



Même si la Belgique ne figure pas parmi les pays européens les plus exposés aux séismes, il convient d'évaluer – à l'aide des Eurocodes – si les bâtiments et les infrastructures sont aptes à résister aux effets d'un tremblement de terre. A la suite de nombreuses discussions menées au sein des commissions de normalisation, notamment celle dédiée à la conception des maçonneries, il nous a semblé intéressant de faire le point sur la question.

# Dimensionnement des bâtiments sous sollicitations sismiques en Belgique

Cet article rappelle brièvement le contexte géologique belge, identifie quels sont les bâtiments à dimensionner selon l'Eurocode 8 [5] et introduit les bases d'une bonne conception sismique. Il ouvre enfin une parenthèse sur le comportement des bâtiments en bois multiétagés et livre quelques résultats de la recherche européenne 'Optimberquake' dédiée à l'impact des sollicitations sismiques sur ce type de constructions ([www.optimberquake.eu](http://www.optimberquake.eu)).

## 1 Comment caractérise-t-on un séisme ?

La Belgique est située en zone d'activité sismique faible mais non négligeable. Certes, par rapport à la Grèce ou à l'Italie, l'intensité des tremblements de terre y est environ quatre fois moins élevée. Néanmoins, cela n'exclut pas des séismes destructeurs, en particulier dans les régions de Liège, de Mons et du Limbourg. Ceux-ci seront, par contre, plus espacés dans le temps, avec une période de retour de 475 ans <sup>(1)</sup>.

Pour caractériser un séisme, les communiqués de presse font habituellement référence à sa 'magnitude'. Il s'agit le plus souvent de la magnitude de moment  $M_w$ , une mesure correspondant à l'énergie sismique libérée au foyer du séisme et rayonnée vers l'environnement. L'échelle de magnitude de

moment est construite sur une base logarithmique  $10^{1,5}$  et est similaire à l'échelle de Richter (plus ancienne et obsolète). En conséquence, un séisme de magnitude 7 libère environ 30 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 6, et 1000 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 5.

La magnitude d'un séisme ne doit pas être confondue avec son intensité, qui caractérise ses effets et les dommages qu'il produit en surface et en un lieu donné. Bien sûr, ces effets seront généralement d'autant plus importants que la magnitude du séisme est grande, mais ils dépendront aussi d'autres paramètres comme la localisation de l'hypocentre (ou foyer sismique), le comportement de la croûte terrestre ou la qualité des constructions. L'intensité sismique n'est donc pas une valeur unique, mais une estimation locale qui tend à décroître en fonction de l'éloignement par rapport à l'épicentre (point de la surface terrestre à l'aplomb de l'hypocentre). Elle ne pourra être estimée qu'après une enquête sur le terrain. Il existe de nombreuses échelles d'intensité sismique dont les plus connues sont Mercalli, MSK ou plus récemment EMS 98. Sur l'échelle de Mercalli, par exemple, une intensité de I se rapporte à une secousse très faible sans dommage occasionné, alors qu'une intensité de XII correspond à la destruction quasi totale de toutes les constructions d'une zone donnée.

Pour illustrer la différence entre la magnitude et l'intensité sismique, il suffit de prendre deux exemples récents : le séisme du 24 août 2016 en Italie ( $M_w = 6,2$ ) et celui du 1<sup>er</sup> septembre 2016 en Nouvelle-Zélande ( $M_w = 7,1$ ). Alors que le second n'a engendré aucun dégât, car situé en mer (à 167 km de la ville la plus proche) et à une profondeur de 30 km, le premier (4 km de profondeur) est l'un des plus meurtriers de ces dernières années.

En génie civil, le dimensionnement des bâtiments soumis aux actions sismiques est régi par l'Eurocode 8 (NBN EN 1998-1) [5] qui utilise une autre unité que la magnitude ou l'intensité du séisme. Il s'agit de l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol rocheux  $a_{gR}$  qui vaut quelques dixièmes de l'accélération de la pesanteur (g). A l'échelle européenne, cette accélération est de l'ordre de 0,1 g en zone faiblement sismique (Belgique, France) et de 0,4 g en zone fortement sismique (Grèce, Italie). Elle est aussi utilisée pour établir les cartes d'aléas sismiques régionales. Comme l'illustre la figure 1 (p. 2), notre pays est divisé en cinq zones selon les valeurs d'accélération  $a_{gR}$  identifiées par l'Observatoire royal de Belgique. Celles-ci fluctuent entre 0 (zone 0) et 0,10 g (zone 4).

L'accélération de référence  $a_{gR}$  correspond à un sol de très bonne résistance (sol rocheux comportant une couche de dépôts moins résistants de 5 m au plus).

<sup>(1)</sup> La période de retour correspond au temps statistique entre deux tremblements de terre.

