

# Assemblages pour constructions bois en zones sismiques

Nicolas Honoré,  
Simpson Strong-Tie  
La Rochelle, France



Charles-Henri Mathis,  
Simpson Strong-Tie  
Paris, France



## 1. Introduction

Les constructions bois en zones sismiques ont existé de tout temps, nombres d'entre elles témoignent aujourd'hui encore de la bonne adéquation, aux efforts engendrés par les séismes, du matériau et des systèmes constructifs associés.

Jusqu'à récemment l'Europe et la France ont connu peu de séismes destructifs, par rapport à ceux que le Japon ou les Etats-Unis ont pu connaître. Ces deux pays ont largement contribué à la compréhension et au développement d'une approche scientifique des assemblages en construction bois.

Les typologies d'assemblages et les matériaux les constituant ont connu des évolutions importantes au fil des dernières décennies. De fait, il a fallu constituer un arsenal calculatoire et réglementaire nécessaire pour appréhender le comportement systémique des structures bois.

Sans être exhaustif, cet article couvre les principales typologies de pièces répondant à ces applications, les documentations techniques des fabricants se développent progressivement autour de ce sujet.

## 2. Contexte

Au-delà de l'approche sismique des pièces métalliques d'assemblage pour le bois en France, le sujet de la conception des ouvrages en bois en zone sismique est une problématique qui est complexe.

Les organisations professionnelles, les industriels et les centres techniques ont résolu les cas courants. Il existe, pour la construction bois, des limitations d'ordre architectural, économique et technique telles que les baies, le multi-étage en zones de moyenne et forte sismicité, qui restent à lever.

### 2.1. Assemblages Simpson Strong-Tie®

Les assemblages tridimensionnels métalliques pour la construction bois, certifiés CE suivant **l'ETAG15 ou la EN14545**, ne sont pas spécifiquement testés sous sollicitations sismiques.

Il existe toutefois des accessoires de fixations tels que les ancrages, qui peuvent être certifiés suivant l'ETAG001 et ainsi obtenir une classification C1 ou C2, par exemple.

Dans l'Eurocode 8, pour la conception des zones dissipatives au niveau des assemblages et la continuité du transfert de charges, on trouve deux approches dissipatives. Dans le cas où  $q$  est considéré supérieur à 1,5, des **tests cycliques suivant l'EN12512** peuvent être réalisés pour déterminer les propriétés dissipatives d'un assemblage ou d'une partie de structure.

### 2.2. Sismique : premiers travaux en France

Les premiers essais cycliques sur des **équerrés E5** utilisées en fermettes ont été réalisés en 2005 au laboratoire du FCBA de Bordeaux. Les données acquises lors des essais ont permis par la suite d'intégrer ce produit dans les recherches **SISBAT et SISMOB**.

Les essais réalisés lors de ces programmes ont démontré que cette équerre et les dispositifs constructifs associés résistaient aux sollicitations sismiques établies suivant la réglementation du 1<sup>er</sup> avril 2011.



Equerre E5 – Application en pieds de fermette

## 2.3. Laboratoires et travaux de R&D

Simpson Strong-Tie® a investi depuis plusieurs décennies dans des équipements et des campagnes de tests internes afin d'optimiser le développement des connecteurs, des ancrages et des fixations sous sollicitations statiques. La grande majorité de nos produits sont testés en interne lors de leur développement.

A ce jour, nous disposons de laboratoires dédiés à travers le monde, où nos équipes travaillent sur des thématiques spécifiques, qui une fois agrégées, nous permettent une approche systémique des solutions constructives. Nous disposons de plus de 20 accréditations qui permettent à nos équipes de réaliser les tests de certification.

Au milieu des années 90, afin de mieux appréhender le fonctionnement des connecteurs sous sollicitations sismiques, le groupe s'est doté de systèmes permettant des tests cycliques. Les travaux de recherches ont porté sur à la fois des comportements d'assemblages et sur des systèmes afin d'appréhender les impacts des pièces sur le comportement des systèmes et valider les options règlementaires.

