

## WEB-ATELIER #5

# Dispositions constructives et principes de dimensionnement des structures bois en zone sismique

CYCLE DE WEB-ATELIERS : *CONCEVOIR ET CONSTRUIRE PARASISMIQUE*



**William Amberg**  
**- SORAETEC -**  
Jeudi 2 décembre 2021



# Déroulement de la présentation

## I - Paramètres généraux du calcul sismique

- Zones sismiques
- Catégorie d'importance
  - Classe de sol
- Coefficient de comportement

## II – Systèmes constructifs en structure bois

- Ossature bois
- Poteaux-poutres
- Poteaux-poutres encastrés
  - CLT

## III – Ossature bois

- Principes de contreventement
- Composition des diaphragmes
- Murs ossature bois : principes et assemblages

## IV – Poteaux-Poutres

- Règles de dimensionnement
  - Vigilance particulière

## II – Poteaux-Poutres encastrés

- Règles de dimensionnement

## III – CLT

- Règles de dimensionnement

# Notre entreprise



Agence Annecy | 11 av. des Vieux Moulins - 74000 ANNECY | Té 04 50 44 66 73

Agence Grenoble | 2 rue de la Viscose - 38130 ECHIROLLES | Tél 04 76 49 09 17



© Région Auvergne-Rhône-Alpes

Bureau d'études structures

Béton  
Bois  
Métal

Depuis 1992  
22 salariés

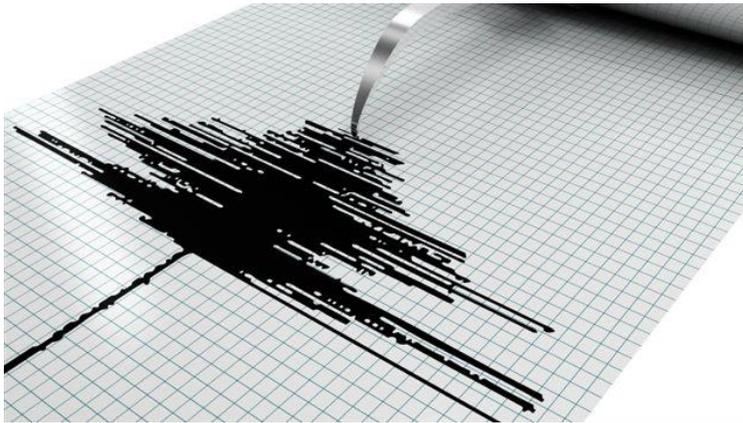
3 autres entreprises sur 4 autres villes

# Réglementation applicable

## **NORMES : (notamment)**

- NF EN 1990 (Eurocode 0) + A.N.
- ...
- NF EN 1991 (Eurocode 1) + A.N.
- NF EN 1995 (Eurocode 5) + A.N.
- NF EN 1998 (Eurocode 8) + A.N.
- ...
  
- DTU 31.1 : Charpente Bois
- DTU 31.2 : Construction de maisons et bâtiments à ossature bois
- DTU 31.3 : Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets
  
- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

# Paramètre généraux



1

Zone sismique

2

Catégorie d'importance du bâtiment

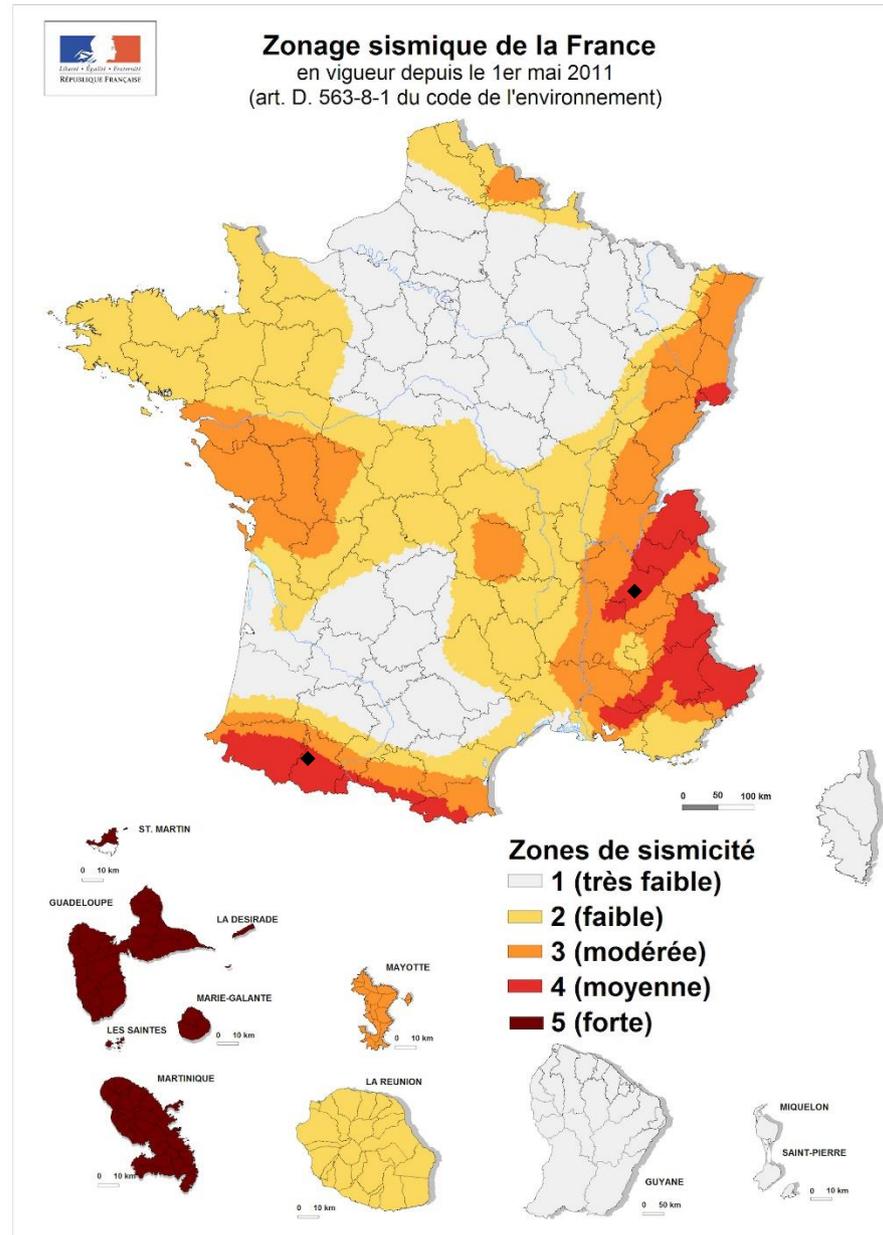
3

Classe de sol

4

Coefficient de comportement

# Zonage sismique en France



Ministère de l'environnement Français

# Zonage sismique en France

Dans quelle zone se situe mon projet ?

[georisques.gouv.fr](http://georisques.gouv.fr)

QUELLE EST L'EXPOSITION SISMIQUE DE LA COMMUNE ?

Type d'exposition de la commune : 4 - MOYENNE



Un séisme (ou tremblement de terre) correspond à une fracturation (processus tectonique aboutissant à la formation de fractures des roches en profondeur), le long d'une faille généralement préexistante.



Source: BRGM

[georisques.gouv.fr](http://georisques.gouv.fr)

# Catégorie d'importance du bâtiment

Quelle est la catégorie d'importance de mon bâtiment ?

Catégorie d'importance		Description
I		Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée (hangars, bâtiments agricoles etc.)
II		Habitations individuelles Établissements recevant du public de catégories 4 et 5 à l'exception des bâtiments scolaires Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m Bureaux ou établissements commerciaux non ERP de hauteur inférieure à 28 m et pouvant accueillir au plus 300 personnes Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes Parcs de stationnement ouverts au public
III		ERP de catégories 1, 2 et 3 Habitations collectives et bureaux de hauteur supérieure à 28 m Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes Établissements sanitaires et sociaux Centres de production collective d'énergie Établissements scolaires
IV		Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise Centres météorologiques

# 2 Accélération maximale de référence

Quelle est le coefficient  $a_{gr}$  accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A ?

	I	II	III	IV
				
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2				
Zone 3	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	
Zone 4	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	
Zone 5	CP-MI <sup>2</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	

<sup>1</sup> Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

<sup>2</sup> Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

<sup>3</sup> Application obligatoire des règles Eurocode 8

# Accélération maximale de référence

Exemple : Construction d'une école à Lourdes  
 Zone 4 – Catégorie d'importance III

	I	II	III	IV
				
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2				
Zone 3		PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$
Zone 4		PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$
Zone 5		CP-MI <sup>2</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$

<sup>1</sup> Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

<sup>2</sup> Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

<sup>3</sup> Application obligatoire des règles Eurocode 8

→ Calcul sismique obligatoire selon la norme Eurocode 8

# Accélération maximale de référence

Exemple : Construction d'un hangar agricole à Lannemezan  
 Zone 3 – Catégorie d'importance I

	I	II	III	IV
				
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2				
Zone 3	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=0,7 \text{ m/s}^2$
Zone 4	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$
Zone 5	CP-MI <sup>2</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$

<sup>1</sup> Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

<sup>2</sup> Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

<sup>3</sup> Application obligatoire des règles Eurocode 8

→ Aucune exigence sismique

# Classe de sol

Quelle est la classe de sol sur la parcelle de mon projet ?

Définie par l'étude de sol

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{BPT}$ (bl/30cm)	$c_u$ (kPa)
A	Rocher ou tout autre formation proche du rocher, incluant au plus 5 m de formation plus molle en surface.	> 800	–	–
B	Dépôts de sable très dense, de gravier ou d'argile très dure, au moins sur plusieurs dizaines de mètres, caractérisés par une augmentation graduelle des propriétés mécaniques avec la profondeur.	360 – 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable dense ou moyennement dense, de gravier ou d'argiles dures avec des profondeurs de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Dépôts de sols de cohésion faible à moyenne (avec ou sans couches de sols mous cohérents) ou dépôts prédominants de sol cohérent mou à ferme.	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol consistant en une couche de surface d'alluvions avec une valeur de $V_{s,30}$ des classes C ou D et des épaisseurs variant entre 5 et 20 m, reposant sur du matériau plus ferme de $V_{s,30} > 800$ m/s			
S <sub>1</sub>	Dépôts contenant (ou consistés de) des couches d'au moins 10 m d'épaisseur, d'argiles / limons avec une forte plasticité ( $PI > 40$ ) et une forte teneur en eau.	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S <sub>2</sub>	Dépôts de sols liquéfiables, d'argiles molles ou tout profil de sol non compris dans les classes A –E ou S <sub>1</sub>			

Eurocode 8 - Tableau 3.1 : Classes de sol

# Coefficient de comportement

Quel coefficient de comportement est applicable pour le calcul de la structure bois ?

Principe de dimensionnement et classe de ductilité	$q$	Exemples de structure
Capacité réduite à dissiper l'énergie — DCL	1,5	Consoles, poutres, arcs avec deux ou trois assemblages brochés ; treillis assemblés par connecteurs
Capacité moyenne à dissiper l'énergie — DCM	2	Panneaux de murs collés avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages brochés et boulonnés ; structures mixtes composées d'une ossature en bois (résistant aux forces horizontales) et d'un remplissage non porteur
	2,5	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
Capacité élevée à dissiper l'énergie — DCH	3	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages cloués
	3	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
	4	
	3	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes cloués, assemblés par clous et boulons

Selon A.N. :

Eurocode 8 - Tableau 8.1 : Principe de dimensionnement, types de structure et limites supérieures des valeurs des coefficients de comportement pour les trois classes de ductilité

# Classe de ductilité

Que veux dire DCL, DCM, DCH ?

## DCL : Ductilité Limitée

« les mesures ne sont mises en œuvre que pour **éviter des ruptures fragiles** et ne conviennent pas pour des constructions simples, régulières, relativement rigides. Les valeurs de  $q$  sont voisines de l'unité. Ce niveau de ductilité intéresse les structures d'importance stratégique élevée ou les zones de faible sismicité »

## DCM : Ductilité Moyenne

« les dispositions visent à mettre la structure en état de supporter quelques cycles de déformations post-élastiques répétées ou alternées, de faibles amplitudes »

## DCH : Ductilité Haute

« les mesures réglementaires conduisent à **mettre la structure en état de dissiper d'importantes quantités d'énergie** sous plusieurs cycles de déformations de grandes amplitudes. Elles sont avantageusement mises en œuvre aux zones de forte sismicité. Ce niveau de ductilité intéresse les structures de faible importance stratégique et implantés dans les zones de forte sismicité »

# Coefficient de comportement

Quel coefficient de comportement est applicable pour le calcul de la structure bois ?

Type de structure	DCM	DCH
Bâtiment en CLT	2	3
Bâtiment ossature bois	2.5	3 <sup>(1)</sup>
Bâtiment en madriers	2	-
Portiques avec encastremets	2.5	3 <sup>(1)</sup>
Structures bois poteaux/poutres	2	-
Structures bois avec remplissage maçonnerie	2	-
Arcs lamellé-collé de grande portée avec deux ou trois joints articulés	-	-
Poutre treillis de grande portée avec assemblages par tiges métalliques	-	-
Cantilevers verticaux avec éléments de murs en lamellé-collé	2	-
<sup>(1)</sup> La version de la NF EN 1998-1 en cours de révision disponible au moment de la rédaction du présent document propose des valeurs de coefficient de comportement de 4 pour ces types de structure. En cohérence avec la démarche de l'annexe nationale française en vigueur actuellement, ces valeurs ont été limitées à 3 dans le cadre du présent document.		

*Tableau 6 : Valeurs limites hautes des coefficients de comportement*

FCBA : Guide pour la justification de bâtiments en bois lamellé en situation de séisme, 2018

Bâtiment irrégulier en plan =  $q$  diminué de 20% (= Augmentation des efforts sismiques)

Dans tous les cas, on peut conserver  $q=1,5$  comme valeur minimale

# Régularité en plan

Ma structure est-elle régulière en plan ?

Une structure est considérée régulière en plan si **TOUTES** les conditions suivantes sont réunies :

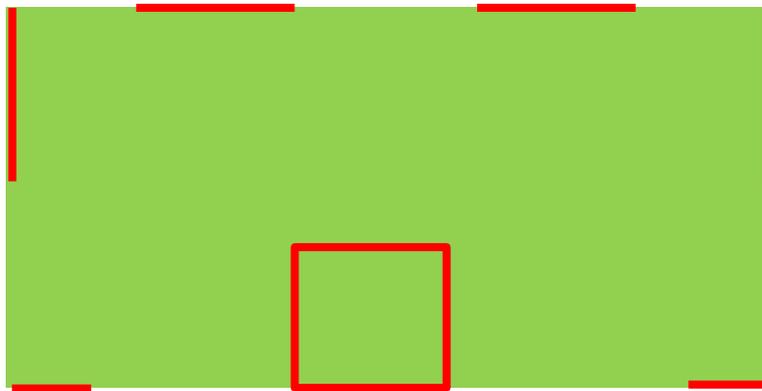
- La position des raideurs latérales ainsi que des masses est "approximativement" symétrique dans les deux plans orthogonaux
- La configuration du bâtiment est "compacte" et que le contour de chaque plancher peut être délimité par un contour polygonal convexe. La surface des diaphragmes horizontaux ne doit pas être inférieure à 95% de l'aire formée par le contour convexe
- La raideur des planchers doit être suffisamment importante comparée à la raideur latérale
- L'élançement de la structure doit être inférieur à 4 (Longueur divisée par largeur du bâtiment)

