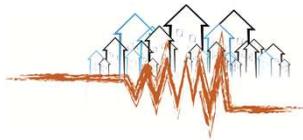


# Construction Bois

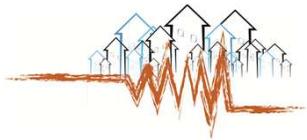
## Concevoir et réaliser en zone sismique

Laurent LE MAGOROU, FCBA



Journée Technique régionale : Construction Bois en zone sismique – 6 octobre 2015

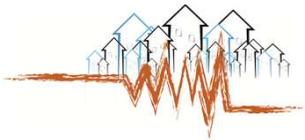
- **Contexte normatif**
- **Atouts et inconvénients des constructions bois**
- **Constructions à ossature bois**
- **Constructions du type poteaux/poutres**
- **Solutions constructives**





# Rappel normatif

(codes de calcul)



## Le contexte normatif

- Règles applicables pour les ouvrages neufs

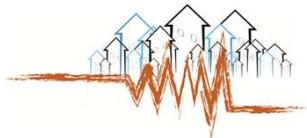
Depuis janvier 2014

### Catégories d'importance des bâtiments



### Zones de sismicité

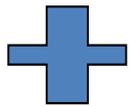
1	Aucune exigence		
2	Aucune exigence		Eurocode 8
3	Aucune exigence	Eurocode 8 Ou Règles simplifiées CP MI	
4			
5			



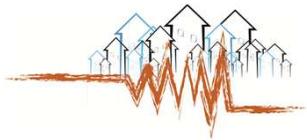
## Le contexte normatif

- Schéma général d'un Eurocode :

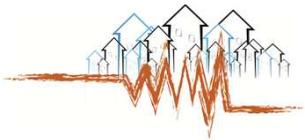
Des textes  
Européens



Des choix  
nationaux

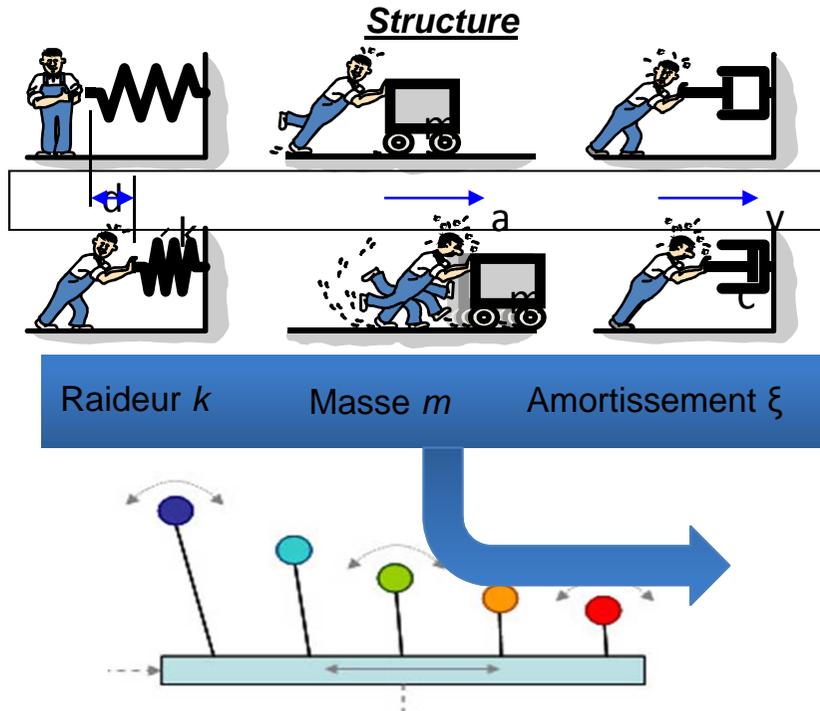


# Atouts et limitations de la construction bois dans l'Eurocode 8



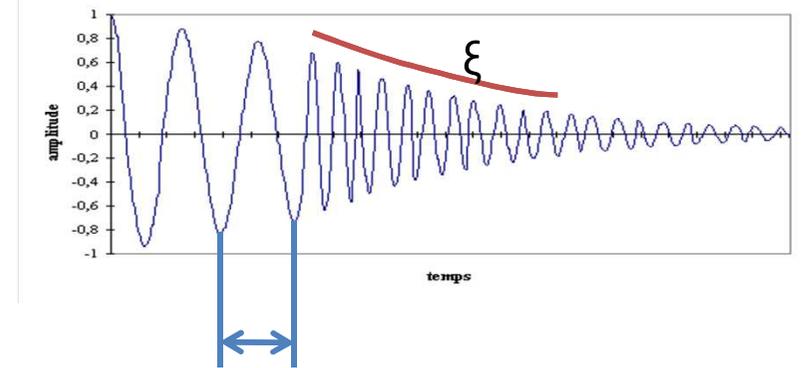
# Réponse d'un bâtiment en situation de séisme