Au cours de ces travaux de recherche, il est apparu que le comportement des murs de contreventement définis suivant les règles prescriptives, fabriqués et mis en œuvre sur chantier, ne permettaient pas d'atteindre les niveaux de performances attendus.

Fort de ce constat, l'équipe de recherche et développement a mis au point la première génération de StrongWall™, éléments de murs industrialisés, qui permettent à la fois un gain de temps à la conception, à la pose et une réduction des surfaces de murs pour des performances supérieures.



1<sup>ère</sup> génération  
StrongWall™

### 2.3.1. Le laboratoire Tyrel Gilb – Stockton – Californie

Ce laboratoire a été construit en 2003 afin de tester des structures à l'échelle 1 sous sollicitation sismique. Cet investissement de près de 10 millions \$, permet de simuler des séismes suivant les courbes enregistrées lors de séismes réels.



Test d'un immeuble de trois étages à l'échelle 1. Laboratoire Simpson Strong-Tie - T.GILB Stockton

Les configurations testées, jusqu'à 3 niveaux, permettent d'observer le comportement du RDC et d'un étage courant. Des charges spécifiques peuvent être appliquées afin de simuler les masses de plusieurs étages. L'équipe du laboratoire est encadrée par Steve Pryor qui développe ces recherches pour Simpson Strong-Tie depuis 1997. Il est un expert reconnu de la conception bois sismique. Il participe à des programmes internationaux dont le NEES au Japon en 2009 qui consistait en un essai sur un immeuble de 7 étages.

### 2.3.2. Le laboratoire Andris Peterson – Tamworth – UK

Ce laboratoire a été créé en 1997 afin de supporter le développement des connecteurs en Europe. Aujourd'hui, dédié exclusivement aux assemblages et aux fixations pour le bois, il dispose des équipements nécessaires à la réalisation de test cycliques.

Les connecteurs, les ancrages de pieds, le Steel Strong-Wall et les systèmes développés pour la zone Europe et la France en particulier, sont testés dans ces locaux. Ceci permet à la fois une conformité avec l'ensemble des réglementations applicables, l'approvisionnement d'essences spécifiques aux marchés visés et une interactivité avec les équipes de conception basées dans les différents pays.

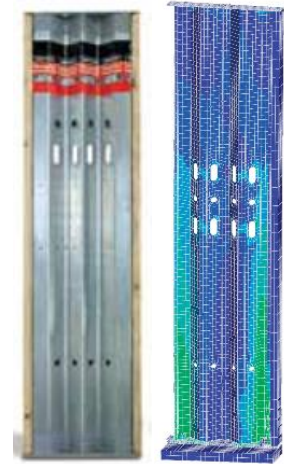


### 2.3.3. Modélisation aux éléments finis

La modélisation aux éléments finis a été introduite dans notre processus de recherche et développement afin d'accélérer notre temps de développement.

En effet la mise en place d'essais sismiques à l'échelle requiert beaucoup de temps et de ressources.

Ce travail fait en amont permet d'écartier certaines options. Elle est aussi utilisée à l'issue de certains essais pour optimiser nos solutions. Dans l'exemple ci-contre, l'élément métallique a été optimisé afin qu'il assure son rôle dissipatif.



Steel StrongWall® et sa modélisation

## 2.4. Construction neuve et ancienne

La conception sismique tend généralement à s'appliquer aux constructions neuves qui doivent répondre aux obligations réglementaires. Il peut exister un écart lors de la mise en œuvre entre les solutions préconisées et celles exécutées du fait d'un manque connaissance. Les anomalies souvent constatées résident dans l'usage de fixations (pointes ou vis) non conformes aux spécifications en qualité (défaut de certifications) ou plus généralement en quantité. La conséquence en cas de séisme peut être un glissement d'assemblage précoce qui peut engendrer des déformations critiques pour la stabilité de l'ouvrage. Il est recommandé de contrôler ce point.



Renforcement de la liaison avec la fondation

D'autre part, il existe un parc de bâtiments qui ont été construits avec la mise en application des PS92, qui étaient très succinctes pour la construction bois, ou des Eurocodes et du nouveau zonage sismique en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> mai 2011 en France.