# 4

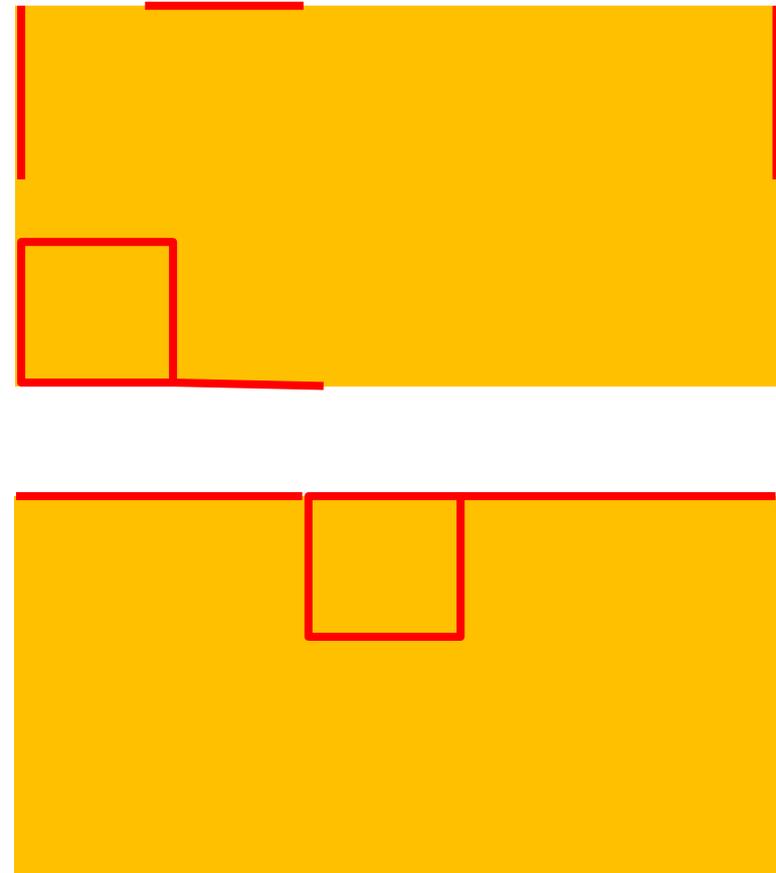
## Régularité en plan

Formes favorables à un bon comportement sismique

Régularité en plan



Non régularité en plan

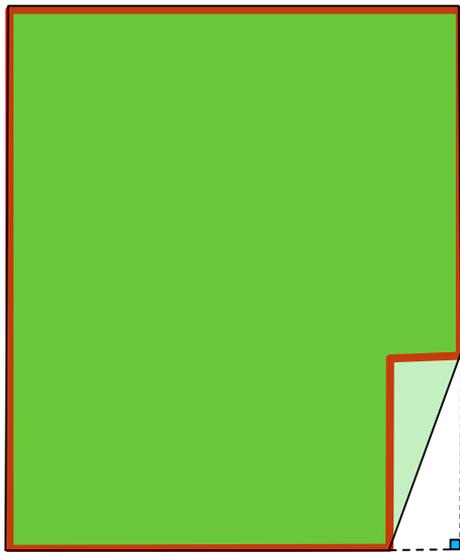


# 4

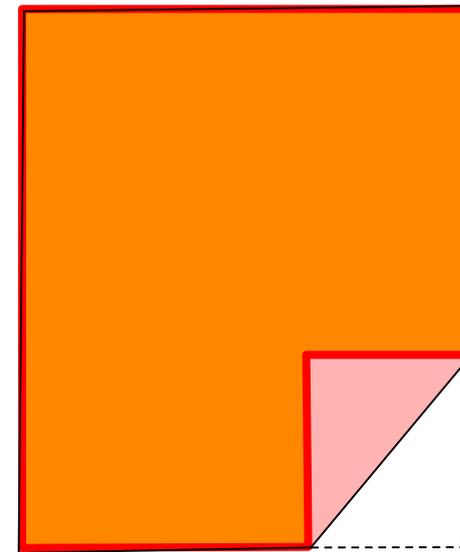
## Régularité en plan

Formes favorables à un bon comportement sismique

Régularité en plan

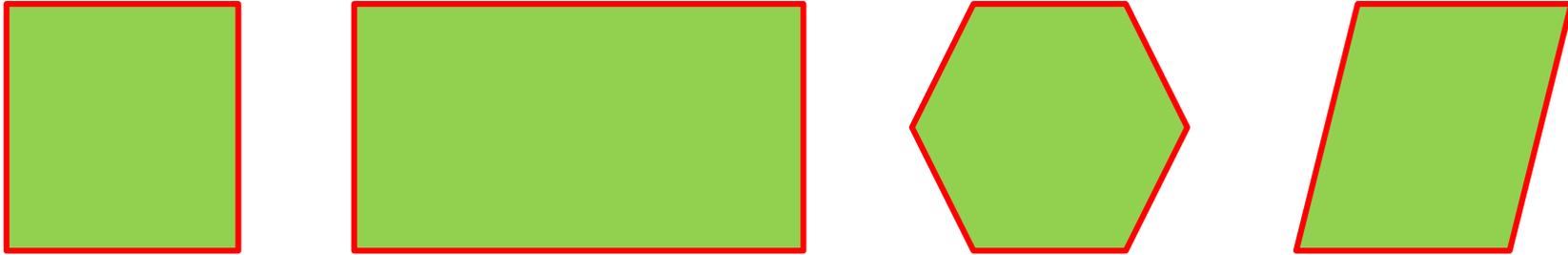


Non régularité en plan

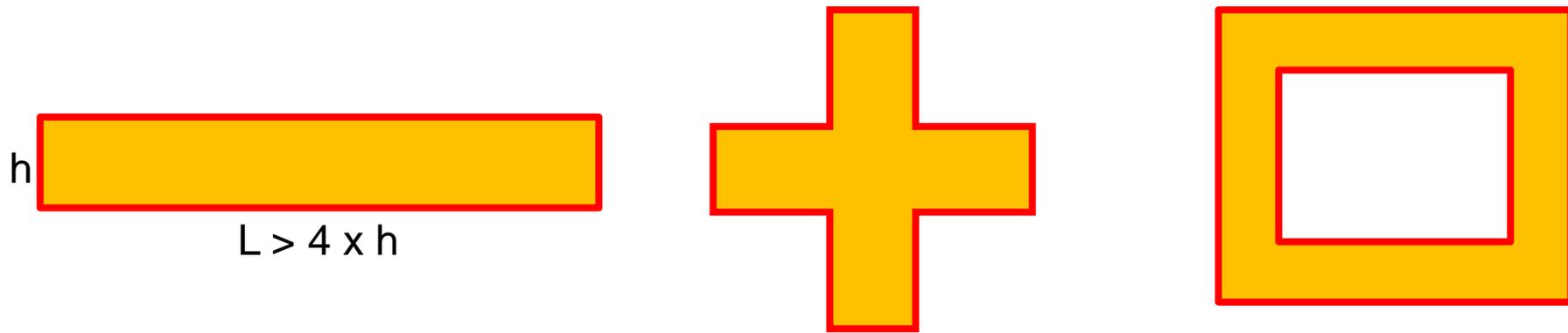


# Régularité en plan

Formes favorables à un bon comportement sismique



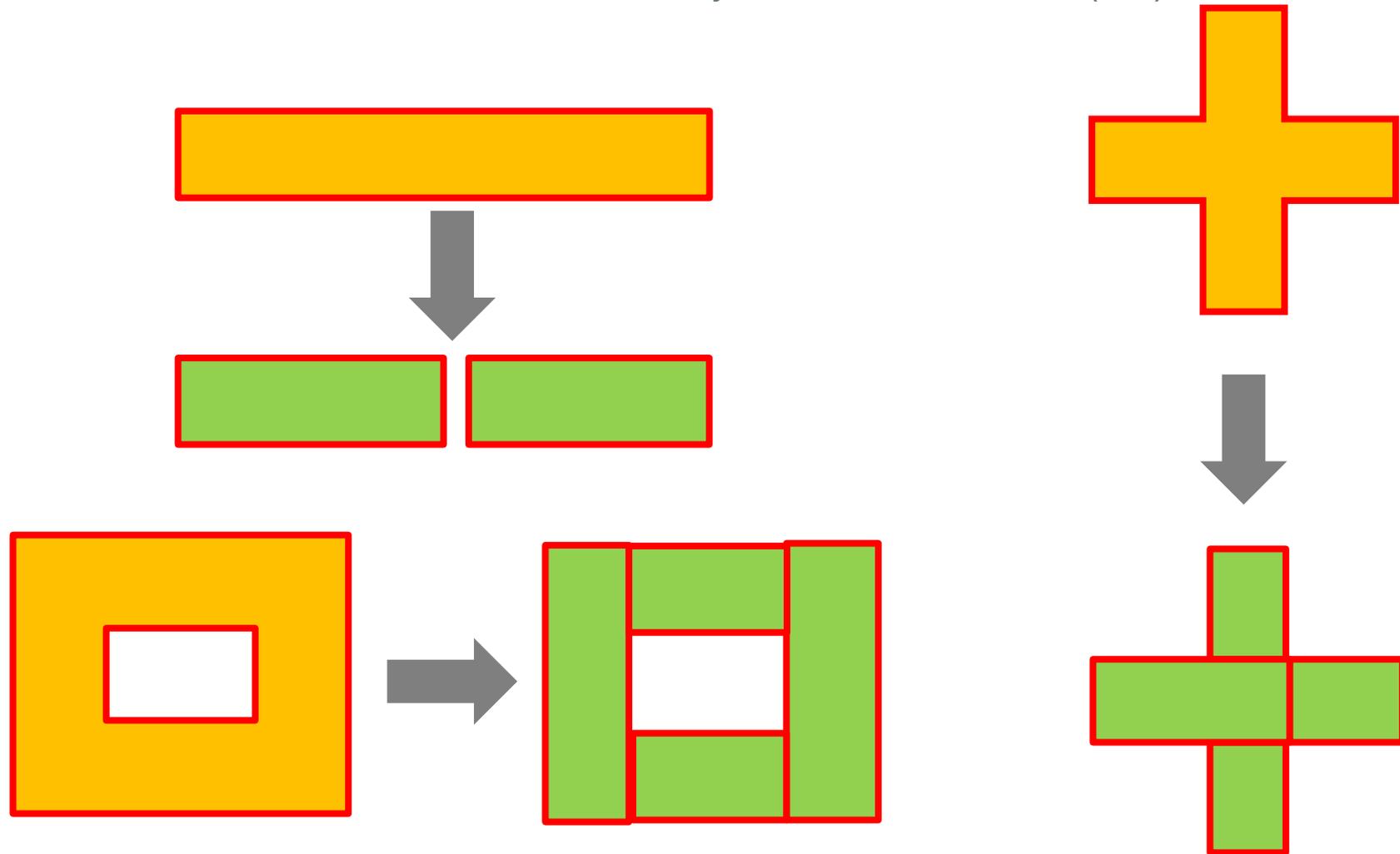
Formes défavorables à un bon comportement sismique



4

# Régularité en plan

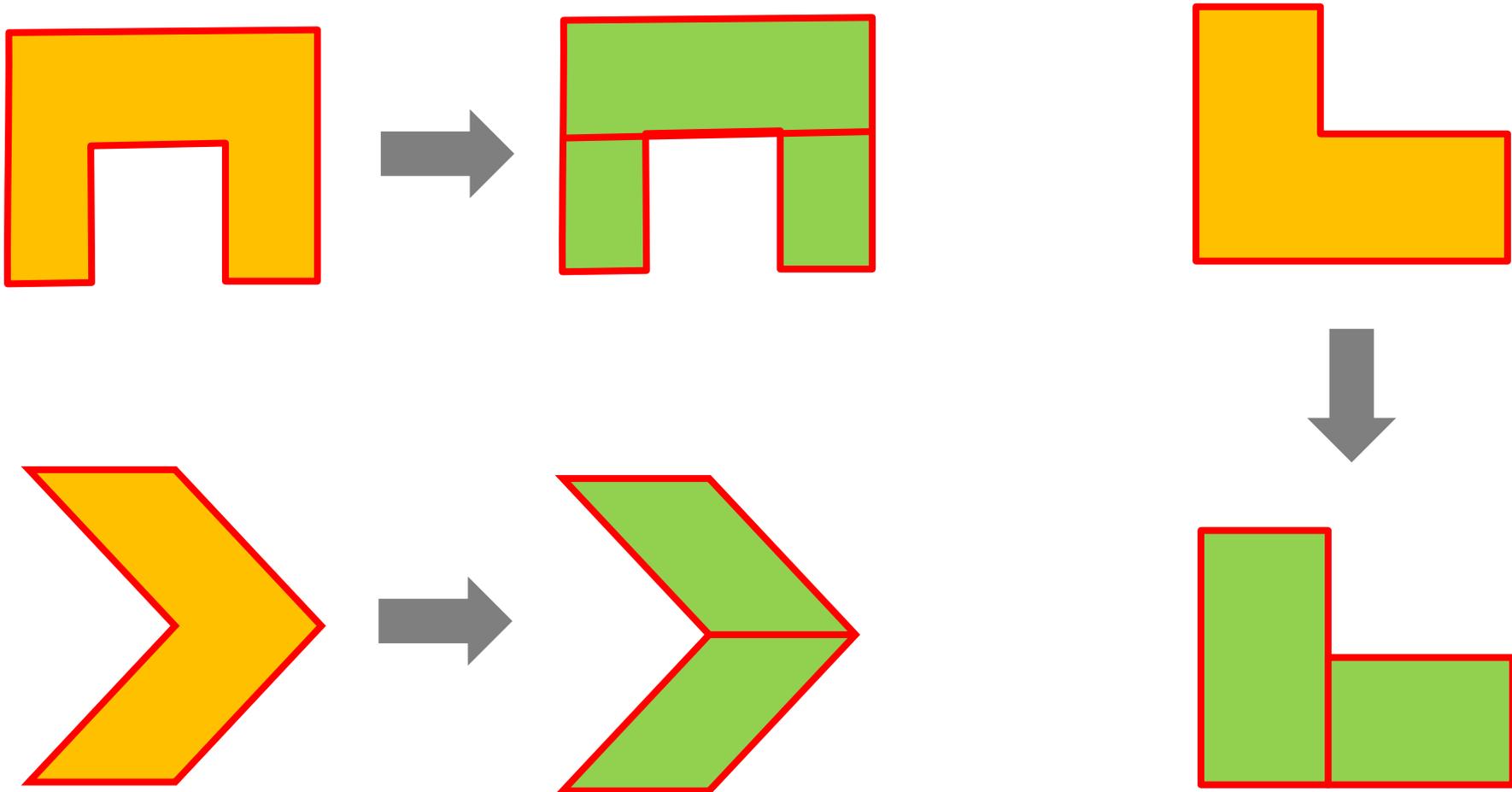
Solutions : Création de joints de dilatation (JD)



Épaisseur du JD > Déplacements de la structure 20

# 4 Régularité en plan

Solutions : Création de joints de dilatation (JD)



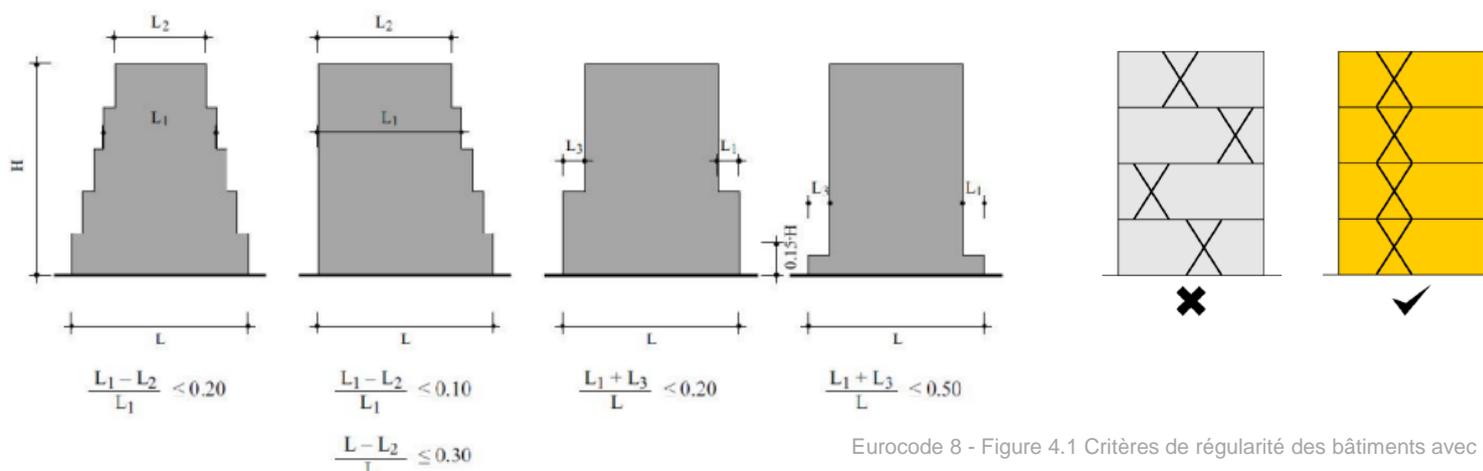
Épaisseur du JD > Déplacements de la structure 21

# Régularité élévation

Ma structure est-elle régulière en élévation ?

Une structure est considérée régulière en élévation si les conditions suivantes sont réunies :

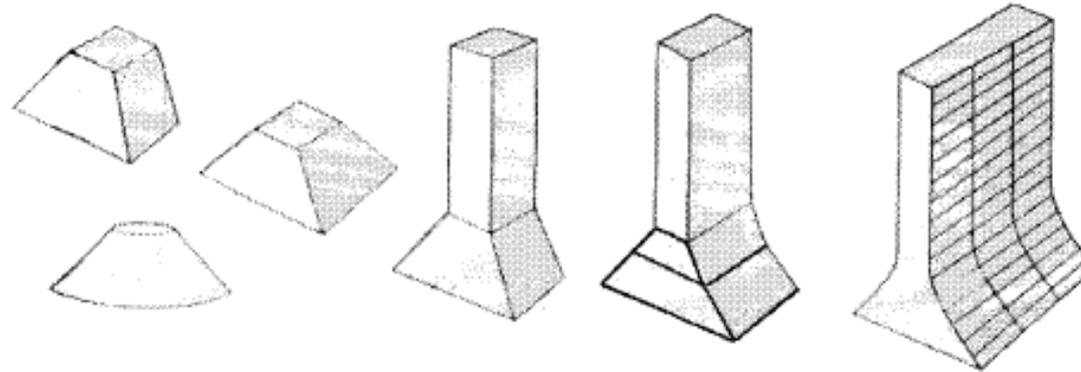
- Tous les éléments de contreventements doivent être continus depuis les fondations jusqu'au sommet du bâtiment
- La raideur latérale et la masse de chaque niveau doivent demeurer constantes ou réduites de manière progressive
- Le rapport entre la résistance effective et la résistance exigée de chaque niveau ne doit pas varier de manière disproportionnée.
- Le cas des retraits doit respecter les dispositions suivantes :