Période fondamentale d'une structure :



Fréquence fondamentale  $f_1 \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

Réponse en oscillateur libre :



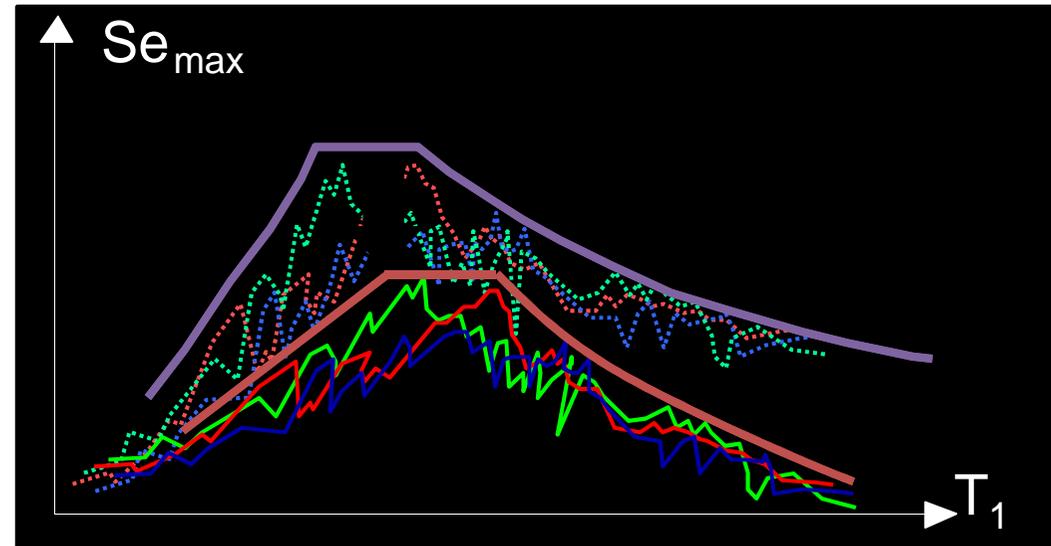
Période fondamentale  $T_1 \approx 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

## Effet de l'amortissement

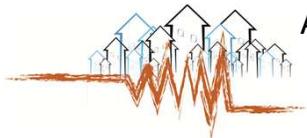
Spectre élastique établi pour un amortissement  $\xi$  de 5%

Correction pour amortissement

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$



L'amortissement des structures bois est en général supérieur à 5%



Attention : déjà pris en compte dans le spectre de calcul (coefficient de comportement q)

## Prise en compte de la ductilité de la structure

**Les zones dissipatives** assurent un comportement approprié à la fatigue oligo – cyclique ( les éléments bois sont considérés comme ayant un comportement élastique)

### Structures Bois = Dissipation dans les ASSEMBLAGES

Les modes de **rupture doivent être liés à l'apparition de rotule plastique dans les assemblages** et non à une rupture dans le bois.