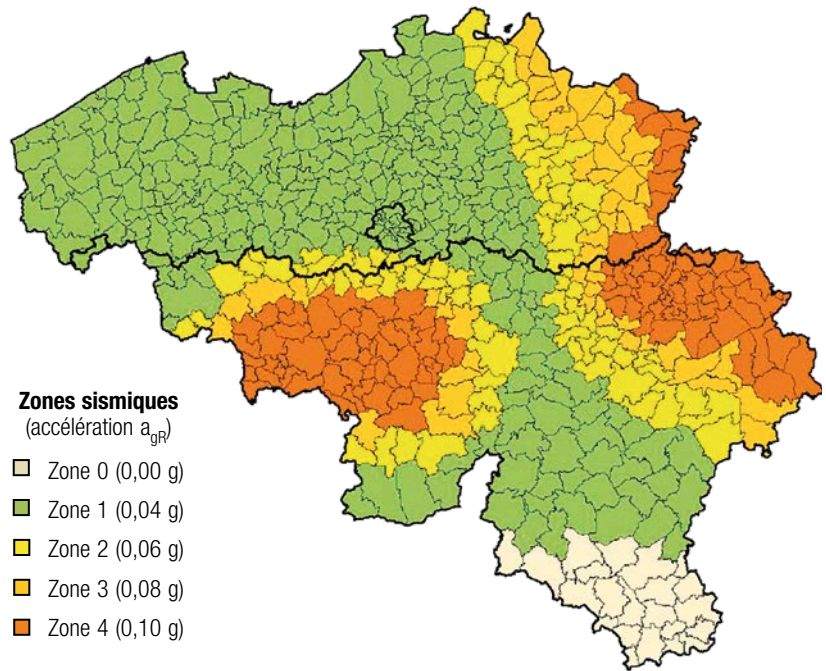
En revanche, lorsque des conditions géologiques défavorables sont réunies, le mouvement du sol en surface peut être fortement amplifié (voir figure 2). C'est ce que l'on appelle l'effet de site. Celui-ci est pris en compte en appliquant à l'accélération de référence  $a_{gR}$  le paramètre de sol  $S$  compris entre 1 (pour un sol rocheux) et 1,8 (pour un sol de très faible résistance). L'intensité du séisme peut donc augmenter jusqu'à 80 % en présence d'un sol de résistance médiocre. Dans tous les cas, il convient d'effectuer les investigations appropriées en vue de classer le sol conformément à l'Eurocode 8. Le site de construction et la nature du sol de fondation doivent être exempts de risques de rupture du terrain, d'instabilité des pentes et de tassements permanents causés par la liquéfaction ou par la densification du sol en cas de séisme. Dans le doute, il y a lieu de prendre une série de dispositions particulières, en procédant à une étude préalable ainsi qu'à une évaluation des phénomènes possibles et, si nécessaire, à un éventuel traitement ou, en dernier recours, à l'éviction du site.

Par ailleurs, selon la catégorie d'importance du bâtiment, l'intensité du séisme est minorée ou majorée par un facteur appelé coefficient d'importance  $\gamma_i$ . Ce dernier tient compte des conséquences sur les plans humain, économique et social ainsi que de l'importance que revêt le bâtiment pour la sécurité publique et la protection civile à la suite d'un séisme (tableau A, p. 3).

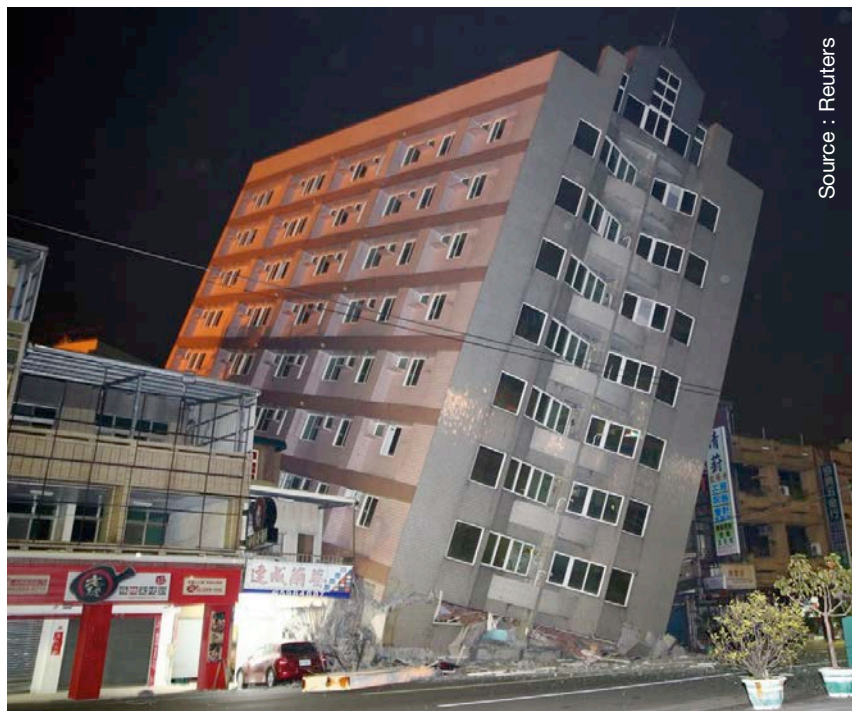
Ainsi, il y a lieu de majorer l'accélération  $a_{gR}$  de 40 % s'il s'agit d'un hôpital ou d'une centrale électrique, et de la minorer de 20 % s'il s'agit d'un bâtiment agricole, la référence étant les maisons et les immeubles résidentiels.

## 2 Dans quel cas doit-on dimensionner un bâtiment sous sollicitations sismiques ?

Une fois que l'accélération du séisme est 'corrigée' (majorée ou minorée) pour tenir compte de l'effet de site et de la catégorie d'importance du bâtiment, il convient de comparer cette valeur aux valeurs limites explicitées dans l'Eurocode 8. Celles-ci sont spécifiées ci-après



1 | Carte des zones sismiques en Belgique (NBN EN 1998-1 ANB) [6].