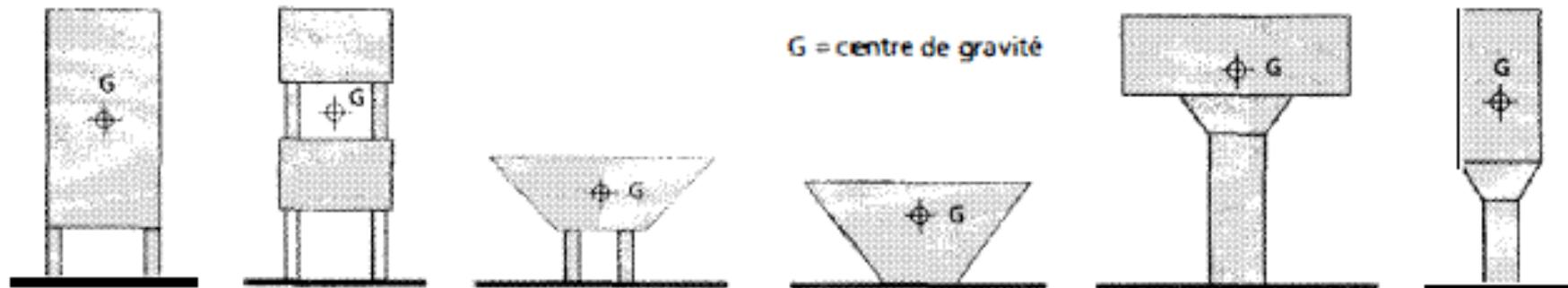
4

# Régularité élévation

Formes favorables à un bon comportement sismique



Formes défavorables à un bon comportement sismique

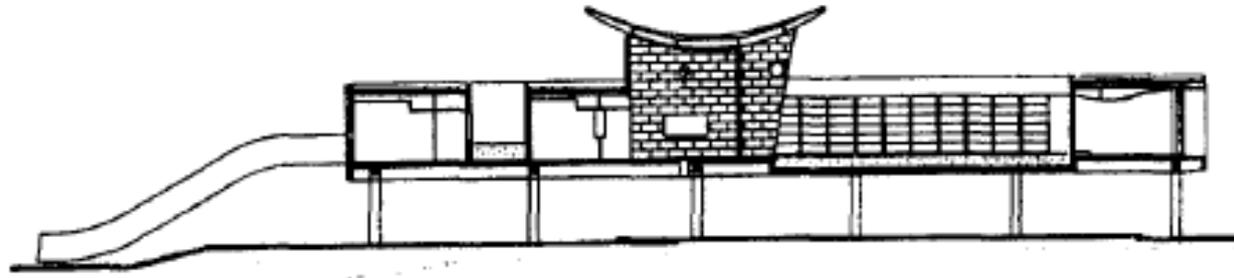


GUIDE AFPS CONCEPTION PARASISMIQUE DES BATIMENTS, 2002

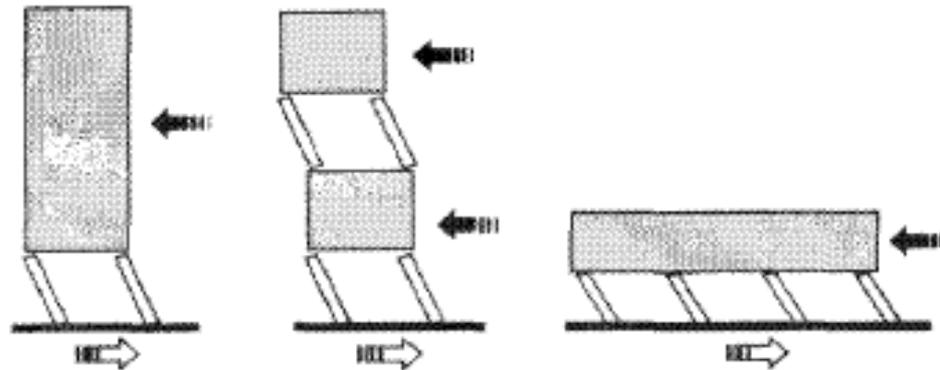
4

# Régularité élévation

Attention aux niveaux transparents



a) Transparence sans panneaux de contreventement



b) Mode de ruine

4

# Régularité élévation

Sinistre niveau transparent

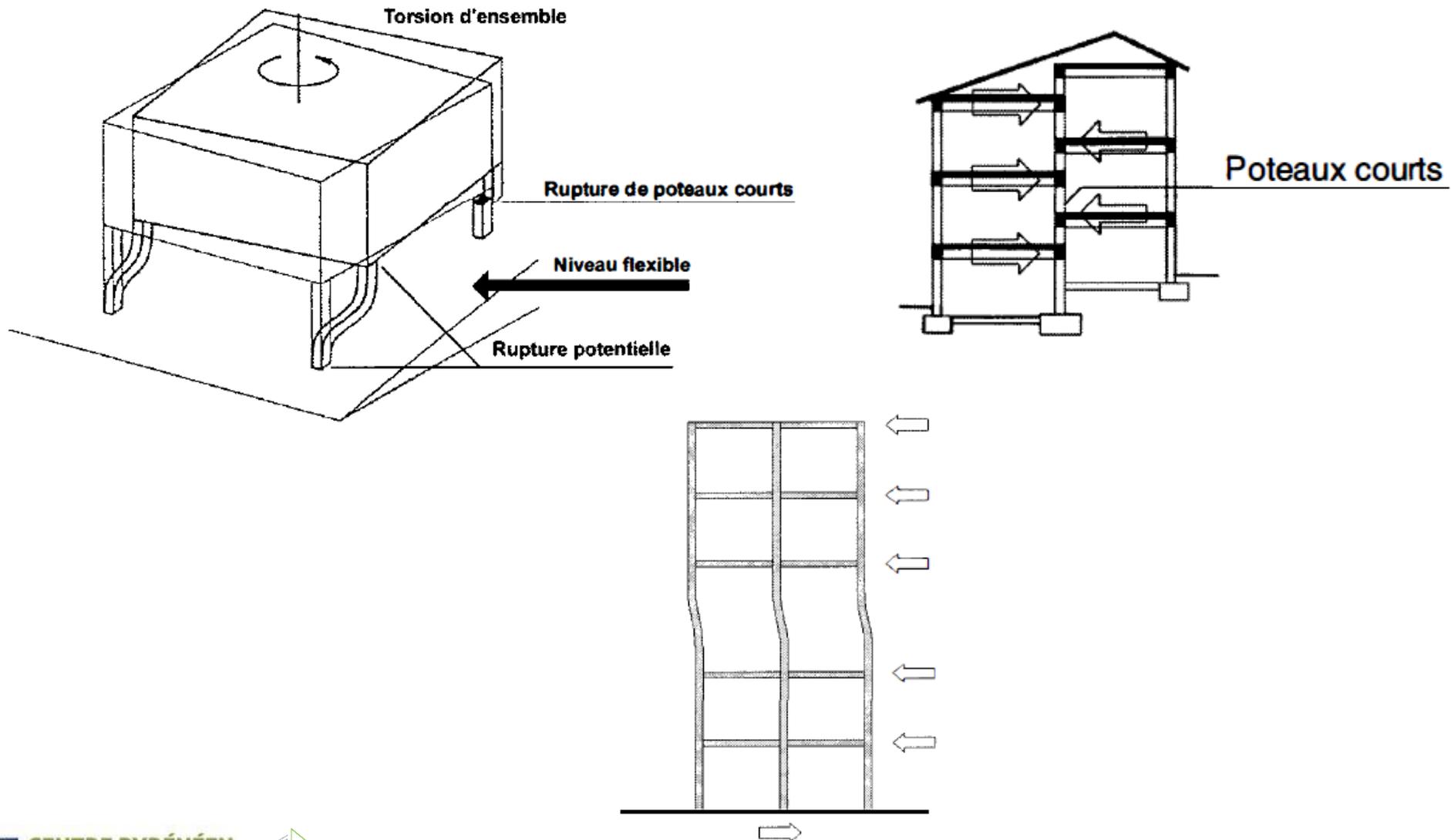


Séisme de San Fernando, Californie 1971

4

# Régularité élévation

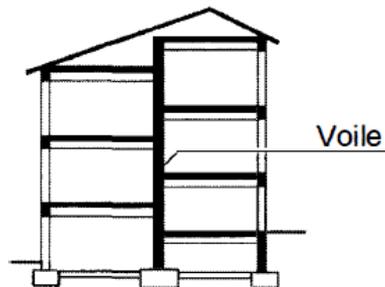
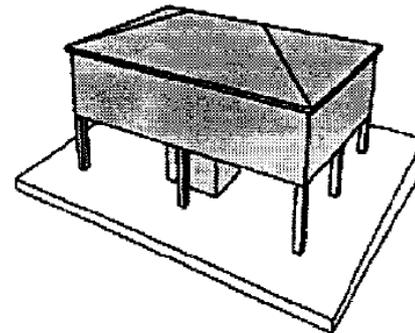
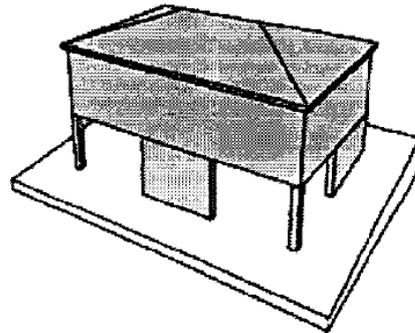
Attention aux phénomènes de poteaux courts



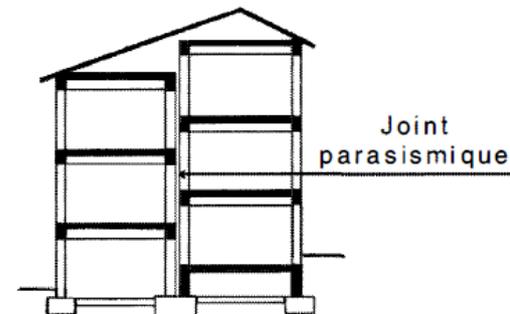
4

# Régularité élévation

## Solutions au phénomène de poteaux courts



a) Une solution consiste à remplacer les poteaux par un voile et à implanter les fondations au même niveau



b) La création d'un joint parasismique peut permettre de conserver la transparence

# Justification de la structure

Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement
Plan	Élévation	Modèle	Analyse élastique linéaire	(pour l'analyse linéaire)
Oui	Oui	Plan	Force latérale <sup>a)</sup>	Valeur de référence
Oui	Non	Plan	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	Spatial <sup>b)</sup>	Force latérale <sup>a)</sup>	Valeur de référence
Non	Non	Spatial	Modale	Valeur minorée

*a) Si la condition de 4.3.3.2.1(2) est également satisfaite.*

*b) Dans les conditions particulières indiquées en 4.3.3.1(8), un modèle plan séparé peut être utilisé dans chaque direction horizontale, conformément à 4.3.3.1(8).*

Eurocode 8-1 : Tableau 4.1 Conséquences de la régularité de la structure sur l'analyse et le calcul sismique

# Spectre sismique

1

Zone sismique

2

Catégorie d'importance du bâtiment

3

Classe de sol

4

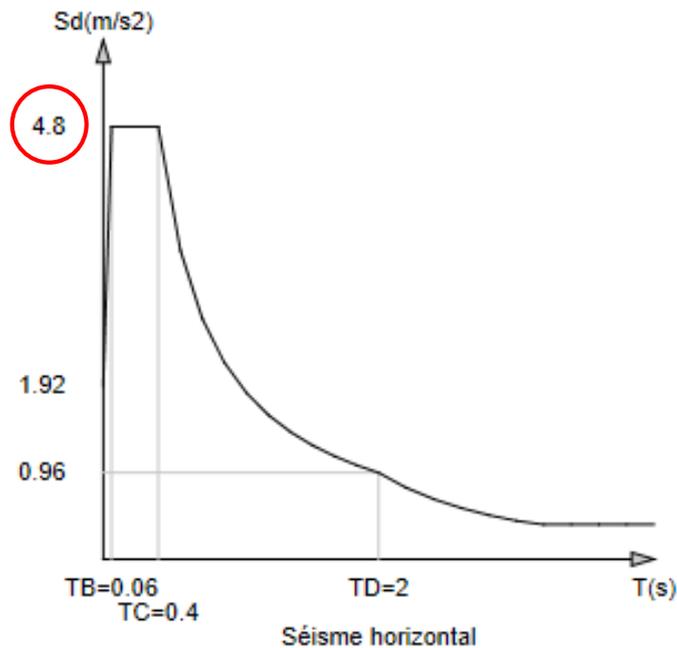
Coefficient de comportement

→ Spectre de réponse sismique

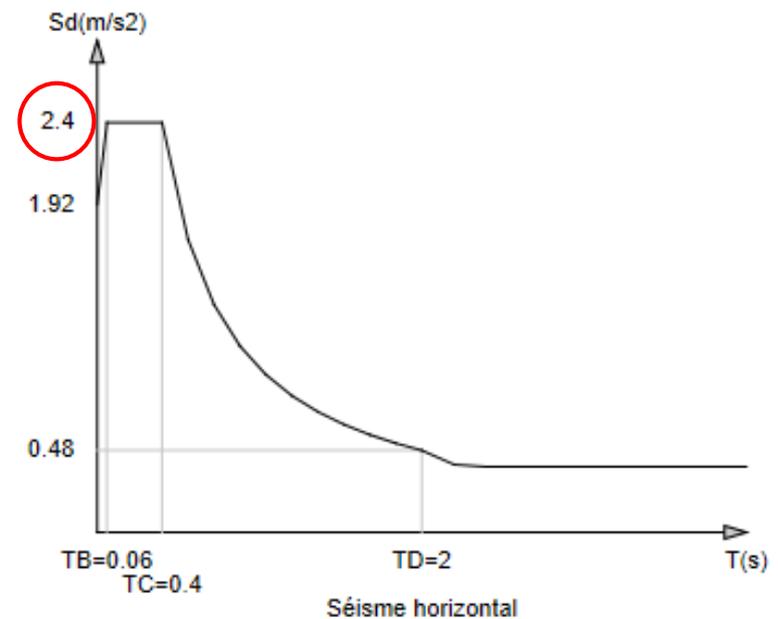
# Spectre sismique

## Exemples de spectres sismiques

Exemple 1 :  
Zone 4, Cat. III, Sol C, Coef. 1,5



Exemple 2 :  
Zone 4, Cat. III, Sol C, Coef. 3,0

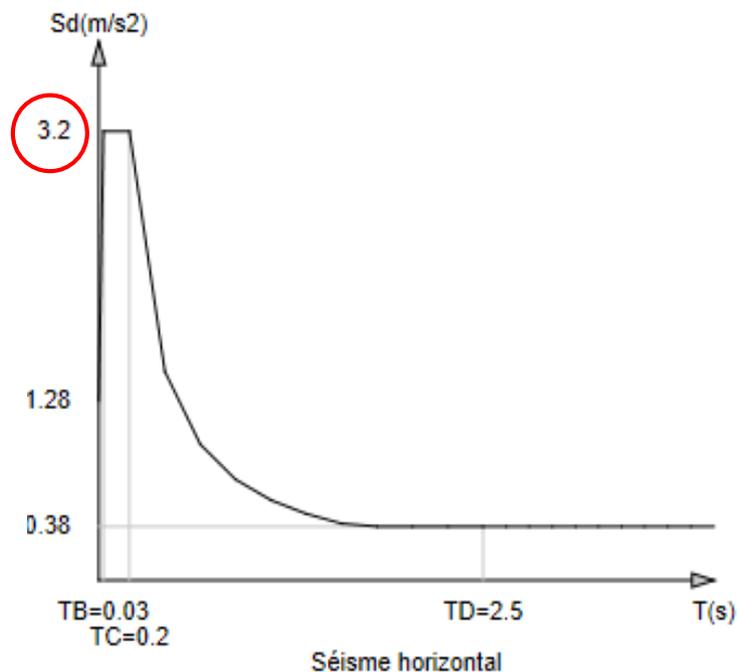


Coefficient de comportement élevé = diminution des efforts dans les éléments dissipatifs de contreventement

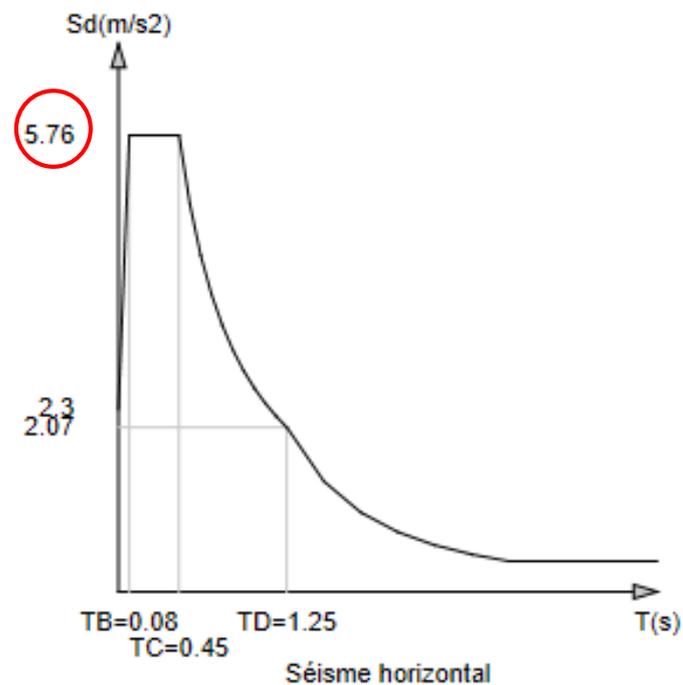
# Spectre sismique

## Exemples de spectres sismiques

Exemple 3 :  
Zone 4, Cat. III, Sol A, Coef. 1,5



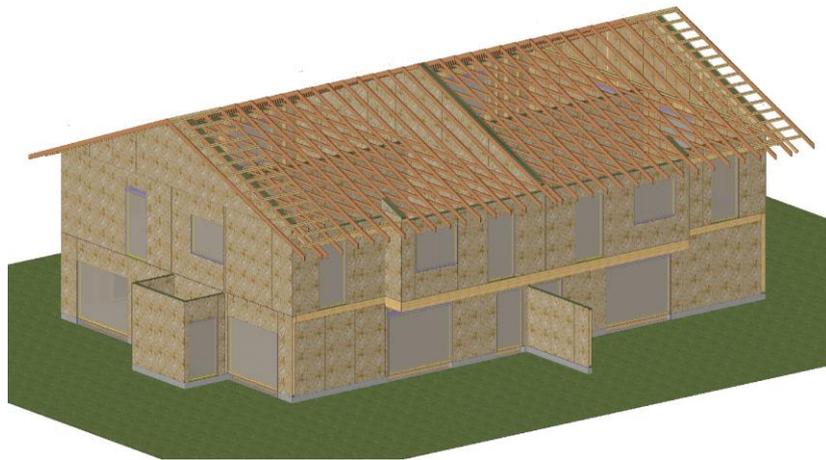
Exemple 4 :  
Zone 4, Cat. III, Sol E, Coef. 1,5



# Systemes constructifs

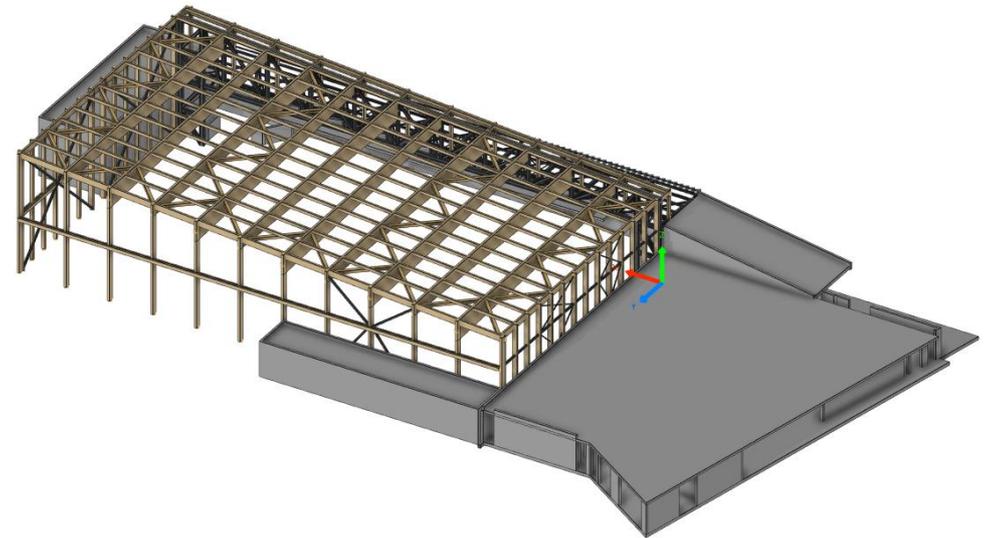
Choix du systemes constructif = Choix du coefficient de comportement

Murs ossature bois



Coefficient de  
comportement  $q = 3$   
DCH

Poteaux-poutres articulé

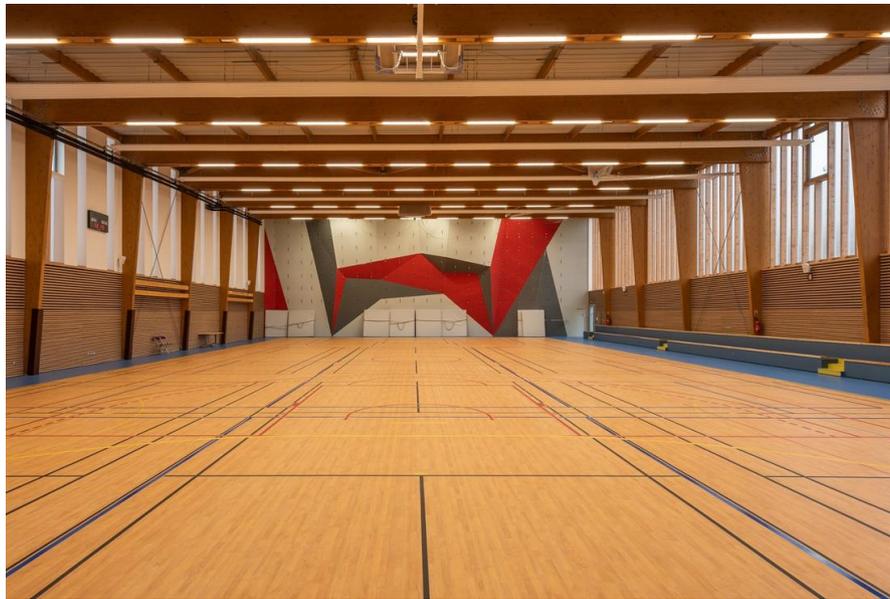


Coefficient de  
comportement  $q = 2$   
DCM

# Systemes constructifs

Choix du systemes constructif = Choix du coefficient de comportement

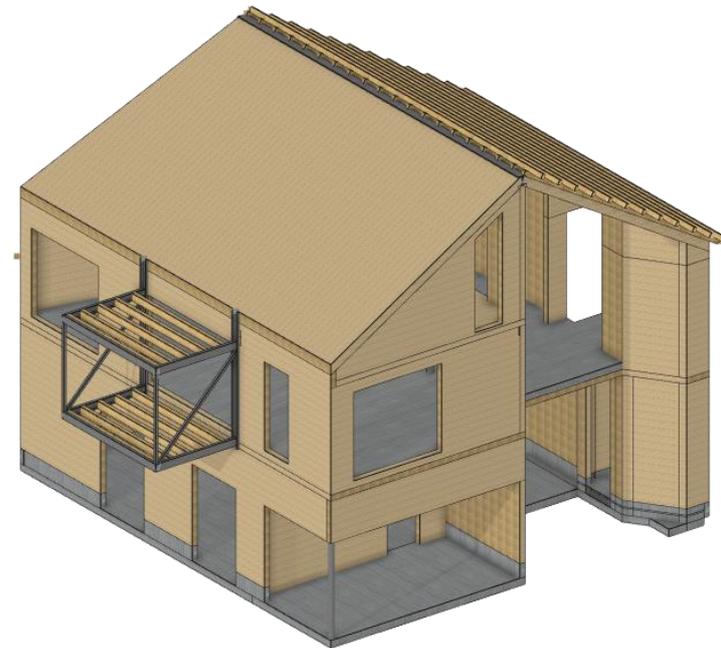
Poteaux-poutres encastré



© Copyright 2020 | Kaptis

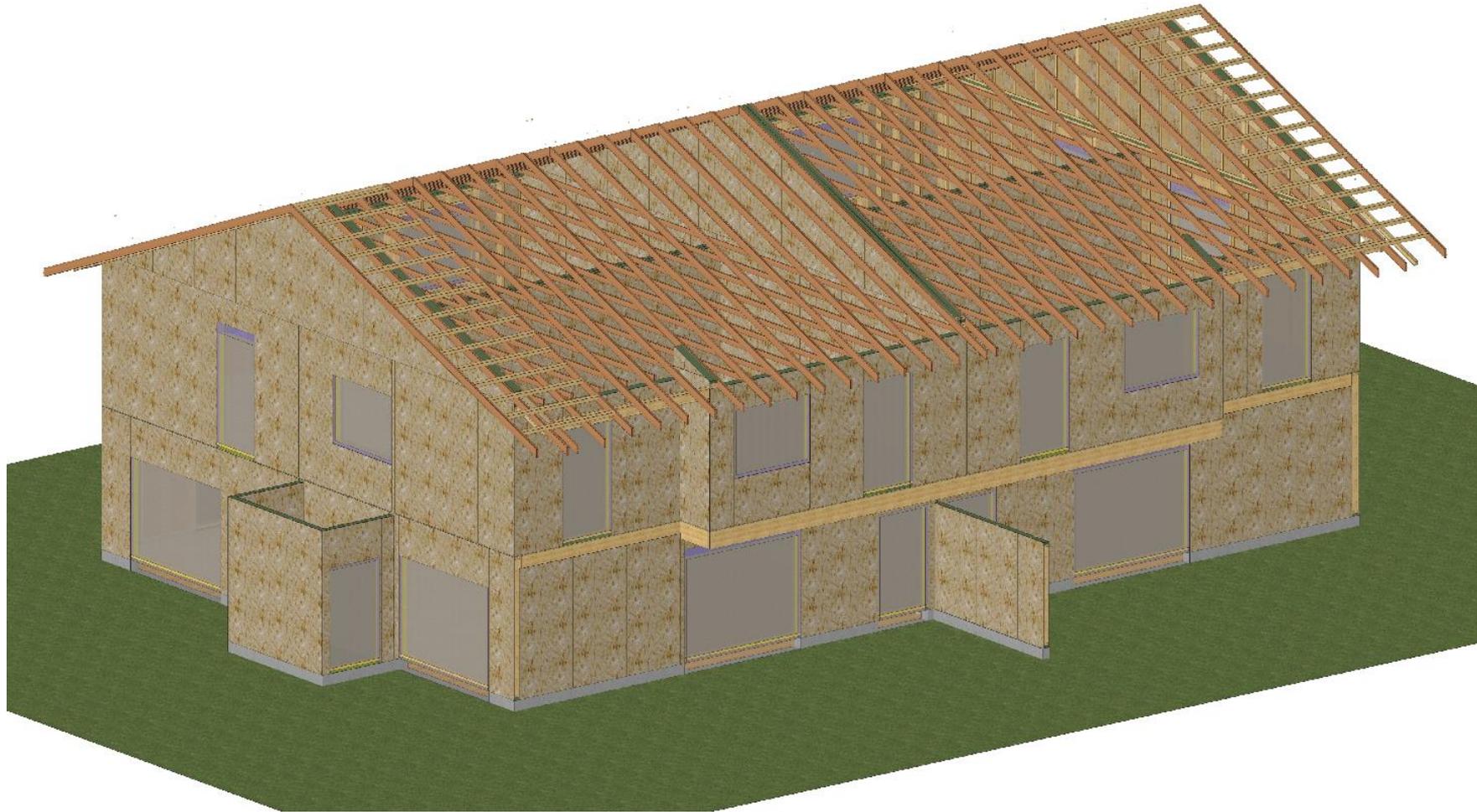
Coefficient de  
comportement  $q = 2.5^*$   
\*Dans le plan des portiques uniquement  
DCM