En fonction du système constructif : 3 niveaux de Ductilité

**LDL** : Low Ductility Level (ductilité limitée)

**MDL** : Medium Ductility Level (ductilité modérée)

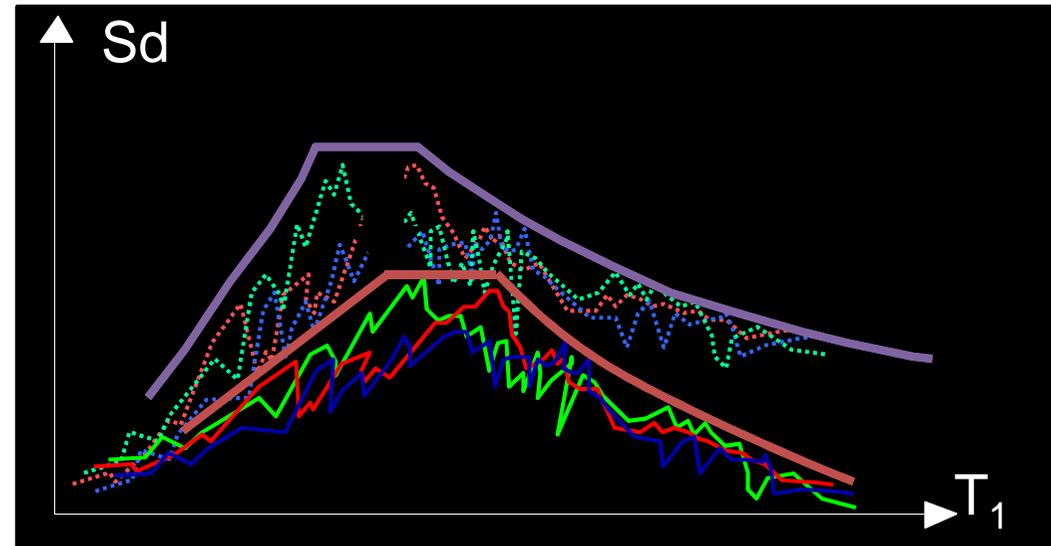
**HDL** : High Ductility Level (ductilité élevée)



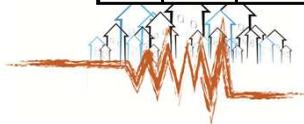
**Multiplication de petits assembleurs sans jeu**

## Prise en compte de la ductilité de la structure

§8.3(1)		exemples de structures	q
principe de dimensionnement	DCL	console, poutre bi-articulée	1,5
		arc à 2 ou 3 articulations	1,5
		assemblages brochés treillis (connecteurs)	1,5
	DCM	panneaux de murs + diaphragmes collés	2
		treillis assemblés par broches ou boulons	2
		structure bois auto-stable + remplissage non porteur	2
		portique hyperstatique avec broches ou boulons	2,5
	DCH	panneaux de murs cloués + diaphragmes collés	3
		assemblés par clous, boulons	3
		treillis avec assemblages cloués	3
		portique hyperstatique avec broches ou boulons	4
		panneaux de murs cloués + diaphragmes cloué	5
	assemblés par clous, boulons	3	

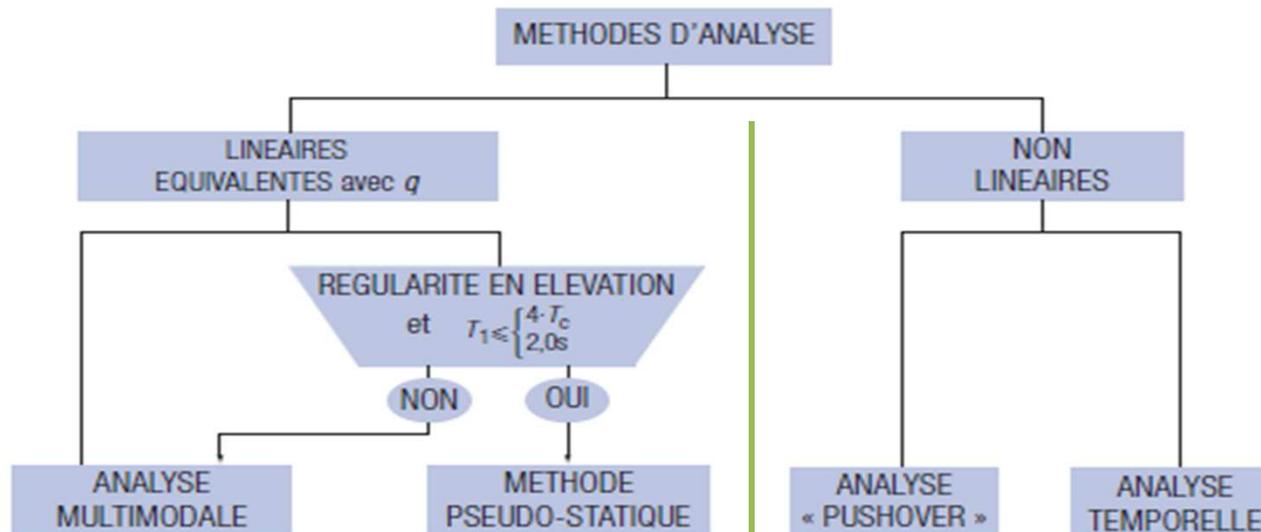


Pour la France, limité à 3 par  
l'AN EC8



# Les méthodes d'analyse

Les possibilités ....



