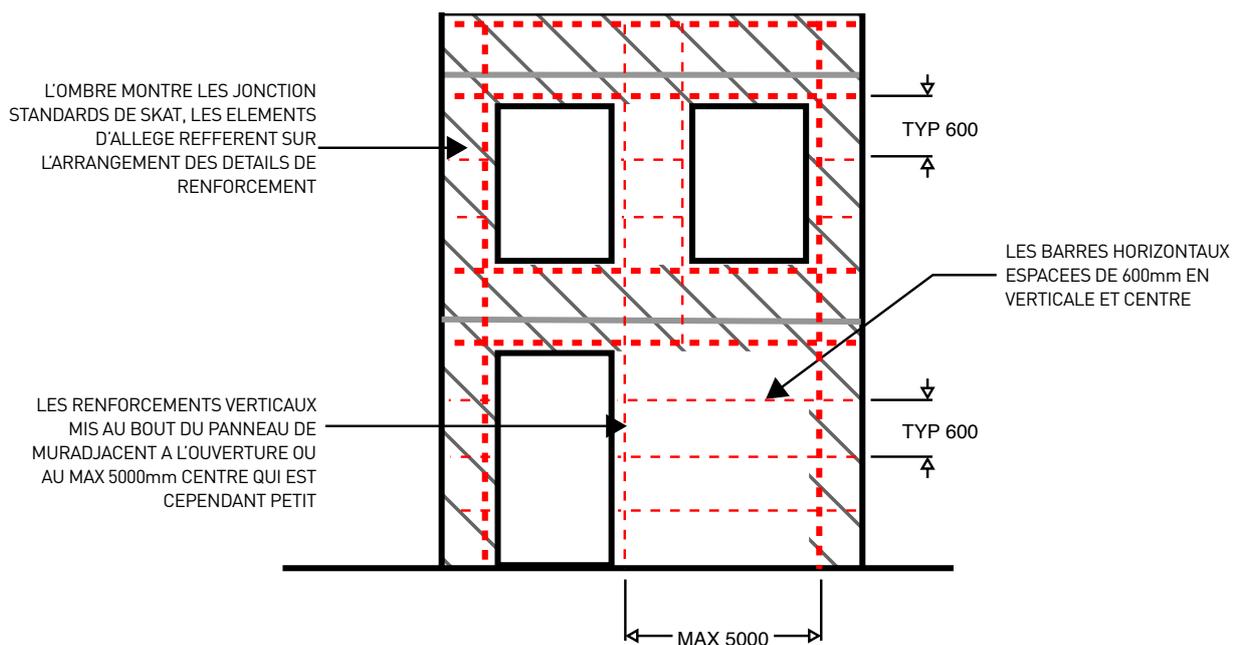
- Les ouvertures à chaque niveau du bâtiment doivent généralement être alignées de manière à minimiser le besoin de transfert de charges verticales via des éléments de panneaux d'allège. Les chemins de charge verticaux doivent être privilégiés dans la mesure du possible.



- L'espacement entre les ouvertures doit être suffisant pour éviter que le mur ne devienne sensible au flambement axial lorsqu'il supporte des charges verticales par le haut.
- Dans l'idéal, les petites ouvertures doivent être placées en dessous des ouvertures plus larges afin d'assurer le meilleur passage des charges verticales.

A.3 Exigences minimales en matière d'armature

- Les armatures horizontales doivent être placées dans les joints de lit ou dans des rainures appropriées dans les unités, avec un espacement vertical ne dépassant pas 600 mm.
- Le pourcentage minimum d'armatures horizontales dans le mur, normalisé par rapport à la surface brute de la section, ne doit pas être inférieur à 0,05 %.
- La répartition des armatures verticales dans la paroi, en pourcentage de la surface brute de la section horizontale de la paroi, ne doit pas être inférieure à 0,08 %.
- Il convient d'utiliser des barres d'acier d'armature d'un diamètre d'au moins 4 mm, pliées autour des barres verticales sur les bords du mur.
- Les armatures verticales doivent être placées dans des poches, des cavités ou des trous dans les éléments. - Des renforts verticaux d'une surface de section transversale d'au moins 200 mm² doivent être disposés.
 - sur les deux bords libres de chaque élément de mur.
 - à chaque intersection de mur.
 - à l'intérieur du mur, sans dépasser un espacement de 5 m entre ces renforts.



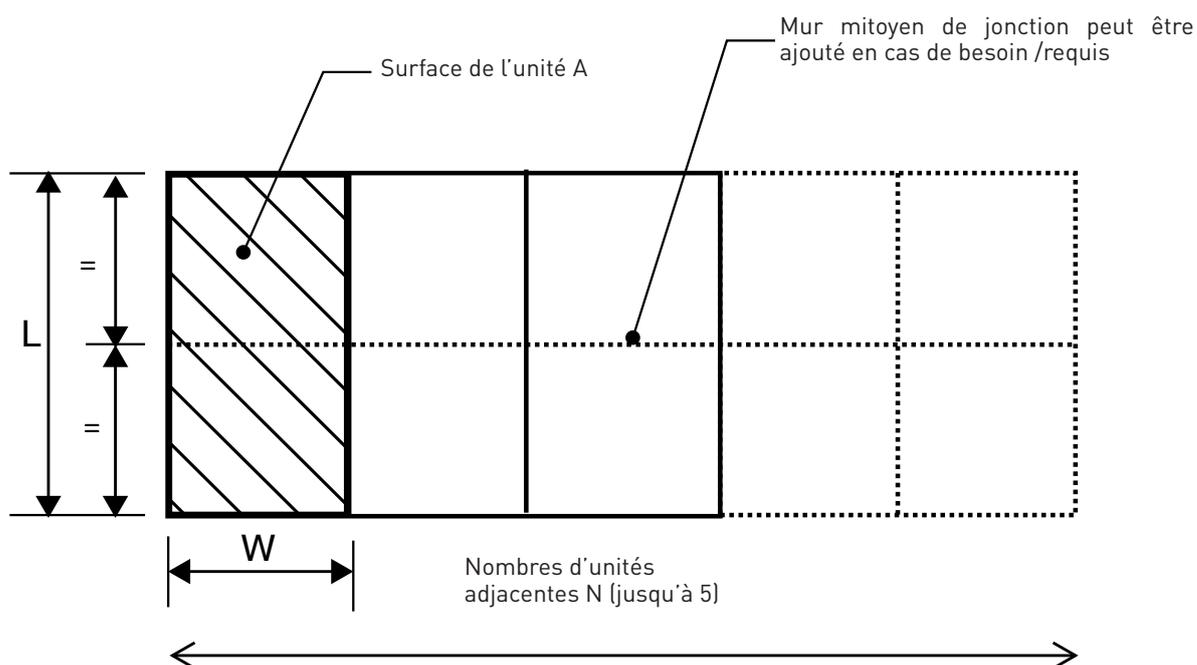
RECOMMANDÉ

A.4 Autres limitations de l'outil de conception

Les outils de conception fournis ont été développés pour faciliter la conception de bâtiments relativement simples avec un agencement basé sur ce que l'on peut attendre d'un logement abordable en terrasses.

Afin de réduire la complexité, l'outil de conception a été développé avec les limitations suivantes :

- Il ne conçoit que des structures utilisant le système Rowlock Bond.
- Conçoit des structures jusqu'à trois étages (R+2).
- Conçoit des bâtiments dont le plan est rectangulaire et qui ne présentent pas d'angles rentrants (voir section 3.3.1).
- Basé sur la conception d'une "unité" qui a des murs structurels sur quatre côtés avec des structures de plancher et de toit qui s'étendent dans la direction la plus courte.
- Un mur mitoyen de jonction supplémentaire peut être fourni en option. Ce mur est situé à mi-chemin entre les murs avant et arrière. - Une rangée de cinq unités identiques peut être considérée comme une seule structure.

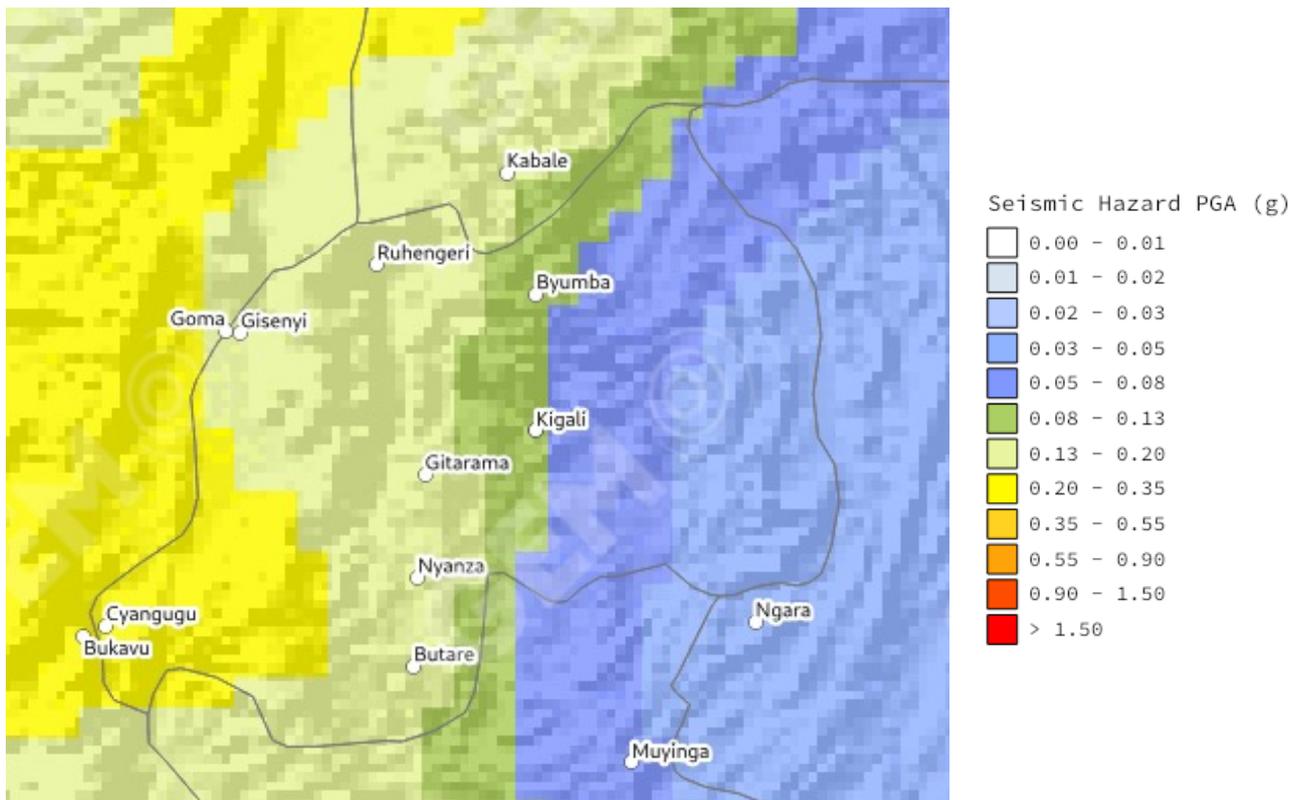


- Il est possible de choisir une épaisseur de mur de 210 mm ou de 275 mm, en s'alignant sur les deux modèles d'assises Rowlock Bond. Se référer à la section Construction du guide.

REMARQUE: lors de l'utilisation de murs de 210 mm d'épaisseur, bien que la structure puisse être justifiée numériquement, l'épaisseur minimale recommandée pour les murs en maçonnerie armée dans l'EC8 est de 240 mm et, par conséquent, la conception RLB n'est pas strictement conforme.

- Les dispositions typiques d'armature Rowlock Bond sont appliquées autour des jonctions et dans les panneaux d'allège, voir la section Construction du guide.

Cela ne signifie pas que l'adhérence Rowlock est inadaptée à des conditions en dehors de ces contraintes, mais seulement que si la disposition du bâtiment n'est pas conforme, l'ingénieur concepteur doit recourir à ses propres méthodes d'analyse pour déterminer les forces agissant sur la structure. A partir de là, les hypothèses, les méthodes et les conseils fournis dans la section 4 et l'exemple de calcul peuvent être suivis pour évaluer la capacité des éléments structurels individuels..structural elements.



Carte sismique du Rwanda

A. Approche de conception sismique pour l'analyse globale

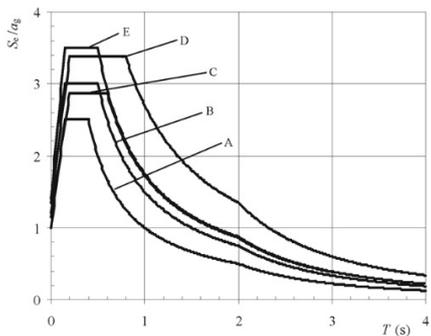
A.1 Sismicité du Rwanda

Le Rwanda, en raison de sa proximité avec le système du rift est-africain, est largement considéré comme une zone d'activité sismique modérée. Ceci est démontré dans diverses informations et articles publiés ainsi que les modèles internationaux de données libres réputés tels que le Global Earthquake Model (GEM) - voir l'extrait ci-dessus de la carte des risques sismiques mondiaux du GEM qui affiche les accélérations maximales du sol (pga) avec une probabilité de 10 % d'être dépassées sur une période de 50 ans, calculées pour des conditions de sol de référence cohérentes. Ces valeurs pga sont calculées à l'aide de modèles probabilistes d'aléas sismiques nationaux et régionaux développés par diverses institutions et projets, ainsi que par les scientifiques de la Fondation GEM. Ces modèles sont élaborés à partir d'une analyse statistique des emplacements et des magnitudes des tremblements de terre antérieurs dans la région, combinée à la connaissance de la manière dont les mouvements du sol diminuent avec la distance par rapport au tremblement de terre.

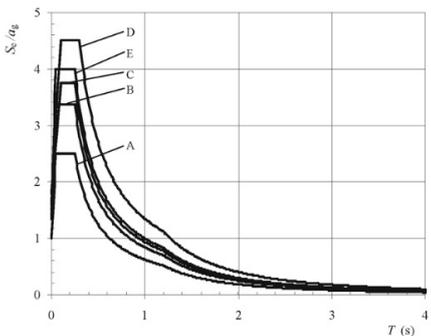
A.2 Etablissement de la conception de l'accélération du sol

Selon l'Eurocode 8, l'accélération du sol de conception, S_d , est basée sur un certain nombre de facteurs associés à la fois aux conditions du site et à la typologie du bâtiment.

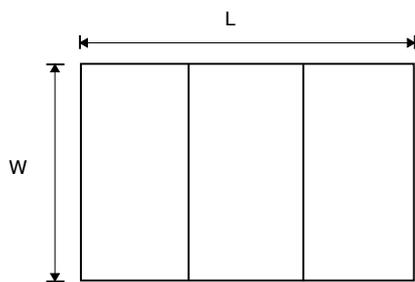
- Une forme de spectre de réponse doit être sélectionnée. L'Eurocode 8 propose deux profils de spectre de réponse standard - le type 1 est attribué aux régions les plus actives sur le plan sismique, en particulier plus de 5,5 sur l'échelle de Richter. Lorsque ce n'est pas le cas, le spectre de réponse de type 2 peut être utilisé. En raison de la diversité de



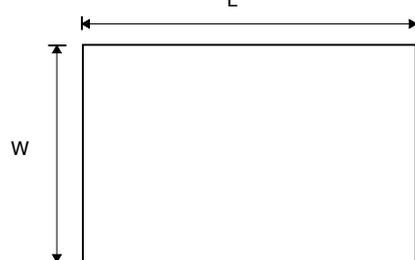
Spectres de réponse élastique de type 1



Spectres de réponse élastique de type 2



Emprise du bâtiment - forme rectangulaire



Rapport longueur-largeur $\frac{L}{w} < 4$

la sismicité dans le pays, il n'est pas évident de savoir quel type de spectre s'applique le mieux au RDC, et il revient donc à l'ingénieur de choisir celui qu'il utilisera pour la conception. En raison de la nature de faible hauteur des bâtiments couverts par l'outil de conception, il est supposé que la période fondamentale du bâtiment tombera toujours sur le plateau des spectres, de sorte qu'un multiplicateur de 2,5 pour le pga a été adopté comme valeur par défaut.

- Les conditions du sol trouvées sur le site doivent être classées en fonction des types de sol énumérés dans le tableau 3.1 de l'EC8. Ce classement, combiné au type de spectre de réponse sélectionné, correspond à un facteur de sol qui est utilisé comme multiplicateur du pga. La catégorisation des conditions de sol spécifiques au site est laissée à l'appréciation de l'ingénieur.
- Un facteur d'importance doit être sélectionné. L'Eurocode définit la classe d'importance en fonction de l'utilisation du bâtiment, les bâtiments résidentiels relevant de la classe d'importance 2 conformément à l'EC8, tableau 4.3. Ce qui donne un facteur d'importance de 1,0 qui est appliqué comme multiplicateur au pga.
- La ductilité du matériau de construction principal du système de stabilité latérale est prise en compte en attribuant un facteur de ductilité à la structure. Pour les structures en maçonnerie renforcée, un facteur de ductilité de 2,0 peut être adopté sur la base du tableau 9.1 de l'EC8.