CLT



Coefficient de  
comportement  $q = 2.0$   
DCM

# Ossature bois



# Murs ossature bois

## Principe du contreventement



Copyright FCBA INFO, décembre 2015

# Murs ossature bois

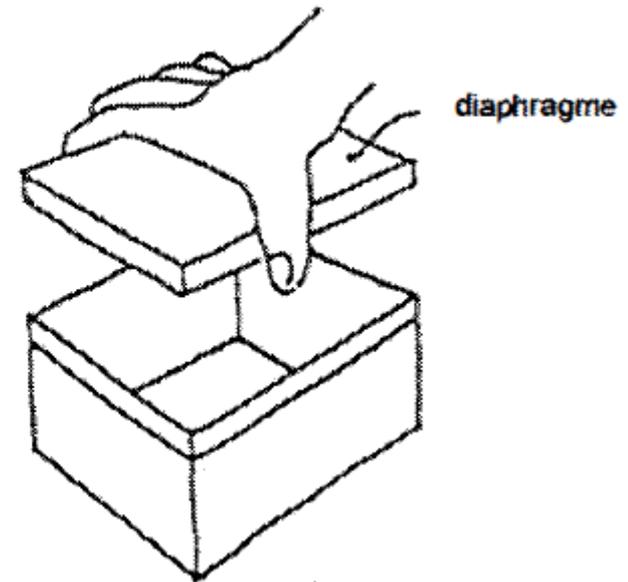
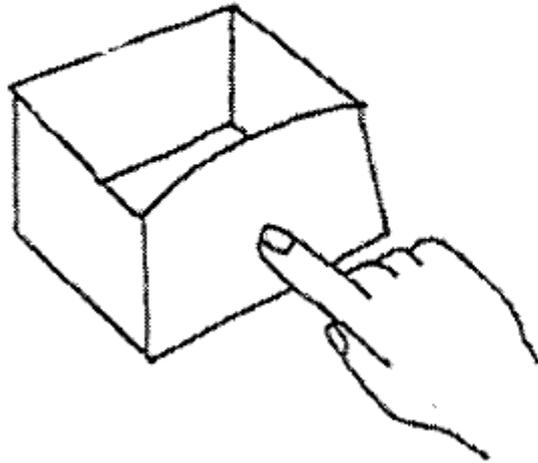
## Principe du contreventement



Copyright FCBA INFO, décembre 2015

# Murs ossature bois

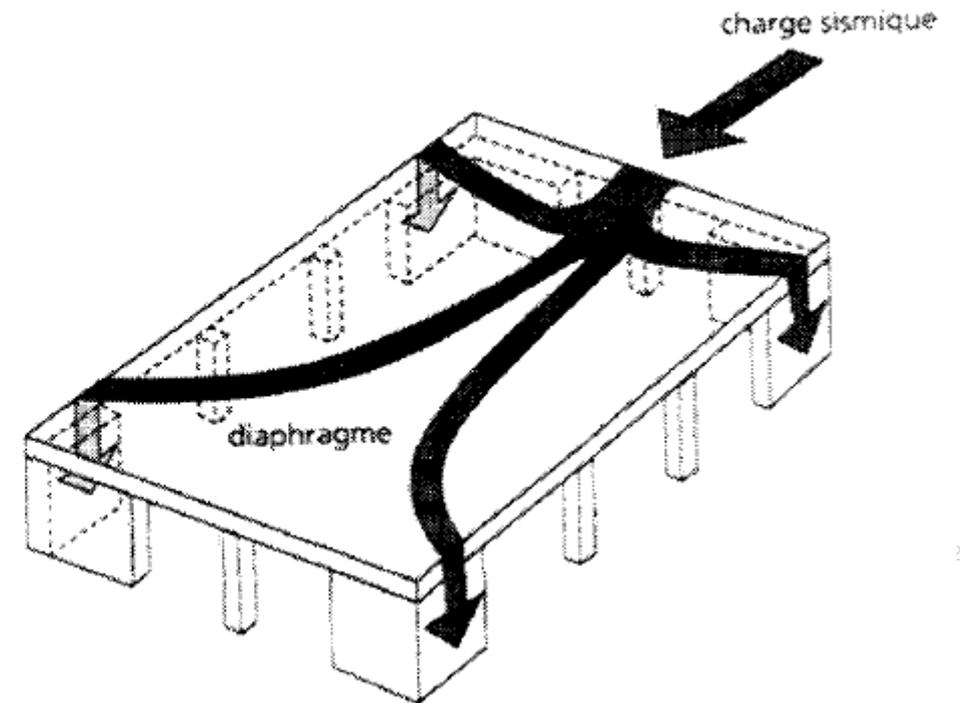
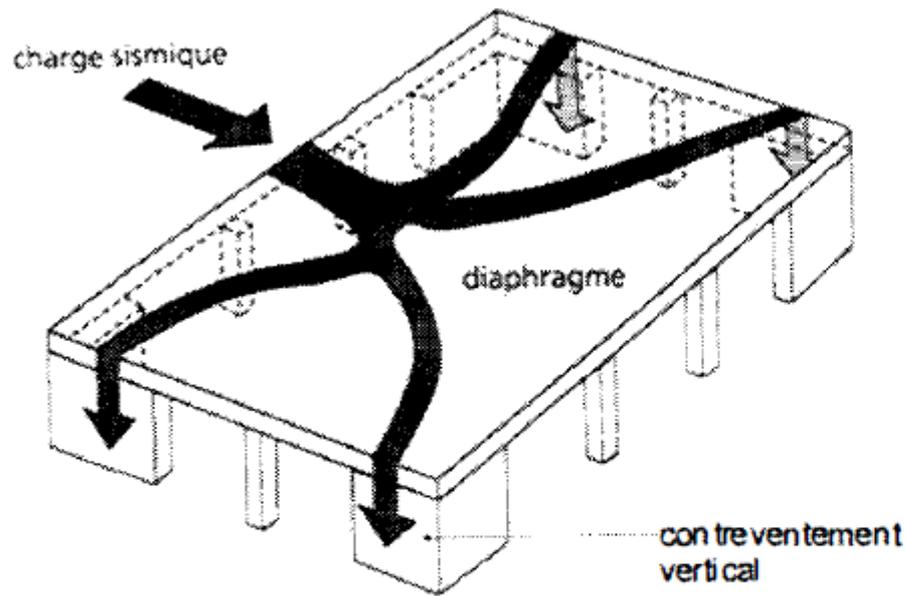
## Principe du contreventement



GUIDE AFPS CONCEPTION PARASISMIQUE DES BATIMENTS, 2002

# Murs ossature bois

## Principe du contreventement

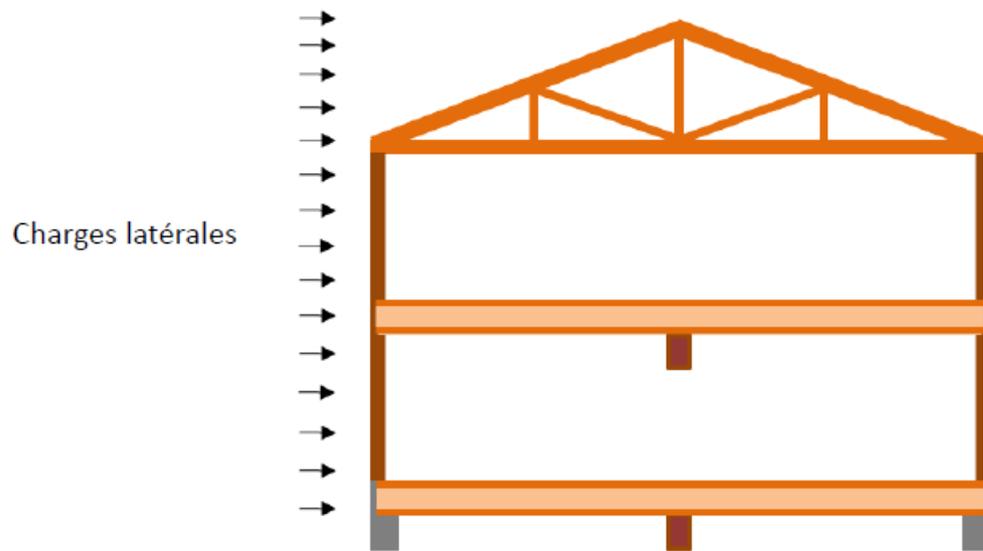


GUIDE AFPS CONCEPTION PARASISMIQUE DES BATIMENTS, 2002

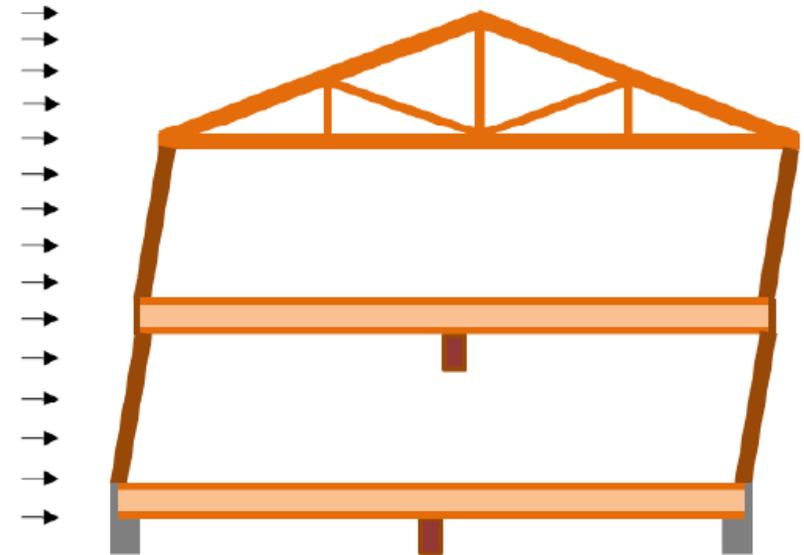
2

# Murs ossature bois

## Principe du contreventement



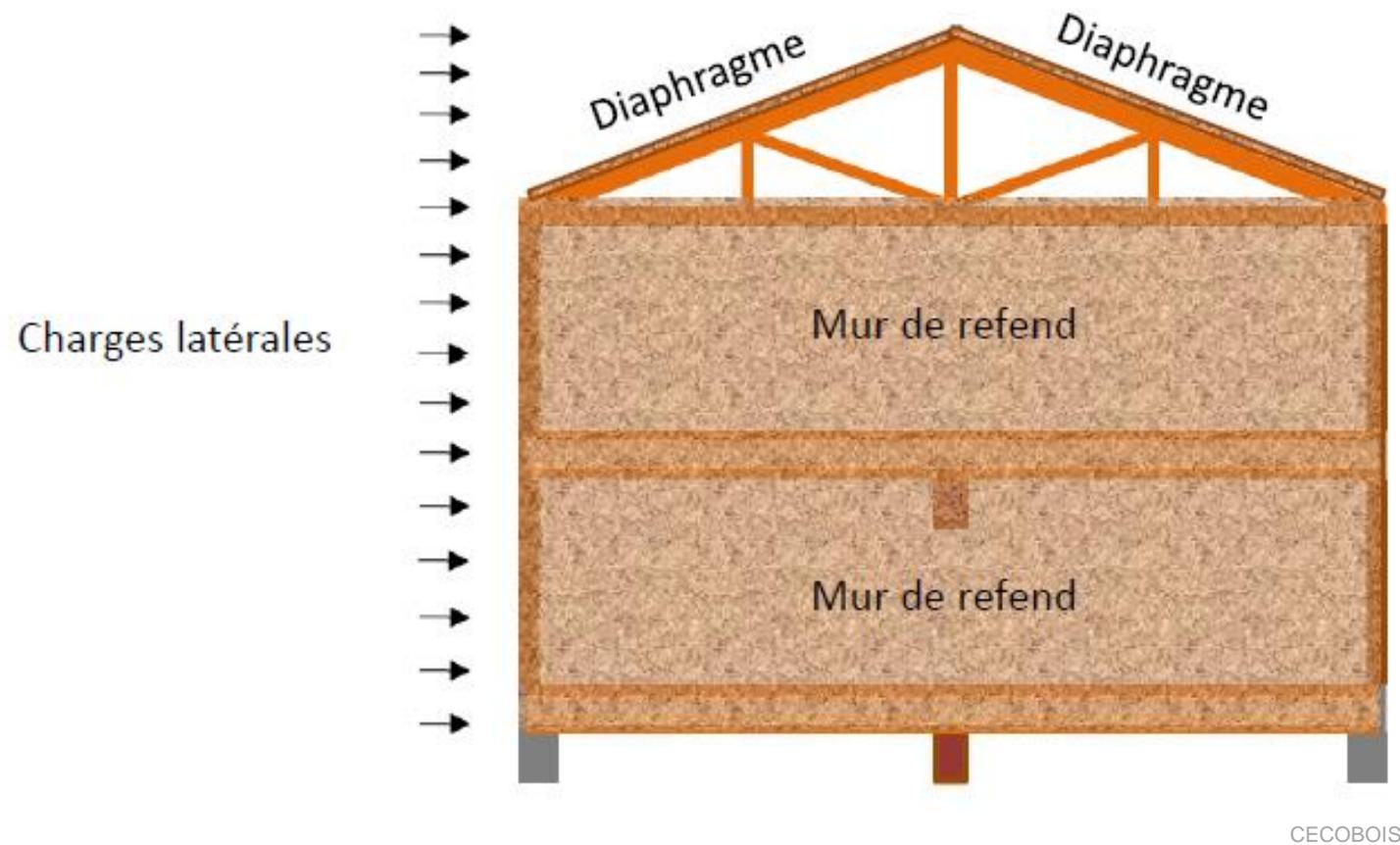
Charges latérales



CECOBOIS

# Murs ossature bois

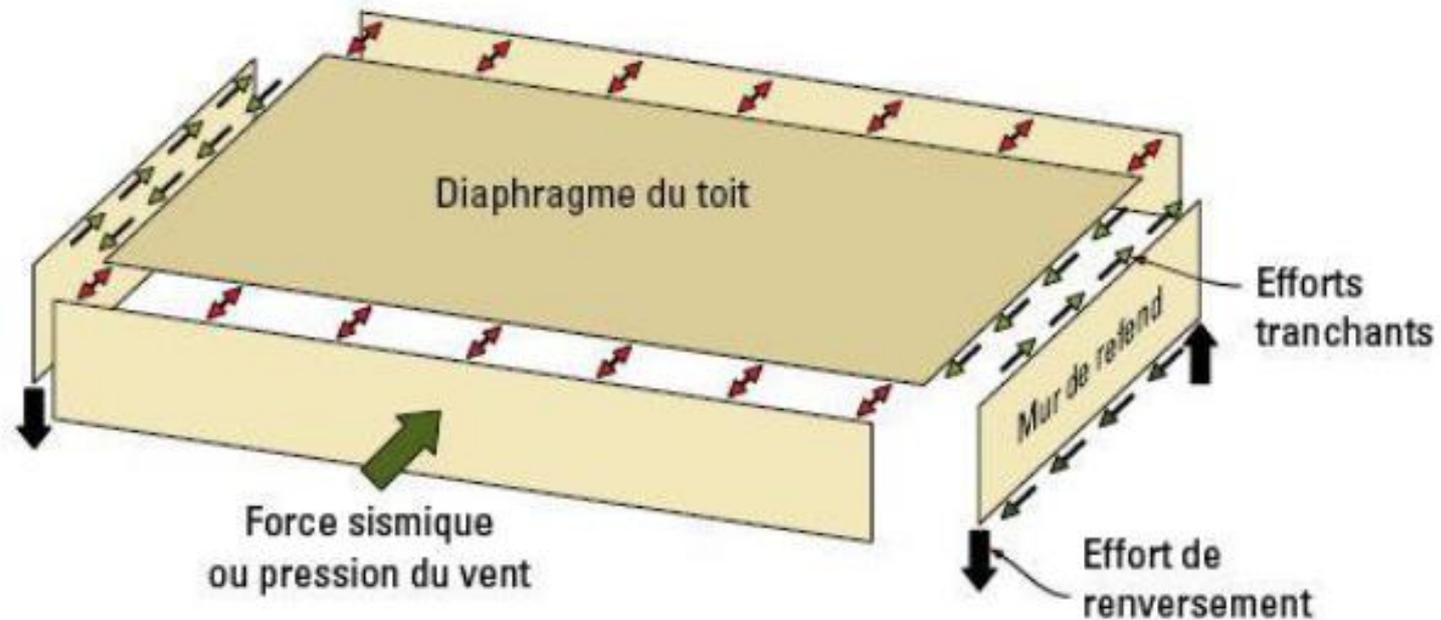
## Principe du contreventement



CECOBOIS

# Murs ossature bois

## Diaphragme rigide en plancher et en toiture



CECOBOIS

Diaphragme horizontal rigide si (2 principales règles) :

- Les ouvertures n'affectent pas de façon significative la rigidité d'ensemble en plan des planchers
- Tous les bords des panneaux de voile travaillant qui ne sont pas fixés sur des éléments structuraux doivent être supportés et fixés par des entretoises transversales placées entre les poutres en bois.