Modèle linéaire

Ductilité prise en compte forfaitairement dans le spectre de calcul (coef. de comportement  $q$ )

Ductilité prise en compte dans un modèle non linéaire

Spectre de réponse élastique

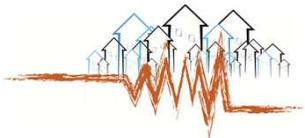
## Méthode d'analyse par les forces latérales

Effort tranchant sismique à la base  $F_b$

Où :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

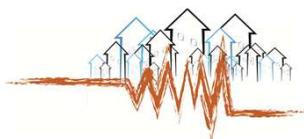
- $S_d(T)$  est l'ordonnée du spectre de calcul pour la période  $T_1$
- $T_1$  est la période fondamentale
- **m est la masse totale du bâtiment**, au dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide
- $\lambda$  est le coefficient de correction :
  - 0,85 si  $T_1 \leq 2.T_c$  et si le bâtiment a plus de deux étages
  - sinon  $\lambda = 1$ .



**Les structures bois ont une masse faible**

## Choix de la méthode de calcul de la période

Bâtiment	Calcul forfaitaire	Calcul simplifié $z^\alpha$	Calcul simplifié Rayleigh	Analyse modale
Faible hauteur ET Régulier ou moyennement régulier	X			
Régulier		X	X	X
Moyennement régulier			X	X
Irrégulier				X



## Calcul de la période fondamentale

### Calcul forfaitaire de l'Eurocode 8 :

Pour les bâtiments jusqu'à 40m de hauteur, une valeur approchée de  $T_1$  (en s) peut être obtenue par l'expression suivante :

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$$

Où :

- $C_t$  est égal à 0,085 dans le cas des portiques spatiaux en acier, à 0,075 dans le cas des portiques en béton et pour les triangulations excentrées en acier et à 0,05 pour toutes les autres structures;
- H est la hauteur du bâtiment, en m, depuis les fondations ou le sommet d'un soubassement rigide.



**L'approche forfaitaire place quasi-systématiquement les structures bois au niveau du plateau ...**

## Calcul de la période fondamentale

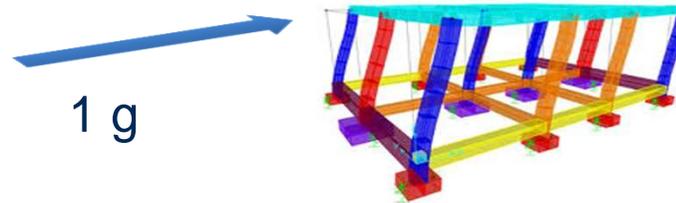
### Calcul simplifié :

En variante, une valeur de  $T_1$  (en s) peut être estimée **pour chaque direction d'analyse** par l'expression suivante :

$$T_1 = 2. \sqrt{d}$$

Où :

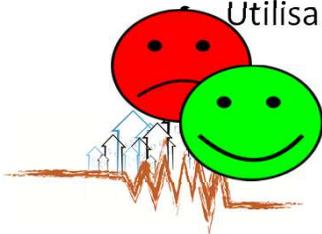
- $d$  est le déplacement élastique horizontal (en m) du sommet du bâtiment dû aux charges gravitaires appliquées horizontalement.



- Plus précis que le calcul forfaitaire mais à réserver également aux ouvrages de hauteur limitée car suppose une déformation en flexion (pas d'inversion de courbure)

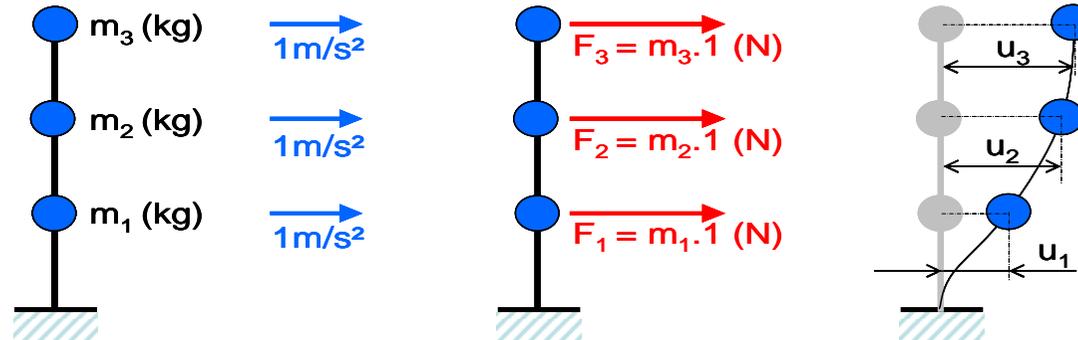
Utilisable sur modèle 2D ou analytique, dans chaque direction