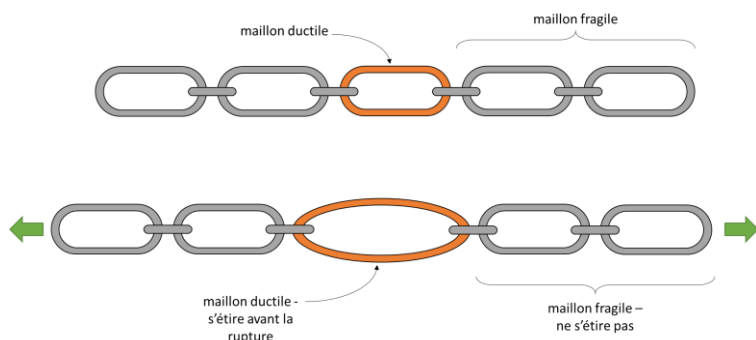
Un renforcement de structure en bois existante peut être réalisé, simplement, afin de s'assurer de la bonne réponse de ladite structure aux sollicitations définies par la nouvelle réglementation. Généralement, les assemblages courants et les fixations associées sont suffisants pour atteindre ces objectifs.

Un contrôle de la bonne conception et exécution des zones d'assemblages métalliques considérées comme dissipatives, que la construction soit neuve ou ancienne, est recommandée.

### 3. Connecteurs

La connexion est un élément important de la justification des bâtiments aux efforts sismique. En effet, suivant le type de structure, elle doit remplir une fonction précise : **transmettre les efforts (Diffusion) ou dissiper l'énergie (Dissipation)**. Dans tous les cas, il est important de l'utiliser de façon à créer **un chemin de charge continu**.

La structure doit être calculée de façon à ce que les éléments fragiles soient suffisamment résistants pour que les éléments ductiles se déforment avant la rupture de ces premiers.



Principe de conception

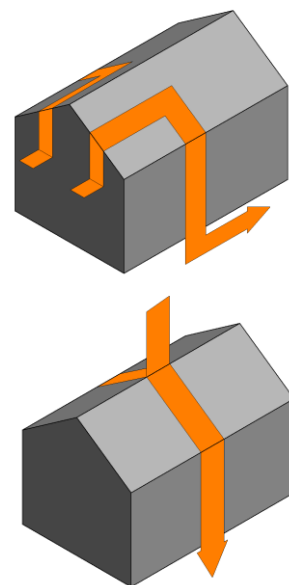
#### 3.1. Chemin de charge continu

Concernant les directions d'applications, les efforts sismiques sont souvent considérés comme similaires aux efforts de vents. Toutefois, les efforts de vents sont appliqués aux surfaces extérieures, alors que les efforts sismiques sont provoqués par le mouvement de la fondation qui déplace les masses constituant la structure. Cela signifie donc que toutes les pièces de la structure sont amenées à se déplacer et pas seulement les surfaces extérieures. En outre, le changement rapide de direction lors d'un séisme signifie que certaines parties du bâtiment peuvent être amenées à avoir des déplacements de plusieurs centimètres avant de retrouver leur position initiale.

L'effort sismique est un effort (à la fois horizontal et vertical) qui dépend de la masse de l'élément mise en mouvement au cours du séisme. Il apparaît donc autant dans la charpente que dans les planchers et les murs. Il est d'autant plus important qu'on se rapproche du sol puisque les efforts ont tendance à s'additionner au fur et à mesure.

L'un des points clefs de la conception sismique est donc de s'assurer que l'ensemble des **efforts soient transférés jusqu'à la fondation** du bâtiment. Pour cela, il faut créer ce qu'on appelle un **chemin de charge continu**. C'est un ensemble de composants qui s'assure que les efforts soient transmis le plus directement possible à la fondation.

Les connecteurs en sont une partie importante puisqu'ils vont permettre de faire la liaison entre les différentes masses en mouvement et faire redescendre les efforts résultants.