# Murs ossature bois

Diaphragme rigide en plancher et en toiture

## Composition du diaphragme horizontal rigide :

Lames bois massif, lamibois, contreplaqué, OSB, panneaux de particules

## Appuis :

Pose des panneaux sur 3 appuis minimum (largeur des panneaux = multiple de l'entraxe des éléments porteur)

Présence d'entretoises obligatoires sur le bord des panneaux perpendiculaire aux éléments porteurs,

## Fixations :

Pointes, agrafes ou vis

Entraxe maximum en rive des panneaux = 150 mm

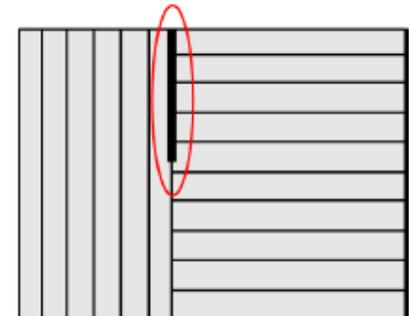
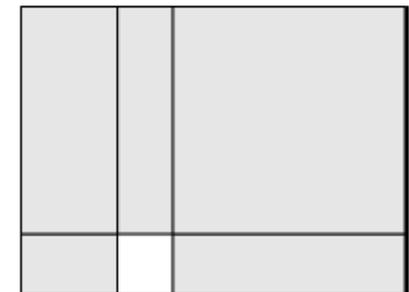
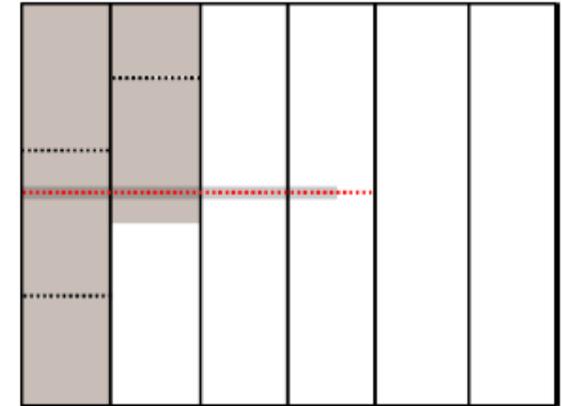
Entraxe maximum sur les porteurs intermédiaires = 300 mm

Il n'y a pas de règle permettant la gestion des ouvertures dans le plancher

# Murs ossature bois

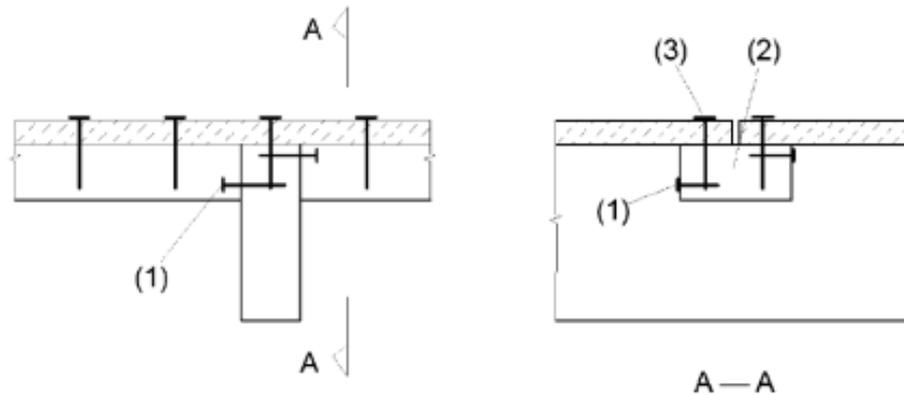
## Diaphragme rigide en plancher et en toiture

- Tous les bords de panneaux doivent être supportés
- Des entretoises (rapport  $h/b \leq 4$ ) doivent être mises en place sous les murs de contreventement.
- La continuité des poutres doit être assurée autour des trémies (diaphragme rigide).
- Il ne peut y avoir de changement de direction de poutres au droit d'un contreventement dans le cas d'un plancher rigide.
- Pas de coefficient majorateur pour la résistance des connecteurs aux bords des plaques et pour l'espacement des clous au bord des panneaux discontinus.
- Si  $ag \cdot S \geq 0,2g$ , l'espacement des connecteurs dans les zones de discontinuité doit être réduit de 25 % tout en respectant les espacements minimaux de l'EN 1995.



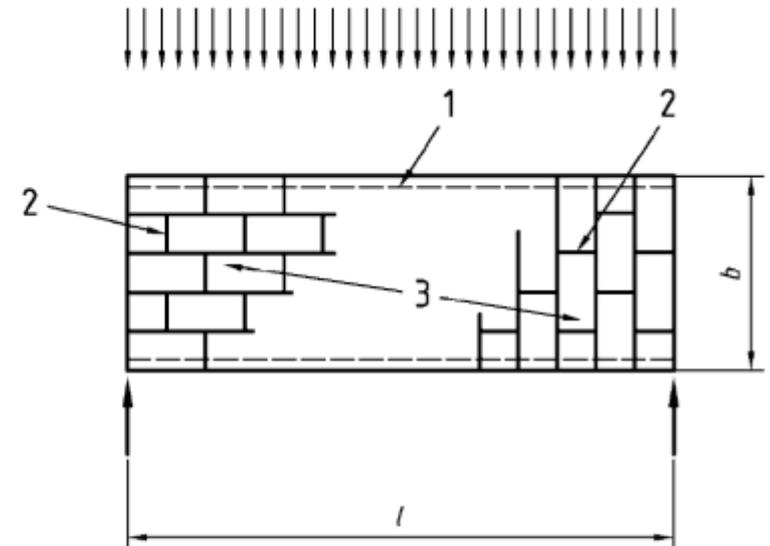
# Murs ossature bois

## Diaphragme rigide en plancher et en toiture



Clé :

- (1) Liteaux assemblés par clouage lardé aux solives ou aux chevrons
- (2) Liteaux
- (3) Panneautage cloué aux liteaux



Clé :

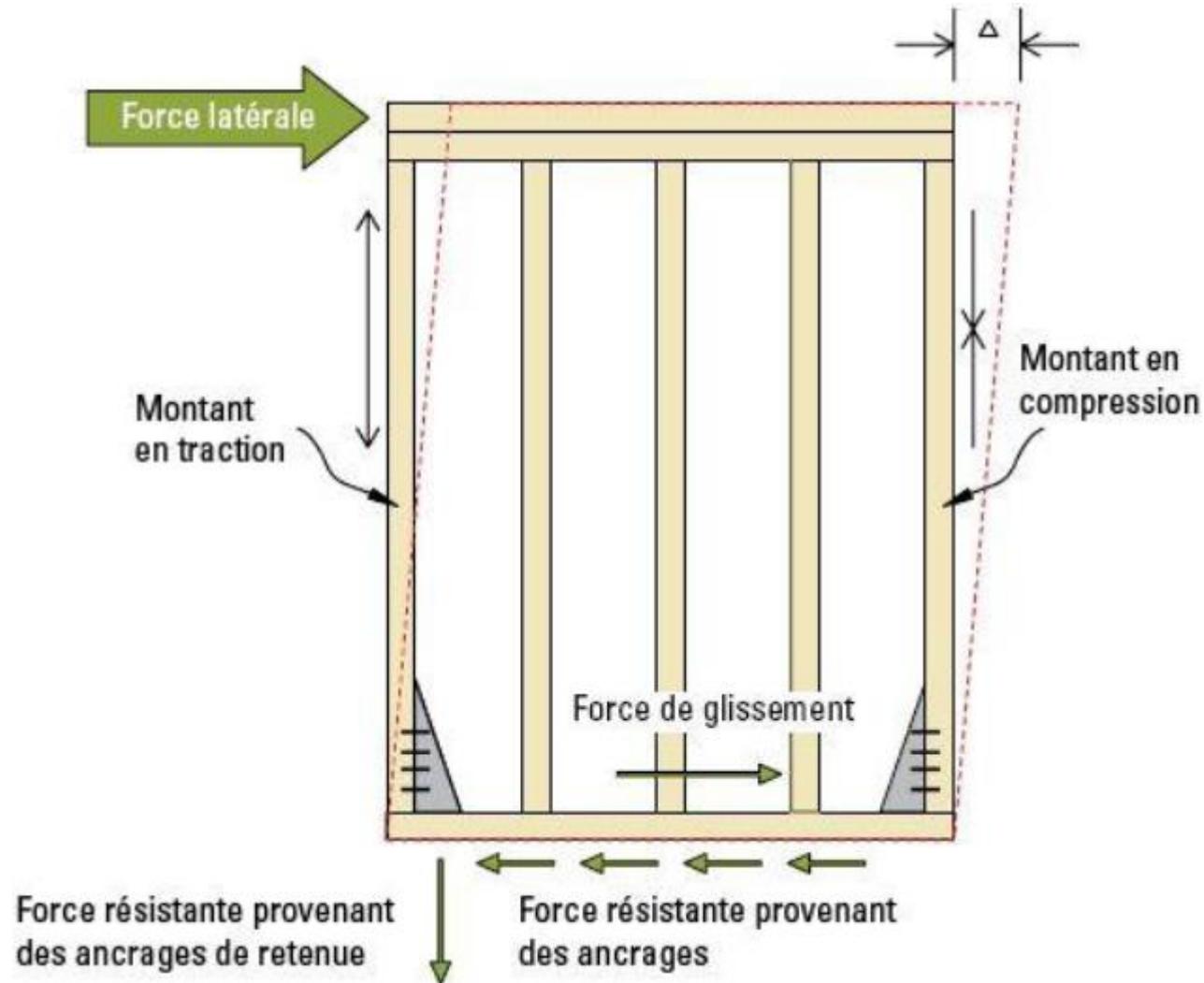
- 1 Poutre de rive
- 2 Rives discontinues
- 3 Arrangement des panneaux

Eurocode 8 – DTU 31,2

Méthodologie de calcul proposée par le CODIFAB

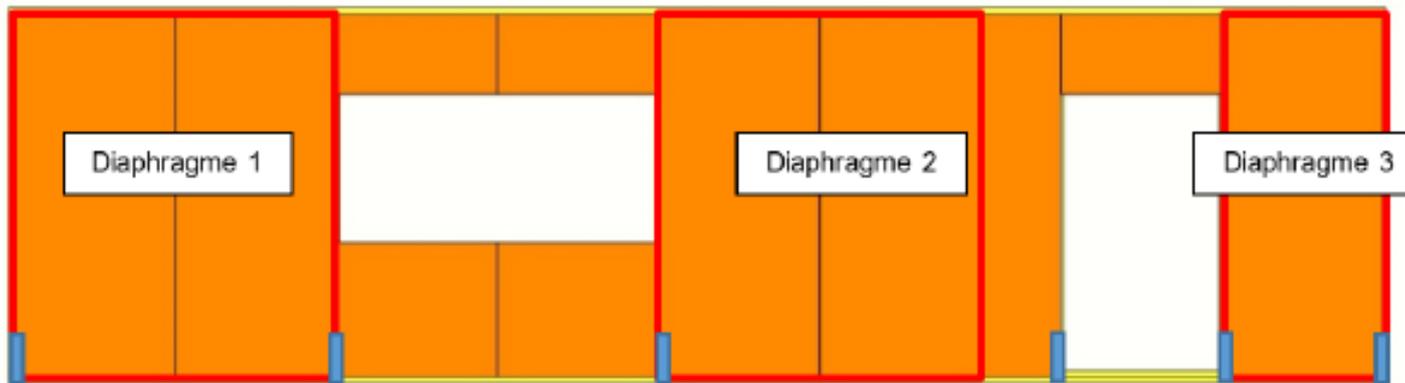
# Murs ossature bois

Murs ossature bois

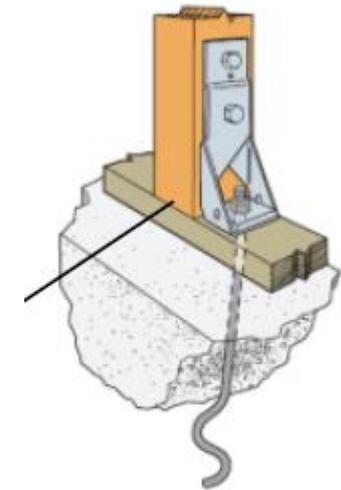


# Murs ossature bois

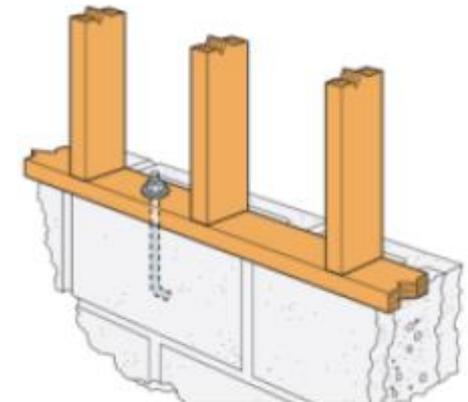
## Murs ossature bois



Plateforme EUROCODE 5 : Atelier 17, Principes généraux du dimensionnement en capacité en situation de séisme



Ancrage de retenue



CECOBOIS

# Murs ossature bois

## Murs ossature bois

La version actuelle des Eurocodes impose de ne pas considérer les zones de mur comportant des ouvertures, quelle que soit leur taille.

Un diaphragme de mur n'a d'effet que si sa largeur est supérieure à  $\frac{1}{4}$  de la hauteur du mur ossature bois (pour un niveau de 2,4 m = 60cm de largeur minimum).

Il est préconisé de placer à minima 2 murs pleins de 1,2m minimum par façade.

# Murs ossature bois

## Murs ossature bois

### Le type de panneaux admissibles :

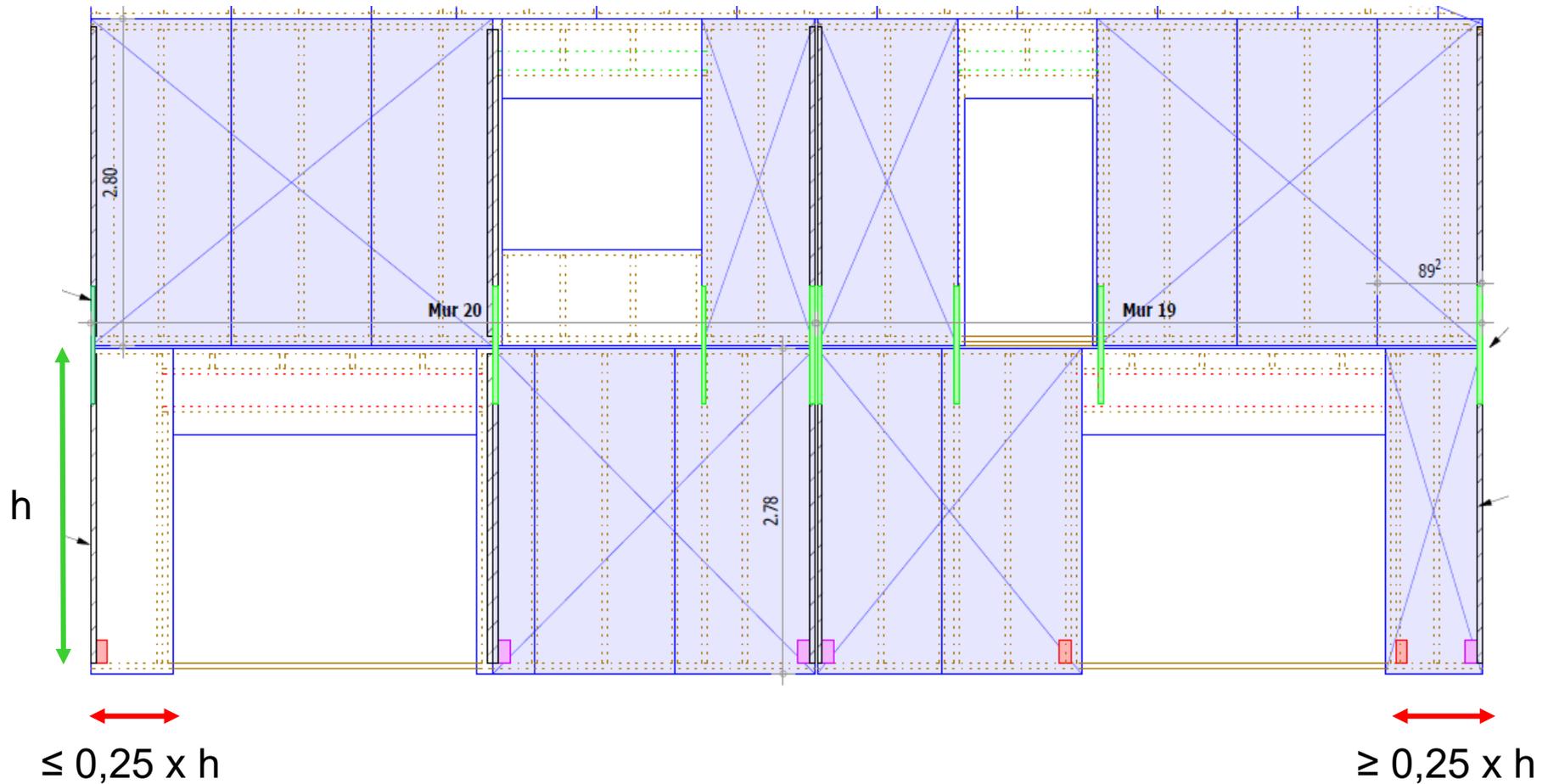
- Les panneaux de particules ont une masse volumique d'au moins  $650 \text{ kg/m}^3$ 
  - Les panneaux en contreplaqué ont une épaisseur d'au moins 9 mm
- Les panneaux de particules ou de fibres ont une épaisseur d'au moins 13 mm

### Pas de mention des panneaux OSB dans l'Eurocode ...

Les panneaux OSB qui ont une épaisseur supérieure à 12 mm sont admis.

# Murs ossature bois

## Murs ossature bois



# Murs ossature bois

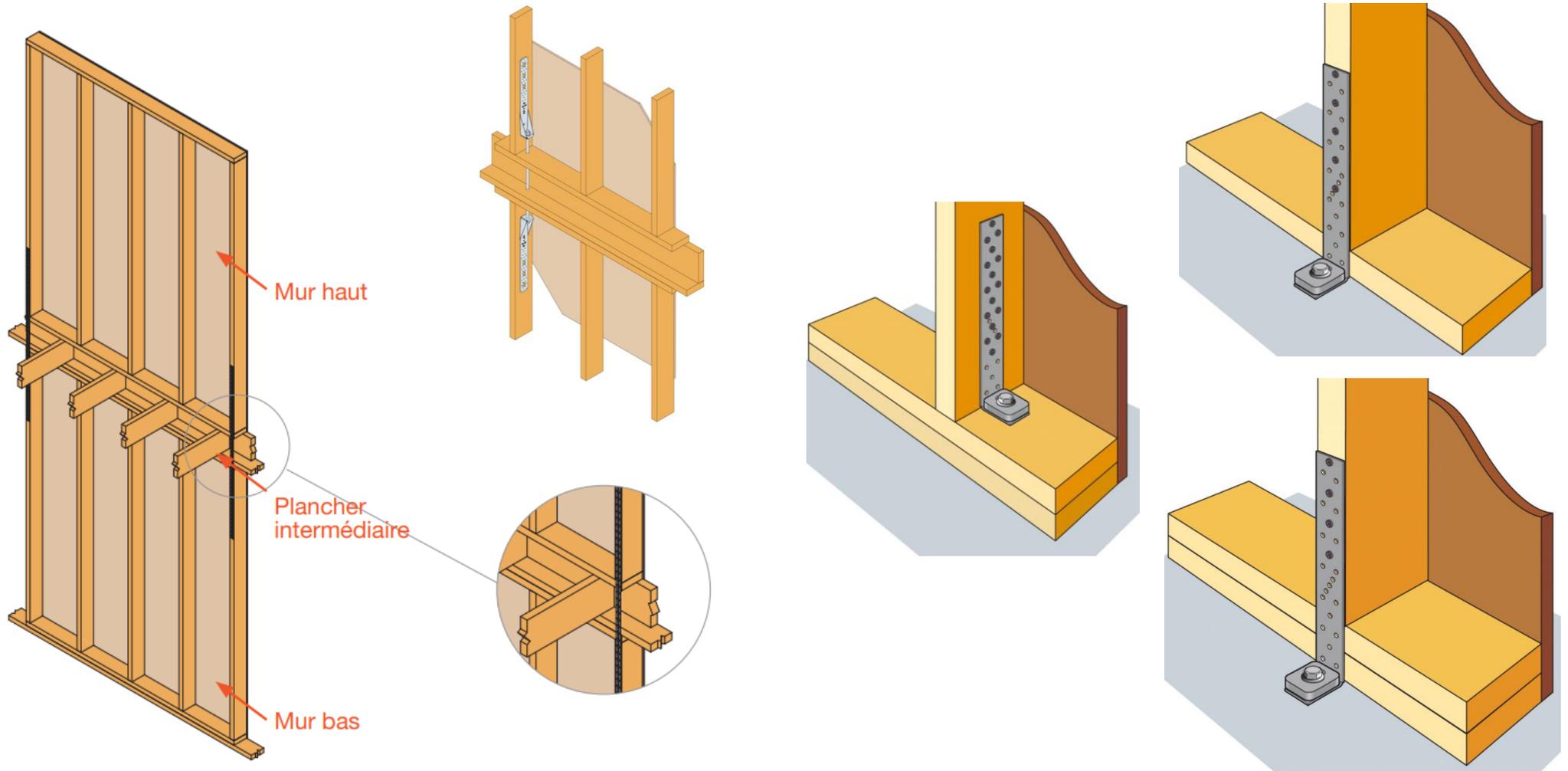
## Murs ossature bois - Fixations

### L'importance des liaisons :

- Liaisons de reprise du cisaillement (haut + bas du mur)  
Attention aux couturages diaphragmes horizontaux avec diaphragmes verticaux
- Ancrages anti soulèvement entre niveaux
- Ancrages anti soulèvement sur le soubassement béton