A.3 Méthode de la force statique équivalente (FSE)

La méthode de la force statique équivalente (FSE) est une technique d'analyse simplifiée qui permet de remplacer l'effet de la charge dynamique d'un tremblement de terre prévu par une force statique distribuée latéralement sur une structure à des fins de conception.

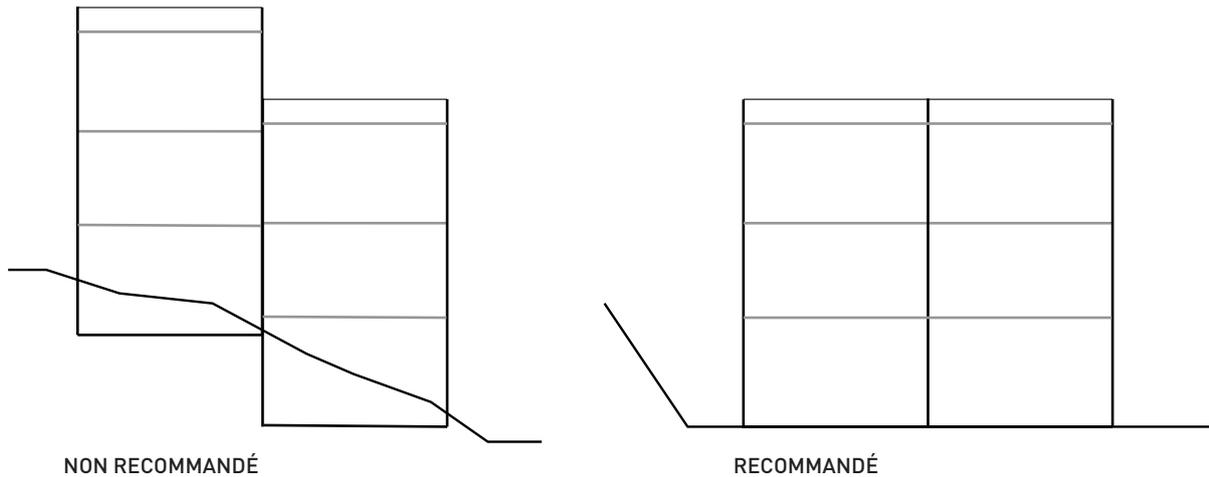
Cependant, les forces calculées par la méthode de la force statique équivalente ont tendance à être prudentes et, par conséquent, si une structure ne semble pas fonctionner correctement grâce à l'utilisation de ces outils de conception, cela ne signifie pas nécessairement que la structure ne peut pas être démontrée pour fonctionner à travers d'autres outils. méthodes de conception.

A.3.1 Régularité en plan et en élévation

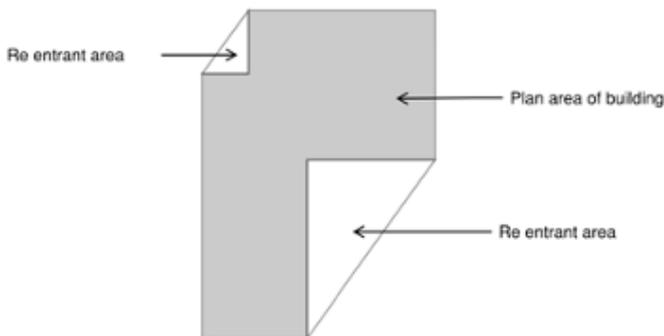
La méthode FSE suppose que le bâtiment est "régulier" en plan et en élévation. La régularité d'un bâtiment est définie par un certain nombre de paramètres, mais elle correspond généralement à un bâtiment aussi proche que possible de la symétrie en termes de répartition de la masse et de la rigidité dans chaque direction orthogonale.

Les principaux indicateurs sont les suivants

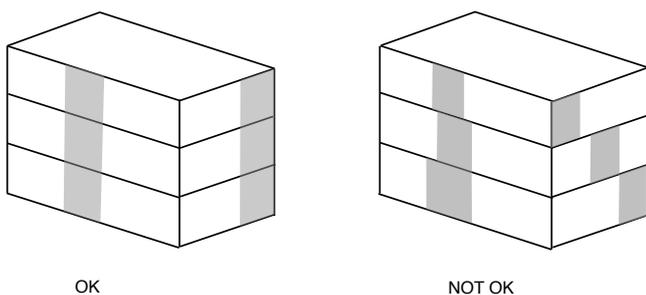
- L'empreinte du bâtiment doit être de forme rectangulaire.



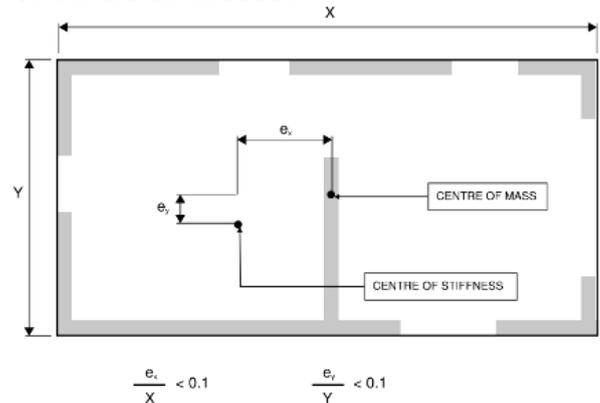
- Le rapport entre la longueur et la largeur du plan doit être inférieur à 4.



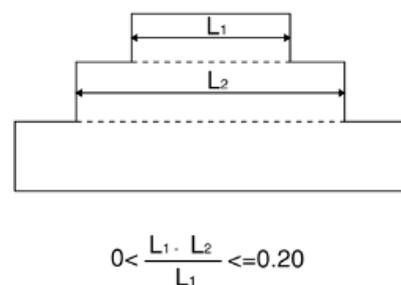
- Les éléments de stabilité latérale doivent être continus à travers le bâtiment

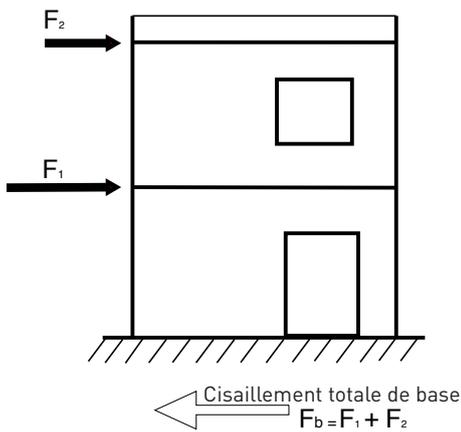


- Les éléments de stabilité latérale doivent être répartis de manière à ce que le centre de rigidité s'aligne approximativement avec le centre de masse.



- En élévation, il ne doit pas y avoir de recul significatif à chaque étage.

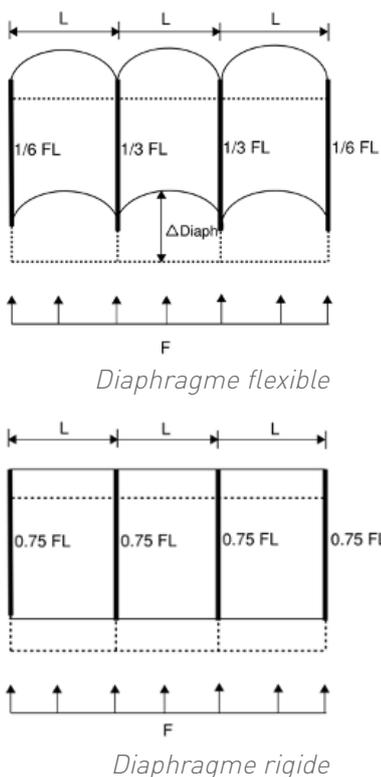
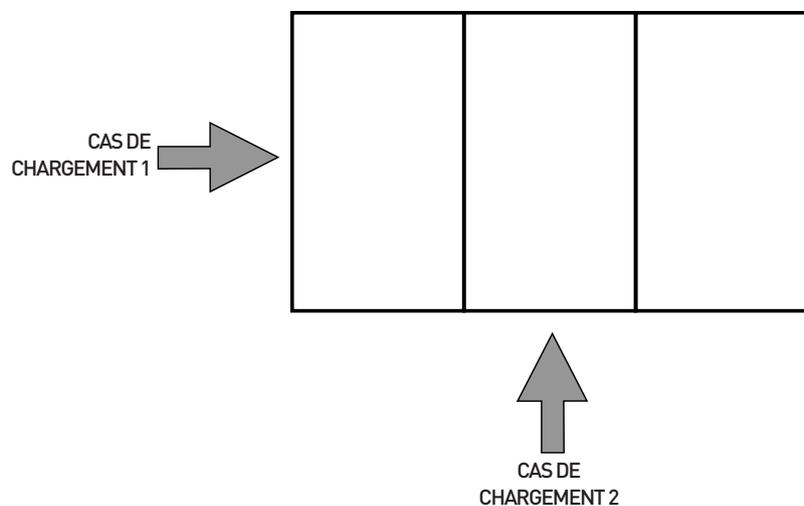




A.3.2 Cisaillement total à la base et répartition des forces

Lors de l'application de la méthode FSE, le cisaillement total à la base est calculé en multipliant la masse du bâtiment par l'accélération sismique de conception. Cette force est ensuite répartie sur la hauteur du bâtiment en supposant que le bâtiment réagit à l'accélération sismique. En partant de l'hypothèse que le bâtiment réagit au séisme dans son mode latéral fondamental, Cette hypothèse repose sur le fait que le bâtiment est relativement bas et régulier en plan et en élévation. La distribution des forces à chaque niveau du bâtiment est fonction de la masse totale agissant à ce niveau, de la hauteur de ce niveau au-dessus du sol et de sa proportion par rapport à l'ensemble du bâtiment.

La structure est évaluée dans deux directions horizontales orthogonales parallèles aux axes principaux du bâtiment, et les éléments de stabilité latérale conçus pour résister aux forces dans chacune de ces directions individuellement mais pas simultanément.

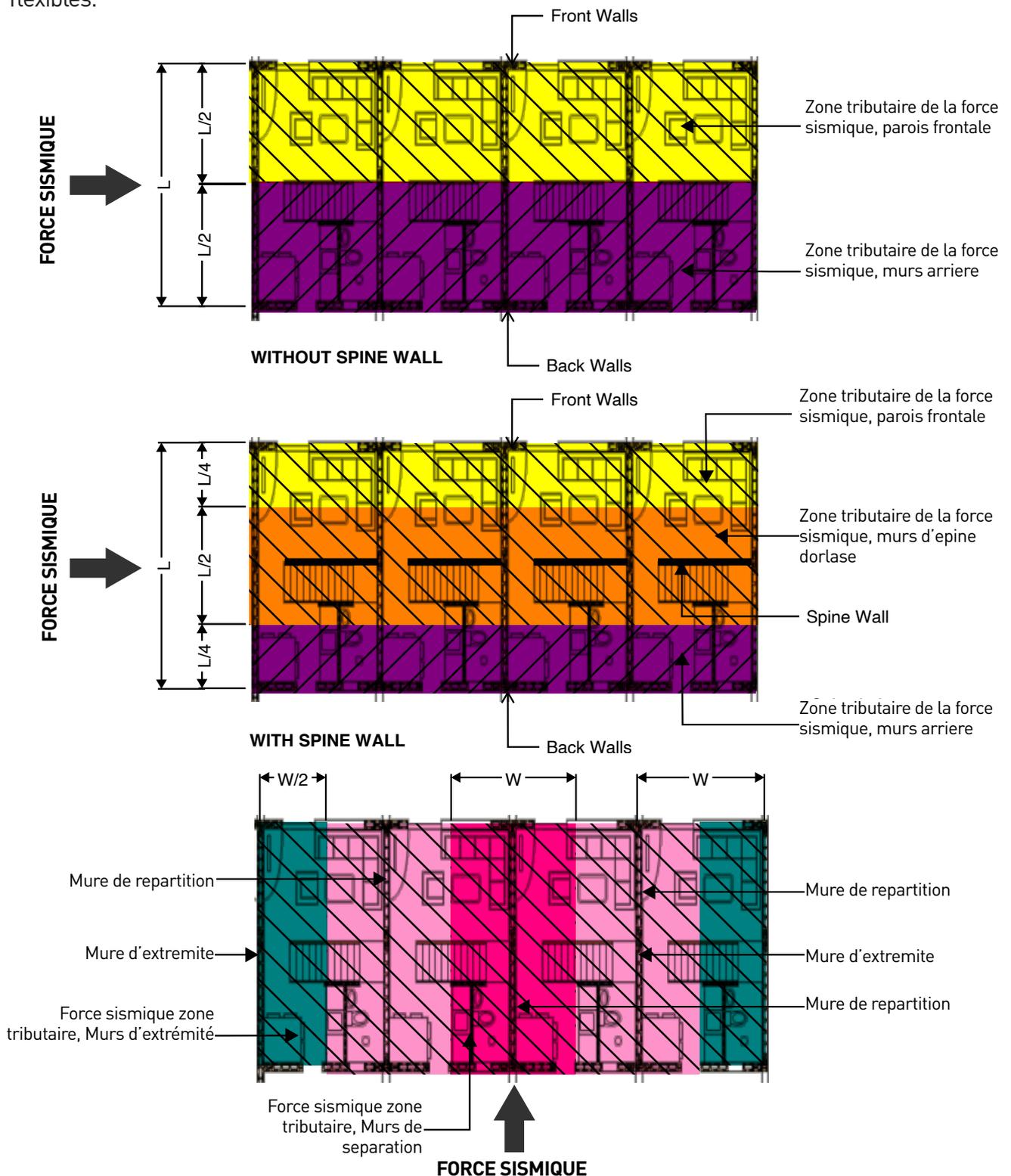


L'outil de conception suppose qu'un diaphragme flexible est prévu à chaque niveau de plancher. Les systèmes typiques de construction de planchers et de toits abordés plus haut dans ce guide de conception sont considérés comme correspondant aux caractéristiques générales des diaphragmes flexibles.

- Pour les planchers en bois, il est important qu'un système de revêtement soit appliqué aux principaux éléments de portée, soit sous forme de contreplaqué ou d'une autre feuille d'ingénierie, soit par la mise en place de planches de bois diagonales.
- Pour le système à hourdis, l'épaisseur de béton au-dessus des pots d'argile est inférieure à 70 mm, ce qui, selon l'EC8, est l'exigence minimale pour obtenir un diaphragme rigide ; on suppose donc que ce système de plancher fonctionne comme un diaphragme flexible.

Il convient de noter que la quantification des forces du diaphragme ou de sa capacité n'est pas incluse dans cet outil de conception et que la compétence doit être abordée séparément par l'ingénieur.

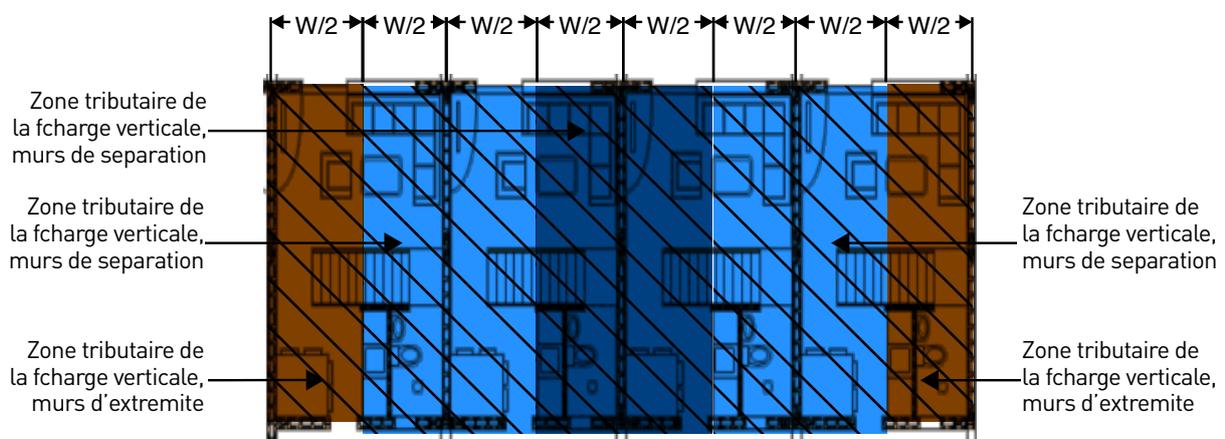
Un diaphragme flexible peut être considéré comme une poutre simplement supportée qui s'étend latéralement entre deux éléments de stabilité. Les charges sont réparties en fonction de la largeur des affluents, la moitié de chaque "travée" allant à un support et l'autre moitié à un autre. Cela diffère d'un diaphragme rigide qui distribue les forces aux éléments de stabilité en fonction de leur rigidité. Les diagrammes ci-dessous montrent les zones tributaires supposées pour la distribution des forces sismiques dans les murs pour les planchers et les toits dans chacune des deux directions sismiques, en se basant sur l'hypothèse que les planchers et les toits se comportent comme des diaphragmes flexibles.