2 | Immeuble sur radier ayant basculé sous l'effet du tassement du sol consécutif à un phénomène de liquéfaction lors d'un séisme à Taïwan, en février 2016.

et résumées au tableau B (p. 3) :

- en cas de très faible sismicité ( $\gamma_i a_g S \leq 0,06 g$ ), il n'est pas nécessaire de dimensionner le bâtiment selon l'Eurocode 8-1 [5]
- en cas de faible sismicité ( $0,06 g < \gamma_i a_g S \leq 0,1 g$ ), on peut appliquer des

procédures de dimensionnement sismique réduites ou simplifiées pour certains types ou certaines catégories de structures (voir § 3, p. 3)

- au-delà de 0,1 g, il convient de dimensionner le bâtiment selon les règles détaillées de l'Eurocode 8-1.



### A | Catégories d'importance des bâtiments [6].

Catégorie d'importance	Types de bâtiments	Coefficient d'importance $\gamma_I$
I	Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, tels que bâtiments agricoles, par exemple	0,8
II	Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories	1
III	Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion, institutions culturelles, etc.	1,2
IV	Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc.	1,4

### B | Pour quelle intensité sismique doit-on dimensionner le bâtiment selon l'Eurocode 8-1 ?

$\gamma_I \cdot a_{gr} \cdot S$	Dimensionnement
$\leq 0,06 \text{ g}$	Aucune mesure spécifique à prendre concernant les séismes
$> 0,06 \text{ g}$ et $\leq 0,1 \text{ g}$	Application de règles simplifiées de conception en zone parasismique suivant l'Eurocode 8-1
$> 0,1 \text{ g}$	Dimensionnement complet selon l'Eurocode 8-1 nécessaire

Un coup d'œil rapide à la carte des zones sismiques montre qu' hormis les bâtiments agricoles, tous les ouvrages construits en zone 3 ou 4 doivent d'office bénéficier d'une conception parasismique selon l'Eurocode 8-1. Cette règle s'étend à la zone 2 pour les bâtiments publics (écoles, hôpitaux, etc.). Le degré de complexité de la méthode de dimensionnement à appliquer dépend du niveau de sismicité.

### 3 Dimensionnement selon l'Eurocode 8-1

#### 3.1 Capacité de dissipation d'une structure

Une structure parasismique doit être capable de reprendre les déformations engendrées par les sollicitations sismiques sans s'effondrer. Plus une structure est dissipative, plus grande

est sa capacité à résister aux actions sismiques au-delà de son domaine élastique. Cette dissipation passe par les éléments de construction eux-mêmes (et s'avère par conséquent tributaire du matériau utilisé) et/ou par les assemblages entre ces éléments.

Pour un même niveau de déplacement engendré par un séisme, une structure dissipative – DCM (*Ductility Class Medium*) et DCH (*Ductility Class High*) – sera soumise à des sollicitations moins importantes qu'une structure faiblement dissipative – DCL (*Ductility Class Low*) – (voir figure 3, p. 4).

Ce niveau de dissipation est représenté par le **coefficient de comportement  $q$** . Les valeurs de référence de celui-ci, classées en fonction des matériaux constituant la structure, sont fournies dans les chapitres 5 à 9 de l'Eurocode 8-1.

## Dimensionnement selon l'Eurocode 8

Voici deux exemples concrets d'application de l'Eurocode 8 pour deux types de bâtiments <sup>(2)</sup> :

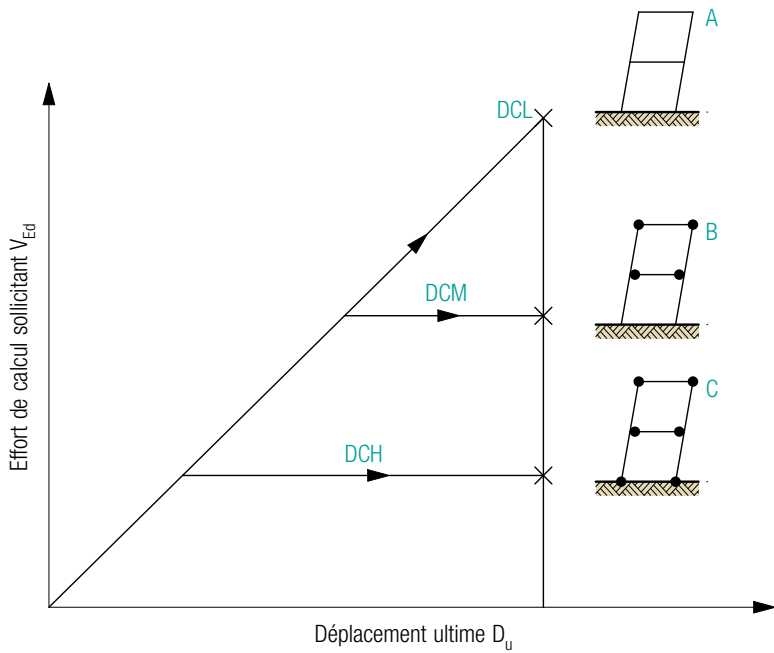
- le premier est celui d'un **immeuble à appartements** implanté à Liège sur un sol composé de dépôts raides d'argile surconsolidée <sup>(3)</sup> d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur ( $S = 1,35$ ). L'intensité sismique 'corrigée' étant de 0,08 g, il est recommandé d'appliquer les règles simples de conception en zone parasismique
- le second exemple est celui d'un **hôpital** implanté à Ostende sur des dépôts de sol sans cohésion et de densité faible ( $S = 1,8$ ). L'intensité sismique 'corrigée' étant de 0,15 g, il convient de dimensionner le bâtiment conformément à l'Eurocode 8.