# Murs ossature bois

## Murs ossature bois - Fixations

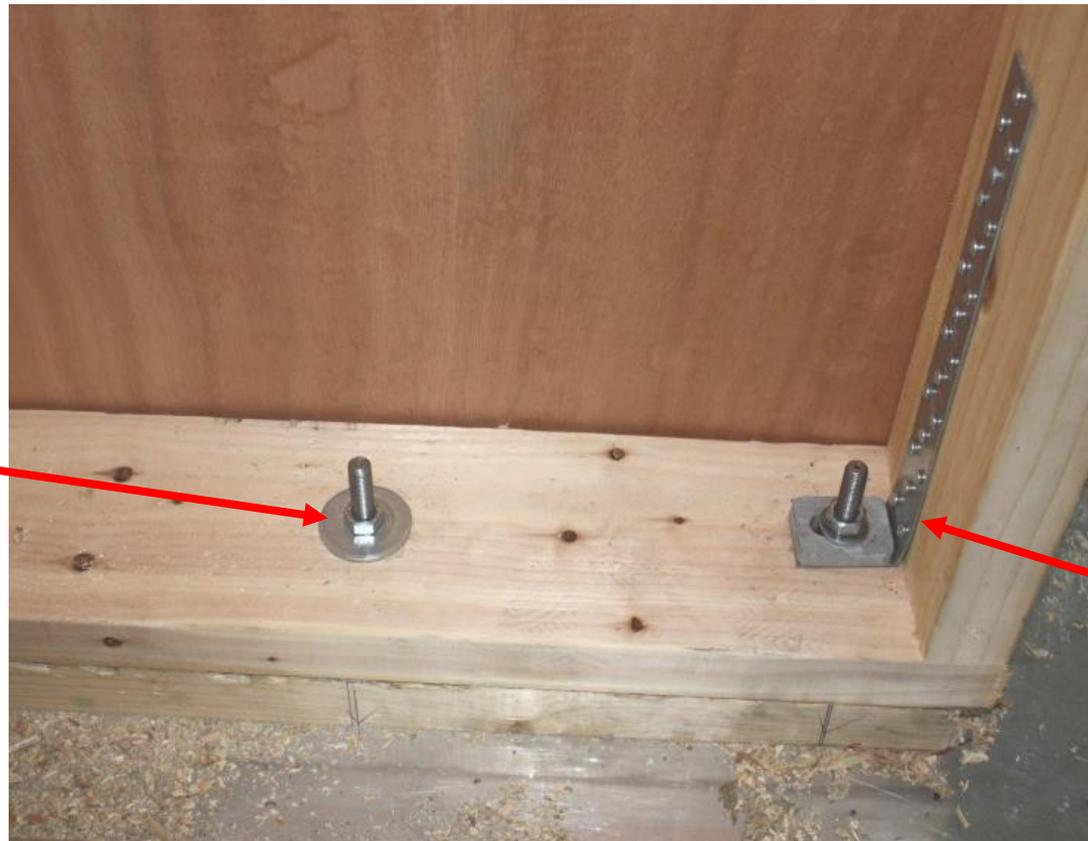


SIMPSON

# Murs ossature bois

## Murs ossature bois - Fixations

Cisaillement



Soulèvement

FCBA, Comportement parasismique des murs ossature bois SISMOB3 – Phase 2, 2014

# Murs ossature bois

## Dimensionnement des assemblages – Classe de ductilité M

En classe de ductilité M, les assemblages dissipatifs sont :

- Les assemblages entre les panneaux de contreventement et l'ossature
- Les assemblages reprenant l'effort tranchant entre les murs inférieurs et supérieurs ainsi qu'entre les murs et les fondations
- Les assemblages reprenant le soulèvement au niveau des montants d'extrémités des murs et des ouvertures

FCBA, Guide pour la justification de bâtiments en bois lamellé en situation de séisme, 16 janvier 2018

# Murs ossature bois

## Dimensionnement des assemblages – Classe de ductilité M

Afin de garantir la plastification des tiges dans les zones dissipatives, **tous les autres éléments structuraux et assemblages doivent être dimensionnés avec un coefficient de surrésistance suffisant** afin d'éviter les modes de rupture fragile. En classe de ductilité M, ceci s'applique en particulier :

- Aux assemblages entre les panneaux de contreventement et les solives de plancher à chaque niveau
- Aux assemblages entre les diaphragmes de plancher et les murs en dessous pour garantir qu'à chaque niveau il y ait un diaphragme rigide auquel les murs sont assemblés de manière rigide
- Aux assemblages entre les murs perpendiculaires, en particulier aux angles du bâtiment, afin que la stabilité des murs et le fonctionnement de type « boîte » soient garantis
- Aux panneaux de contreventement eux-mêmes sous efforts de cisaillement dans le plan engendrés par les sollicitations sismiques
- Aux éléments d'ossature sous efforts axiaux engendrés par les sollicitations sismiques

A l'échelle des assemblages, pour la conception de ceux qui ont pour vocation à dissiper l'énergie, il convient qu'un mode de rupture par plastification de la tige soit atteint et que les modes de rupture fragile soient évités. En particulier, les modes de rupture suivants doivent être évités :

- Traction ou arrachement des chevilles et vis
- Rupture en traction ou en cisaillement des plaques métalliques. Les autres modes de rupture comme le cisaillement de bloc, l'arrachement ou la rupture en traction du bois dans la zone d'assemblage doivent également être évités.

# Murs ossature bois

## Dimensionnement des assemblages – Classe de ductilité H

En classe de ductilité H, les assemblages dissipatifs sont les assemblages entre les panneaux de contreventement et l'ossature.

# Murs ossature bois

## Dimensionnement des assemblages – Classe de ductilité H

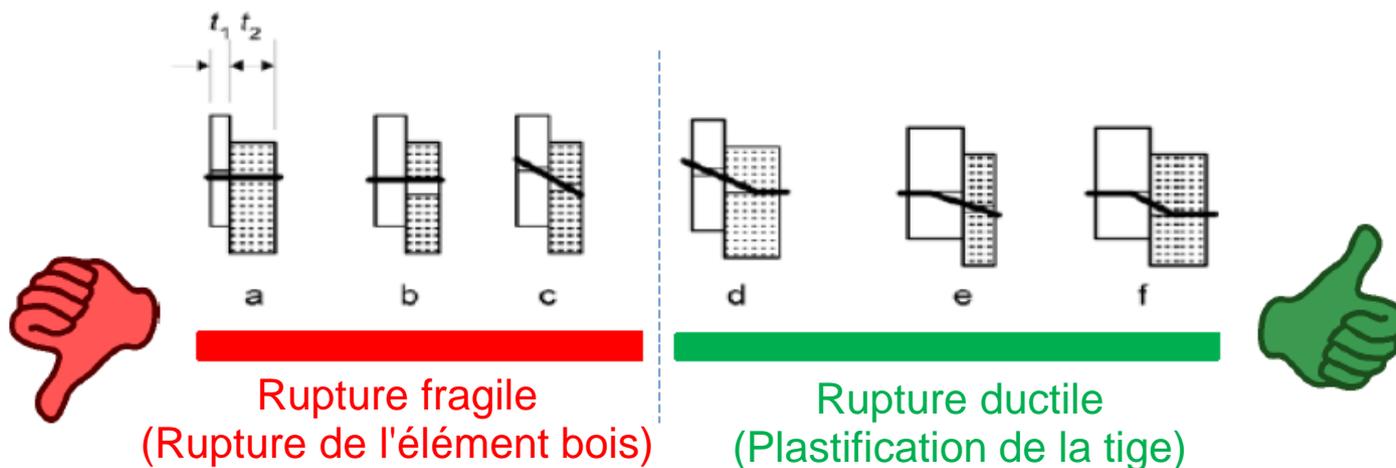
Afin de garantir la plastification des tiges dans les zones dissipatives, **tous les autres éléments structuraux et assemblages doivent être dimensionnés avec un coefficient de sur résistance suffisant** afin d'éviter les modes de rupture fragile. En classe de ductilité H, ceci s'applique en particulier :

- Aux assemblages reprenant l'effort tranchant entre les murs inférieurs et supérieurs ainsi qu'entre les murs et les fondations
- Aux assemblages reprenant le soulèvement au niveau des montants d'extrémités des murs et des ouvertures
- Aux assemblages entre les panneaux de contreventement et les solives de plancher à chaque niveau
- Aux assemblages entre les diaphragmes de plancher et les murs en dessous pour garantir qu'à chaque niveau il y ait un diaphragme rigide auquel les murs sont assemblés de manière rigide
- Aux assemblages entre les murs perpendiculaires, en particulier aux angles du bâtiment, afin que la stabilité des murs et le fonctionnement de type « boîte » soient garantis
- Aux panneaux de contreventement eux-mêmes sous efforts de cisaillement dans le plan engendrés par les sollicitations sismiques
- Aux éléments d'ossature sous efforts axiaux engendrés par les sollicitations sismiques

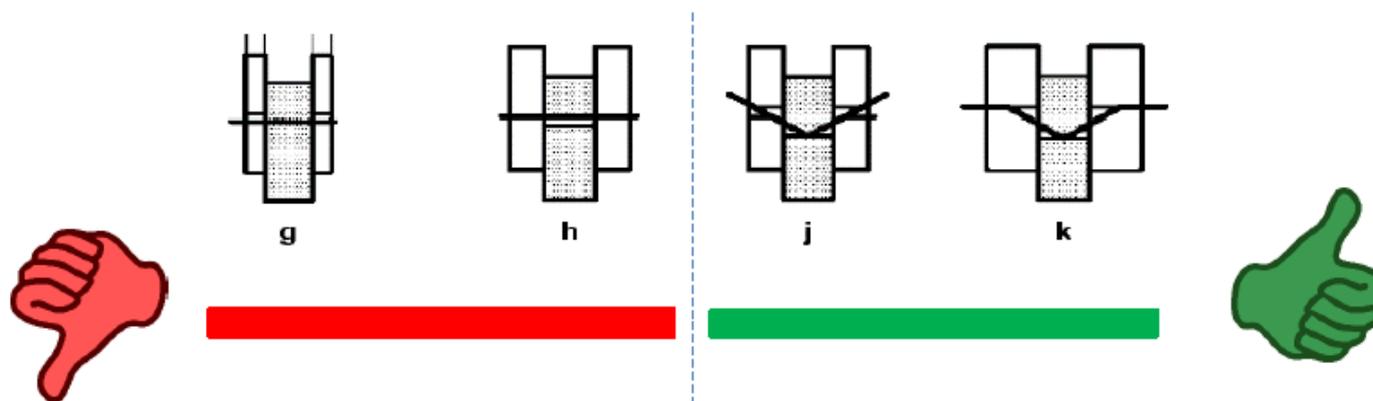
# Murs ossature bois

## Rupture ductile des assemblages

### Simple cisaillement

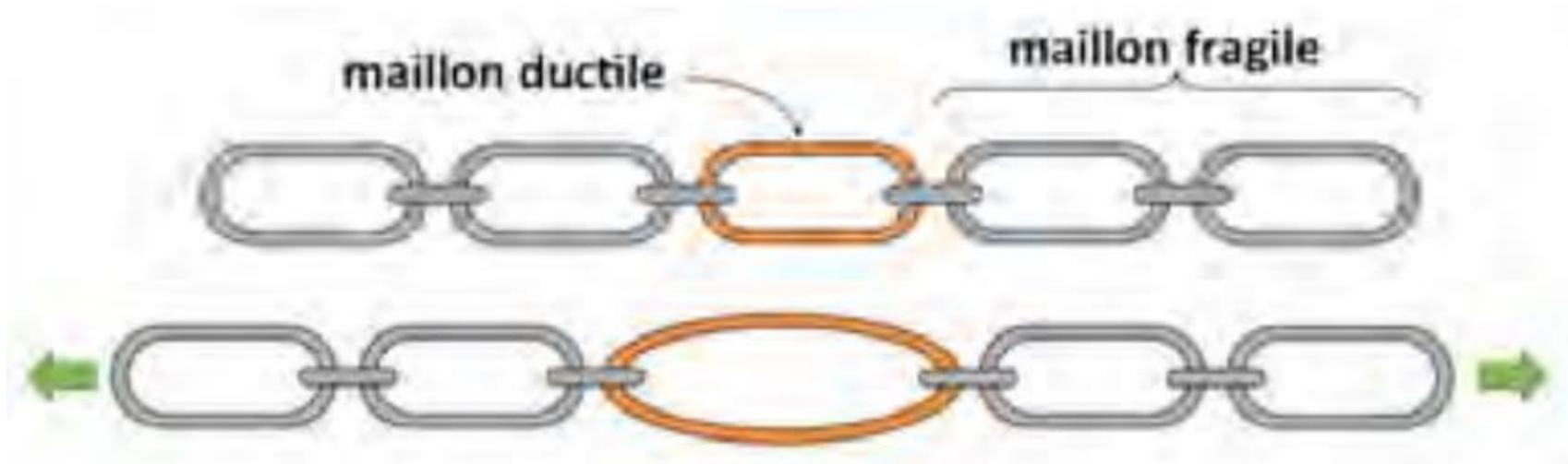


### Double cisaillement



# Poteaux-Poutres

## Rupture ductile des assemblages

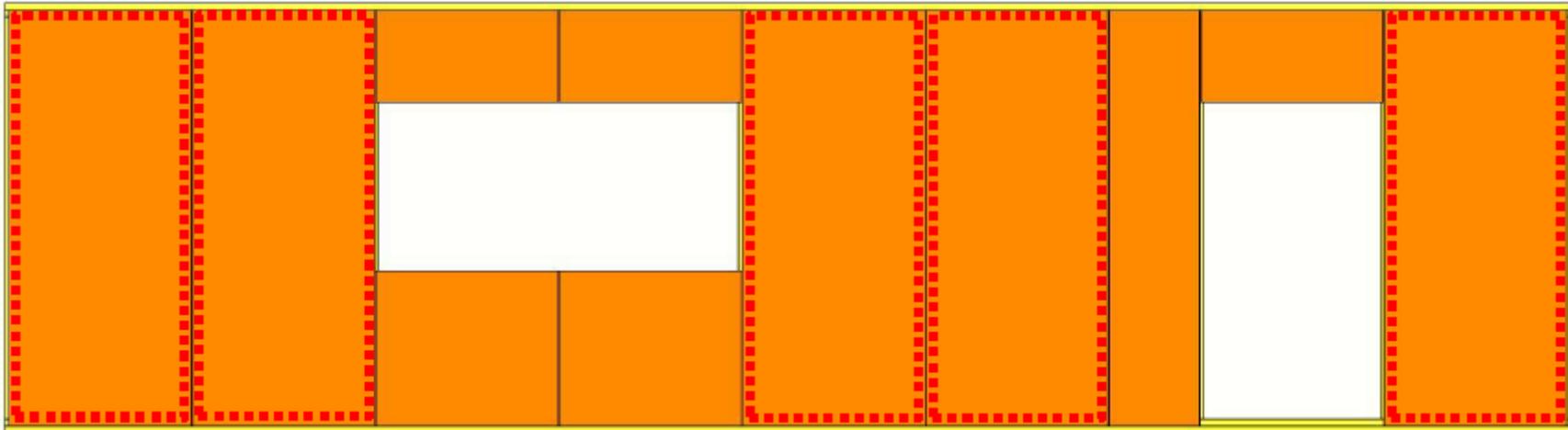


SIMPSON STRONG TIE

# Murs ossature bois

## Mur ossature bois - DCH

DCH : Zone dissipative = couturage périphérique des MOB



Plateforme EUROCODE 5 : Atelier 17, Principes généraux du dimensionnement en capacité en situation de séisme

Pour dissiper les efforts dans ces assemblages :

- Nécessité d'atteindre la plastification des couturages de panneaux
- Donc surdimensionner l'ensemble des autres assemblages afin d'atteindre cette plastification

# Murs ossature bois

## Mur ossature bois - DCH



Plateforme EUROCODE 5 : Atelier 17, Principes généraux du dimensionnement en capacité en situation de séisme

# Murs ossature bois

## Sur-résistance des assemblages

### **Pas de précision dans l'EUROCODE 8 chapitre bois**

Cependant, dans les parties communes à tous les matériaux :

### **Diaphragmes horizontaux § 4.4.2.5**

*"Les diaphragmes et les entretoisements dans les plans horizontaux doivent pouvoir transmettre, avec une sur-résistance suffisante, les effets de l'action sismique aux divers contreventements auxquels ils sont liés."*

**Les valeurs du coefficient de sur-résistance  $\gamma_d$  recommandées sont de :**

**$\gamma_{Rd} = 1,3$  (rupture fragile) /  $\gamma_{Rd} = 1,1$  (rupture ductile)**

→ Majoration des efforts de calcul dans le diaphragme et liaisons avec les murs

# Murs ossature bois

## Sur-résistance des assemblages

### Pas de précision dans l'EUROCODE 8 chapitre bois

Cependant, dans les parties communes à tous les matériaux :

### Ancrages § 4.4.2.6 Résistance des fondation

*Les ancrages sont surdimensionnés par un coefficient*

$$\Omega \cdot \gamma_{Rd}$$

*avec*

*"\*  $\gamma_{Rd}$  coefficient de sur-résistance, pris égal à 1,0 pour  $q \leq 3$ , ou à 1,2 dans les autres cas*

*\*  $\Omega$  valeur de  $(R_{di}/E_{di}) \leq q$ "*

# Murs ossature bois

Surdimensionnement des assemblages

## Vérification des panneaux de contreventement

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ad}$$

Résistance du voile  $\geq$  Effort appliqué au voile

## Vérification des assemblages

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ad} \cdot \Omega \cdot \gamma_{Rd}$$

Avec

$$\Omega = F_{v,Rd} / F_{v,Ad} \leq \mathbf{q}$$

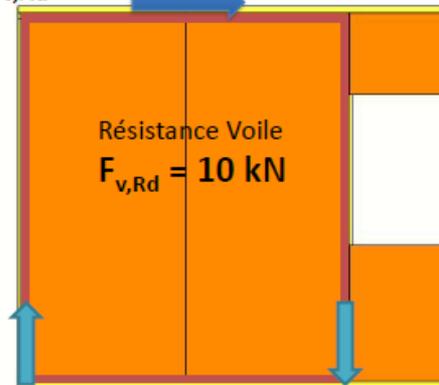
$\gamma_{Rd} = 1,3$  (Pour une rupture d'ancrage fragile, 1,1 pour une rupture ductile)

# Murs ossature bois

## Surdimensionnement des assemblages

Exemple :  $q = 3$

Effort sismique  
 $F_{v,Ad} = 5 \text{ kN}$



$F_{ax,Ad} = 5,8 \text{ kN}$

$F_{c,Ad}$

Effort de calcul dans les ancrages

Voile :

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ad} \text{ OK}$$

Ancrages :

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ad} \cdot \Omega \cdot \gamma_{Rd}$$

$$\Omega = F_{v,Rd} / F_{v,Ad} \leq q$$

$$\Omega = 2$$

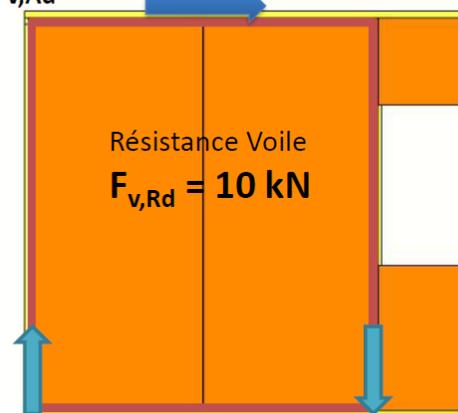
Rupture ancrage fragile :

$$\gamma_{Rd} = 1,3$$

$$F_{ax,Rd} \geq 15,1 \text{ kN}$$

Exemple :  $q = 1,5$

Effort sismique  
 $F_{v,Ad} = 10 \text{ kN}$



$F_{ax,Ad} = 11,6 \text{ kN}$

$F_{c,Ad}$

Effort de calcul dans les ancrages

Voile :