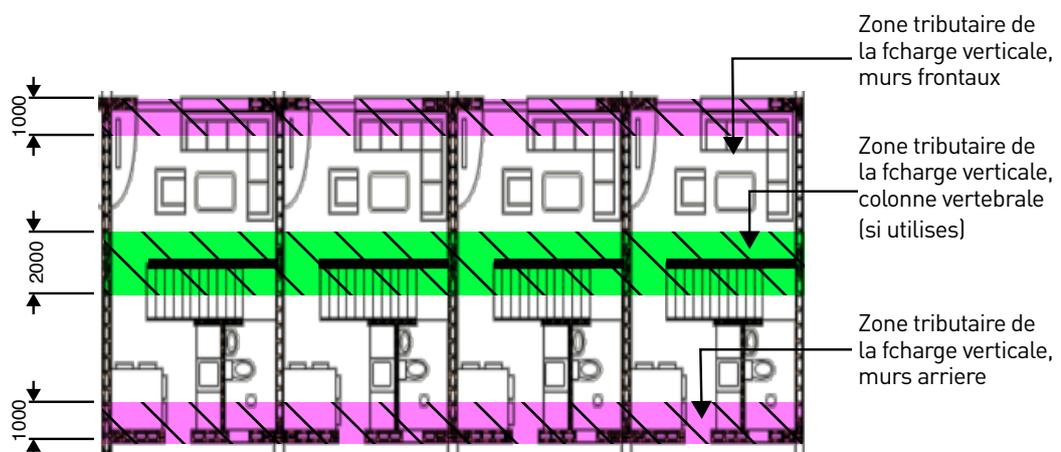
B. CHARGES VERTICALES

Les charges verticales sont généralement bénéfiques aux structures de maçonnerie qui résistent aux forces latérales. Les charges verticales comprennent le poids propre du mur lui-même, ainsi que la charge de toutes les structures horizontales qui s'appuient sur le mur.

Les structures de plancher et de toit sont supposées s'étendre entre les murs longitudinaux de chaque unité. Par conséquent, lorsque l'on considère les forces sismiques agissant dans la direction longitudinale, les charges verticales agissant sur les murs d'extrémité et les murs de séparation sont basées sur la moitié de la portée des charges de plancher et de toit de part et d'autre du mur.



Étant donné que les planchers et les toits doivent également être liés aux murs transversaux du bâtiment, on suppose qu'une largeur nominale de 1 m de plancher ou de toit de part et d'autre d'un mur transversal contribue à la charge verticale totale dans le mur, en plus du poids propre du mur.



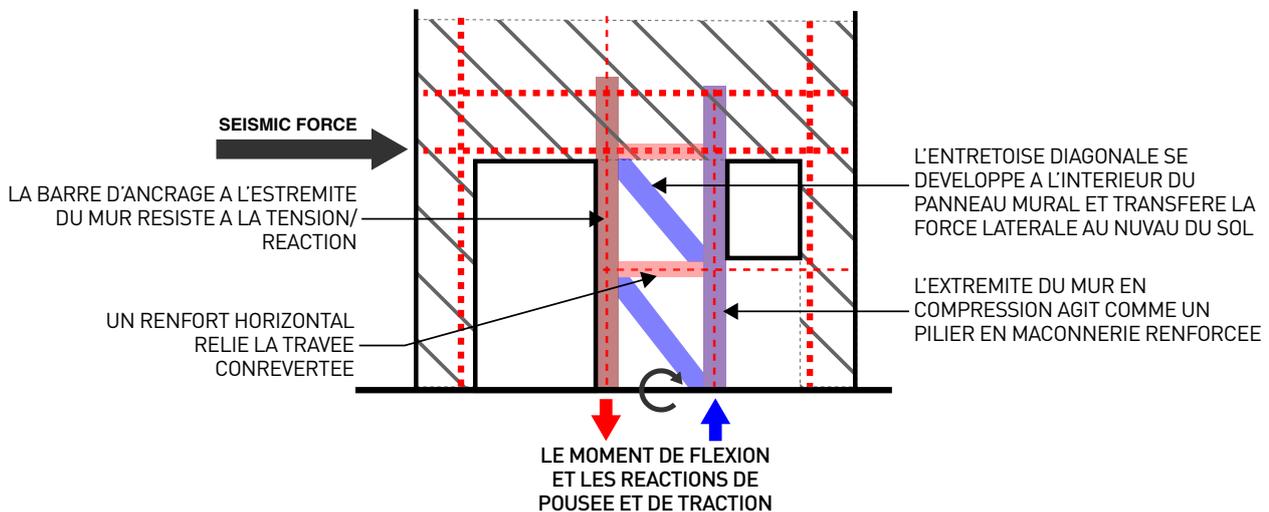
C. SYSTÈME DE STRUCTURE SUPPOSE

C.1 Murs de referend avec barres d'ancrage

C.1.1 Vue d'ensemble

Approche de la conception - système de baies contreventées.

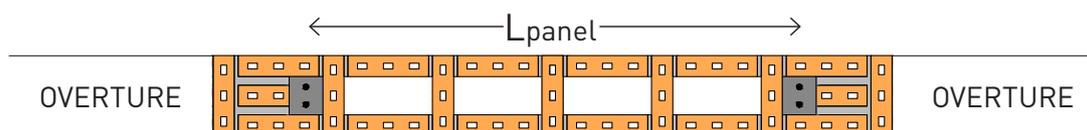
Les murs de cisaillement typiques en maçonnerie non renforcée résistent aux forces et aux moments horizontaux grâce à la combinaison de la résistance au cisaillement de la maçonnerie et de l'action de la gravité. Cependant, étant donné les exigences de renforcement sur tous les côtés d'un panneau mural en maçonnerie lors de l'utilisation du système SKAT RLB, le panneau peut être théorisé pour fonctionner comme une "baie contreventée" où un étai de compression se forme dans la maçonnerie le long de la diagonale du panneau mural entouré de renforts. Le renforcement vertical forme à la fois une "barre d'ancrage" dans l'extrémité du mur qui résiste à la tension et un pilier de maçonnerie renforcé qui résiste à la compression dans l'autre extrémité. L'armature horizontale résout la poussée de l'étai de compression à chaque niveau et relie la travée.



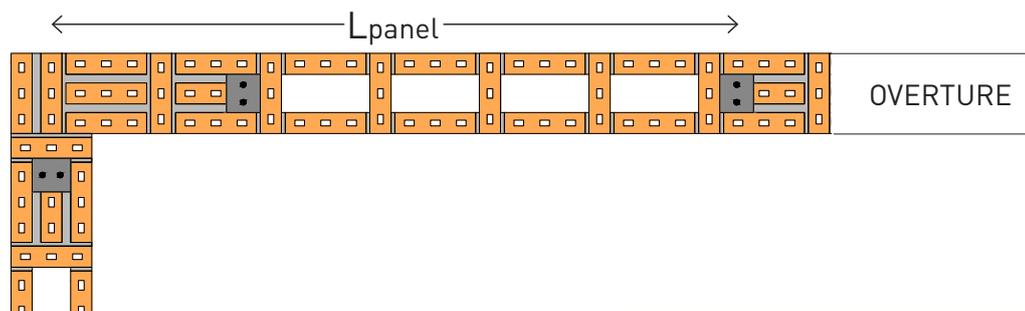
C.1.2 Configuration minimale requise

- Longueurs minimales des murs de cisaillement/murs porteurs

La largeur effective de l'entretoise est fonction de la longueur diagonale du panneau. La réduction de la longueur de la paroi accentue les angles de la jambe de force, mais diminue également la longueur de la jambe de force et, par conséquent, la surface effective. Par conséquent, la réduction de la longueur de la paroi peut augmenter de manière significative les contraintes subies par l'élément de la jambe de force.

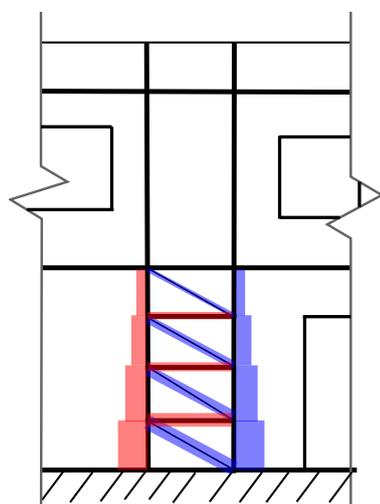


Lorsqu'un mur de cisaillement est situé entre deux ouvertures, la longueur du mur de cisaillement doit être considérée comme étant la distance entre les barres verticales adjacentes à chacune des ouvertures. Lorsqu'un mur porteur est situé à côté d'une "colonne" ou d'un élément de jonction, la longueur du mur de ce dernier peut être supposée s'étendre jusqu'à la ligne la plus éloignée de l'armature verticale à l'intérieur de cet élément.



La longueur minimale de mur requise pour qu'une jambe de force fonctionne comme un mur porteur pour différentes hauteurs de bâtiment a été établie et se trouve dans le tableau ci-dessous.

N. de Niveau	$L_{\text{panel,min}}$ (mm)
1(G+0)	1000
2(G+1)	1600
3(G+2)	2200



Augmentation de la force axiale en fonction de l'espacement des barres horizontales

– Espacement des barres horizontales

Le transfert des forces horizontales entre les ancrages verticaux est assuré par des barres d'armature horizontales. La réduction de l'espacement vertical des barres d'armature horizontales affecte l'angle de l'entretoise, ce qui réduit la contrainte dans l'entretoise de compression. La feuille de calcul fournie suppose de manière conservatrice qu'une seule barre d'armature horizontale est fournie à mi-hauteur du mur de cisaillement, mais les exigences minimales en matière de renforcement indiquent que les armatures horizontales doivent être espacées de 600 mm verticalement. L'ingénieur concepteur peut en tenir compte lorsque la performance du mur ne peut être démontrée à l'aide de la feuille de calcul, de sorte que la partie la plus basse du mur subisse les forces les plus élevées, ce qui peut s'avérer plus facile à prendre en compte grâce à des détails d'armature soignés.

C.1.3 Suggestions si la conception ne peut être ratifiée

Si les forces appliquées dépassent la capacité des éléments structurels fournis, il existe un certain nombre de moyens d'améliorer la situation:

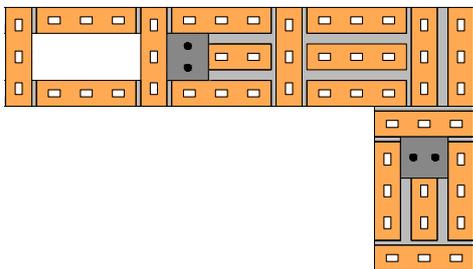
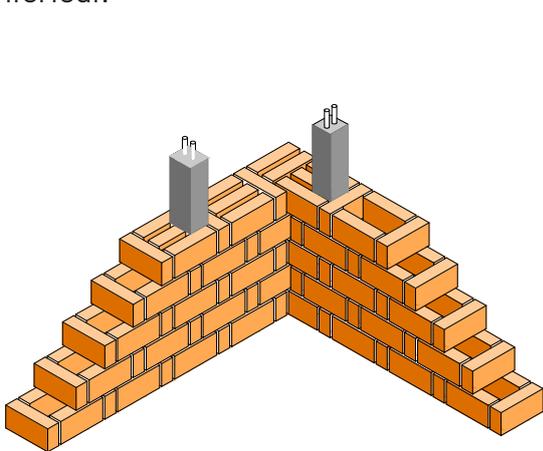
- Augmenter la longueur des panneaux de mur
- Lors de la conception des murs longitudinaux (murs d'extrémité et murs de refend), il convient d'examiner s'il existe un panneau de mur supplémentaire sur la même ligne de mur qui pourrait également fonctionner comme un mur porteur et donc partager la charge sismique. Des calculs manuels peuvent être nécessaires pour déterminer la répartition de la charge.
- Augmenter l'épaisseur du mur
- Envisager le renforcement horizontal supplémentaire à 600 mm d'axe en axe, comme l'exige le code, afin de diviser la travée contreventée en un plus grand nombre de panneaux verticaux que les deux supposés. Fournir des armatures verticales supplémentaires à la base, là où la force axiale est la plus élevée.

C.2 Système de diagramme de moment

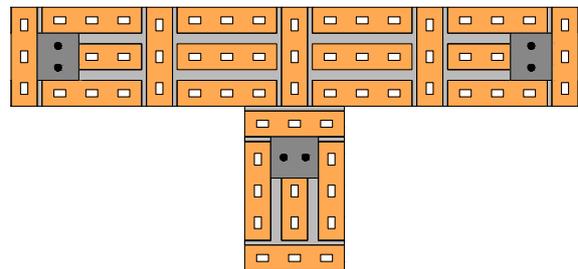
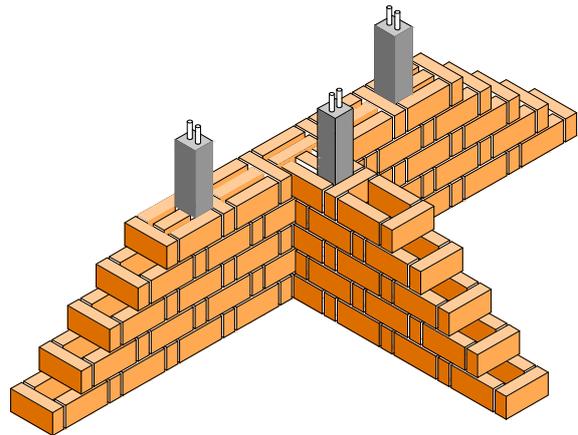
C.2.1 Aperçu

Lorsque de grandes ouvertures existent dans un mur au niveau du rez-de-chaussée, le mur est théorisé pour fonctionner comme un système de cadre de moment où les jonctions de mur plus lourdement renforcées fonctionnent comme des colonnes, et le panneau d'allège renforcé agit comme une poutre de connexion. Lorsqu'un certain nombre d'unités sont alignées sans joints sismiques, on peut considérer que toutes les unités agissent comme une structure unique.

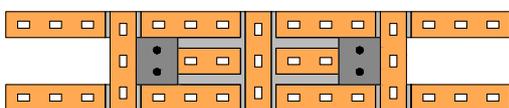
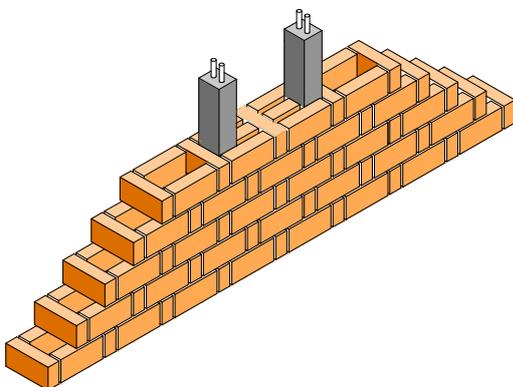
Il existe trois types d'éléments de colonne - jonction en "L", jonction en "T" et rectangulaire - en plus du panneau d'allège qui s'étend horizontalement entre les ouvertures au niveau supérieur et inférieur.



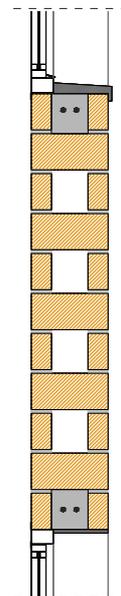
Jonction en L



Jonction en T



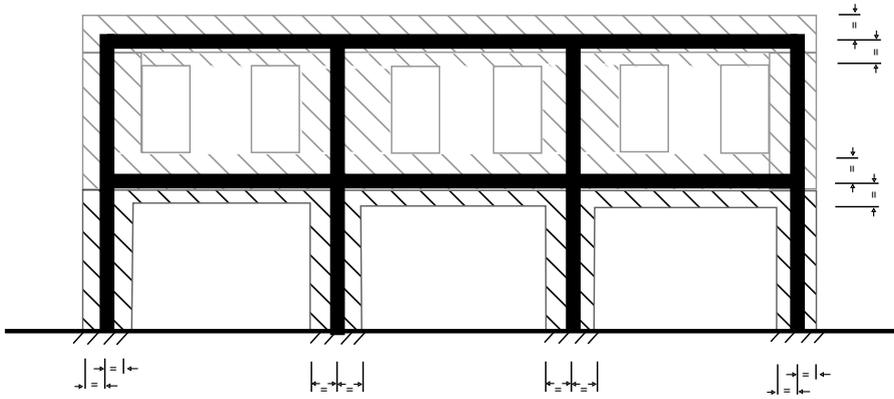
Section rectangulaire



Panneau d'allège, section

C.2.2 Analyse structurelle à l'aide d'un logiciel

Afin d'établir les forces de calcul agissant dans chaque élément, le cadre de moment doit être modélisé comme un cadre 2D dans un logiciel d'analyse structurelle approprié, tel que Autodesk Robot, Tekla TEDDS ou Oasys GSA (d'autres logiciels peuvent également être utilisés). La géométrie du cadre doit correspondre à celle de l'élévation du bâtiment analysé, les axes des éléments étant modélisés comme indiqué ci-dessous.