**L'approche simplifiée place souvent les structures bois au niveau du plateau ...**



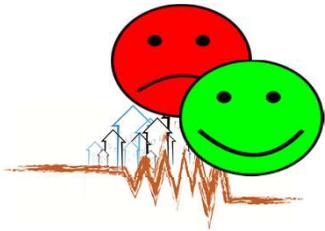
## Calcul de la période fondamentale

### Méthode de Rayleigh :



La période du mode fondamental est calculée à partir de la formule approchée de Rayleigh en appliquant une accélération de  $1 \text{ m/s}^2$  à chaque niveau  $i$  et en calculant leur déplacement  $u_i$   
Pour chaque direction d'analyse

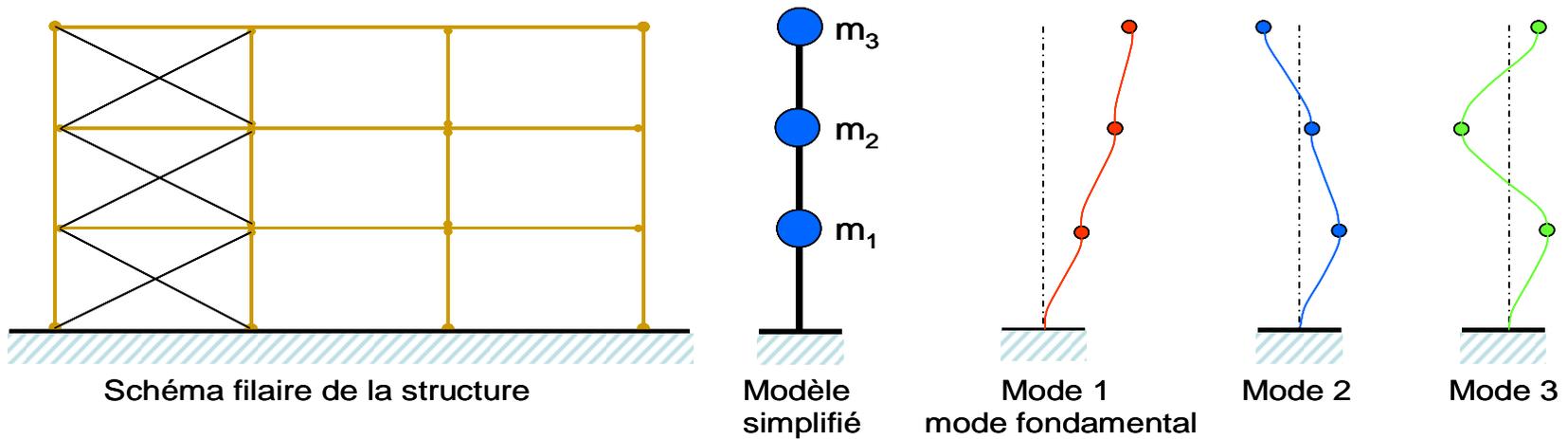
- Plus précis que le calcul simplifié, non limité en hauteur
- Utilisable sur modèle 2D ou analytique, dans chaque direction



Rayleigh permet régulièrement de « sortir » du plateau pour les structures bois à plusieurs niveaux ...

