

# 03+04/11 steeldoc

## Construction parasismique

Conception et  
dimensionnement



## Concevoir des structures simples, ductiles et robustes

**Dès les premières phases de conception, les architectes devraient s'efforcer d'appliquer les principes de base de la construction parasismique et d'optimiser la forme des bâtiments en conséquence. En collaborant le plus en amont possible, architectes et ingénieurs parviendront à des solutions d'autant plus efficaces et économiques.**

André Plumier\*

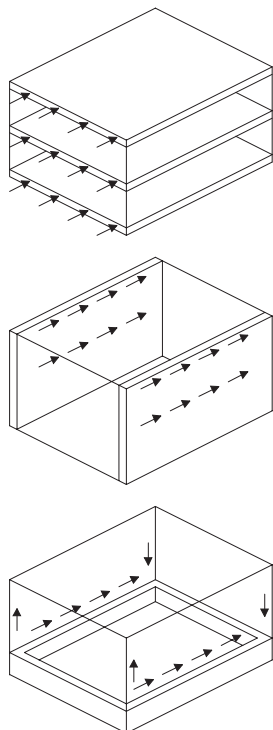
L'objectif de la conception parasismique est de réaliser des structures porteuses simples, ductiles et robustes, offrant des cheminements simples et directs pour la transmission des forces sismiques. Une structure porteuse robuste se distingue par le fait que la rupture d'un élément porteur n'entraîne pas une réaction en chaîne, c'est-à-dire que le bâtiment conserve une résistance ultime suffisante pour éviter la ruine de l'ensemble. Afin que le bâtiment ait un comportement ductile, la résistance des assemblages et des éléments doit être harmonisée de telle sorte que, sous l'effet d'un séisme, les assemblages plastifient avant la ruine fragile de l'un des autres éléments.

La stabilité implique le respect des trois conditions suivantes:

- un nombre convenable de plans de contreventement verticaux et horizontaux
- une bonne disposition relative de ces plans
- des liaisons adéquates entre ces plans.

Fig. 1: Schéma général de fonctionnement en «boîte» pour la reprise des actions horizontales de séisme ou de vent (d'après ZACEK, 1996).

Les forces sont collectées par la structure horizontale et distribuées au système verticale de contreventement pour être transmises finalement aux fondations.



### ■ Structure primaire – Structure secondaire

La structure verticale d'un bâtiment peut comprendre une structure principale ou «primaire», conçue pour reprendre seule les sollicitations sismiques, et une structure «secondaire», qui ne reprend que des actions gravitaires. Cette distinction doit correspondre au fonctionnement réel de la structure, ce qu'on traduit par l'exigence que la raideur et la résistance apportée par la structure secondaire à la reprise de l'action sismique soit inférieure à 15 % des raideurs et résistances apportées par la structure primaire. De plus, il faut que les éléments porteurs de la structure secondaire et leurs assemblages suivent les déformations de la structure primaire tout en continuant à porter les charges gravitaires.

### ■ Objectif de la conception parasismique

Une bonne conception parasismique permet d'obtenir une structure capable de résister à l'action sismique pour un coût à peine supérieur à celui d'un projet non parasismique. Les principes de conception s'appliquent seulement à l'ossature «primaire», ce qui laisse à l'architecte beaucoup de liberté dans son projet. En particulier, la liberté d'aspect de la structure «secondaire» qui peut constituer le facteur déterminant de l'aspect extérieur est pratiquement totale.

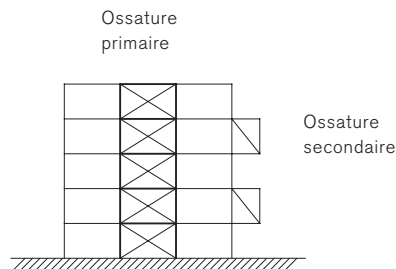


Fig. 2: Ossature primaire et ossature secondaire

Fig. 3: Formes de bâtiments optimisées en plan et dispositions des évidements dans les éléments de planchers.

En haut: conception à éviter  
En bas: conception à privilégier

Fractionnement des bâtiments par des joints sismiques ou partition en sous structures.