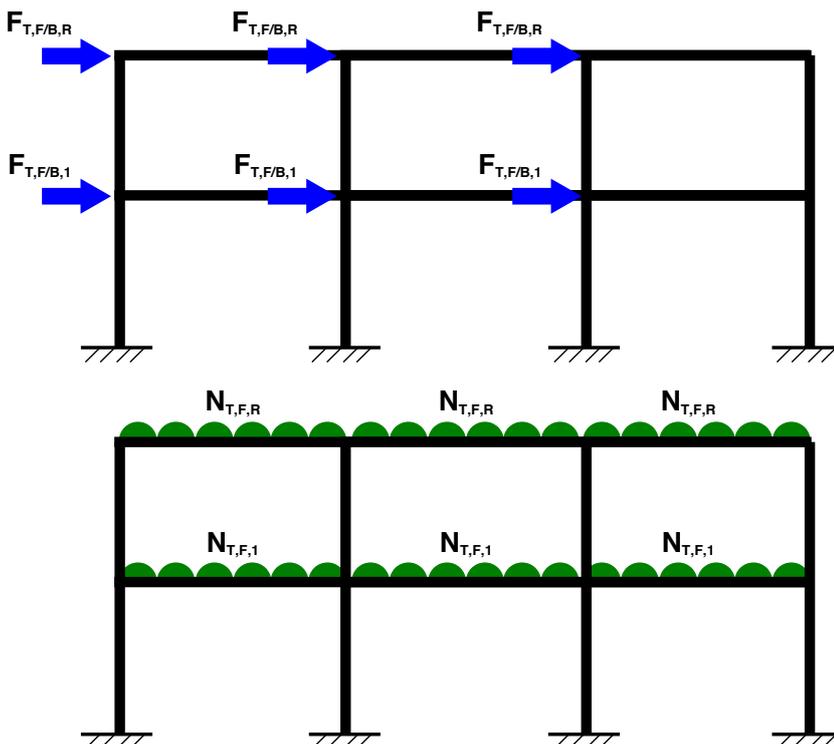


Lignes médianes supposées pour la géométrie du modèle
 Les propriétés des matériaux suivantes sont recommandées à des fins d'analyse, mais l'ingénieur d'études peut choisir d'utiliser d'autres valeurs.

Module d'élasticité de la brique	$E = 1000 f_k = 5000 \text{ MPa}$
Coefficient de poisson	$\alpha = 0.3$
Module de cisaillement	$G = 2000 \text{ MPa}$
Densité	$\rho = 20 \text{ kN/m}^3$

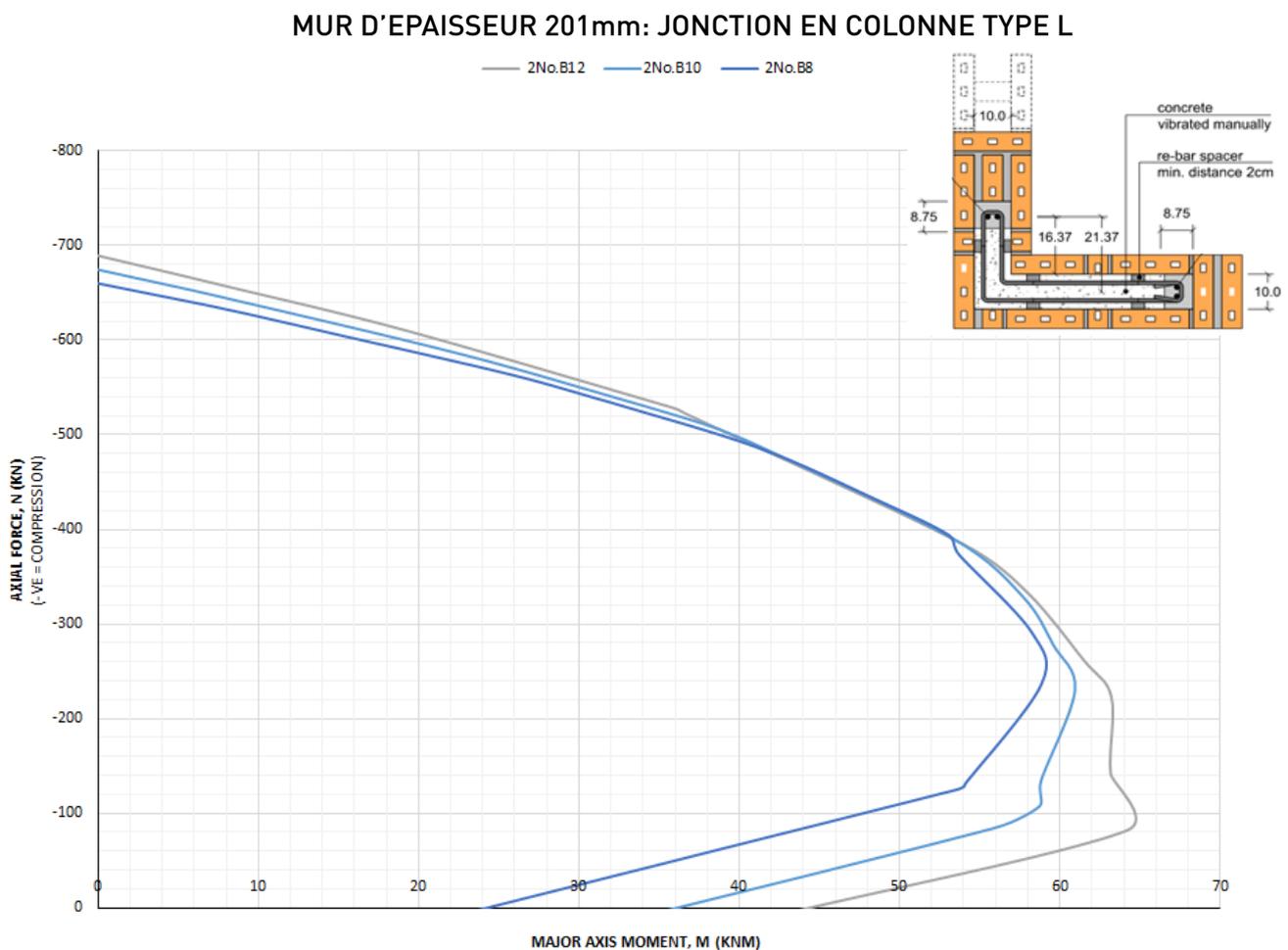
En utilisant les résultats de la feuille de calcul de l'analyse globale, les forces sismiques horizontales doivent être appliquées au modèle sous forme de charges ponctuelles à chaque étage ou niveau de toit. Les forces doivent être réparties entre les unités si plusieurs unités sont analysées ensemble.

En utilisant les résultats du tableur d'analyse globale, les charges verticales doivent être appliquées aux éléments de la poutre horizontale dans le modèle en tant que charges uniformément réparties. N'appliquez pas de charges de gravité, car le poids de la maçonnerie a déjà été pris en compte dans le calcul des charges verticales.



C.2.3 Diagrammes d'interaction

Une série de diagrammes M-N a été développée pour chacun des types d'éléments. Les moments de flexion et les forces axiales (compression) combinés sur l'axe principal sont reportés sur les graphiques correspondants afin de s'assurer qu'ils se situent à l'intérieur de l'enveloppe de capacité. Chaque diagramme M-N comprend trois courbes/enveloppes différentes qui ont été calculées sur la base de différentes tailles de barres d'armature - B8, B10, B12 - incluses dans les poches de béton verticales de chaque élément. Ces différentes courbes sont utilisées pour sélectionner les exigences de renforcement pour chaque élément.



C.2.4 Suggestions en cas d'impossibilité de ratifier le dessin ou modèle

Si les forces appliquées dépassent la capacité des éléments structurels fournis, il y a deux façons d'améliorer la situation

Augmenter le diamètre des armatures

Augmenter l'épaisseur des murs

Diminuer la hauteur du bâtiment

Utiliser des planchers en bois à la place des dalles à portée maximale

Introduire dans chaque unité un panneau mural suffisamment long pour faire office de mur de cisaillement.

D. STRUCTURES PLUS COMPLEXES, ANALYSE DÉTAILLÉE ET TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES

Les outils de conception fournis avec ce document ont été élaborés pour faciliter le processus de conception de bâtiments simples, réguliers et de faible hauteur. Cependant, les méthodes de conception incluses dans ce document - murs de cisaillement et ossatures de moment - peuvent être appliquées à des éléments structurels présents dans des structures plus complexes construites à l'aide du système de maçonnerie Rowlock Bond. Dans le cas de structures plus complexes, l'ingénieur concepteur doit envisager la méthode d'analyse appropriée et peut être amené à utiliser des méthodes d'analyse du spectre de réponse à l'aide d'un logiciel d'analyse approprié.

La combinaison du système SKAT RLB avec d'autres matériaux et éléments structurels peut également être une option - par exemple, la combinaison de la maçonnerie avec une structure en béton armé pour obtenir un bâtiment plus haut. Là encore, l'ingénieur concepteur doit prendre en compte les méthodes d'analyse appropriées et la manière dont les deux matériaux structurels interagissent, mais il peut ensuite appliquer des méthodes similaires à celles incluses dans les outils de conception pour spécifier les exigences relatives aux parties en maçonnerie du bâtiment.

04

EXEMPLE CALCULS

ANALYSE GLOBALE - EXEMPLE CONCRET

Cet exemple concret est basé sur la conception du projet de relogement Mapzi avec la technologie Rowlock Bond à Kigali, Rwanda

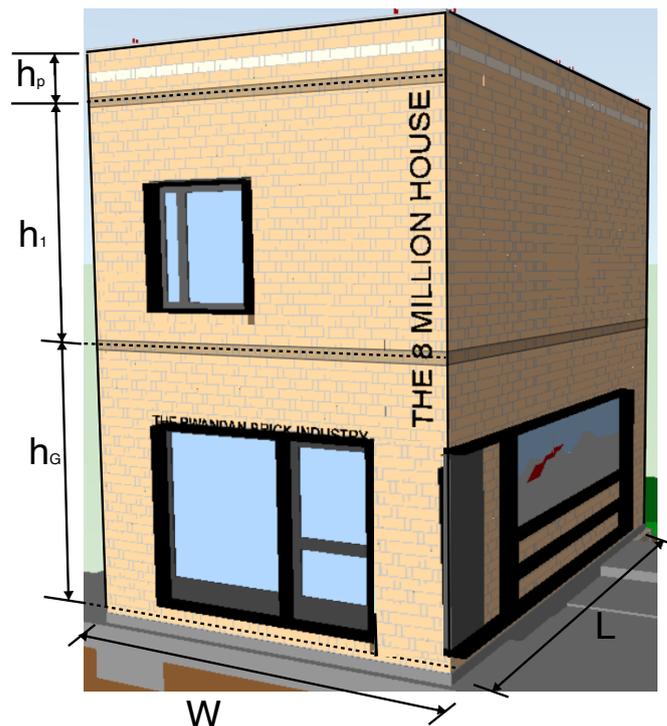
Paramètres de conception sismique

Le Rwanda est considéré comme une région de sismicité modérée compte tenu de son emplacement adjacent au système de rift est-africain. Les paramètres sismiques suivants sont considérés comme appropriés pour le site sur la base du Code de construction du Rwanda, du modèle global de tremblement de terre (GEM) et des exigences et valeurs énoncées dans l'Eurocode 8 (où le spectre de réponse de type 1 est supposé aux fins de cette conception).

RBC / GEM	Accélération maximale au sol (PGA)	$a_g = 1,6 \text{ m/s}^2$
$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	Rapport de PGA à la gravité	$\alpha = a_g / g = 0,16g$
EC8, Table 3.1	Facteur de sol - Supposer un spectre de type 1, type de sol C	$S = 1,15$
EC8, Table 4.3	Facteur d'importance - Supposer une importance de classe II	$\gamma_1 = 1,0$
EC8, Table 4.4	Facteur de ductilité - Maçonnerie renforcée	$q = 2,0$
EC8, Eqn 3.14	Accélération sismique de conception	$S_d = 2,5 \alpha S \gamma_1 / q = 0,234g$

Géométrie du bâtiment

Les unités sont de plan rectangulaire et l'empreinte d'une unité individuelle est de 4,5 m x 6,5 m et il y a quatre unités construites sur une seule terrasse. Des parois structurales RLB de 210 mm d'épaisseur existent sur les 4 côtés de chaque unité, et il n'y a pas de paroi dorsale. Les unités sont de 2 étages et chaque étage a une hauteur différente. Les murs de maçonnerie s'étendent au-dessus du niveau du toit pour former un parapet autour de chaque toit individuel.



	Unité de longueur	$L = 6,5 \text{ m}$
	Largeur unitaire	$W = 4,5 \text{ m}$
	Superficie de l'unité individuelle	$A = 29,3 \text{ m}^2$
	Nombre d'étages	$n = 2$
EC8, équation 4.6	Hauteur du rez-de-chaussée	$h_G = 2,5 \text{ m}$
	Hauteur du premier étage	$h_1 = 2,5 \text{ m}$
	Hauteur du parapet	$h_P = 1,4 \text{ m}$
	Période fondamentale	$T = 0,3 \text{ s}$
	Nombre d'unités adjacentes	$N = 4$

Construction

Le premier étage des unités est constitué de solives en bois et la structure du toit est en fermes en bois. Les deux s'étendent sur toute la largeur de chaque unité. Les murs sont en maçonnerie Rowlock Bond de 210 mm d'épaisseur et il n'y a pas de mur de dos. Les élévations avant et arrière contiennent des fenêtres de différentes tailles aux deux niveaux.

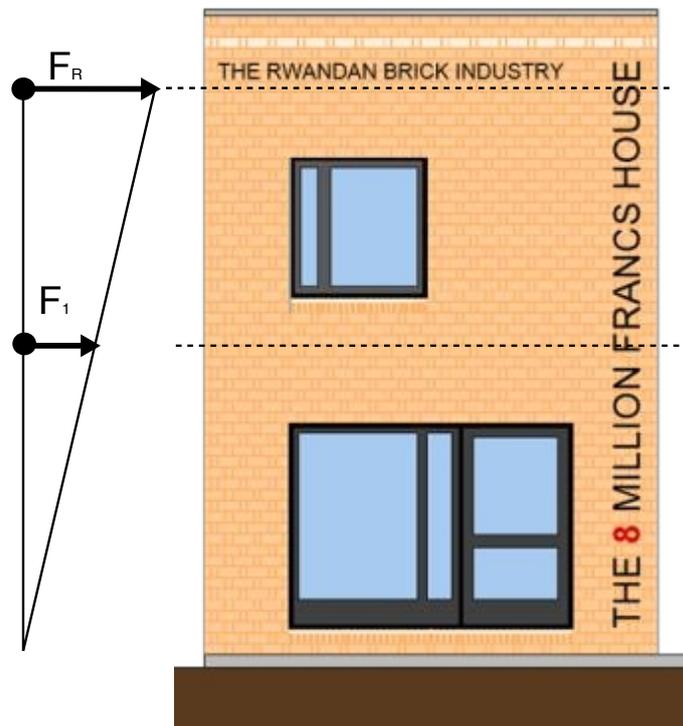
	Epaisseur du mur	$t = 210 \text{ mm}$	
	Élancement au rez-de-chaussée	$\lambda = h_g/t = 11,9$	<15 OK
Poids propre de la structure	Charge permanente des fermes/solives en bois	$DL = 0,40 \text{ kPa}$	
	Plancher Charge permanente superposée (y compris les cloisons)	$SDL_{\text{floor}} = 0,40 \text{ kPa}$	
Tôlerie, prestations, plafond, isolation etc.	Toit, charge permanente superposée	$SDL_{\text{roof}} = 0,20 \text{ kPa}$	Toit LL ignoré dans le scénario sismique
CE1, tableau 6.2	Charge vive au sol	$LL = 1,50 \text{ kPa}$	
Tient compte de la cavité centrale et de la liaison croisée	Poids propre de la maçonnerie	$SW = 2,63 \text{ kPa}$	
Comprend un cadre en acier et un vitrage de 10 mm	Vitrage (charge murale superposée)	$SDL_{\text{wall}} = 0,15 \text{ kPa}$	

Forces sismiques globales

Cette section calcule les charges verticales de chaque élément de construction avant de les convertir en cisaillement des bases sismiques selon la méthode de la force statique équivalente, en multipliant le poids total du bâtiment par l'accélération sismique de conception. De manière conservatrice, les murs sont supposés être entièrement en maçonnerie solide pour ce calcul.