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ad} \text{ OK}$$

Ancrages :

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ad} \cdot \Omega \cdot \gamma_{Rd}$$

$$\Omega = F_{v,Rd} / F_{v,Ad} \leq q$$

$$\Omega = 1$$

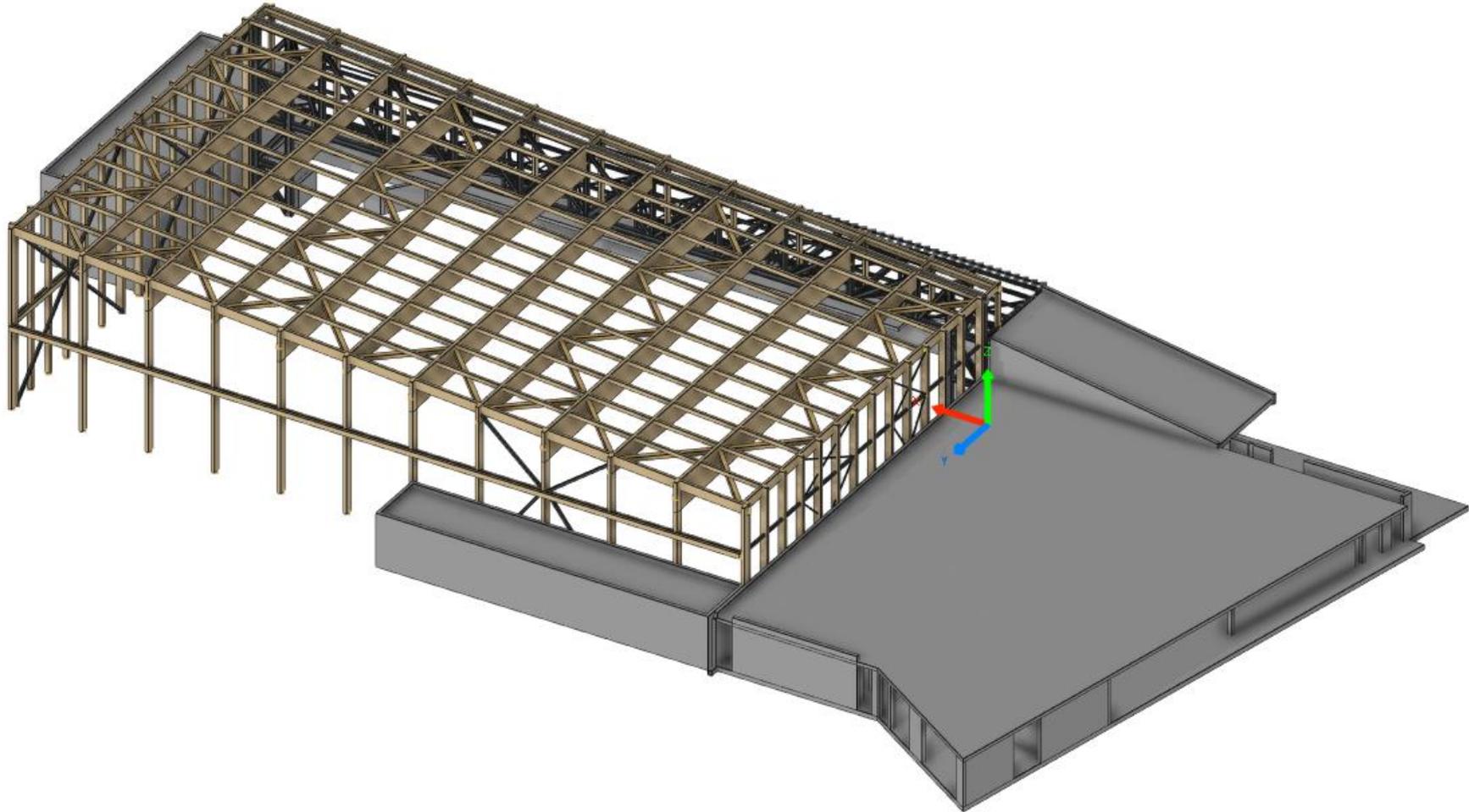
Rupture ancrage fragile :

$$\gamma_{Rd} = 1,3$$

$$F_{ax,Rd} \geq 15,1 \text{ kN}$$

Plateforme EUROCODE 5 : Atelier 17, Principes généraux du dimensionnement en capacité en situation de séisme

# Poteaux-Poutres



# Poteaux-Poutres

Les structures bois poteaux/poutres sont composées de **poteaux et poutres assemblés de manière articulée** avec des **organes métalliques de type tige** et comportant un système de stabilité verticale réalisé au moyen de diagonales bois assemblés mécaniquement. Lorsque des contreventements en acier ou en béton sont utilisés, il doit être fait référence aux parties concernées de la NF EN 1998-1.

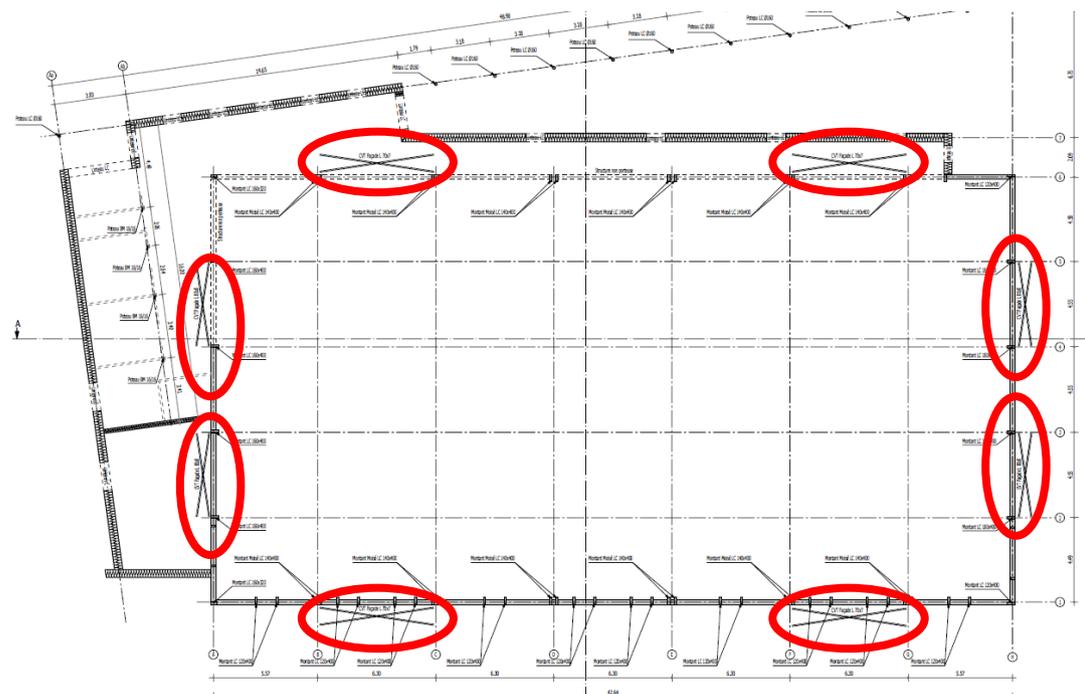
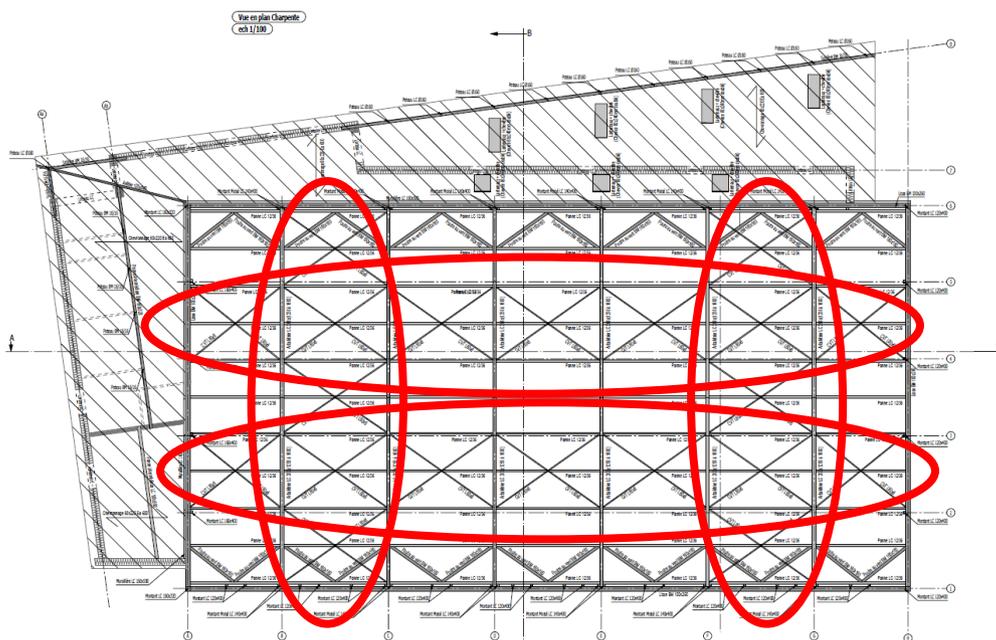
D'autres types de stabilité verticale peuvent être utilisés comme par exemple des murs à ossature bois. Dans ce cas, les exigences correspondantes pour la classe de ductilité M s'appliquent. Les diaphragmes horizontaux peuvent être réalisés conformément au troisième alinéa du paragraphe 4.6.2 du présent document.

## *Règles de dimensionnement en capacité*

Afin de garantir la **plastification des organes d'assemblages**, les éléments en bois doivent être dimensionnés en surrésistance avec un coefficient suffisant.

FCBA, Guide pour la justification de bâtiments en bois lamellé en situation de séisme, 16 janvier 2018

# Contreventement



# Poteaux-Poutres

## Vigilance particulière

- Canonicité des assemblages
- Chercher la rupture ductile des assemblages
- Possible inversion d'efforts sous cas de charges sismiques :
  - Assemblages traditionnels
  - Soulèvement
  - ...
- Croix de Saint-André :
  - Torsion du bâtiment si mal positionnées
  - Eviter les efforts de soulèvement sur les poteaux peu chargés (travées de rive...)

# Poteaux-Poutres

## Canonicité des nœuds

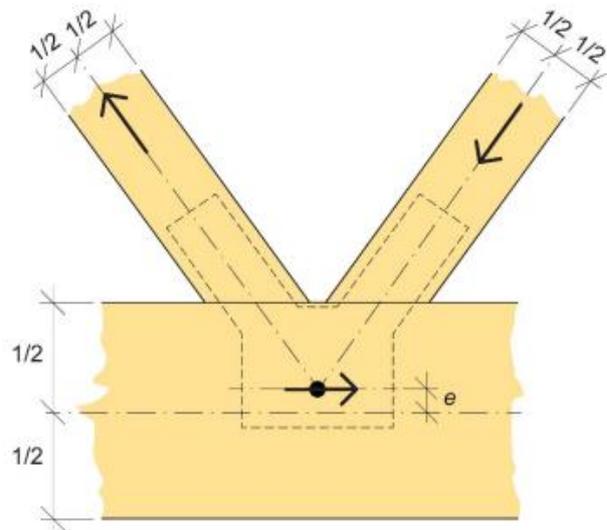
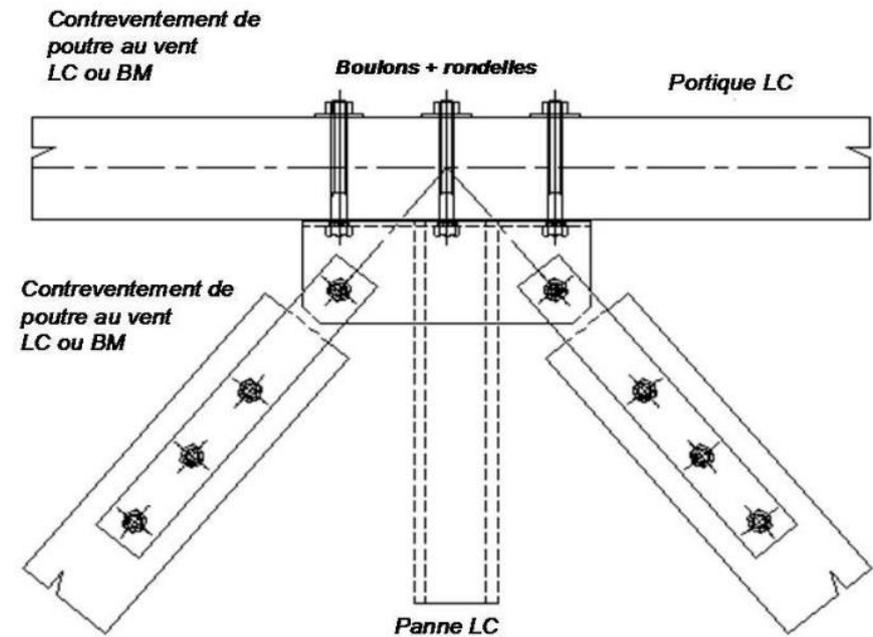


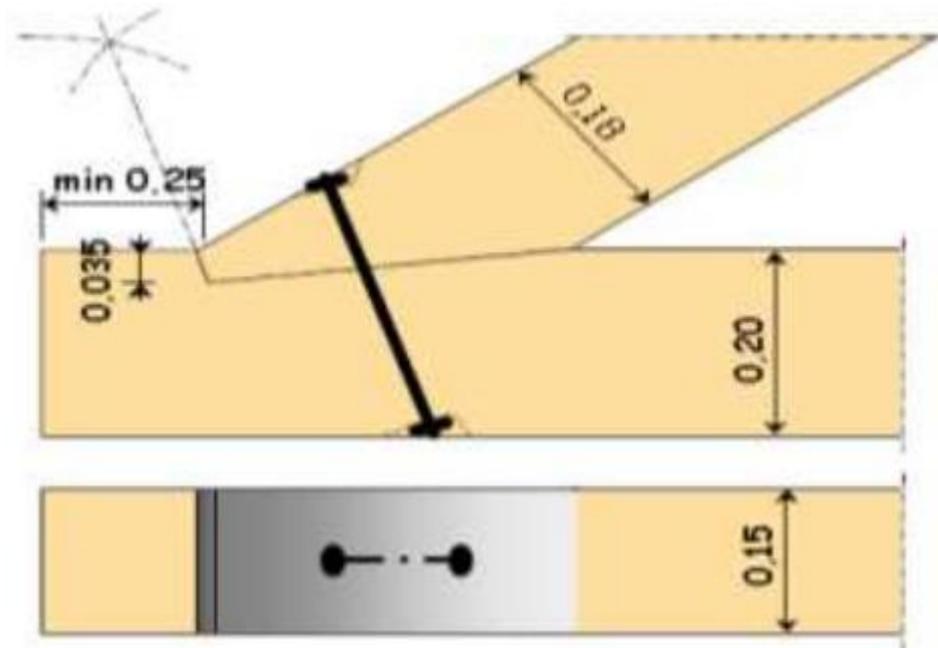
Figure 14.39 : Nœud excentrique avec des plaques métalliques en âme.



Glulam Handbook, volume II

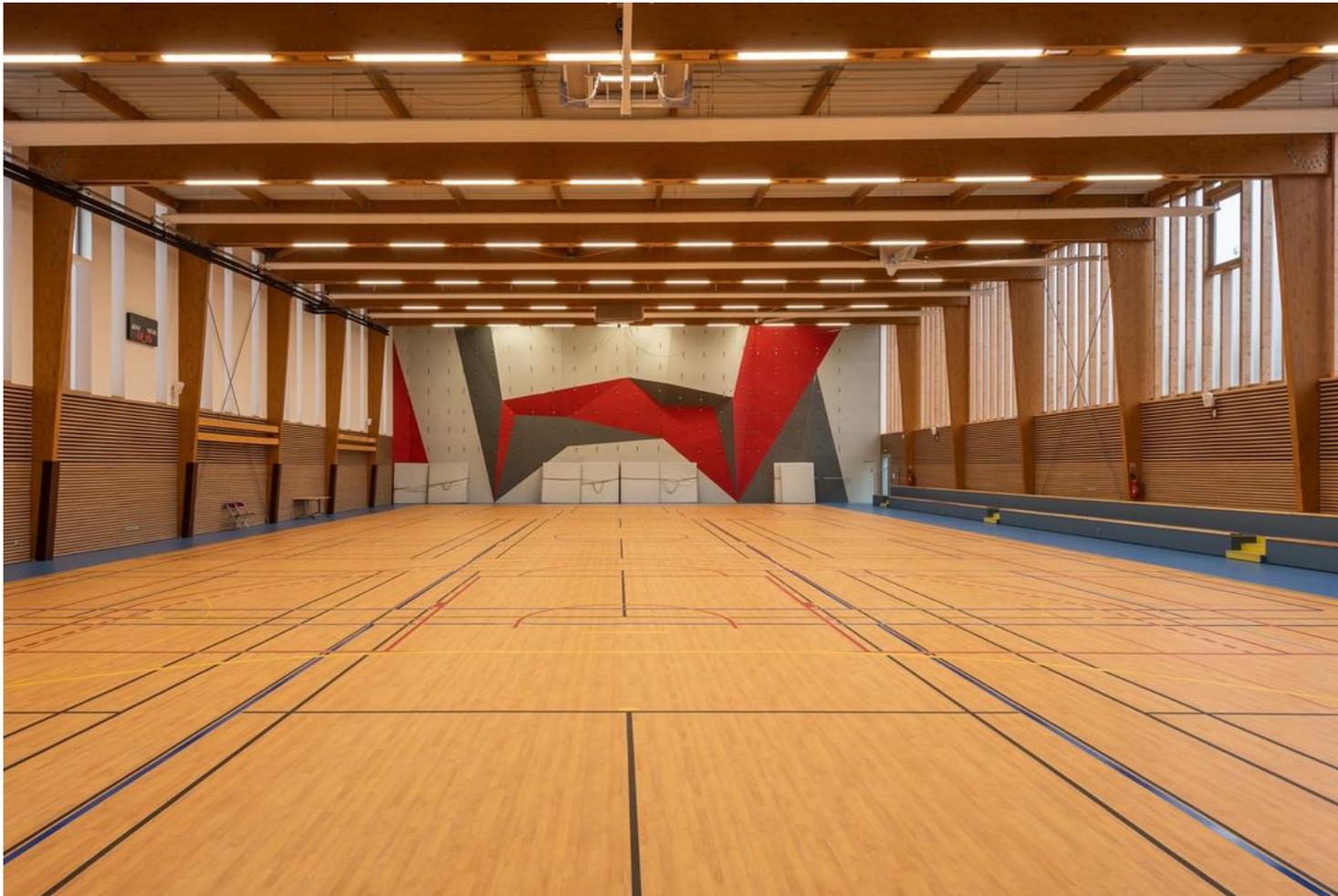
# Poteaux-Poutres

## Insertion d'efforts



Glulam Handbook, volume II

# Poteaux-Poutres encastrés



# Poteaux-Poutres

## « Règles pour les portiques avec encastremements

Les portiques avec encastremements sont constitués d'éléments bois avec des assemblages semi-rigides entre tous les éléments, réalisés avec des organes métalliques de type tige. Les assemblages entre les poteaux et les fondations peuvent être articulés ou semi-rigides.