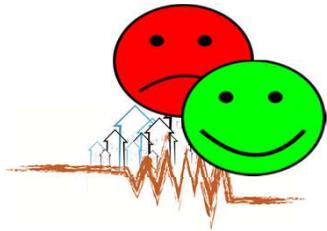
## Calcul de la période fondamentale

### Analyse modale :



La période du mode fondamental est déterminée par calcul et modélisation numérique

Applicable aux modèles 3D



**Totalement dépendant de la structure bois étudiée !**

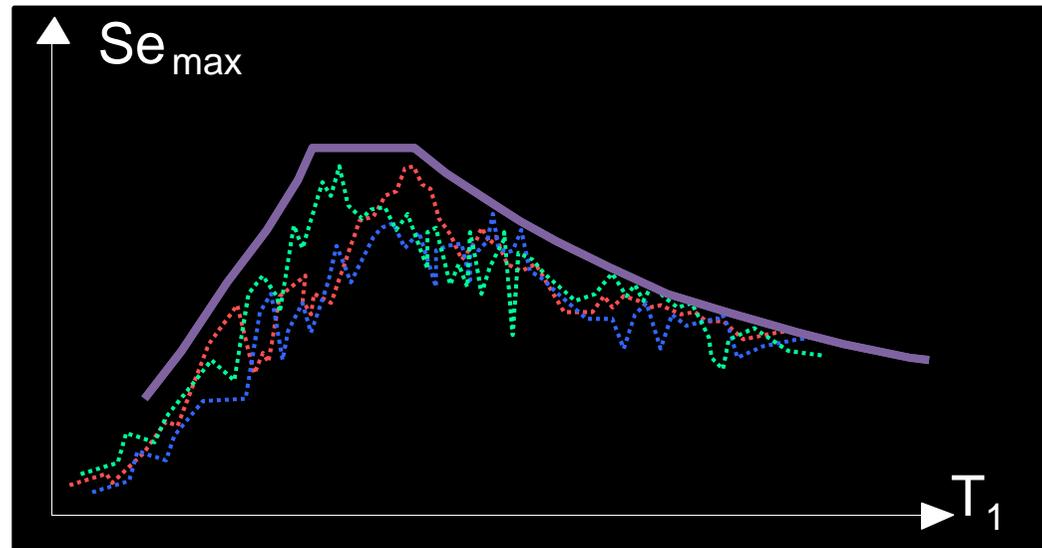


INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE

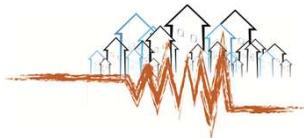
# Effet de la période fondamentale

D'une manière générale ...

$$\text{Période fondamentale } T_1 \approx 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

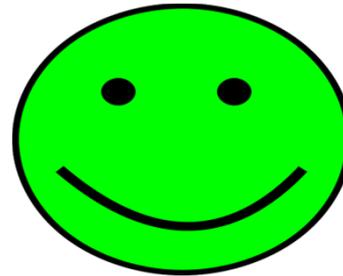


Le rapport  $m/k$  place souvent les structures bois au niveau du plateau ou proche ...

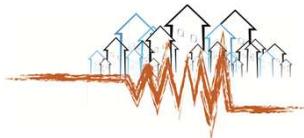


## Conclusion

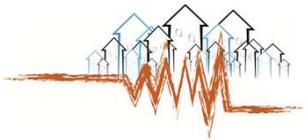
**D'une manière générale, les structures bois sont connues pour avoir un bon comportement en situation de séisme (lorsque correctement conçues !)**



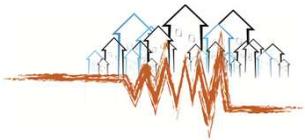
**Mais les codes actuels ne le mettent pas suffisamment en valeur !**



# Ossature bois - Règles et principes généraux de conception



## Les principales règles à suivre ...



## Les exigences

### 1<sup>ère</sup> Exigence : Le non-effondrement



- **conditions de ductilité**

Exigences sur les matériaux et géométries d'assemblages par exemple

Pas de mécanismes locaux entraînant la ruine globale

- **dimensionnement en capacité**

Hiérarchiser les endommagements

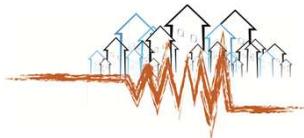
Sur-résistance des ancrages et zones à rupture fragile

- **Conditions d'équilibre, glissement, renversement**

- **Résistance des fondations**

- **Conditions de joints sismiques non-entrechoquement**

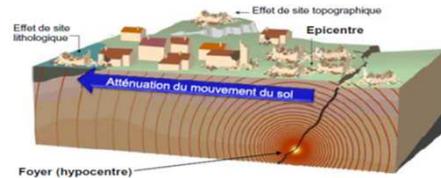
calcul des déplacements



# La démarche

## 1. Zone et Conditions de sol

- Classe de sol
- Zone sismique



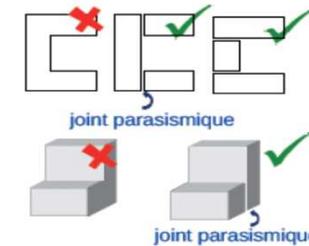
## 2. Action sismique

- Spectre de réponse élastique ou Spectre de calcul (coef. q)
- Masses
- Combinaisons d'actions