EC1, NATable A1.1	Facteur de contribution sismique DL	$Y_{DL} = 1,0$
	Facteur de contribution sismique LL	$Y_{LL} = 0,3$
	Charge verticale de la maçonnerie par mètre de hauteur de mur (toutes les unités)	$W_M = SW \cdot [(2N \cdot W) + L(N+1)]$ $W_M = 180 \text{ kN/m}$
	Charge verticale du premier étage par unité	$W_1 = A(DL + SDL_{\text{floor}}) = 37 \text{ kN/unité}$
	Charge verticale du toit par unité	$W_R = A(DL + SDL_{\text{toit}}) = 18 \text{ kN/unité}$
EC8, équation 4.5	Cisaillement total de la base	$F_b = S_d [H \cdot W_M + N(W_1 + W_R)] = 333 \text{ kN}$

Les forces sismiques agissant à chaque niveau de plancher/toit sont ensuite calculées à l'aide d'une méthode simplifiée qui convient aux bâtiments de faible hauteur réguliers et rectangulaires.



Élévation avant

Hauteur au-dessus du sol (1F) $z_1 = h_G = 2,5 \text{ m}$
 Hauteur au-dessus du sol (RF) $z_R = h_G + h_1 = 5,0 \text{ m}$

Hauteur tributaire du mur (1F) $h_{trib,1} = 0,5 (h_G + h_1) = 2,5 \text{ m}$
 Hauteur tributaire du mur (RF) $h_{trib,R} = 0,5 h_1 + h_P = 2,65 \text{ m}$

Poids sismique (1F) $m_1 = h_{trib,1} W_M + N W_1 = 597 \text{ kN}$
 Poids sismique (RF) $m_R = h_{trib,R} W_M + N W_R = 548 \text{ kN}$

Hauteur x poids sismique (1F) $z_1 \cdot m_1 = 1492 \text{ kNm}$
 Hauteur x poids sismique (RF) $z_R \cdot m_R = 1451 \text{ kNm}$

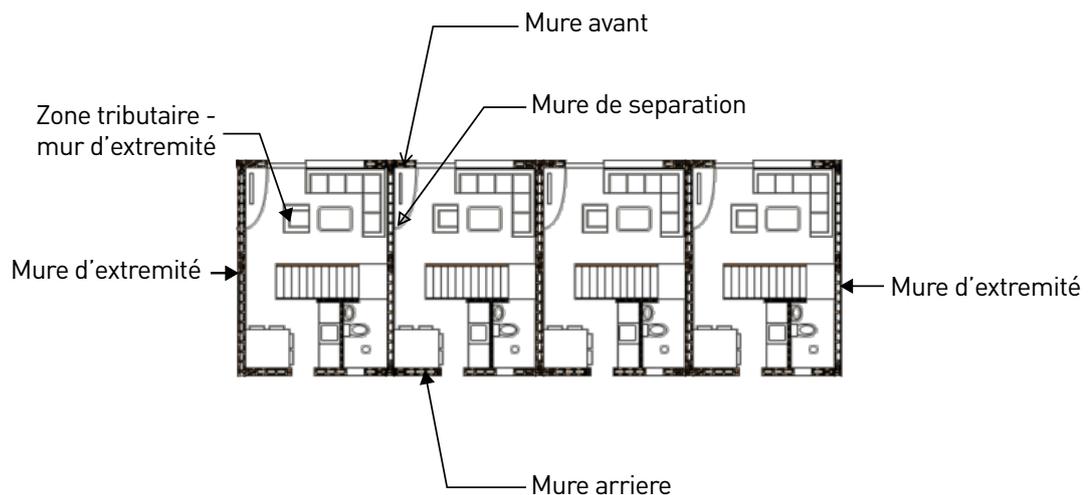
EC1, NTable A1.1

Force sismique du premier étage $F_1 = F_b [z_1 \cdot m_1 / \sum [z_i \cdot m_i]] = 169 \text{ kN}$
 Force sismique du toit $F_R = F_b [z_R \cdot m_R / \sum [z_i \cdot m_i]] = 164 \text{ kN}$

Forces sismiques sur chaque mur

Les forces sismiques agissant au niveau de chaque étage sont réparties sur des murs individuels pour permettre d'effectuer l'analyse sur chacun de ces murs. Les calculs suivants supposent qu'il y a un diaphragme flexible formé à chaque niveau, soit par la structure plancher/toit OU une poutre annulaire (conception non incluse ici), et que tous les murs dans chacune des directions orthogonales ont une rigidité similaire donc que les effets de torsion ne doivent pas être pris en compte.

Murs longitudinaux



Nombre de parois longitudinales	$N_L = N + 1 = 5$
Force agissant sur les murs d'extrémité au premier étage	$F_{L,E,1} = F_1 / 2N = 21,1 \text{ kN}$
Force agissant sur les murs d'extrémité au niveau du toit	$F_{L,E,R} = F_R / 2N = 20,5 \text{ kN}$
Force agissant sur les murs de séparation au premier étage	$F_{L,D,1} = F_1 / N = 42,2 \text{ kN}$
Force agissant sur les murs de séparation au toit	$F_{L,D,R} = F_R / N = 41,1 \text{ kN}$

Murs transversaux

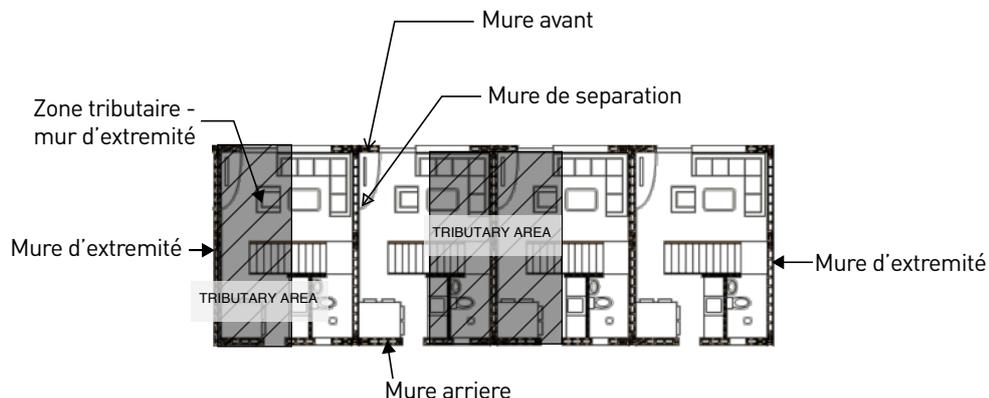
Nombre de parois transversales	$N_T = 2$	Pas de paroi vertébrale
Force agissant sur le mur avant/arrière au premier étage	$F_{T,F/B,1} = F_1 / N_T = 21,1 \text{ kN}$	REMARQUE : lorsqu'un mur dorsal existe, les forces sur les murs avant/arrière sont réduites de moitié
Force agissant sur le mur avant/arrière au niveau du toit	$F_{T,F/B,R} = F_R / N_T = 20,5 \text{ kN}$	

Charges verticales sur chaque mur

Les forces verticales sont calculées en supposant que le plancher/toit s'étend sur la courte direction du bâtiment. Cependant, une largeur tributaire de 1 m de plancher/toit est considérée comme agissant également sur les murs avant et arrière.

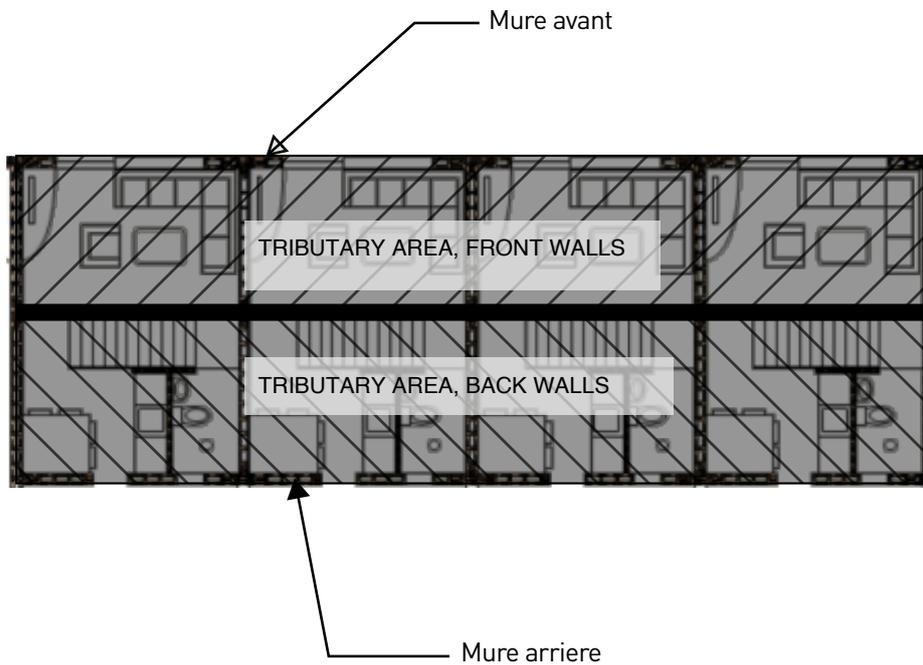
Chaque mur reçoit un rapport de solidité, et les calculs l'utilisent pour définir la proportion du poids du mur solide par rapport au poids du vitrage.

Murs longitudinaux - Planchers porteurs et toit



Rapport entre le mur plein et les ouvertures (mur d'extrémité @ 1F)	$\alpha_{L,E,1} = 0,9$
Rapport entre le mur plein et les ouvertures (mur de séparation @ 1F)	$\alpha_{L,D,1} = 1,0$
UDL agissant sur le mur d'extrémité @ 1F	$N_{L,E,1} = h_1 [\alpha_{L,E,1} SW + (1 - \alpha_{L,E,1}) SDL_{wall}] + (W_1 / 2L)$ $N_{L,E,1} = 10,4 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur d'extrémité @ RF	$N_{L,E,R} = h_p SW + (W_R / 2L) = 5 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur de séparation @ 1F	$N_{L,D,1} = h_1 [\alpha_{L,D,1} SW + (1 - \alpha_{L,D,1}) SDL_{wall}] + (W_1 / L)$ $N_{L,D,1} = 14,2 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur de séparation @ RF	$N_{L,D,R} = h_p SW + (W_R / L) = 6,4 \text{ kN/m}$

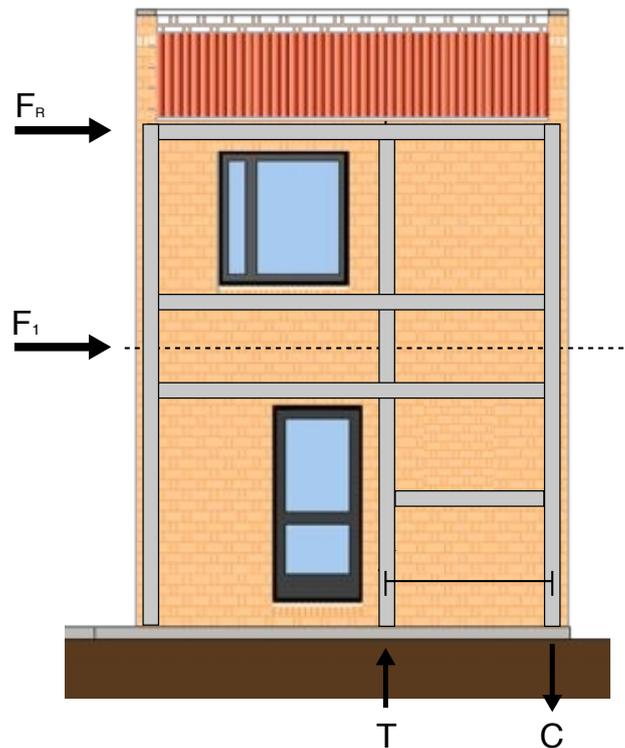
Murs transversaux - Ne supportant pas les planchers/toit



Rapport mur solide/ouvertures (mur avant@1F)	$\alpha_{F,1} = 0,7$
Rapport mur solide/ouvertures (mur arriere@1F)	$\alpha_{B,1} = 0,7$
UDL agissant sur le mur avant @1F	$N_{F,1} = h_1 [\alpha_{F,1} SW + (1 - \alpha_{F,1}) SDL_{\text{wall}}] + (W_1/A)$ $N_{F,1} = 6,4 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur avant @RF	$N_{F,R} = h_p SW + (W_R/A) = 4,3 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur arriere @1F	$N_{B,1} = h_1 [\alpha_{B,1} SW + (1 - \alpha_{B,1}) SDL_{\text{wall}}] + (W_1/A)$ $N_{B,1} = 6,4 \text{ kN/m}$
UDL agissant sur le mur arriere @RF	$N_{B,R} = h_p SW + (W_R/A) = 4,3 \text{ kN/m}$

CONCEPTION DE MUR DE CISAILLEMENT - EXEMPLE de CALCUL

Étant donné qu'il y a des armatures présentes sur tous les côtés des murs de cisaillement, le mur peut être théorisé pour fonctionner comme une baie contreventée, où l'action des entretoises se produit dans la maçonnerie entourée d'armatures créant une « contreventement de compression ». L'armature d'arrimage verticale à une extrémité du mur passe alors en tension, et l'autre extrémité en compression.

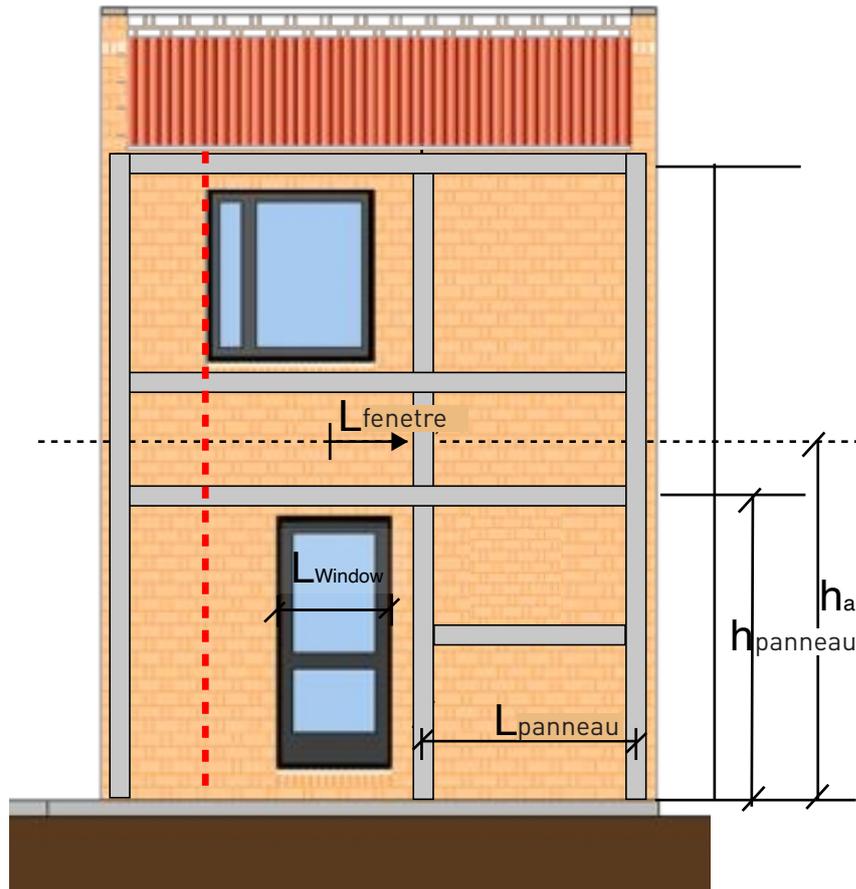


Propriétés matérielles

From published information by SKAT	Résistance caractéristique à la compression de la brique	$f_b = 10 \text{ MPa}$
	Résistance caractéristique à la compression du mortier	$f_m = \max(f_b, 10) = 10 \text{ MPa}$
EC6, Eqn 3.2	Facteurs - en supposant une maçonnerie du groupe 2	$K=0,5 \quad \alpha=0,7 \quad \beta=0,3$
EC6, Eqn 3.1	Résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie	$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta = 5 \text{ MPa}$
Assuming B500 grade reinforcement	Résistance caractéristique résistance à la traction de le fer a beton	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
IStructE Manual for the seismic design of steel and concrete buildings to Eurocode 8	Facteur de sécurité des matériaux - Maçonnerie	$\gamma_m = 2,0$
	Facteur de sécurité des matériaux - Armature en acier	$\gamma_{m,s} = 1,15$
Eqn 10.1 and 10.2	Résistance de calcul à la compression de la maçonnerie	$f_d = f_k / \gamma_m = 435 \text{ MPa}$
	Résistance de calcul à la traction de l'acier	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{m,s} = 435 \text{ MPa}$

Géométrie des panneaux muraux et des entretoises au niveau du sol - Mur avant

Le mur au niveau du rez-de-chaussée sera généralement le point critique de toute élévation, à moins que les murs à l'étage supérieur ne soient nettement plus courts.