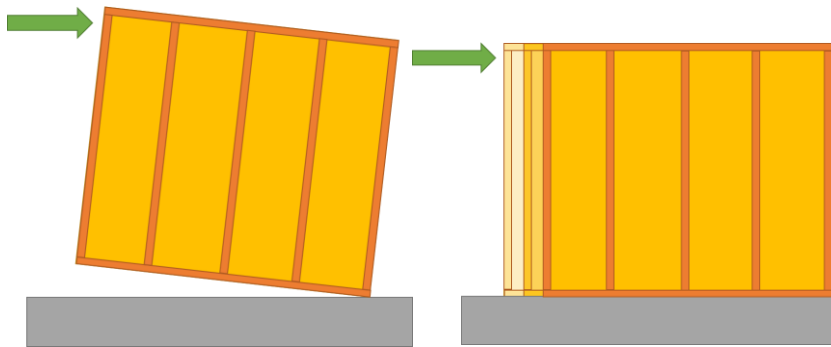




### 3.2. Diffusion

Deux possibilités existent pour les connecteurs : la première est appelée **Diffusion**. Dans ce cas-là, la structure est assez **ductile**. On cherche donc à transmettre les efforts à l'aide des connecteurs. Dans ce cas-là, ils jouent le rôle de maillon fragile.

C'est typiquement le cas de l'ossature bois. En effet, c'est un type de structure qui est assez flexible grâce à ses nombreuses fixations entre le voile travaillant, les montants et les lisses. Il peut être nécessaire dans certains cas d'avoir un voile travaillant de chaque côté de mur ossature bois. La connexion a alors pour fonction d'éviter deux phénomènes pouvant apparaître : **le glissement et le renversement**.



Phénomènes devant être évités : Renversement (gauche), Glissement (droite)

Pour cela, **plusieurs possibilités peuvent être envisagées allant de l'ancrage d'ossature au système d'arrimage à tige continue** (non disponible en Europe à l'heure actuelle) **en passant par le mur de stabilité type Steel StrongWall™**. Chaque solution correspond à un besoin particulier et a des performances différentes concernant ses capacités de diffusion

Ainsi, les ancrages d'ossature servent lorsque les charges sismiques sont faibles. Ce type de connecteurs est mis aux extrémités des murs pour empêcher le soulèvement des murs. Ils sont complétés par des chevilles d'ancrage ou des tiges pré-scellées prévues pour les zones sismiques (certification : C2 pour les ancrages) qui permettent de reprendre les efforts de cisaillement au niveau de la lisse basse. Les ancrages d'ossature ne doivent pas être trop flexibles pour éviter un décollement des montants de la lisse basse.

Si les ancrages d'ossature sont fixés à l'extérieur des murs, leur comportement varie si la connexion se fait à travers le voile travaillant ou directement sur le montant. En effet, l'effort maximum est réduit lorsque l'ancrage d'ossature est fixé à travers le voile mais la ductilité et l'amortissement visqueux équivalent sont légèrement supérieurs.

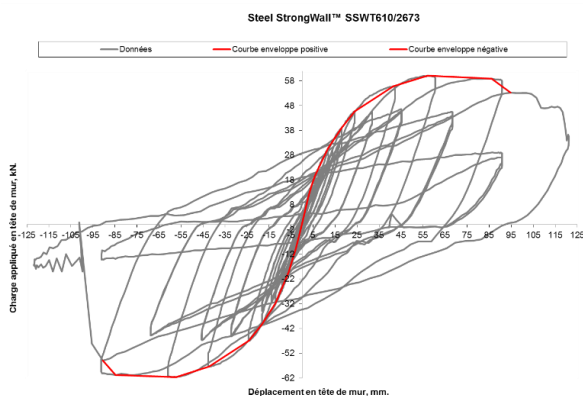
De même, la longueur des fixations et le fait que la fixation soit asymétrique, peuvent faire apparaître des ruptures prématurées des montants. En effet, si les fixations sont trop courtes par rapport à l'épaisseur du montant (longueur de la fixation inférieure à  $\frac{1}{2}$  de l'épaisseur du montant), une rupture en traction peut arriver. Pour éviter ce phénomène, il peut être intéressant d'utiliser des fixations plus longues ou ajouter des vis structurales sur l'autre face de l'élément bois.