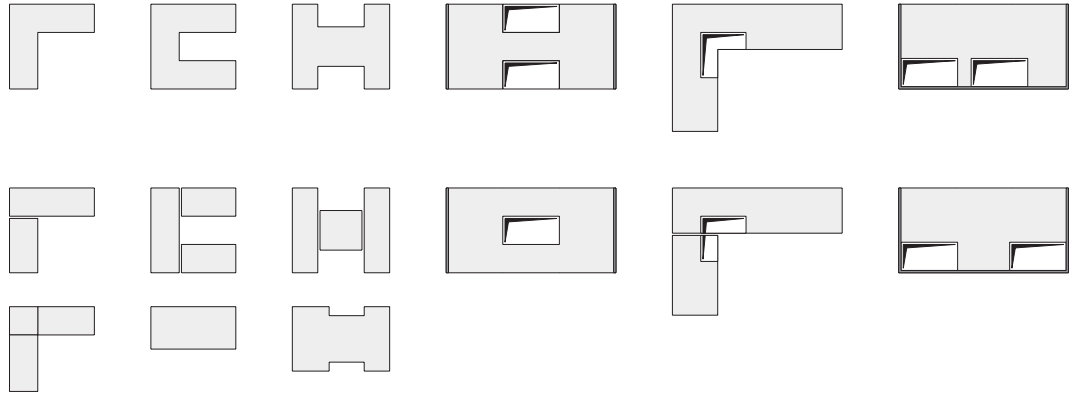
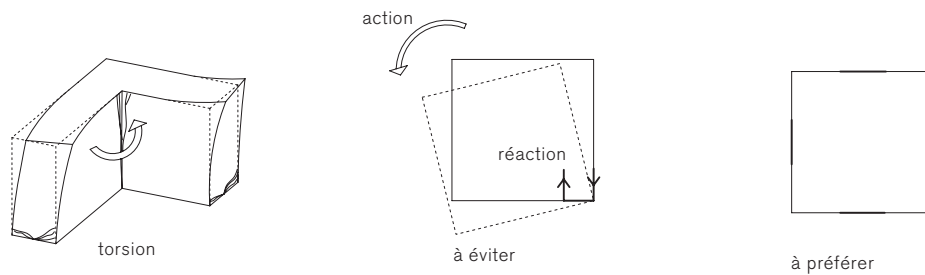


Fig. 4: Des plans symétriques réduisent la torsion. Des contreventements disposés en périphérie assurent la reprise la plus efficace de la torsion.



## ■ Principes de la conception parasismique

### 1. Simplicité structurale

La simplicité structurale est caractérisée par des cheminements clairs et directs des sollicitations sismiques. C'est un principe important, parce que la modélisation, l'analyse, le dimensionnement, la conception des détails et la construction de structures simples sont plus faciles et moins incertains, de sorte que la prédiction de leur comportement sismique est beaucoup plus fiable.

### 2. Régularité en plan

La régularité en plan est atteinte par une distribution uniforme des éléments verticaux de contreventement, qui permet une transmission proche et directe des forces d'inertie développées par les masses présentes dans la structure. Si nécessaire, on peut réaliser cette uniformité en plan en divisant le bâtiment en blocs structurellement indépendants, au moyen de joints «sismiques» (fig. 3). Ceux-ci devront toutefois être assez larges pour empêcher l'entrechoquement des différents blocs. Si la configuration en plan est totalement ou approximativement symétrique, une disposition symétrique des contreventements permet de réaliser l'uniformité en plan. Une relation convenable entre

la distribution des masses et la distribution des résistances et raideurs réduit l'excentricité des forces sismiques et donc les effets de torsion (fig. 4).

Selon la norme SIA 261 (2005), un système structural est considéré comme régulier en plan lorsque les exigences du chapitre 16.5.1.3 sont remplies:

- La construction est approximativement symétrique en plan par rapport aux deux directions orthogonales en ce qui concerne la rigidité horizontale et la répartition des masses.
- La forme de la construction vue en plan est compacte. Les dimensions totales des angles saillants ou des évidements ne dépassent pas 25 % de la dimension en plan extérieure de la construction dans la direction considérée.
- La rigidité des planchers dans leur plan est grande en comparaison de la rigidité horizontale des éléments porteurs de construction verticaux.