Hauteur du mur (d'après le calcul de l'analyse globale) $h_G = 2,5 \text{ m}$

Hauteur du panneau mural $h_{\text{panneau}} = h_G - 0,55\text{m} = 1,95 \text{ m}$

Mi-hauteur du panneau mural $h_{\text{mid,panneau}} = 0,98 \text{ m}$

Longueur du panneau mural $l_{\text{panel}} = 1,8 \text{ m}$

Largeur des fenêtres adjacentes $l_{\text{fenêtre},1} = 0,0 \text{ m}$
 $l_{\text{fenêtre},1} = 0,9 \text{ m}$

Longueur de la jambe de force $l_{\text{strut}} = \sqrt{(h_{\text{panel}}^2 + l_{\text{panel}}^2)} = 2,0 \text{ m}$

Cosinus (angle de la jambe de force) $\cos \theta = l_{\text{panel}} / l_{\text{strut}} = 0,88$

Largeur de la jambe de force $w_{\text{strut}} = 0,1 l_{\text{strut}} = 204,71 \text{ mm}$

Épaisseur typique des
briques SKAT RLB

Épaisseur de la ventail $t_{\text{leaf}} = 55 \text{ mm}$

Supposons que l'épaisseur effective est l'épaisseur totale de la paroi

Zone de jambe de force

$$A_{\text{strut}} = 2 t_{\text{leaf}} w_{\text{strut}} = 319 \text{ cm}^2$$

Épaisseur efficace du mur

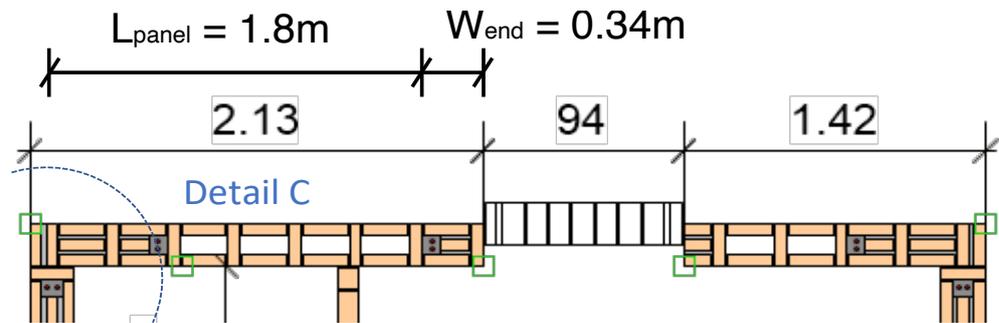
$$t_{\text{ef}} = t = 210 \text{ mm}$$

Largeur de l'extrémité du mur

$$w_{\text{end}} = 340 \text{ mm}$$

Aire de fin de mur

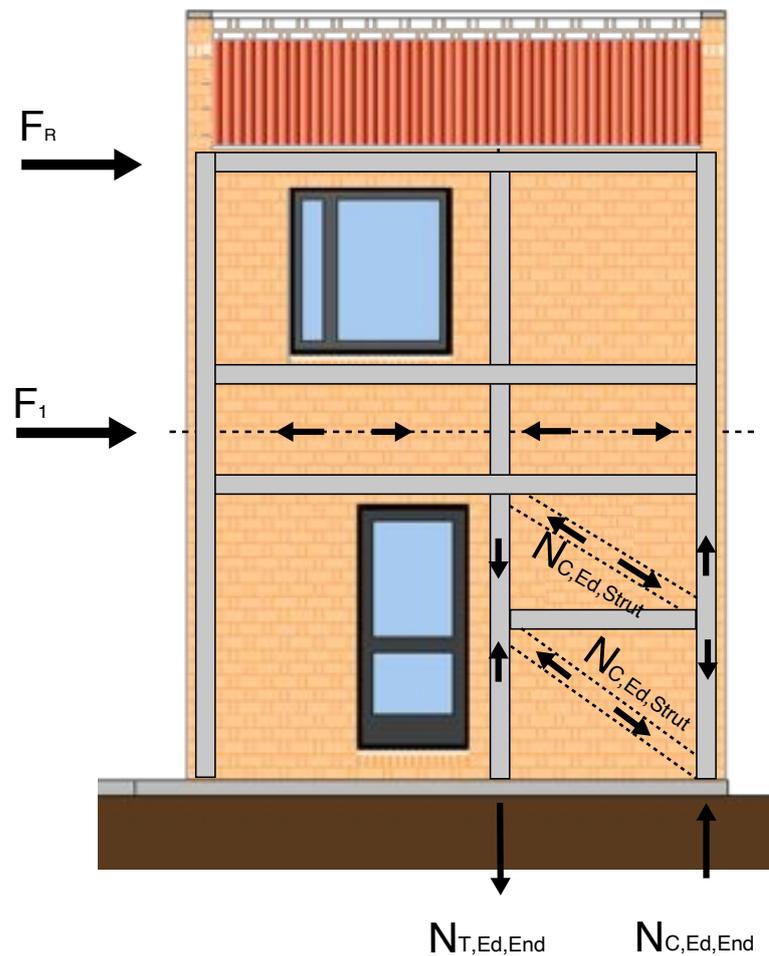
$$A_{\text{end}} = t_{\text{wend}} = 71400 \text{ mm}^2$$



Supposons que l'épaisseur effective est l'épaisseur totale de la paroi

Forces de conception externes - Mur avant

Les forces sont extraites du calcul de l'analyse globale et transformées en forces agissant dans la travée contreventée théorique



	Force sismique agissant sur le mur avant @1F	$F_{F,1} = 21 \text{ kN}$
	Force sismique agissant sur le mur avant @RF	$F_{F,R} = 21 \text{ kN}$
Les hauteurs sont tirées directement du calcul de l'analyse globale	Hauteur au-dessus du sol (1F)	$z_1 = 2,5 \text{ m}$
	Hauteur au-dessus du sol (RF)	$z_R = 5,0 \text{ m}$
Les valeurs sont tirées directement du calcul de l'analyse globale	UDL agissant sur le mur avant @1F	$N_{F,1} = 6,4 \text{ kN/m}$
	UDL agissant sur le mur avant @RF	$N_{F,R} = 4,3 \text{ kN/m}$
	Cisaillement de base sismique	$F_{b,F} = F_{F,1} + F_{F,R} = 42 \text{ kN}$
	Moment à la base du mur	$M_{b,F} = F_{F,1} z_1 + F_{F,R} z_R = 155 \text{ kNm}$
	Charge verticale totale dans le panneau mural	$N_{\text{panneau}} = (N_{F,1} + N_{F,2}) [l_{\text{panneau}} + 0.5(l_{\text{fenêtre},1} + l_{\text{fenêtre},2})]$ $N_{\text{panneau}} = 24 \text{ kN}$
	Force de compression dans le Strut	$N_{c,Ed, \text{strut}} = F_{b,F} / \cos \theta = 47 \text{ kN}$
	Force de compression à l'extrémité du mur	$N_{c,Ed, \text{end}} = N_{\text{panneau}} / 2 + M_{b,F} / l_{\text{panneau}} = 98 \text{ kN}$
	Force de tension à l'extrémité du mur	$N_{c,Ed, \text{en}} = N_{\text{panneau}} / 2 - M_{b,F} / l_{\text{panneau}} = 74 \text{ kN}$

Capacité de compression de la jambe de force

La contrefiche diagonale est vérifiée pour le flambement en compression sous charges sismiques.

Comment concevoir des structures de maçonnerie à l'aide de EC 6. 2 Résistance verticale, **Figure 6**

EC6, équation 6.7

Longueur efficace de la jambe	$l_{\text{ef, strut}} = 0,8 l_{\text{strut}} = 2,0 \text{ m}$
Élancement de la jambe	$\lambda_{\text{strut}} = l_{\text{ef, strut}} / t_{\text{ef}} = t = 9,5$
Excentricité	$e_{m,k} = 0,05 t = 10,5 \text{ mm}$

EC6, équation G.2

Facteurs $A_1 = 1 - 2(e_{m,k} / t_{\text{ef}}) = 0,9$

EC6, équation G.4

$\lambda = (l_{\text{strut}} / t_{\text{ef}}) \sqrt{f_k / E} = 0,308$

EC6, équation G.3

$u = \lambda - 0,063 / [0,73 - 1,17 (e_{m,k} / t_{\text{ef}})] = -0,1$

EC6, équation G.1

Facteur de réduction $\varphi_m = A_1 \exp[(-u)^2/2] = 0.90$

Capacité de résistance de conception $N_{b,Rd, \text{strut}} = \varphi_m t f_k / \gamma_m = 249 \text{ kN}$ $U = \frac{N_{c,Ed, \text{strut}}}{N_{b,Rd, \text{strut}}} = 19\%$
.. OK!

Capacités de bout de mur

Le flambement de l'extrémité du mur en compression est ignoré du fait de la présence d'armatures.

Capacité de compression $N_{c,Rd, \text{end}} = f_d A_{\text{end}} = 179 \text{ kN}$ $U = \frac{N_{c,Ed, \text{end}}}{N_{c,Rd, \text{end}}} = 55\%$
.. OK!

La traction à l'autre extrémité est reprise par l'armature verticale.

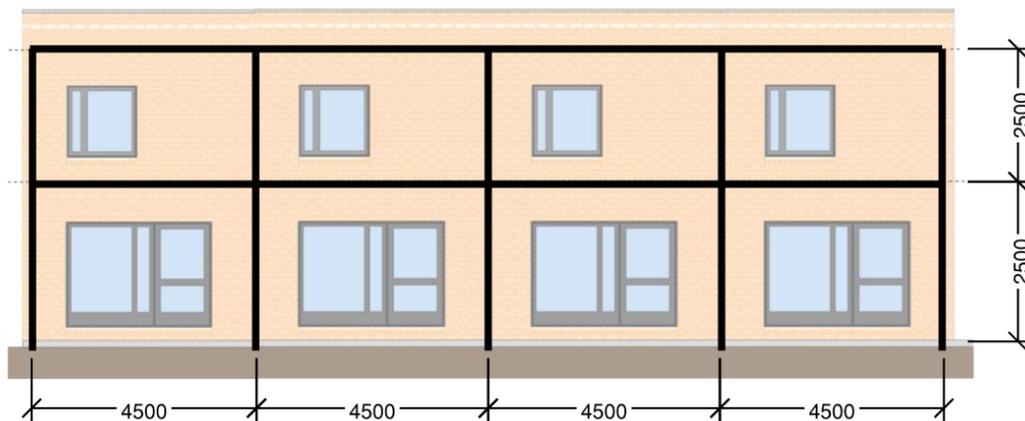
Diamètre de l'armature en acier $d = 12 \text{ m}$
Zone d'armature en acier fournie (2 n°) $A_s = 226,2 \text{ mm}^2$
Capacité de tension $N_{t,Rd, \text{end}} = f_{yd} A_s = 98,3 \text{ kN}$ $U = \frac{N_{t,Ed, \text{end}}}{N_{t,Rd, \text{end}}} = 55\%$
.. OK!

SYSTÈME MOMENT FRAME - EXEMPLE de CALCUL

Cet exemple concret est basé sur la conception du logement existant SKAT Rowlock Bond situé à Mpazi, Nyabagogo, Kigali, Rwanda.

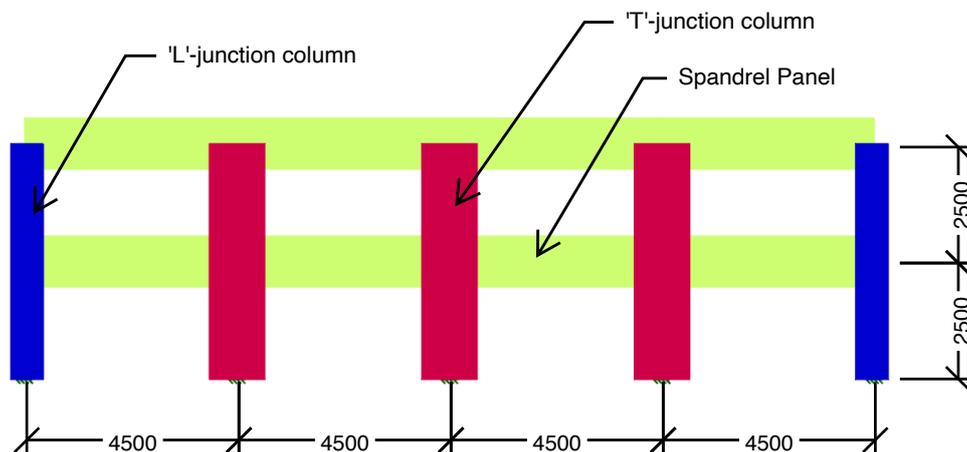
Là où de grandes ouvertures existent dans un mur au niveau du rez-de-chaussée, le mur est théorisé pour fonctionner comme un système de cadre de moment où les jonctions de mur les plus fortement renforcées fonctionnent comme des colonnes, et le panneau d'allège renforcé agit comme la poutre de connexion. Lorsqu'un certain nombre d'unités existent dans une rangée sans joints sismiques, toutes les unités peuvent être considérées comme agissant comme une seule structure.

Dans le cas du développement Mpazi, le mur avant contient une grande ouverture au niveau du rez-de-chaussée et il sera donc utilisé dans cet exemple.



Analyse structurelle de l'ossature - Entrée

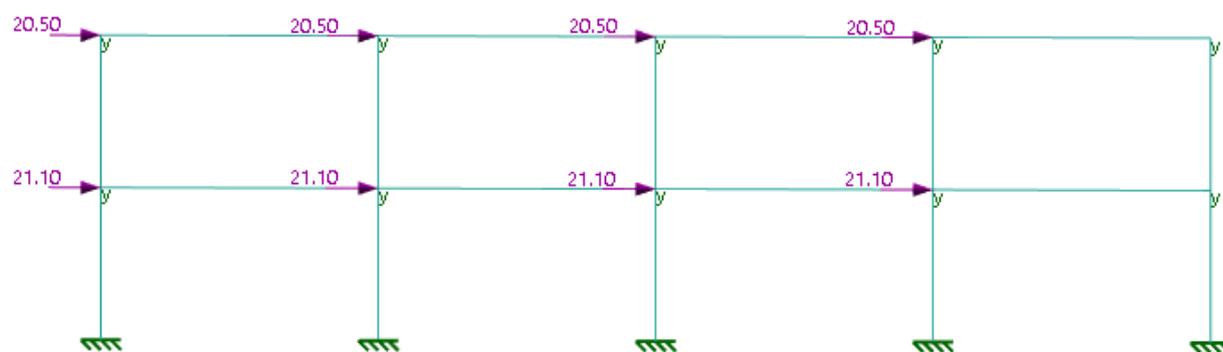
Le cadre 2D doit être modélisé dans un logiciel d'analyse structurelle approprié, tel qu'Autodesk Robot, Tekla TEDDS ou Oasys GSA (d'autres s'appliquent également). La géométrie de l'ossature doit correspondre à celle de l'élévation du bâtiment analysé, l'axe des éléments horizontaux étant défini au niveau du sol ou du toit concerné. Il existe trois types d'éléments de colonne - jonction en "L", jonction en "T" et rectangulaire - et le type de colonne approprié doit être appliqué à chaque élément vertical. Chaque colonne doit être modélisée avec une connexion de base fixe.



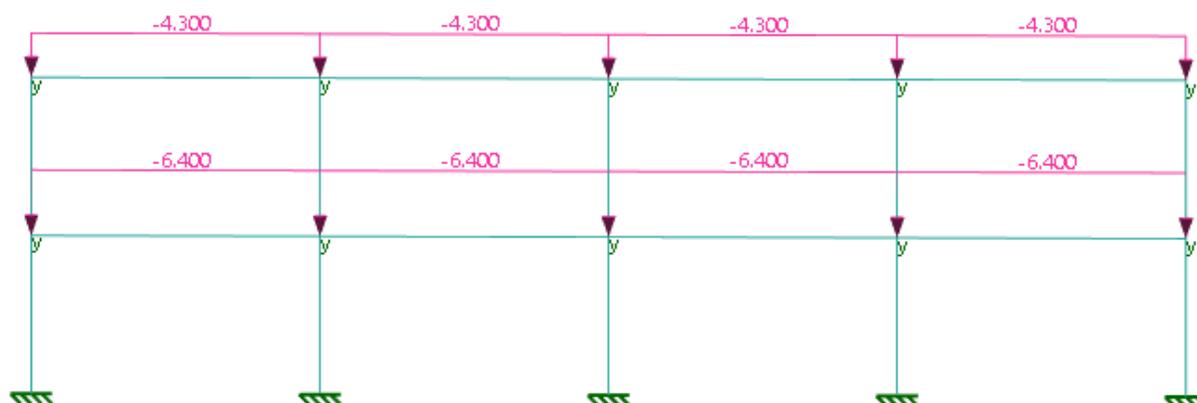
Les propriétés des matériaux suivantes ont été utilisées à des fins d'analyse, mais cela reste à la discrétion de l'ingénieur de conception.