La deuxième solution en matière de diffusion est d'utiliser des **murs de stabilité**. Ce type de dispositif est particulièrement intéressant lorsque la place est limitée et que les murs ossatures bois ne peuvent reprendre les efforts. En effet, l'empattement faible et la rigidité du Steel StrongWall™ sont particulièrement intéressants dans ce contexte.



Exemple de construction ossature bois avec Steel StrongWall™

Les Steel StrongWall™ ont été testés sous sollicitation cyclique et ont montré un bon comportement permettant son utilisation sous contrainte sismique. **Son coefficient de comportement est équivalent à un mur ossature bois ( $q=3$ ).**



Tests du Steel StrongWall™ sous chargement cyclique

Si ce type de solution est choisi, la fondation béton est un élément critique qui nécessite une attention particulière car les efforts dans les ancrages peuvent être très importants (>60kN en traction).

Il est important de se rappeler que les murs ne sont qu'une partie de la structure. Le chemin de charge doit être assuré dans tous les éléments ainsi qu'entre eux. Il peut ainsi être nécessaire d'ajouter des éléments comme **des feuillards ou des pattes de maintien dans les diaphragmes horizontaux ou la charpente** afin que les efforts soient transmis correctement à travers l'ensemble des éléments composant la structure.

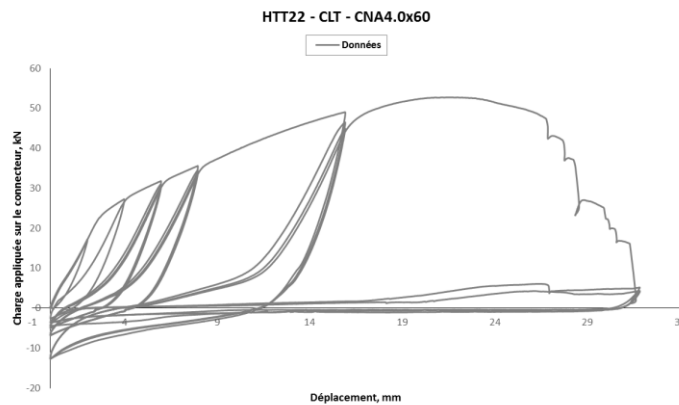
### 3.3. Dissipation

L'autre possibilité est la **dissipation**. C'est un cas qui est nécessaire **si la structure est suffisamment rigide**. Le connecteur sert alors de fusible dans la structure et est donc le maillon ductile.

C'est par exemple le principe retenu pour les structures CLT. En effet, les éléments CLT sont suffisamment rigides pour transmettre les efforts. Ils manquent toutefois de souplesse. C'est le connecteur qui sera utilisé pour cela. Par contre, avoir des connecteurs ductiles dans ce type de structure n'est pas suffisant pour permettre d'avoir de bonnes performances. D'autres paramètres tel que le ratio dimensionnel des panneaux, ont aussi un impact sur le résultat de la conception.

Comme en ossature bois, il peut être intéressant d'utiliser des produits spécialisés pour chaque direction d'efforts. C'est pourquoi, une solution retenue est **l'utilisation combinée d'ancrages de mur (HTT22) et d'équerres structurelles (AE116)**. Les HTT22 servent à reprendre les efforts de soulèvement et sont placés à chaque extrémité de panneau. Le cisaillement est quant à lui repris par les équerres AE116 placées régulièrement le long des panneaux.

Il est aussi possible d'utiliser des équerres plus versatiles telles que les ABR100 qui ont des bonnes performances dans les deux directions qui nous intéressent.



Test du HTT22 sous chargement cyclique vertical

## 4. Conclusion

Avoir **un chemin de force continu** dans un bâtiment est important mais dans le cadre de dimensionnement parasismique, il faut aussi s'assurer que **les points de connexions** soient **suffisamment résistants** pour éviter l'effondrement partiel ou complet de la structure. Dans les structures en bois, les connexions sont facilement réalisées à l'aide de produits standards déjà utilisés dans le cadre du dimensionnement au vent. Ainsi de l'équerre de fermette standard au mur de stabilité, une gamme complète de connecteurs existe sur le marché pour répondre à cette problématique de diverses façons (dissipation ou diffusion).