### 3. Régularité en élévation

La régularité du bâtiment en élévation évite l'existence de zones sensibles où se concentrent des

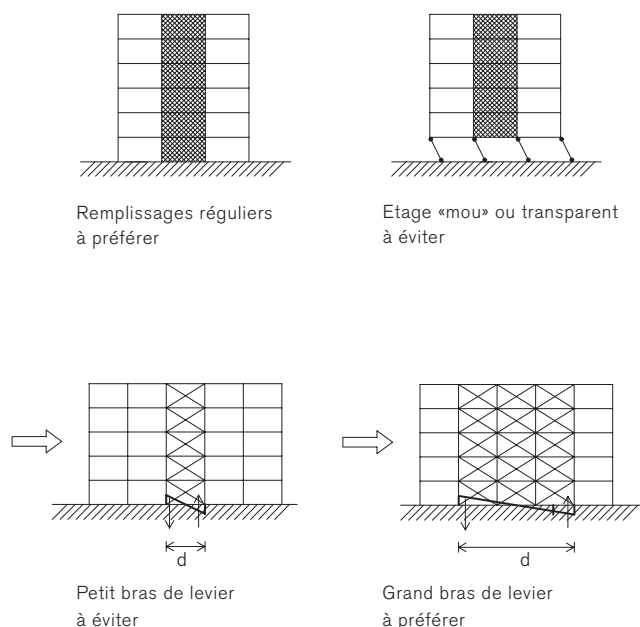


Fig. 5: La régularité en élévation et une assise large assurent une meilleure distribution des réactions d'appui.

sollicitations et des demandes de ductilité importante susceptibles d'engendrer une ruine prématurée. La régularité en élévation implique aussi l'absence d'interaction entre éléments structuraux et éléments non structuraux tels que des remplissages; une telle interaction peut engendrer une localisation des déformations plastiques, comme on l'observe dans les structures qui comportent un seul étage «transparent». Des ossatures redondantes, c'est-à-dire comportant de nombreux éléments structuraux, se caractérisent par de larges redistributions d'effort et un grand nombre de zones dissipatives. Elles distribuent ainsi mieux les réactions d'appui (fig. 5).

#### 4. Résistances et rigidités similaires dans leurs deux directions principales

Le mouvement sismique est bidirectionnel dans le plan horizontal et les ossatures de bâtiment doivent offrir une résistance adéquate quelle que soit la direction du séisme. Les ossatures devraient présenter des résistances et raideurs similaires dans leurs deux directions principales. Concernant le choix de la raideur des ossatures, il faut considérer deux éléments. Les sollicitations sismiques en termes de force sont plus faibles dans une ossature plus souple. Cependant, les déplacements sont plus grands dans une ossature plus souple

et ils doivent être limités, pour éviter des effets de second ordre important, sous séisme de calcul, et des fissurations, sous séisme fréquent.

#### 5. Rigidité et résistance torsionnelle

Les ossatures de bâtiment doivent présenter une rigidité et une résistance torsionnelle adéquates, afin de limiter les oscillations de torsion, car celles-ci provoquent des sollicitations inégales des contreventements. La disposition où les contreventements sont placés en périphérie du bâtiment est la plus efficace à cette fin.

#### 6. Diaphragmes

Le travail des planchers et de la toiture comme diaphragme est particulièrement important lorsque les contreventements ont une géométrie compliquée en élévation ou dans les systèmes structuraux où des contreventements de raideurs très différentes sont utilisés. Ces diaphragmes doivent être étudiés avec soin dans le cas de bâtiments très allongés et s'ils comportent des ouvertures importantes.

#### 7. Partition en sous-structures

Lorsque pour une raison quelconque (usage, esthétique), les principes de régularité en plan et de symétrie ne peuvent être respectés, on peut penser à effectuer une partition du bâtiment en plusieurs «blocs» ou sous-structures; celles-ci sont séparées pour leur comportement structural, mais jointives pour leur utilisation (fig. 3).

La difficulté de cette solution consiste en la réalisation de joints corrects entre les sous-structures. Ces joints doivent être suffisamment larges pour éviter le martèlement entre sous-structures lors d'un tremblement de terre, car ces sous-structures n'oscillent pas nécessairement à la même fréquence et il faut cumuler leurs déplacements maximaux possibles pour définir l'intervalle minimal qui doit les séparer. Cette solution doit en outre être complétée par des passerelles souples entre les différentes unités ainsi créées. Cette solution peut être réalisée sans dédoublement des poteaux de la structure, si les déplacements aux joints sont faibles (zone peu sismique, bâtiments peu élevés). Sinon, le dédoublement s'impose. On notera que les mêmes considérations s'appliquent aux joints de dilatation des bâtiments.