Module d'élasticité de la maçonnerie	$E = 5000 \text{ MPa}$
Coefficient de Poissons	$\alpha = 0,25$
Module de cisaillement	$G = 2000 \text{ MPa}$
Densité	$\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$

À l'aide des résultats de la feuille de calcul d'analyse globale, les forces sismiques horizontales doivent être appliquées au modèle sous forme de charges ponctuelles à chaque étage ou au niveau du toit. Les forces doivent être réparties entre les unités si plusieurs unités sont analysées ensemble.



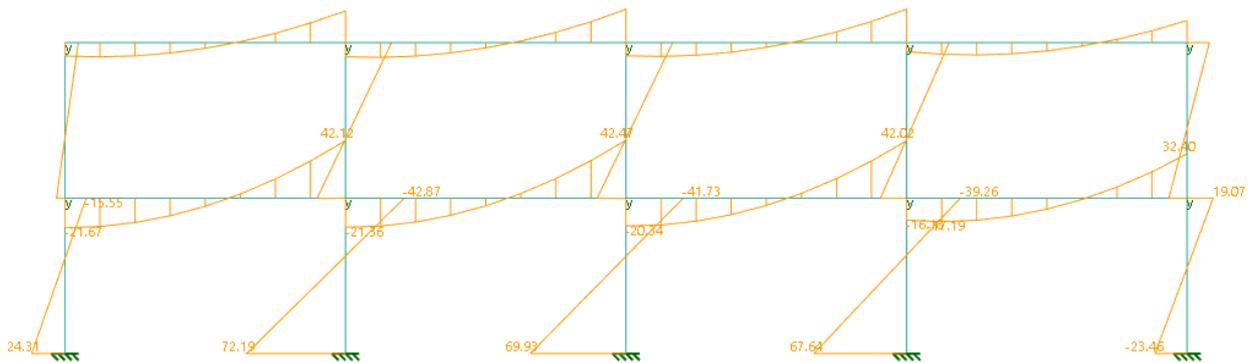
À l'aide des résultats de la feuille de calcul d'analyse globale, les charges verticales doivent être appliquées aux éléments de poutre horizontaux du modèle sous forme de charges uniformément réparties. Ne pas appliquer de charges de gravité, car le poids de la maçonnerie a déjà été pris en compte dans le calcul des charges verticales.



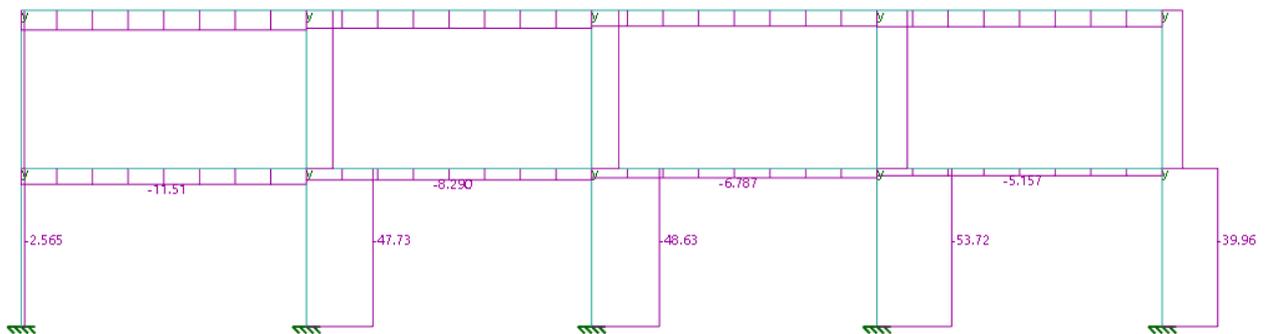
Analyse structurelle de l'ossature - Sortie

Une fois que la géométrie et les charges correctes ont été appliquées au modèle, il doit être analysé avec les forces et les charges non pondérées combinées dans un seul cas de charge, et les forces internes résultantes calculées.

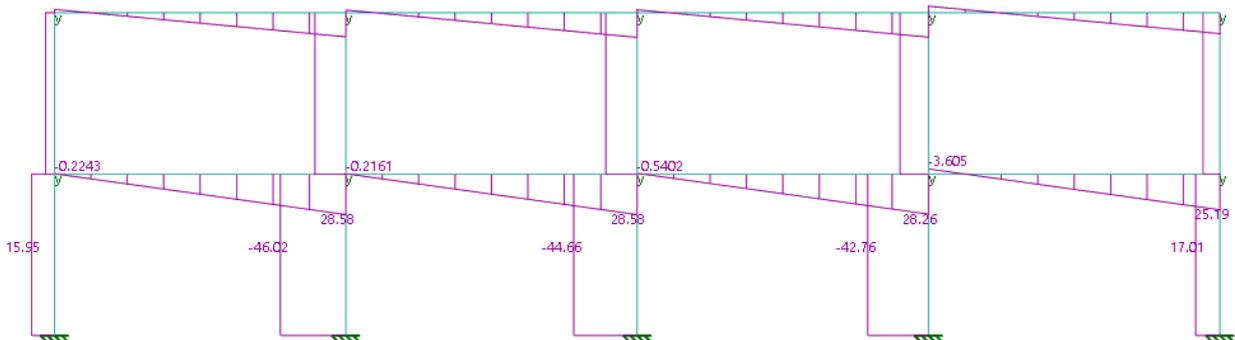
Les images ci-dessous montrent les efforts internes des éléments de charpente du rez-de-chaussée du développement Mpazi.



MOMENTS DE FLEXION SUR LES GRANDS AXES



FORCES AXIALES



FORCES DE CISAILLEMENT

ÉVALUATION PAR RAPPORT AUX COURBES M-N

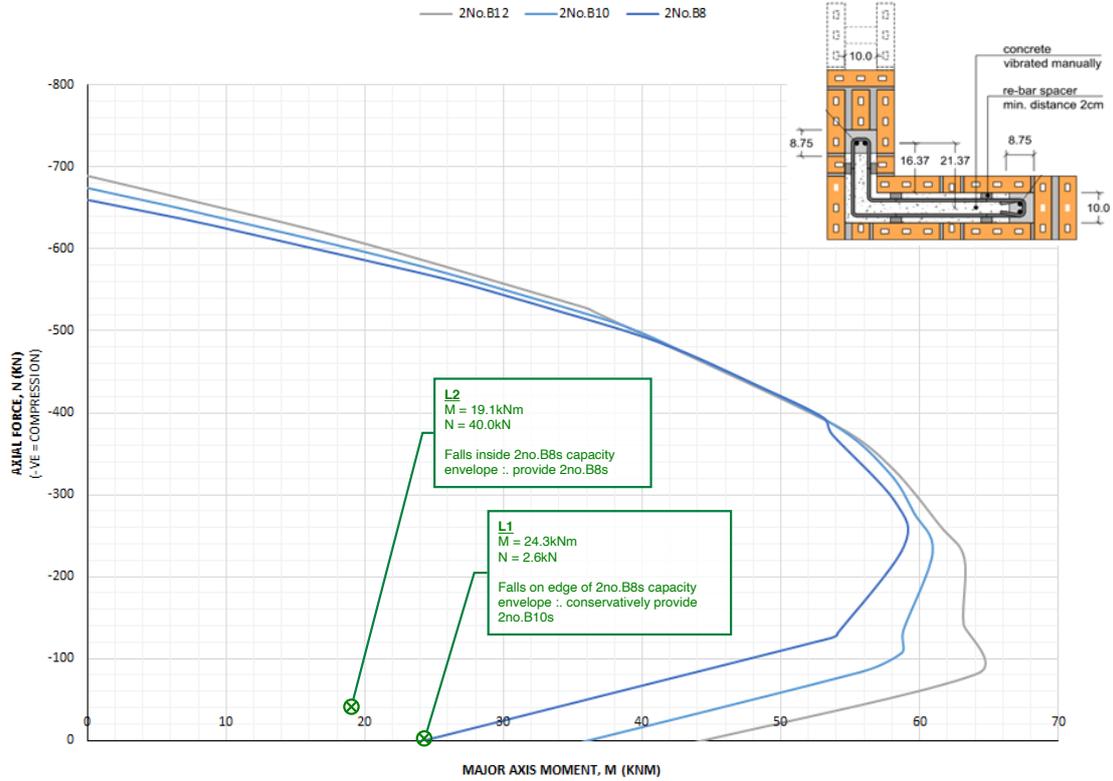
Une série de diagrammes M-N a été développée pour chacun des types d'éléments. Les moments fléchissants et les forces axiales (compression) combinés du grand axe sont tracés sur les graphiques pertinents pour s'assurer qu'ils se situent dans l'enveloppe de capacité.

Chaque diagramme M-N comprend trois courbes/enveloppes différentes qui ont été calculées en fonction de différentes tailles de barres d'armature - B8, B10, B12 - incluses dans les poches de béton verticales de chaque élément. Ces différentes courbes sont utilisées pour sélectionner les exigences de ferrailage pour chaque élément.

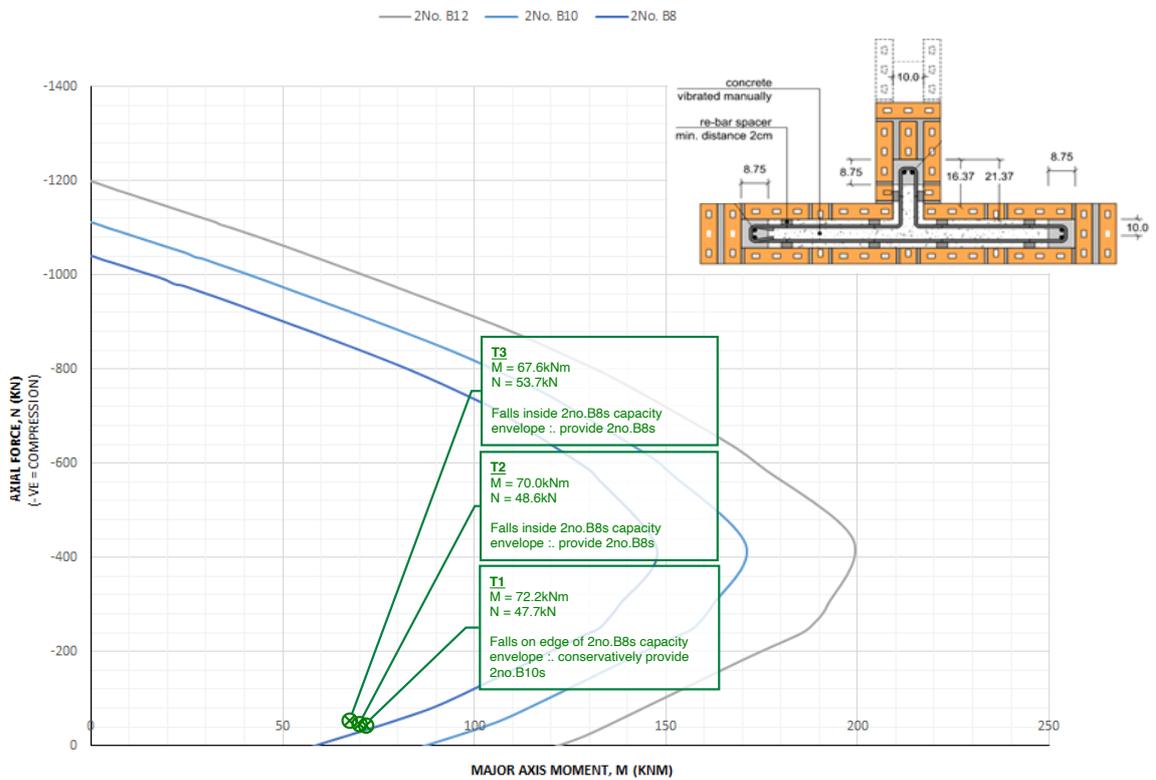
Les pages suivantes montrent comment les forces de chaque élément doivent être tracées sur le diagramme M-N correspondant. Les numéros des éléments sont indiqués ci-dessous pour plus de clarté.

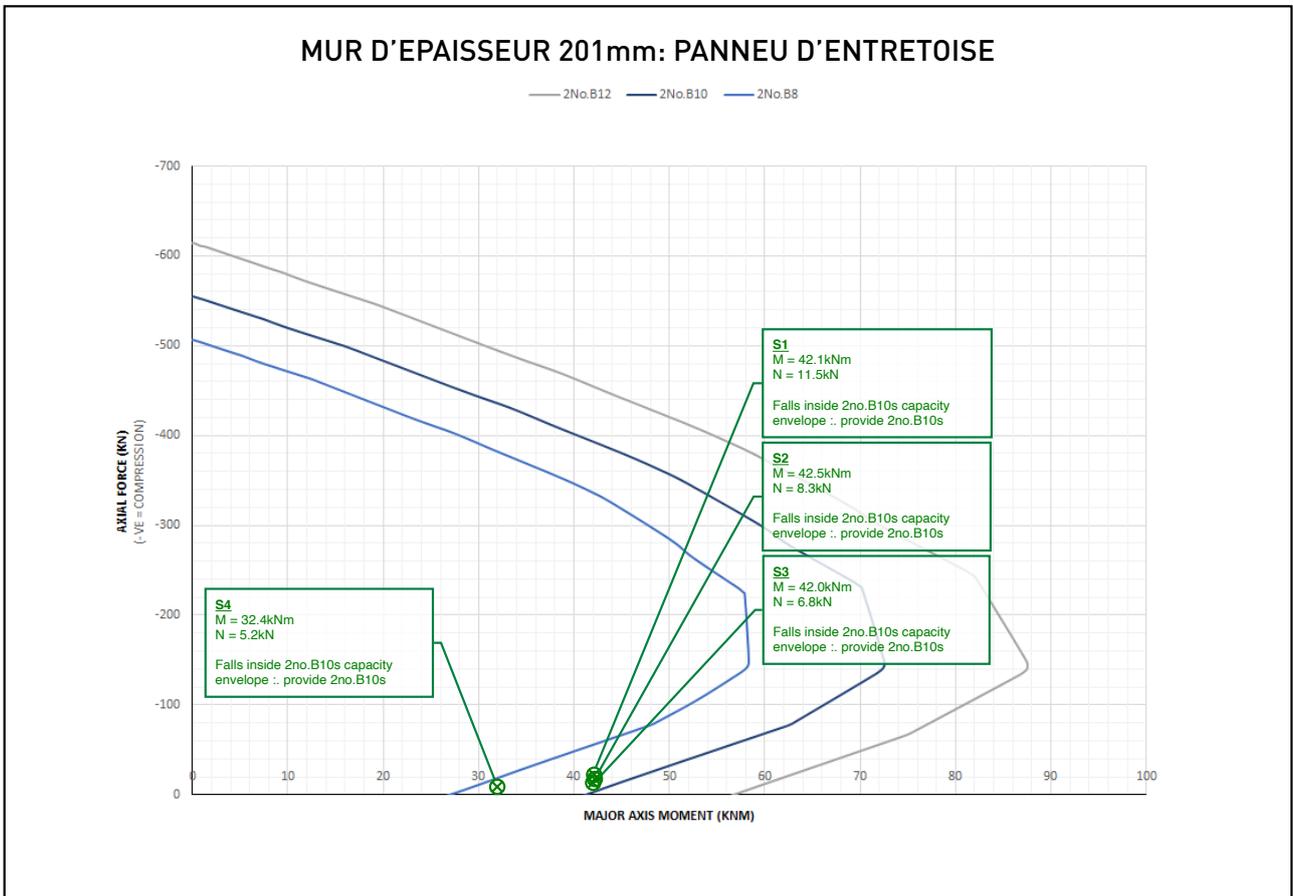
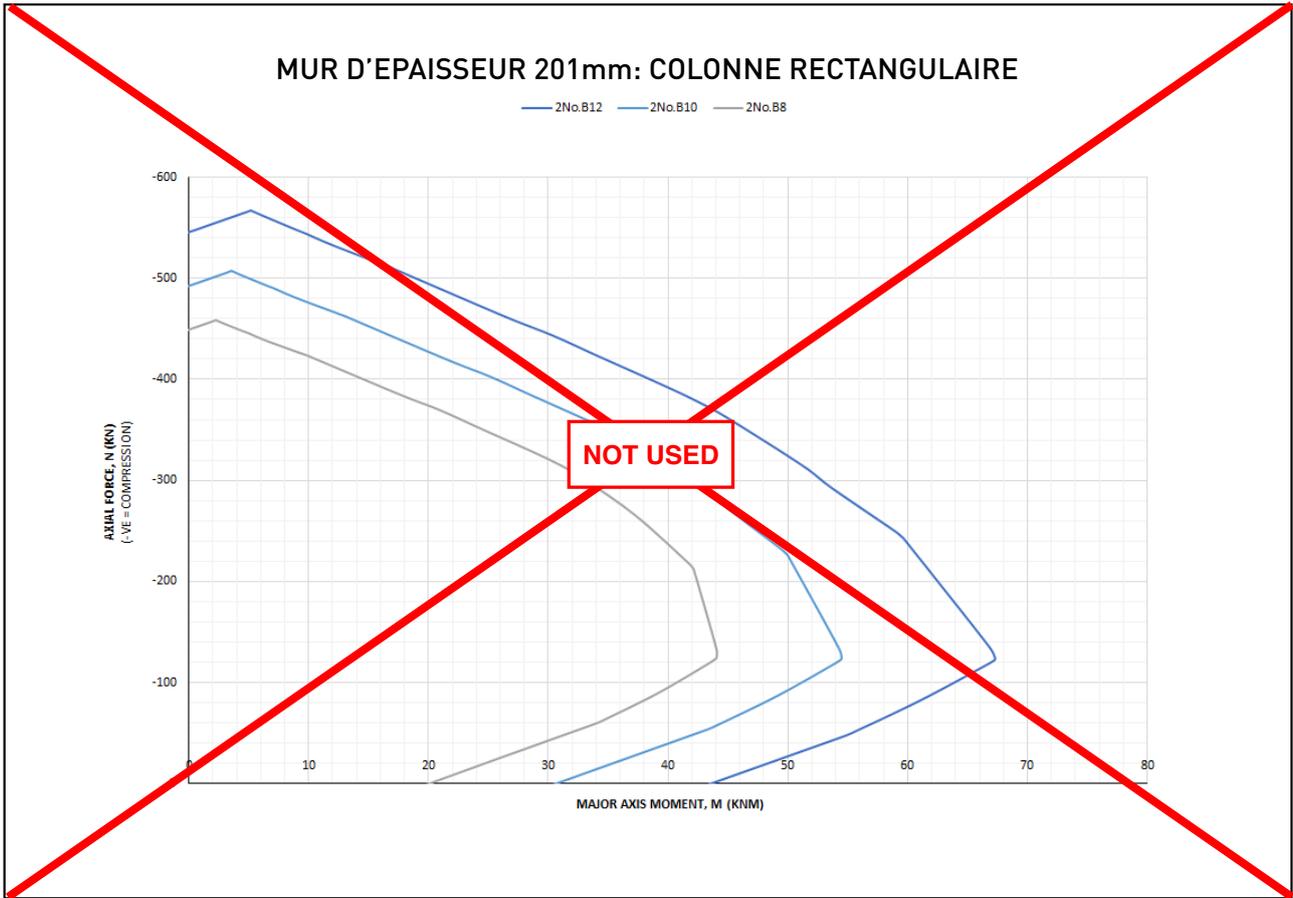
	S1	S2	S3	S4
L1	T1	T2	T3	L2