Il est néanmoins tout à fait possible de réaliser une structure peu dissipative (DCL) en zone sismique. Elle présentera alors un faible coefficient de comportement ( $q = 1,5$ ) et des sollicitations sismiques plus grandes; elle nécessitera en outre une vérification des éléments et assemblages conformément aux Eurocodes 2, 3, 4, 5, et 6 et non selon l'Eurocode 8.

Une structure dissipative exigera par contre un travail d'étude et de conception plus important ainsi qu'un contrôle de l'exécution plus sévère pour assurer à la structure la résistance correspondant au niveau de dissipation fixé (DCL, DCM ou DCH).

<sup>(2)</sup> Un spectre de type 2 a été considéré pour ces deux exemples.

<sup>(3)</sup> Un sol surconsolidé est un sol qui a été préalablement consolidé par des cycles de 'charge-décharge'.



3 | Comportement d'une ossature à réponse purement élastique (A), moyennement dissipative (B) et hautement dissipative (C) [11].

### 3.2 Structure primaire et structure secondaire

Le principe du calcul parasismique repose sur un dimensionnement en capacité pour lequel il convient de définir une structure primaire du bâtiment et une structure secondaire. La structure primaire, constituée de certains éléments du système structural, sera choisie, conçue et étudiée pour résister aux actions sismiques. Les autres éléments structuraux ne participeront pas à la reprise des efforts sismiques.

Néanmoins, ils devront être conçus pour reprendre les charges gravitaires lorsque le bâtiment sera soumis aux déplacements causés par le séisme. L'Eurocode fixe la limite de la contribution de tous les éléments sismiques secondaires à la raideur latérale à 15 % de la contribution des éléments sismiques primaires.

### 3.3 Méthodes de calcul

Lorsqu'un dimensionnement simplifié suffit (en cas de faible sismicité), l'Eurocode

procode fournit des règles spécifiques à respecter pour chaque matériau constituant la structure primaire. Celles-ci n'étant pas détaillées dans le présent article, il y a lieu de se reporter aux chapitres 5 à 9 de l'Eurocode 8-1 en fonction du matériau constituant la structure primaire du bâtiment à dimensionner.

Lorsque le bâtiment (4) requiert un dimensionnement complet selon l'Eurocode 8-1, Il convient tout d'abord d'évaluer la régularité de la structure en plan et en élévation, afin de définir le type de modèle et d'analyse à suivre.

Les critères de régularité en plan (cf. § 4.2.3.2 de l'EN 1998-1) conditionneront l'utilisation d'un modèle simplifié plan ou d'un modèle spatial. Les critères de régularité en élévation (cf. § 4.2.3.3 de l'EN 1998-1) conditionneront la méthode d'analyse linéaire autorisée (méthodes des forces latérales ou bien méthode modale). Pour connaître tous les détails de ces critères, il convient de se reporter à l'Eurocode 8-1.

Le tableau C résume les différents modèles et méthodes d'analyse à suivre en fonction des critères de régularité en plan et en élévation du bâtiment analysé.

Une fois le type de modèle et d'analyse retenu, il y a lieu de procéder à la détermination et à la répartition des efforts :

- dans le cas d'une analyse simplifiée (méthode des forces latérales), on

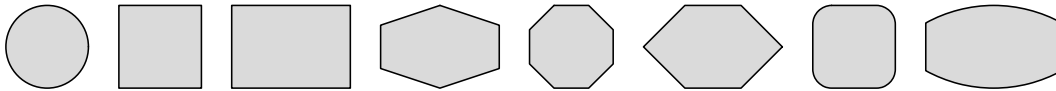
C | Choix de la méthode d'analyse sur la base des critères de régularité.

Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement q (*) (pour l'analyse linéaire)
en plan	en élévation	Modèle	Méthode d'analyse élastique linéaire	
Oui	Oui	Plan	Force latérale	Valeur de référence
Oui	Non	Plan	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	Plan (²)	Force latérale	Valeur de référence
		Spatial	Force latérale	Valeur de référence
Non	Non	Spatial	Modale	Valeur minorée

(\*) Le coefficient de comportement q traduit la capacité d'une structure à dissiper l'énergie et à assurer une 'surrésistance'. Il est lié au matériau, au système structural et aux méthodes de dimensionnement. Les valeurs de référence sont indiquées dans les chapitres 5 à 9 de l'Eurocode 8-1.  
 (²) Sous certaines conditions (voir § 4.3.3.1 (8) de l'EN 1998-1).

(4) Les structures spéciales, telles que les centrales nucléaires, les ouvrages en mer et les grands barrages, ne sont pas couvertes par la norme EN 1998-1.





#### 4 | Formes favorisant la bisymétrie en plan [1].

se reportera au § 4.3.3.2 de l'Eurocode 8-1

- dans le cas d'une analyse modale, on se reportera au § 4.3.3.3 de l'Eurocode 8-1.

Comme variantes aux méthodes linéaires, on peut utiliser des méthodes non linéaires faisant appel à des logiciels d'éléments finis (voir § 4.3.3.4 de l'Eurocode 8-1).