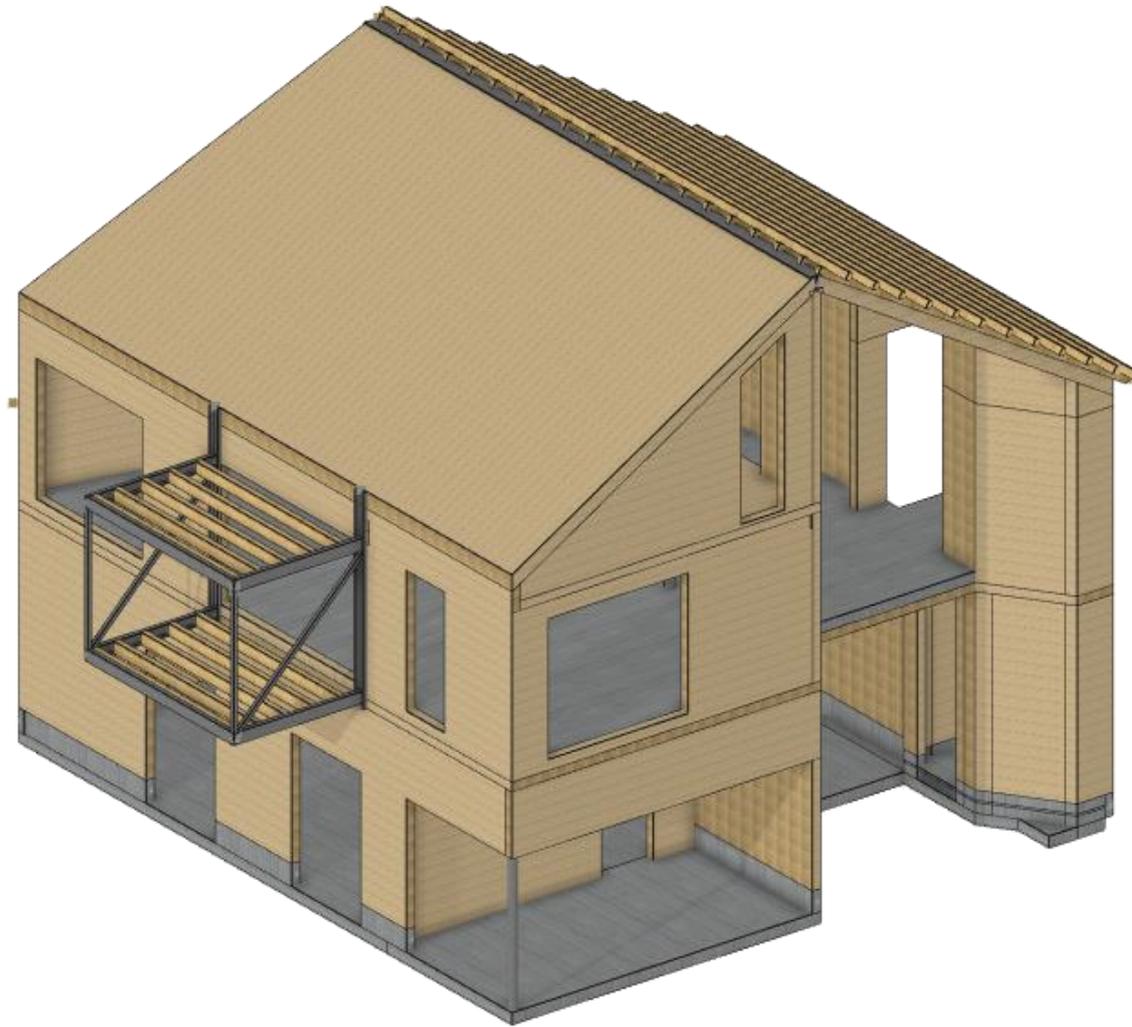
## ***Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité M***

Afin de garantir la plastification des assemblages, les éléments en bois doivent être dimensionnés en sur-résistance avec un coefficient de sur-résistance suffisant.

## ***Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité H***

La préconisation du paragraphe précédent s'applique. De plus, seules les structures encastrees avec des assemblages à ductilité élevée (par exemple dispositif spécial qui comprend des joints poteaux/traverses spécifiquement conçus pour atteindre une ductilité élevée) sont autorisées en DCH. La valeur limite haute du coefficient de comportement définie dans le tableau 6 peut être utilisée seulement si l'exigence au troisième alinéa du paragraphe 4.4 du présent document pour les structures de classe de ductilité élevée est respectée pour un portique type. »

# CLT (Cross Laminated Timber)



# CLT (Cross Laminated Timber)

Les bâtiments en CLT :

- Épaisseur minimale est de 60mm (murs) et 18mm (diaphragmes horizontaux).

L'ancrage des murs aux fondations doit être réalisé au moyen d'assemblages mécaniques et doit empêcher efficacement le **basculement et le glissement**.

Les ancrages reprenant le **basculement** doivent être placés **aux extrémités des murs et des ouvertures**, tandis que les assemblages reprenant le **cisaillement** doivent être **répartis uniformément** sur la longueur du mur.

Chaque élément de mur doit **avoir une largeur d'au moins le quart de la hauteur entre étages** et doit être connecté aux autres éléments au moyen de **joints verticaux** réalisés par vis ou pointes par exemple.

Les éléments individuels ayant une largeur inférieure au quart de la hauteur entre étages ne doivent pas être considérés comme participant à la stabilité en situation de séisme. Les murs perpendiculaires sont généralement assemblés au moyen de vis. Les joints horizontaux entre murs doivent être évités sauf dispositif spécifique.

# CLT (Cross Laminated Timber)

Les diaphragmes de planchers ou de toiture sont réalisés au moyen de panneaux CLT assemblés ensemble au moyen de joints horizontaux par vis ou pointes.

Les panneaux de plancher reposent sur le mur ou la poutre sur lequel ils sont assemblés (vis ou pointes).

Les murs reposent sur les panneaux de plancher (type plateforme) et sont assemblés aux murs du dessous au moyen d'assemblages mécaniques similaires à ceux utilisés pour l'ancrage sur les fondations.

Des plats continus pointés sur les panneaux peuvent être utilisés pour reprendre le basculement.

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité M

Les bâtiments en CLT conçus en classe de ductilité M doivent avoir les murs composés d'un ou plusieurs panneaux assemblés par des joints verticaux rigides.

Les bâtiments en CLT doivent être considérés comme des structures de type boîte. Afin de garantir ce comportement, certains éléments structuraux doivent être comme des zones dissipatives et d'autres non, et **dimensionnés** avec une **surrésistance suffisante** pour **éviter toute rupture fragile**.

**Les assemblages dissipatifs** doivent comporter des **organes de type tige** mis en œuvre **perpendiculairement à la direction de l'effort de cisaillement**. Les assemblages avec organes de type tiges inclinés par rapport à la direction de l'effort de cisaillement sont autorisés seulement dans les assemblages non dissipatifs.

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité M

Les **éléments structuraux** qui doivent être dimensionnés en **sur-résistance** afin de garantir la plastification des zones dissipatives sont :

\* Tous les **murs et les planchers CLT**

\* Les **assemblages entre les panneaux** de plancher adjacents, ou autre système de diaphragme, afin de **limiter** au maximum le **glissement** et assurer une rigidité dans le plan suffisante

\* Les **assemblages entre les planchers et les murs** sur lesquels ils reposent afin de garantir qu'à chaque niveau, il y ait un plancher rigide auquel les murs sont assemblés de manière rigide

\* Les **assemblages entre les murs perpendiculaires**, en particulier aux angles du bâtiment, afin que la stabilité des murs eux-mêmes et de la boîte soit toujours assurée.

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité M

Les **assemblages dissipatifs** dans un bâtiment en CLT sont :

- \* Les assemblages reprenant le **cisaillement** entre les murs et le plancher sur lesquels ils reposent, et entre les murs et les fondations
- \* Les **ancrages** reprenant le **basculement** placés aux extrémités des murs et des ouvertures.

Lors du dimensionnement des assemblages tels qu'évoqués ci-dessus, un mode de rupture par rotule plastique des organes doit apparaître et **les modes de rupture fragile sont à proscrire**. Les modes de rupture suivants sont notamment à proscrire :

- \* Traction et traversée de tête des boulons ou des vis ;
- \* Rupture en traction ou en cisaillement des plaques métalliques des ancrages.

Les autres modes de rupture fragile tels que fendage, rupture de bloc, traction perpendiculaire et traction du bois au voisinage de l'assemblage doivent toujours être évités conformément aux préconisations de EN 1995-1-1.

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Règles de dimensionnement en capacité pour la classe de ductilité H

Dans les bâtiments en CLT conçus en classe de ductilité H, **dans chaque direction perpendiculaire**, tous les murs participants à la stabilité en situation sismique doivent être **composés de plusieurs éléments**.

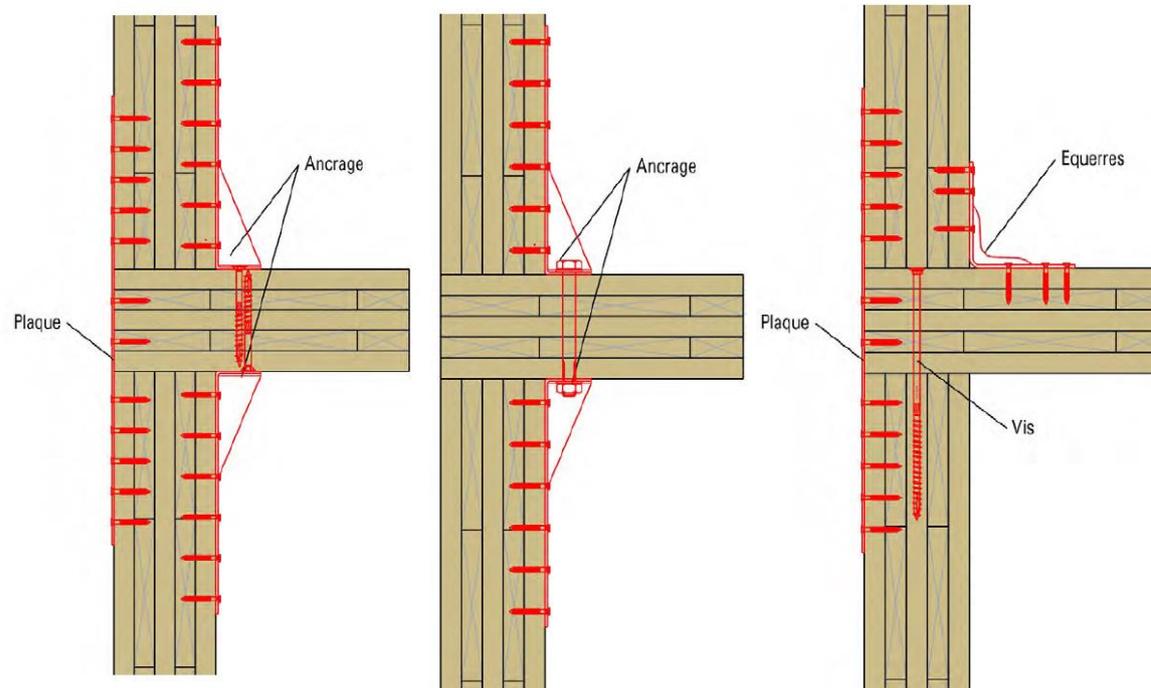
Ces éléments segmentés **doivent être composés de plus d'un panneau**, chaque panneau devant avoir **une largeur supérieure ou égale au quart de la hauteur entre étages et pas plus grande que cette hauteur**, assemblés avec des joints réalisés par des organes de type tige mis en œuvre perpendiculairement au plan de cisaillement.

**Les exigences formulées au paragraphe précédent s'appliquent avec en complément**, les assemblages suivants devant être conçus comme dissipatifs :

\* Les assemblages par organes de type tige entre les panneaux de murs parallèles au sein d'un même mur de stabilité,

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Ancrages anti soulèvement



Guide RAGE : Panneaux massifs bois contrecollé, 2014

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Ancrages anti soulèvement et reprise du cisaillement

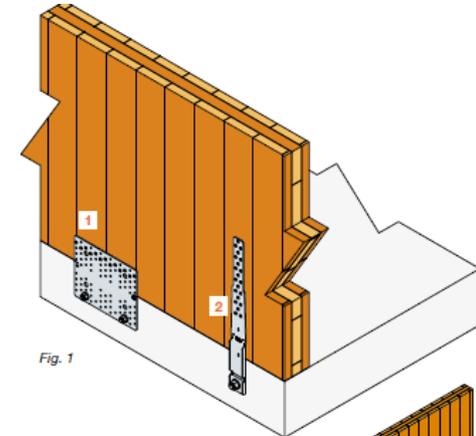
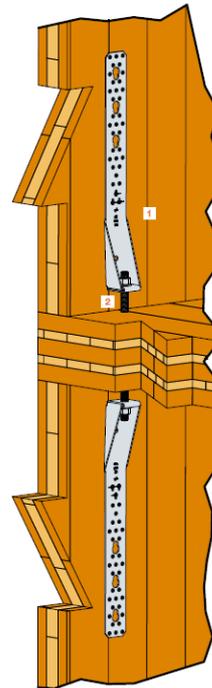


Fig. 1

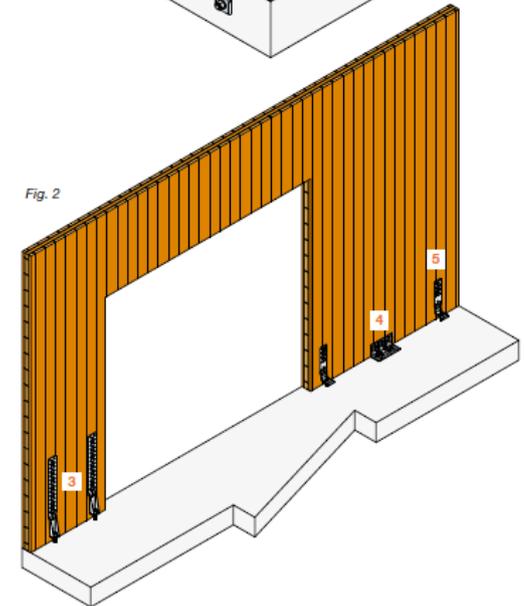
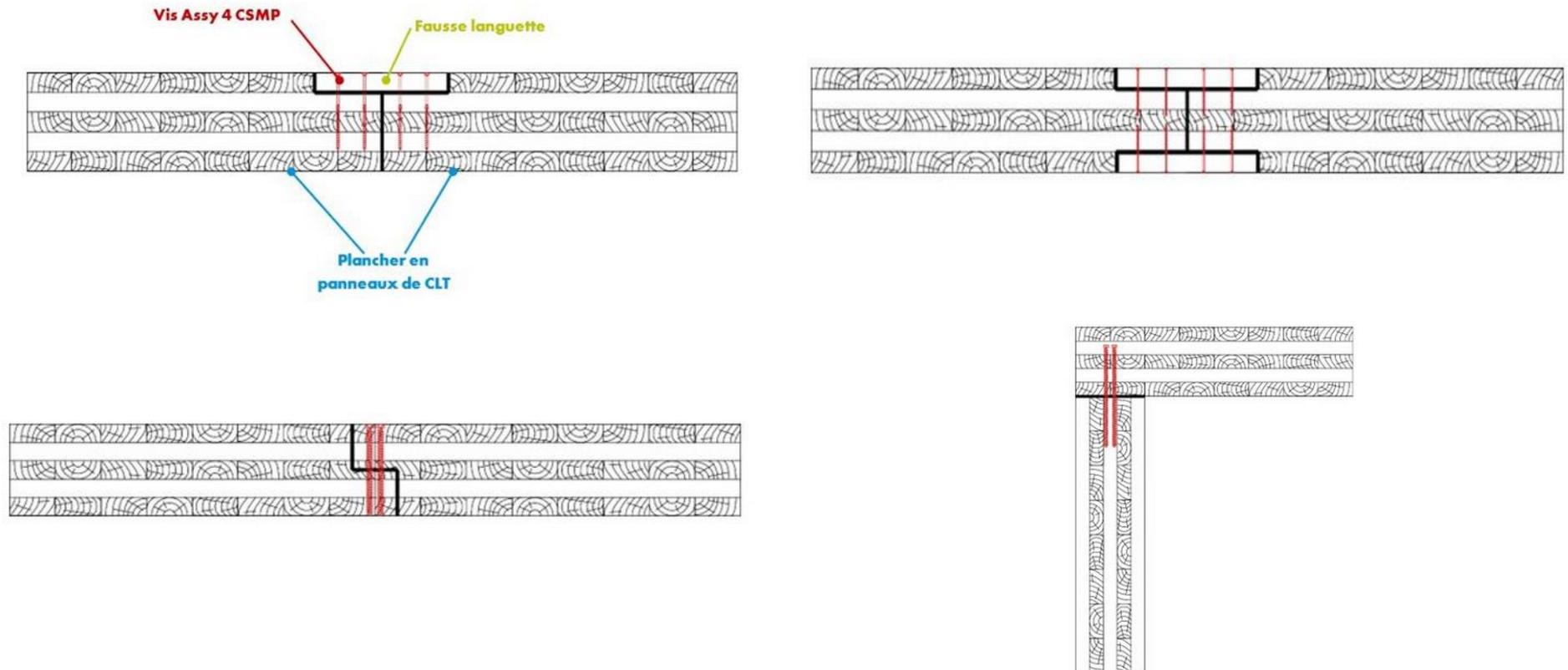


Fig. 2

SIMPSON

# CLT (Cross Laminated Timber)

## Jonctions entre murs



# Conclusion

## Points clés de la conception

**Une bonne conception sismique en bois = Une bonne conception géométrique**

**Règle importante et primordiale pour les bâtiments en ossature ou en CLT**

**Largeur du mur travaillant >  $\frac{1}{4}$  hauteur mur**

- \* Prévoir à minima 2 murs pleins par mur de façade ou de refend
- \* Limiter la torsion et les irrégularités en élévation
- \* Multiplier les éléments de contreventement (mur, croix de Saint-André)
- \* Limiter les charges en hauteur (toiture végétalisée à éviter sur un bâtiment totalement vitré sans contreventement par exemple)

# Conclusion

## Points clés du calcul

- \* Coefficient de comportement ( $q$ ) imposé par le type de structure
- \* Surdimensionnement des ancrages non dissipatifs selon classe de ductilité et vérification du mode de rupture des assemblages
- \* Optimiser le taux de travail des murs ossature bois afin de les faire travailler en rupture ductile

**Vérifier que les descentes de charges sont cohérentes  
et  
qu'elles n'engendreront pas de surcoûts sur les fondations**

Un soulèvement résultant dans la fondation de 20T en pied croix de Saint-André mérite donc de se pencher sur la question ! Il faut compter dans ce cas  $8\text{m}^3$  de béton à minima, l'ajout d'une ou deux 2 autres éléments de stabilité dans le plan de la croix est certainement plus économique !

# Conclusion

## Vérifications simples sur chantier

Pour les structures ossature bois et CLT :

- \* Y a-t-il des assemblages anti soulèvement au droit des ouvertures ?
- \* Y a-t-il des assemblages de reprise du cisaillement répartis le long du mur ?
- \* La liaison entre les éléments de contreventement est elle suffisante (vis/boulons) ?

Pour les structures poteaux/poutres :

- \* Les croix de Saint-André sont elles bien mises en oeuvre, tendues et intègres ?

En général :

- \* Les joints de dilatation sont-ils bien respectés par la structure ET le second oeuvre ?

# Bibliographie

## Livres

- *Maisons et bâtiments à ossature bois*, Émilie Orand, CSTB Editions, 2020
- *Effet du séisme sur les murs de maisons à ossature bois*, Stéphane Hameury, CSTB Editions, 2011
- *Pratique du calcul sismique*, Victor Davidovici, Eyrolles, 2014

## Documents téléchargeables en ligne :

- *Plateforme Eurocode 5 :*
  - \* *Atelier 15 : Information sur les nouveaux chapitres Eurocodes 5 et 8 (Chapitre Bois) (2018)*
  - \* *Atelier 17 : Principes généraux du dimensionnement en capacité en situation de séisme (2018)*
  - \* *Atelier 20 : Présentation de quelques nouveautés dans la nouvelle partie Bois de l'Eurocode 8 (2019)*
  - \* *Atelier 20 : Présentation d'une méthode alternative pour la justification du contreventement MOB*
  - \* *Planchers bois : Fonction diaphragme – Calcul simplifié (2014)*
- *Publications FCBA :*
  - \* *Planchers traditionnels en bois : étude bibliographique du diaphragme horizontal, FCBA INFO, décembre 2015*
  - \* *Comportement sismique de systèmes constructifs bois : projets SISMOB-SISBOIS-SISBAT 2, FCBA INFO, mai 2016*
  - \* *Comportement parasismique des murs ossature bois avec panneaux OSB agrafés, SISBOIS, Carole FAYE, décembre 2015*
  - \* *Guide pour la justification de bâtiments en bois lamellé en situation de séisme, Julien BRASSY – Christophe MERZ, 16 janvier 2018*
  - \* *Guides ACQEN EC5*
- *- Glulam Handbook*

# Merci de votre attention



William AMBERG

[william.amberg@soraetec.com](mailto:william.amberg@soraetec.com)