MUR D'ÉPAISSEUR 201mm: JONCTION EN COLONNE TYPE L



MUR D'ÉPAISSEUR 201mm: JONCTION EN COLONNE TYPE T





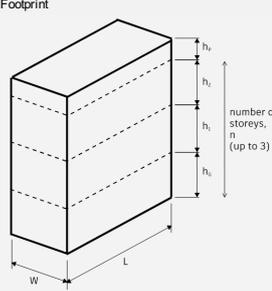
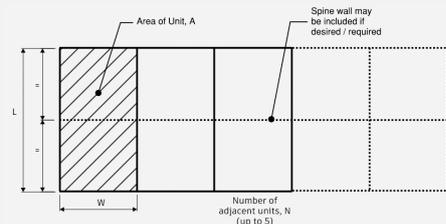
05

FEUILLE DE CALCUL EXCEL

Outil de calcul RLB pour Ingenieurs Civils

Reportez-vous a [la feuille de calcul Excel - Global analysis and Shear wall Design.xlsx](#) pour un outil complet de calcul structural Row Lock Bond pour les batiments jusqu'à 3 étages

ENTERPRISE NOM	client :-		sheet	
	project :-		by	
contact information:	title :-		date	
			chkd	

Ref.	Calculations	Output																																																							
	<p>Disclaimer THIS SPREADSHEET IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE</p> <p>Spreadsheet key <input type="checkbox"/> Input cells to be completed by user <input type="checkbox"/> Instruction, must be followed <input type="checkbox"/> Output Cell</p> <p>Introduction This calculation spreadsheet calculates the seismic force acting along each structural wall line in a single or group of simple housing units built with Skat Rowlock Bond Masonry Technology.</p> <p>Limitations of the spreadsheet include - Refer to Construction Manual for more information: - The housing unit must be rectangular in plan, with no re-entrant corners. - SKAT RLB junction elements to be continuous over height of the building. - The unit may have a single additional transverse wall (Spine Wall) centred on the plan - The housing unit can be single storey, two storey or three storey. - Each storey of the unit must have the same building footprint i.e. no step backs. - A structural diaphragm is achieved at each floor level and the roof level. - All diaphragms are considered to be flexible. - Up to 5no. identical units can be considered to act as a single building. - The overall building footprint should not exceed a Length to Width ratio of 4.0</p> <p>Inputs</p> <p>Seismic Design Paramaters</p> <table border="0"> <tr> <td>RBC / GEM</td> <td>ag</td> <td>Peak ground acceleration</td> <td><input type="text" value="1.6"/></td> <td>m/s²</td> </tr> <tr> <td>g=9.81 m/s²</td> <td>α</td> <td>Ratio of pga, gravity</td> <td><input type="text" value="0.16"/></td> <td>g</td> </tr> <tr> <td>EC8, Fig 3.2 & 3.3</td> <td></td> <td>Response Spectrum Type</td> <td><input type="text" value="1"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EC8, Table 3.1</td> <td></td> <td>Soil Type</td> <td><input type="text" value="D"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Table 3.2 & 3.3</td> <td>S</td> <td>Soil factor</td> <td><input type="text" value="1.35"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EC8, Table 4.3</td> <td>ya</td> <td>Importance Factor</td> <td><input type="text" value="1"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EC8, Table 4.4</td> <td>q</td> <td>Ductility Factor</td> <td><input type="text" value="2"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EC8, Eqn 3.14</td> <td>Sd</td> <td>Design seismic acceleration on plateau</td> <td><input type="text" value="0.275"/></td> <td>g</td> </tr> </table> <p>Geometry</p> <table border="0"> <tr> <td>SKAT RLB Construction Manual</td> <td>L</td> <td>Unit Length</td> <td><input type="text" value="9"/></td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>W</td> <td>Unit Width</td> <td><input type="text" value="4"/></td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>Area of Unit Footprint</td> <td><input type="text" value="36.0"/></td> <td>m²</td> </tr> </table>  <p>n Number of storeys <input type="text" value="2"/> hc Ground Floor Height <input type="text" value="2.5"/> m h1 First Floor Height <input type="text" value="2.5"/> m h2 Not Used, Set as 0.0m <input type="text" value="2.5"/> m hp Parapet Height, maximum 1m height <input type="text" value="1.0"/> m H Building Height <input type="text" value="6.00"/> m T1 Fundamental Period <input type="text" value="0.29"/> s</p> <p>EC8, Eqn 4.6</p> 	RBC / GEM	ag	Peak ground acceleration	<input type="text" value="1.6"/>	m/s ²	g=9.81 m/s ²	α	Ratio of pga, gravity	<input type="text" value="0.16"/>	g	EC8, Fig 3.2 & 3.3		Response Spectrum Type	<input type="text" value="1"/>		EC8, Table 3.1		Soil Type	<input type="text" value="D"/>		Table 3.2 & 3.3	S	Soil factor	<input type="text" value="1.35"/>		EC8, Table 4.3	ya	Importance Factor	<input type="text" value="1"/>		EC8, Table 4.4	q	Ductility Factor	<input type="text" value="2"/>		EC8, Eqn 3.14	Sd	Design seismic acceleration on plateau	<input type="text" value="0.275"/>	g	SKAT RLB Construction Manual	L	Unit Length	<input type="text" value="9"/>	m		W	Unit Width	<input type="text" value="4"/>	m		A	Area of Unit Footprint	<input type="text" value="36.0"/>	m ²	
RBC / GEM	ag	Peak ground acceleration	<input type="text" value="1.6"/>	m/s ²																																																					
g=9.81 m/s ²	α	Ratio of pga, gravity	<input type="text" value="0.16"/>	g																																																					
EC8, Fig 3.2 & 3.3		Response Spectrum Type	<input type="text" value="1"/>																																																						
EC8, Table 3.1		Soil Type	<input type="text" value="D"/>																																																						
Table 3.2 & 3.3	S	Soil factor	<input type="text" value="1.35"/>																																																						
EC8, Table 4.3	ya	Importance Factor	<input type="text" value="1"/>																																																						
EC8, Table 4.4	q	Ductility Factor	<input type="text" value="2"/>																																																						
EC8, Eqn 3.14	Sd	Design seismic acceleration on plateau	<input type="text" value="0.275"/>	g																																																					
SKAT RLB Construction Manual	L	Unit Length	<input type="text" value="9"/>	m																																																					
	W	Unit Width	<input type="text" value="4"/>	m																																																					
	A	Area of Unit Footprint	<input type="text" value="36.0"/>	m ²																																																					

COMPANY NAME		client :-	sheet
		project :-	by
contact information:		title :-	date
			chkd
Ref.	Calculations		Output
	Y/N	Spine Wall Included?	Yes
	N	Number of Adjacent Units	2
	Construction		
	1F	Select Floor Construction	MaxSpan Slab
	2F	Set as N/A	N/A
	RF	Select Roof Construction	Timber Trusses/Joists
	DL	Timber Trusses/Joists	0,40 KN/m ²
	DL	Maxspan Floor	2,60 KN/m ²
	SDL	Floor Superimposed Dead Load (incl. Partitions)	0,40 KN/m ²
	SDL	Roof Superimposed Dead Load	0,20 KN/m ²
EC1, Table 6.2	LL	Live loads	1,50 KN/m ²
	SW	Masonry Walls Selfweight	2,63 KN/m ²
	SDL	Glazing	0,15 KN/m ²
	Global Seismic Forces		
EC0 6.4.3.4, Table A1.1	Yw	DL Seismic Contribution Factor	1,0
	Yp	LL Seismic Contribution Factor	0,3
	W _M	Vertical load of Masonry per Metre Height of Wall (all Units)	134 kN/m
	W ₁	Vertical load of First Floor per Unit	124 kN/unit
	W ₂	N/A	N/A kN/unit
	W _R	Vertical Load of Roof per Unit	22 kN/unit
EC8, Eqn 4.5	F _b	Total Base Shear	233 kN
	z ₁	Height Above Ground (1F)	2,50 m
	z ₂	Height Above Ground (2F)	N/A m
	z _R	Height Above Ground (RF)	5,00 m
	h _{tb,1}	Tributary Height of Wall (1F)	2,50 m
	h _{tb,2}	Tributary Height of Wall (2F)	N/A m
	h _{tb,R}	Tributary Height of Wall (RF)	2,25 m
	m ₁	Seismic Weight (1F)	584 kN
	m ₂	Seismic Weight (2F)	N/A kN
	m _R	Seismic Weight (RF)	345 kN
	z ₁ .m ₁	Height x Seismic Weight (1F)	1459 kNm
	z ₂ .m ₂	Height x Seismic Weight (2F)	N/A kNm
	z _R .m _R	Height x Seismic Weight (RF)	776 kNm
EC8, Eqn 4.11	F ₁	First Floor Seismic Force	152 kN
	F ₂	Second Floor Seismic Force	N/A kN
	F _R	Roof Seismic Force	81 kN
	Seismic Forces on Each Wall		
	Longitudinal Walls		
	N _L	Number of Longitudinal Walls	3
	F _{L,E,1}	Force acting on End Walls at First Floor	38,1 kN
	F _{L,E,2}	Force acting on End Walls at Second Floor	N/A kN
	F _{L,E,R}	Force acting on End Walls at Roof	20,3 kN
	F _{L,D,1}	Force acting on Dividing Walls at First Floor	76,2 kN
	F _{L,D,2}	Force acting on Dividing Walls at Second Floor	N/A kN
	F _{L,D,R}	Force acting on Dividing Walls at Roof	40,5 kN
	Transverse Walls		
	N _T	Number of Transverse Walls	3
	F _{T,F,B,1}	Force acting on Front/Back Elevation Walls at 1st Floor per unit	19,0 kN/unit
	F _{T,F,B,2}	Force acting on Front/Back Elevation Walls at 2nd Floor per unit	N/A kN/unit

E. APPENDIX A : NOMENCLATURE

A	superficie de l'unité individuelle
A_{strut}	Zone de jambe de force
Ag	Accélération maximale au sol
A_s	Aire de la section transversale d'une armature en acier
b	Larger d'une section
DL	Poids mort
E	Module d'élasticité de la maçonnerie
F_b	Cisaillement total de la base
f_b	Résistance a la compression moyenne normalisee d'un élément de maçonnerie
f_{ck}	Résistance caractéristique à la compression du remplissage en béton
f_k	Résistance a la compression caractéristique de la maçonnerie
f_m	Résistance a la compression du mortier de maçonnerie
f_{yd}	Calcul résistance a la traction de l'acier d'armature résistante
f_{yk}	Caractéristique de l'acier d'armature
$F_{,L}$	Force agissant sur les murs longitudinaux
$F_{,T}$	Force agissant sur les parois transversales
h_a	Hauter de mur
$h_{panneau}$	Hauter du panneau mural
h_g	Hauter de rez-du-chaussée
h_1	Hauter du premier étage
$h_{trib,1}$	Hauter tribulaire du mur au niveau 1
$h_{trib,R}$	Hauter tribulaire du mur
h_p	Hauter de parapet
h_{ef}	Hauter effective d'un mur
L_c	Longueur de la partie comprimée d'un mur
L_{cl}	Longueur libre d'une ouverture
L_{ef}	Portée efficace d'une poutre de maçonnerie
$l_{panneau}$	Longueur ddu panneau mural
L	Longueur de l'unité
LL	Charge vive
m_1	Poids sismique au niveau 1
m_R	Poids sismique au niveau du toit
M_d	Moment de flexion de calcul au bas d'un noyau
M_{md}	Valeur de conception du plus grand moment au milieu de la hauteur du mur
M_{Rd}	Valeur de calcul du moment de résistance
M_{Ed}	Valeur de calcul du moment appliqué
n	nombre d'étages
N	nombre d'unités adjacentes

N_{md}	Valeur de calcul de la charge verticale au milieu de la hauteur d'un mur ou d'un poteau
N_{Rd}	Valeur de calcul de la résistance verticale d'un mur ou d'un poteau en maçonnerie
N_{Rdc}	Valeur de calcul de la résistance à la charge concentrée verticale d'un mur
N_{Ed}	Valeur de calcul de la charge verticale
q	Facteur de ductilité
S	Facteur sol
S_w	Poids propre
S_d	Accélération sismique de conception
S_{DL}	Charge morte superposée
t	Épaisseur de mur
T	Période fondamentale
t_{min}	Épaisseur minimale d'un mur
t_{ef}	Épaisseur efficace d'un mur
V_{Ed}	Valeur de calcul d'une charge de cisaillement
V_{Rd}	valeur de calcul de la résistance au cisaillement
W	Largeur de l'unité individuelle
W_{Ed}	Charge latérale de conception par unité de surface
W_M	Charge verticale du mur de maçonnerie par mètre de hauteur de mur
W_1	Charge verticale du premier étage par unité
W_R	Charge verticale du toit par unité
Y_{dl}	Facteur de contribution sismique de la charge permanente
Y_{ll}	Facteur de contribution sismique de surcharge
z	Levier
Z_1	Hauteur au-dessus du sol au niveau 1
Z_R	Hauteur au-dessus du sol au niveau du toit

Greek letters

ϕ	Diamètre effectif de l'acier d'armature
φ	Facteur de réduction
γ_m	Facteur partiel pour la maçonnerie
$\gamma_{m,s}$	Facteur partiel pour l'armature en acier
γ_1	Facteur d'importance
α	Rapport de PGA à la gravité
α_L	Rapport des murs longitudinaux pleins aux ouvertures
α_T	Rapport des murs transversaux pleins aux ouvertures

www.madeingreatlakes.com

Skat Swiss Resource Centre
and Consultancies for Development
PROECCO PROMotion de l'Emploi favorable au
Climat par la Construction durable.

Skat Consulting Ltd. (Head Office)
Vadianstrasse 42 CH-9000 St.Gallen Switzerland
phone: +41 (0)71 228 54 54
web: <http://www.skat.ch>