#### 4 | Principes de conception en zone parasismique

Les principes présentés ci-dessous proviennent principalement du guide parasismique belge [11]. Il s'agit de principes généraux applicables à tout type de structure à construire en zone sismique. Il n'est pas obligatoire de les respecter; néanmoins, leur application permettra de limiter les surcoûts de la construction liés à la conception parasismique, d'assurer sa sécurité et de simplifier son dimensionnement (voir § 3, p. 3). Il est important également de noter que ces principes portent seulement sur la structure primaire de la construction, la structure secondaire ne faisant pas partie du système résistant aux actions sismiques. Ces règles n'entravent donc pas la liberté de l'architecte dans le choix des formes de la structure globale.

D'une manière générale, une bonne conception parasismique repose tout d'abord sur la recherche de la simplicité et de la régularité dans la forme de la structure primaire ainsi que dans la répartition des masses, le but étant d'éviter des déformations excessives et des concentrations de contraintes. Les bâtiments bisymétriques et compacts en plan sont donc plus favorables en zone parasismique que les bâtiments en forme de L, de T ou de U, plus sensibles à la torsion (figure 4).

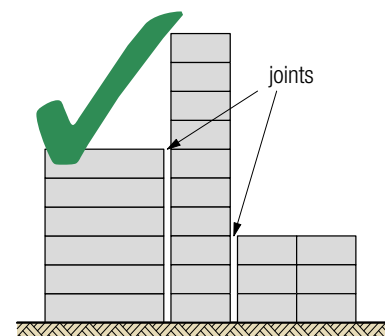
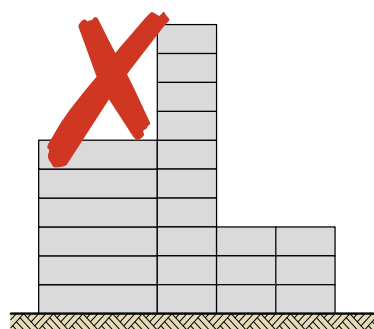
Le même principe s'applique en élévation. La figure 5 illustre un bâtiment présentant une structure régulière (à gauche) et irrégulière (à droite).



#### 5 | Préférer les structures régulières en élévation (à gauche) aux structures irrégulières (à droite).

Un bâtiment dissymétrique ou de forme complexe peut néanmoins être rendu sismiquement favorable en le fractionnant en 'blocs' au moyen de joints parasismiques. La largeur du joint doit être au moins égale à la valeur cumulée des déplacements maximum possibles de chacune des sous-structures, afin d'éviter que celles-ci ne s'entrechoquent lors d'un séisme. Il

convient en outre de remplir le joint d'un matériau flexible qui peut facilement s'écraser sous les contraintes horizontales. Cette technique est toutefois coûteuse et devrait être évitée autant que possible, surtout dans les bâtiments multiétagés où les colonnes devront généralement être dédoublées et les joints posés sur toute la hauteur (voir figure 6).

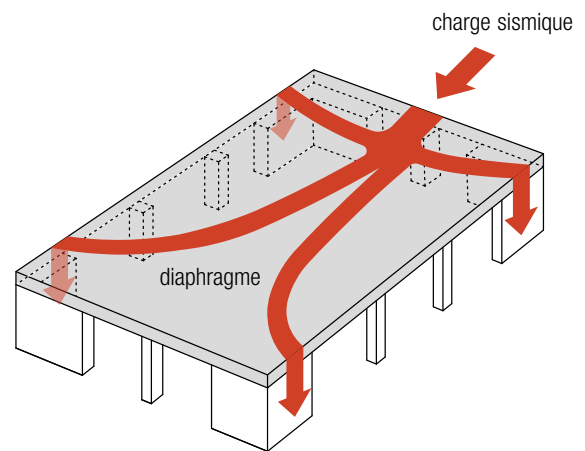
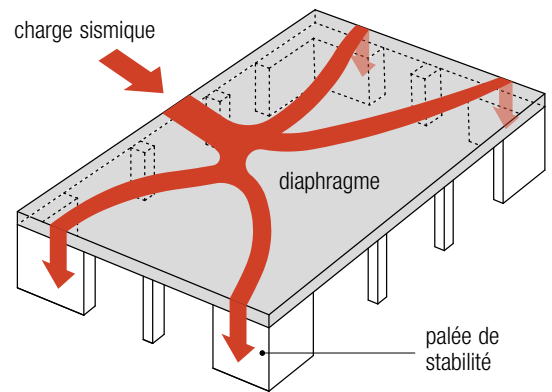


#### 6 | Fractionnement au moyen de joints parasismiques; vue en élévation d'un bâtiment [11].



Copyright : I. Torlin – Architecte : I. M. Pei

7 | Contreventement à l'aide de croix de Saint-André visibles.



8 | Mécanisme de transfert des efforts horizontaux vers les fondations [1].

Il importe en outre de conférer à la structure une rigidité régulière sur toute sa hauteur, en utilisant si nécessaire différentes techniques de contreventement : voile de contreventement, croix de Saint-André (cf. figure 7), portique rigide.

Enfin, pour éviter des problèmes de flexion du bâtiment, il est conseillé de placer les charges les plus lourdes le plus bas possible, dans le but d'abaisser au maximum le centre de gravité du bâtiment, et, si possible, de les centrer afin de prévenir les problèmes de torsion.

Outre les règles de symétrie et de régularité, il est primordial de prévoir un

contreventement horizontal à chaque étage, y compris dans la toiture.

Les planchers et le toit doivent agir comme des contreventements horizontaux ou des diaphragmes (5). Ces éléments rassemblent les forces d'inertie et les transfèrent aux éléments verticaux. Ce sont eux qui permettent la descente de charge horizontale entre les différents étages d'un bâtiment jusqu'aux fondations. Par conséquent, chaque plancher doit être solidarifié à la structure sous-jacente.