On note qu'il n'est pas opportun de remplir les joints sismiques de grande dimension, tels des murs mi-toyens, par un matériau même peu résistant (polystyrène ou autre), car une petite contrainte appliquée à une très grande surface peut correspondre à une force résistante élevée empêchant le fonctionnement du

joint. Dans ce cas, on se contente de masquer le joint par un élément flexible, pour des raisons esthétiques. Si le joint interrompt des éléments porteurs principaux de faible dimension (poutre), la contrainte qui peut se développer dans un matériau interface est assez élevée pour écraser celui-ci.

### 8. Fondations

Les fondations doivent se comporter sainement et empêcher les mouvements différentiels entre différents points d'appui du bâtiment. Une fondation rigide de type radier raidi par des murs et une dalle diaphragme les recouvrant assure ce type d'objectif. Des semelles de fondation devraient être reliées par une dalle ou des poutres.

### 9. Conditions d'un mécanisme plastique global

Dans les bâtiments dont l'ossature primaire est faite de portiques qu'on souhaite faire travailler dans le domaine plastique sous séisme de projet, il est fondamental pour la sécurité de développer les déformations plastiques dans les poutres et non dans les poteaux. Plusieurs raisons justifient cette option:

- un mécanisme plastique d'ossature de type global implique la formation de nombreuses rotules plastiques
- des planchers et des poutres même fortement endommagés ne s'effondrent pas individuellement, ils restent suspendus par les armatures ou les parties restantes des assemblages, alors que les dégâts aux poteaux entraînent facilement un effondrement d'ensemble.
- la ductilité est plus facilement réalisable dans des éléments purement fléchis.

L'implication pratique de ce principe est la réalisation de poteaux dont le moment plastique  $M_{pL,Rd}$  est supérieur à celui des poutres, ce qui correspond à

des sections de poutres moins hautes que celles des poteaux, très inhabituelles en dehors des zones sismiques. Il convient donc d'éviter les poutres voiles continues sur poteaux légers.

Le flambement des poteaux ou poutres dans une ossature avec triangulations à barres centrées est une situation de ruine. Le seul mécanisme plastique global et stable envisageable si les diagonales sont élancées est celui où les diagonales plastifient en traction (fig. 7), alors que la contribution des diagonales comprimées (et flambées) est négligeable. Le dimensionnement des barres de l'ossature doit créer les conditions de hiérarchie de sections aboutissant au mécanisme global plastique souhaité, qui n'implique que la plastification de diagonales.

### 10. Fixation des éléments non structuraux

La première cause de mort en cas de séisme de faible intensité est la chute d'éléments non structuraux mal fixés ou peu résistants placés en hauteur: cheminées (mortiers dégradés), éléments décoratifs de façade, cloisons ou vitrages appliqués aux façades, parois intérieures de séparation simplement posées au sol (maçonneries intérieures des immeubles) et non tenues en leur point haut, étagères, équipements techniques, etc.

\*Prof. Dr. André Plumier est Chef du Secteur «Ingénierie Structurale» du Département ARGENCO et également Chargé de Cours à l'Université de Liège, Belgique.

Sources :  
Chapitre 8 «Architecture des bâtiments résistants au séisme»,  
Constructions parasismiques en acier, Arcelor Mittal, Commercial sections, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Fig. 6:  
a) Concept des «poutres faibles – poteaux forts»  
b) Les rotules plastiques dans les poteaux entraînent des effets du second ordre plus importants.

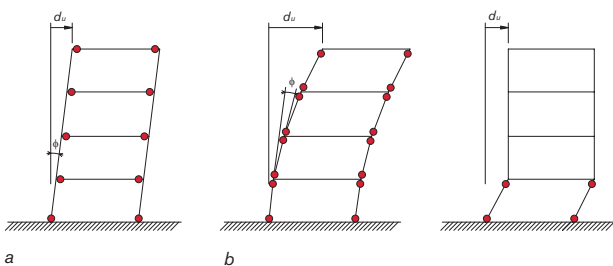
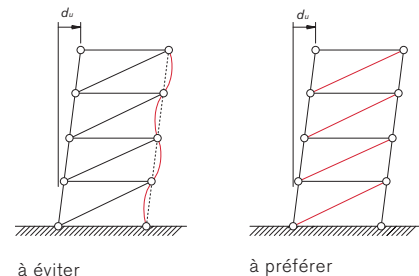


Fig. 7: Mécanisme global plastique d'une ossature avec triangulations à barres centrées.