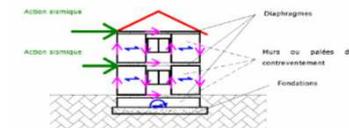
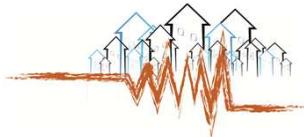
## 3. Vérification des critères de régularité

- Régularité en élévation (géométrique essentiellement)
- Régularité en plan (géométrique et mécanique)

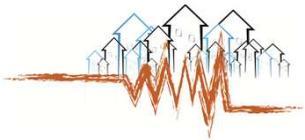


## 4. Choix de la méthode d'analyse

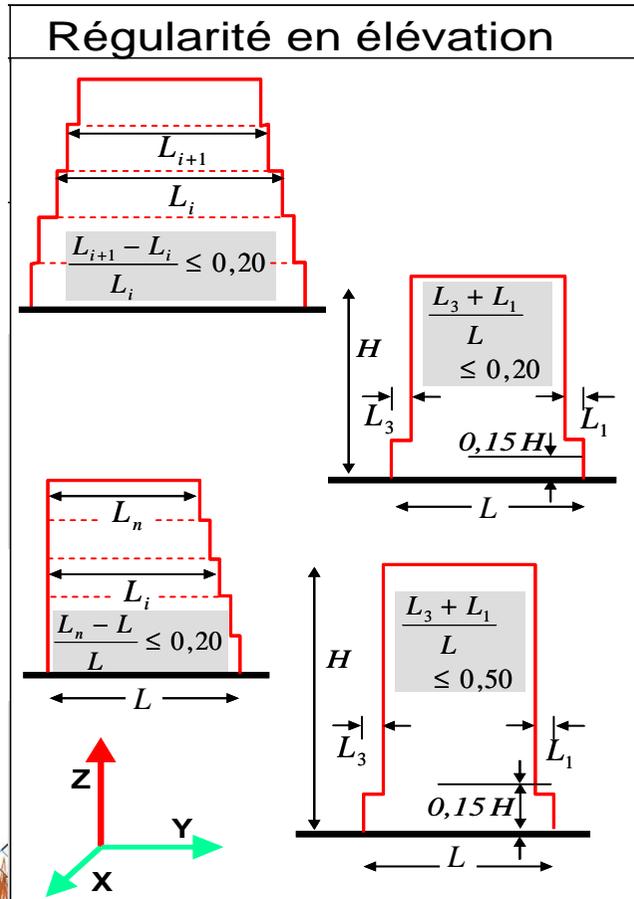
- Forces latérales équivalentes
- Analyse modale avec spectre de réponse
- Analyse non linéaire (poussée progressive ou analyse temporelle)



# Rechercher la régularité



## Critères de régularité en élévation



Concevoir de manière à assurer la bonne transmission des efforts en ligne directe depuis la toiture et planchers vers les fondations

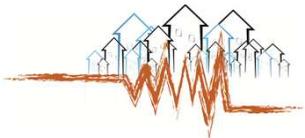
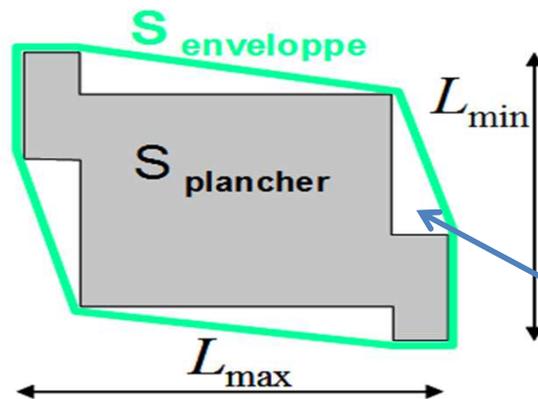
## Critères de régularité en plan

Élancement en plan limité

$$\lambda = \frac{L_{max}}{L_{min}} \leq 4$$

Retraits limités (pour chaque retrait)