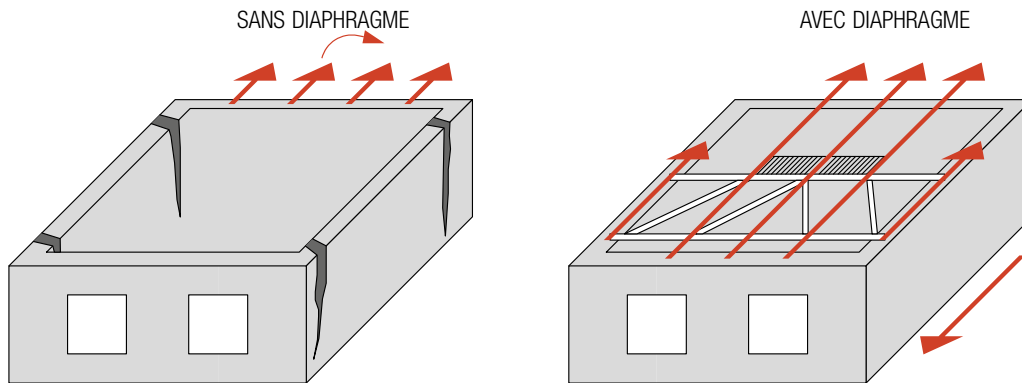
Ce phénomène est représenté à la figure 8 pour les deux directions principales d'application de la sollicitation sismique.

Pour jouer le rôle de diaphragme, les planchers et la toiture doivent être rigides (6) et solidarifiés à la structure sous-jacente, de manière à transférer les efforts horizontaux aux éléments verticaux de contreventement, qui les transmettent à leur tour aux fondations.

La raideur d'un diaphragme dépend de ses composants, de sa forme, du matériau utilisé et de la raideur relative du contreventement vertical. Ainsi, un plancher en bois composé de solives et de panneaux à base de bois cloués sur les solives est considéré comme flexible dans une construction lourde, mais peut être considéré comme rigide dans une construction en bois en fonc-

(5) On parle de diaphragme pour le contreventement horizontal d'une construction.

(6) Un diaphragme rigide est un élément de plancher ou de toiture résistant à la flexion et au cisaillement dans son propre plan et possédant une déformabilité relativement faible par rapport aux éléments de contreventement verticaux.



9 | Effet d'un séisme sur les murs d'une construction en maçonnerie avec et sans diaphragme [11].

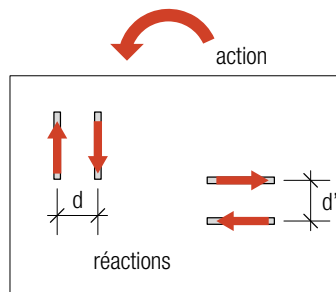
tion de la rigidité des autres éléments porteurs.

Les diaphragmes flexibles combinés à des contreventements verticaux rigides – à l'image des constructions composées de planchers en bois et de voiles verticaux en maçonnerie – sont donc à éviter, car les planchers vont engendrer des déformations trop importantes que les murs en maçonnerie ne seront pas capables de reprendre (voir figure 9). Dans le cas où cette combinaison est inévitable, un renforcement du plancher à l'aide d'une dalle en béton liaisonnée à la structure (ce que l'on appelle un plancher en bois-béton) peut, par exemple, être envisagé pour augmenter la rigidité du plancher.

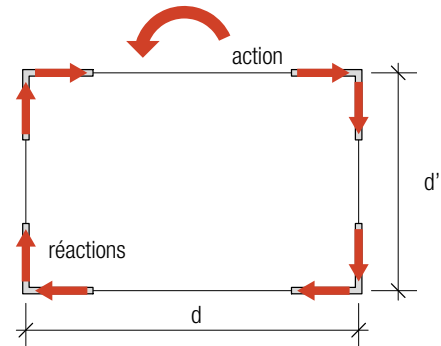
Le même phénomène est observé avec des planchers constitués de hourdis non connectés entre eux et des murs en panneaux de béton.

Par ailleurs, il est conseillé de placer les voiles de contreventement de manière centrée et au plus près du pourtour du bâtiment, afin de maximiser sa raideur à la torsion d'ensemble (figure 10). C'est la raison pour laquelle les bâtiments contreventés à noyau central (cage d'escalier, ascenseur), traditionnellement réalisés en zone non sismique, ne représentent pas une technique efficace (du point de vue du contreventement) en zone sismique.

PETITS BRAS DE LEVIER - A ÉVITER



GRANDS BRAS DE LEVIER - A PRÉFÉRER



10 | Il est préférable d'éloigner les voiles de contreventement parallèles, afin de créer le plus grand bras de levier possible et de conférer au bâtiment une raideur maximale en torsion [1].

## 5 Focus sur les constructions en bois

Grâce à leur faible masse, les constructions en bois sont plus favorables face aux sollicitations sismiques que les constructions lourdes, étant donné que les charges sismiques sont proportionnelles à la masse du bâtiment. En effet, plus un bâtiment est lourd, plus il engendre des forces d'inertie importantes.