# Impressum

## Littérature et sources suisses

### SIA Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich:

Norme SIA 260 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich.

Norme SIA 260.801 (2004) EN 1998-1: Eurocode 8 – Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1, règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.

Norm SIA 261 (2003): Actions sur les structures porteuses

Norm SIA 263 (2003): Construction en acier

Cahier technique SIA 2018 (2004): Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants

Documentation SIA D 0180 (2004): Termes techniques des normes sur les structures porteuses – Terminologie et définitions

Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261

### Autres:

Bachmann H. (2002): Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités. Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG

Bachmann H. (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Basel.

Paulay T., Bachmann H., Moser K. (1990): Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Birkhäuser Verlag, Basel.

Smit P. (2004): Entstehung und Auswirkungen von Erdbeben. Forum 4/2004. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.

Wenk T., Lestuzzi P. (2003): Erdbeben. Dans: Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261. S. 59–66. SIA Zurich

Wenk T. (2005): Erdbebeneinwirkung. In: Dokumentation SIA D 0211, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Einführung in das Merkblatt SIA 2018. S. 9–16, SIA Zürich

Weidmann M. (2002): Erdbeben in der Schweiz. Verlag Desertina, Chur.

Lignum, Economie suisse du bois: Bâtiments en bois parasismiques de plusieurs étages. Documentation technique de Lignum, Zurich, 2010

Fondation pour la Dynamique des structures et le Génie Parasismique ainsi que l'Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG (2005): Construction parasismique en Suisse – ce qui est essentiel et pourquoi. Zurich.

Service Sismologique Suisse SED (2002): Swiss Hazard Map. (<http://www.earthquake.ethz.ch>)

Office fédéral de l'environnement OFEV (2004): L'aléa sismique en Suisse, Effets géologiques locaux (microzonage). (<http://www.bafu.admin.ch>)

Autres sources voir articles/bibliographies

## Impressum

steeldoc 03+04/11, parution mai 2012  
Construction parasismique – Conception et dimensionnement

Editeur:  
SZS Centre Suisse de la construction métallique, Zurich  
Evelyn C. Frisch, Directrice

Rédaction:  
Evelyn C. Frisch (responsable)  
Collaboration: Ann Schumacher, Virginia Rabitsch, Sascha Roesler  
Critical Review: Kerstin Pfyl-Lang Zürich; Michel Crisinel, Lausanne  
en collaboration avec les auteurs

Mise en page:  
Evelyn C. Frisch et Virginia Rabitsch, SZS  
Plans et graphiques partiellement retravaillés par cira drei, Munich

Photos et plans:  
Titre: Yves André, St-Aubin-Sauges  
Editorial: Raffaele Landolfo, Naples  
Interview: Photos: Katja Jug; Illustration: Tremblement de terre de Bâle: Erdbeben und Kulturgüter, p. 13;  
Conception et dimensionnement:  
Raffaele Landolfo, Université Federico II, Naples (aeob), sources voir article  
Principe de conception: voir article  
Ecole de la Maladière: Photos: Yves André, St-Aubin-Sauges p. 32, 33, 37; Ingeni SA, Genève, p. 35, plans et schémas: architectes et ingénieurs  
Confortement des bâtiments existants: voir article  
Bâtiment de production K90: Plans et photos mis à disposition de Gruner AG et Flubacher-Nyfelner+Partner Architekten  
Construction parasismique au Japon: voir article  
Médiathèque de Sendai: voir article

Conception graphique: Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Administration et abonnements: Giesshübel-Office, Zurich  
Impression: Kalt-Zehnder-Druck AG, Zoug

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel CHF 48.– / étranger CHF 60.–  
Numéros isolés CHF 15.– / doubles numéros CHF 25.–  
Sous réserve de changement de prix.  
A commander sur [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)

**Abonnement annuel à Steeldoc pour CHF 48.–  
(Étudiants gratuit) sur [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)**

Construire en acier / steeldoc® est la documentation d'architecture du SZS Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les informations techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. Une reproduction et la traduction même partielle de cette édition n'est autorisée qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.