Par contre, le bois, contrairement au béton armé ou à l'acier, n'est pas un matériau ductile ou encore 'dissipatif' (pouvant absorber de larges déformations 'plastiques' identifiables avant la rupture). Il lui est donc difficile d'absorber l'énergie qui lui sera transférée lors d'un séisme. Cependant, la construction en bois est caractérisée par la

présence de nombreuses connexions métalliques dans lesquelles l'énergie induite par le tremblement de terre est dissipée à travers l'ensemble de la structure. Par exemple, dans les murs et les planchers à ossature en bois, ce sont les clous ou agrafes liaisonnant les panneaux à base de bois aux montants qui se déforment pour jouer ce rôle. On veillera néanmoins à fixer les panneaux sur tout leur pourtour pour éviter de créer des joints libres qui provoqueraient des déformations trop importantes.

Il convient également de prévoir des liaisons mur-mur, mur-plancher et mur-toiture suffisamment rigides, afin d'éviter des déformations excessives de la structure. Lorsque la construction complète fonctionne comme une 'boîte' (7), les forces induites par des

(7) C'est-à-dire quand tous les murs et les planchers sont des parois pleines connectées entre elles.



tremblements de terre faibles à modérés peuvent être supportées avec peu ou pas de dommages.

Le CSTC, en collaboration avec les universités de Kassel (Allemagne) et de Sassari (Italie), a mené un projet de recherche 'Optimberquake' ([www.optimberquake.eu](http://www.optimberquake.eu)) en vue d'étudier l'impact des sollicitations sismiques sur les bâtiments en bois multiétagés.

L'objectif de ce projet était d'évaluer le comportement des éléments porteurs (murs et planchers) en bois massif et à ossature en bois soumis à des sollicitations horizontales répétées. Bien que le projet fût alimenté par nos partenaires de recherche en vue d'une réflexion sur les tremblements de terre, il intéressait nos équipes à titre d'illustration des principes de résistance à d'autres types de sollicitations horizontales, telles que les forces induites par le vent <sup>(8)</sup>.

Le CSTC a effectué une dizaine de tests en vraie grandeur sur des éléments de plancher en bois de 4,5 m sur 4,5 m, afin de mettre en évidence les différences de comportement (du point de vue de leur résistance et de leur rigidité) entre différentes méthodes constructives.

Quatre types de plancher, de capacité verticale identique, ont été étudiés :

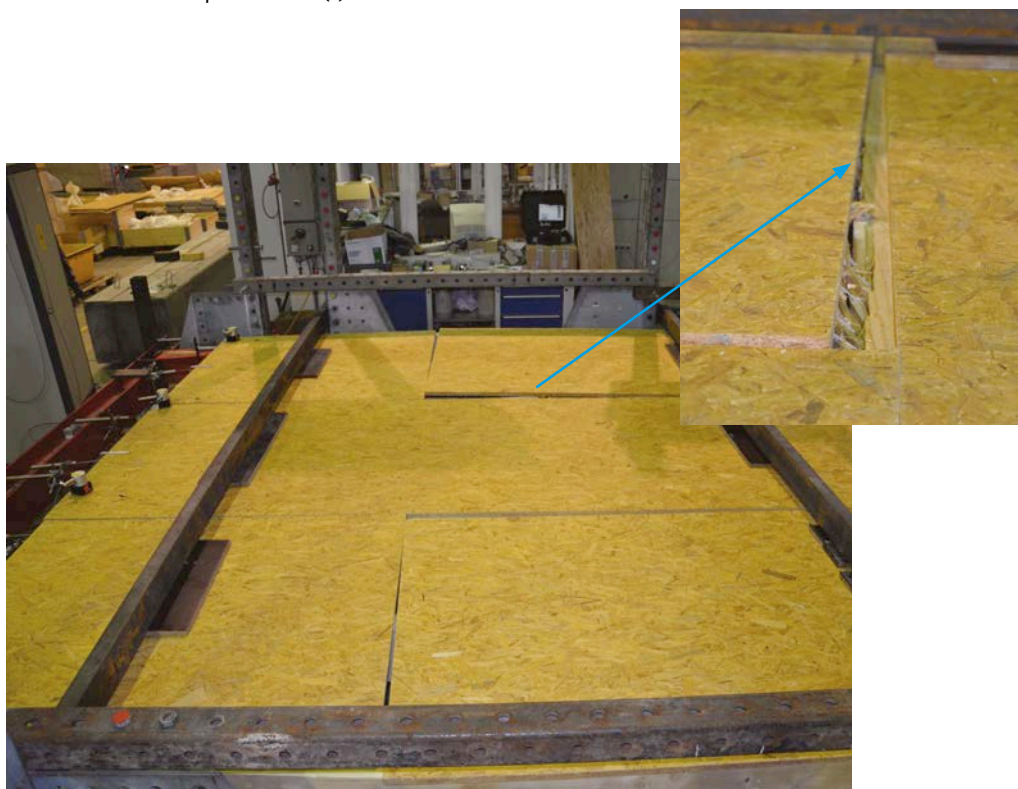
- plancher à solives avec panneaux OSB à chants droits cloués (figure 11)
- plancher à solives avec panneaux OSB rainurés-languetés cloués
- plancher à solives avec panneaux OSB rainurés-languetés cloués à joints collés
- plancher en bois-béton (figure 12, p. 9)
- plancher en bois massif contrecollé CLT <sup>(9)</sup> (5 plis).

Il en ressort que c'est le plancher CLT (avec deux assemblages à mi-bois au

droit des points de chargement) qui présente la résistance et la rigidité les plus élevées. Ces performances sont essentiellement dictées par le type d'assemblage entre les panneaux et par l'indéformabilité de ces derniers dans leur plan.

Le plancher en bois-béton, quant à lui, atteint une résistance et une rigidité proches de celles du plancher CLT grâce à la rigidité de la dalle de béton. Il subit toutefois une rupture fragile dans la dalle durant les essais cycliques, qui réduit à néant la collaboration entre les deux couches, de même que le gain de résistance et de rigidité.

Enfin, en ce qui concerne les planchers à solives, leur résistance et leur rigidité dépendent essentiellement de la direction des joints entre les panneaux par rapport à la direction du chargement.



11 | Glissement des panneaux OSB à chants droits cloués sur un plancher à solives, par cisaillement des clous après un essai de chargement cyclique.

<sup>(8)</sup> Les efforts dus au vent, comme les efforts sismiques, sont des forces horizontales dont l'intensité dépend de la géométrie du bâtiment et de son emplacement géographique. Il existe donc quelques similitudes entre les deux types de sollicitations, de sorte que les règles de bonne pratique utiles pour la résistance aux sollicitations sismiques peuvent être appliquées à la résistance aux efforts du vent.

<sup>(9)</sup> *Cross laminated timber.*





12 | Essai de chargement cyclique horizontal sur un plancher en bois-béton.

Plus la longueur des joints dans la direction du chargement est grande, plus la flexibilité du plancher sera importante. Néanmoins, les joints collés permettent une augmentation de rigidité et de résistance d'environ 10 à 15 % par rapport à la version non collée.

## 6 Conclusions

En Belgique, tous les bâtiments (hormis les bâtiments agricoles) érigés dans les zones sismiques 3 et 4 (autour de Liège, de Mons et du Limbourg) doivent d'office faire l'objet d'un dimension-

nement (simplifié ou complet) selon l'Eurocode 8-1 [5]. Cette règle s'étend à la zone 2 pour les bâtiments publics (école, hôpital, etc.). Dans les autres cas de figure, il est nécessaire de procéder à une vérification préalable (cf. § 2, p. 2) en fonction de la localisation, du type de sol et de l'affectation du bâtiment, afin de savoir s'il y a lieu ou non de réaliser une conception parasismique.

En outre, lorsqu'un bâtiment doit être conçu et dimensionné en zone parasismique, l'application d'une série de principes de base (simplicité, continuité, régularité de la structure, etc.) permet de limiter le surcoût de la structure lié à la conception parasismique, mais également d'assurer sa sécurité et de simplifier son dimensionnement.

Enfin, les essais réalisés au CSTC dans le cadre du projet 'Optimberquake' ont démontré que les bâtiments en bois, de par leur faible masse et leurs assemblages ductiles (tire-fonds, vis, clous, agrafes), se comportent globalement bien lors de séismes, et ce tant sur le plan de la sécurité publique que, dans certains cas, de la prévention des dégâts.■

A. Skowron, ir., chef de projet, division Structures, CSTC  
B. Parmentier, ir., chef de la division Structures, CSTC



## BIBLIOGRAPHIE

1. Association française du génie parasismique  
Conception parasismique des bâtiments. Paris, Guide AFPS, 2002.
2. Baladi M. & Bolle A.  
Etude de l'effet diaphragme de différents planchers en bois. Travail de fin d'étude, Université catholique de Louvain, mai 2012.
3. Balandier P.  
Le séisme et les bâtiments. Document d'information à l'usage du constructeur, Volume 3, Direction départementale de l'Équipement de la Guadeloupe, s.d.
4. Bott J. W., Dolan J. D., Easterling W. S. & Loferski J. R.  
Horizontal Stiffness of Wood Diaphragms. PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, avril 2005.
5. Bureau de normalisation  
NBN EN 1998-1 Eurocode 8 : calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Bruxelles, NBN, 2005.
6. Bureau de normalisation  
NBN EN 1998-1 ANB Eurocode 8 : calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Annexe nationale. Bruxelles, NBN, 2011.
7. Newcombe M., van Beerschoten W., Carradine D., Pampanin S. & A. Bucanan  
In-plane experimental testing of timber-concrete composite floor diaphragms. Journal of Structural Engineering, Vol. 136, N° 11, 2010.
8. Newcombe M., van Beerschoten W., Carradine D., Pampanin S. & A. Bucanan  
The effect of floor flexibility on the seismic behaviour of post-tensioned timber buildings. PhD thesis, University of Canterbury & Delft University of Technology, mai 2009.
9. Organisation internationale de normalisation  
ISO 21581 Structures en bois. Méthodes d'essai de charge latérale statique et cyclique sur murs de contreventement. Genève, Organisation internationale de normalisation, juin 2010.
10. Piazza M., Baldessari C. & Tomasi R.  
The role of in-plane floor stiffness in the seismic behavior of traditional buildings. PhD thesis, Rapport TVBK-5187, Université de Lund, Faculté de Génie civil, Département de Génie des Structures, 2010.
11. Plumier A. & Degée H.  
Guide technique parasismique belge pour maisons individuelles. Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC), Université de Liège, SAFERR (Commission européenne), Observatoire royal de Belgique, 2003.
12. Wilson A., Quenneville P. & Ingham J.  
Experimental testing of full-scale timber floor diaphragms in unreinforced masonry buildings. PhD thesis, Proceedings of the 9th Conference in Earthquake Engineering, Building an Earthquake-Resilient Society, Auckland, Nouvelle-Zélande, avril 2011.
13. Yasumura M. & Kawai N.  
Estimating seismic performance of wood-framed structures. In World Conference on Timber Engineering, 1998.