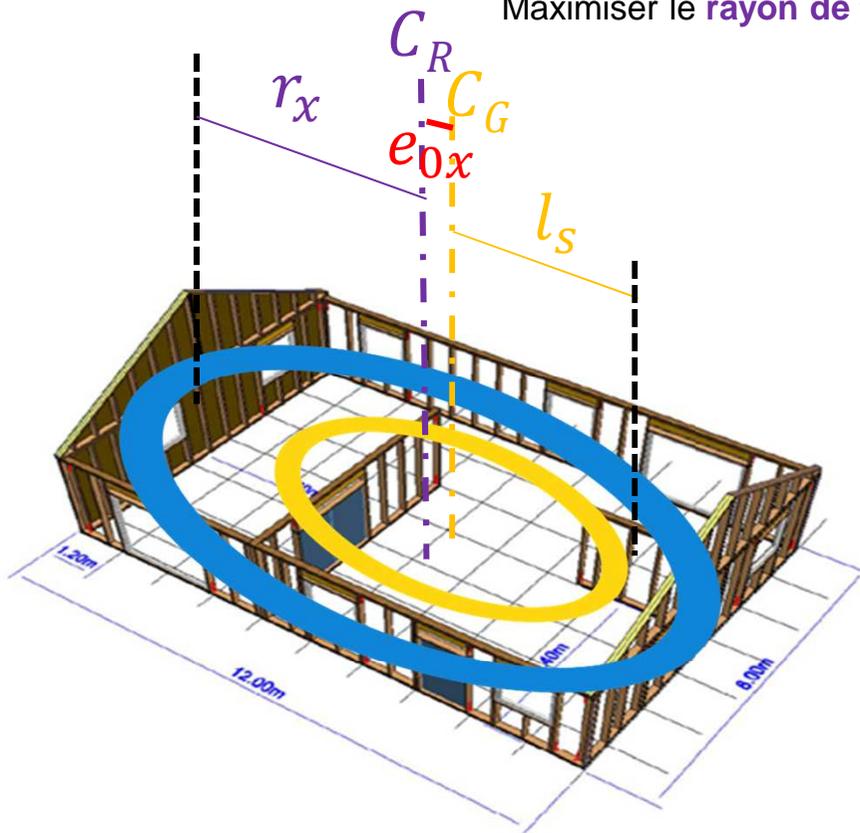
$$\frac{S_{retrait}}{S_{plancher}} \leq 5\%$$



## Critères de régularité en plan

Limiter l'excentricité entre le **centre de torsion** et le **centre des masses**

Maximiser le **rayon de torsion** par rapport au **rayon de giration massique**



Dans chacune des directions x et y :

$$e_{0x} \leq 0,3 \cdot r_x$$

$$e_{0y} \leq 0,3 \cdot r_y$$

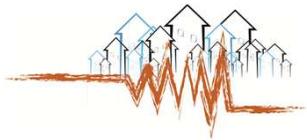
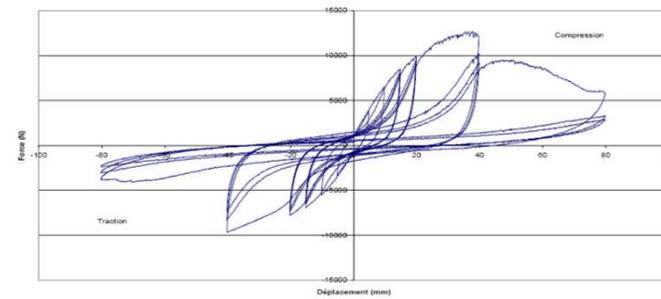
Dans chacune des directions x et y :

$$r_x \geq l_s$$

$$r_y \geq l_s$$



# Rechercher la ductilité



## Rechercher de la ductilité

**Les zones dissipatives** assurent un comportement approprié à la fatigue oligo – cyclique ( les éléments bois sont considérés comme ayant un comportement élastique)

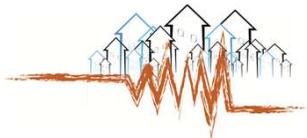
### Structures Bois = Dissipation dans les ASSEMBLAGES

Les modes de **rupture doivent être liés à l'apparition de rotule plastique dans les assemblages** et non à une rupture dans le bois.

**Système constructif : Stabilité par voiles / murs à ossature bois**



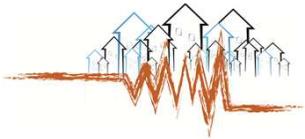
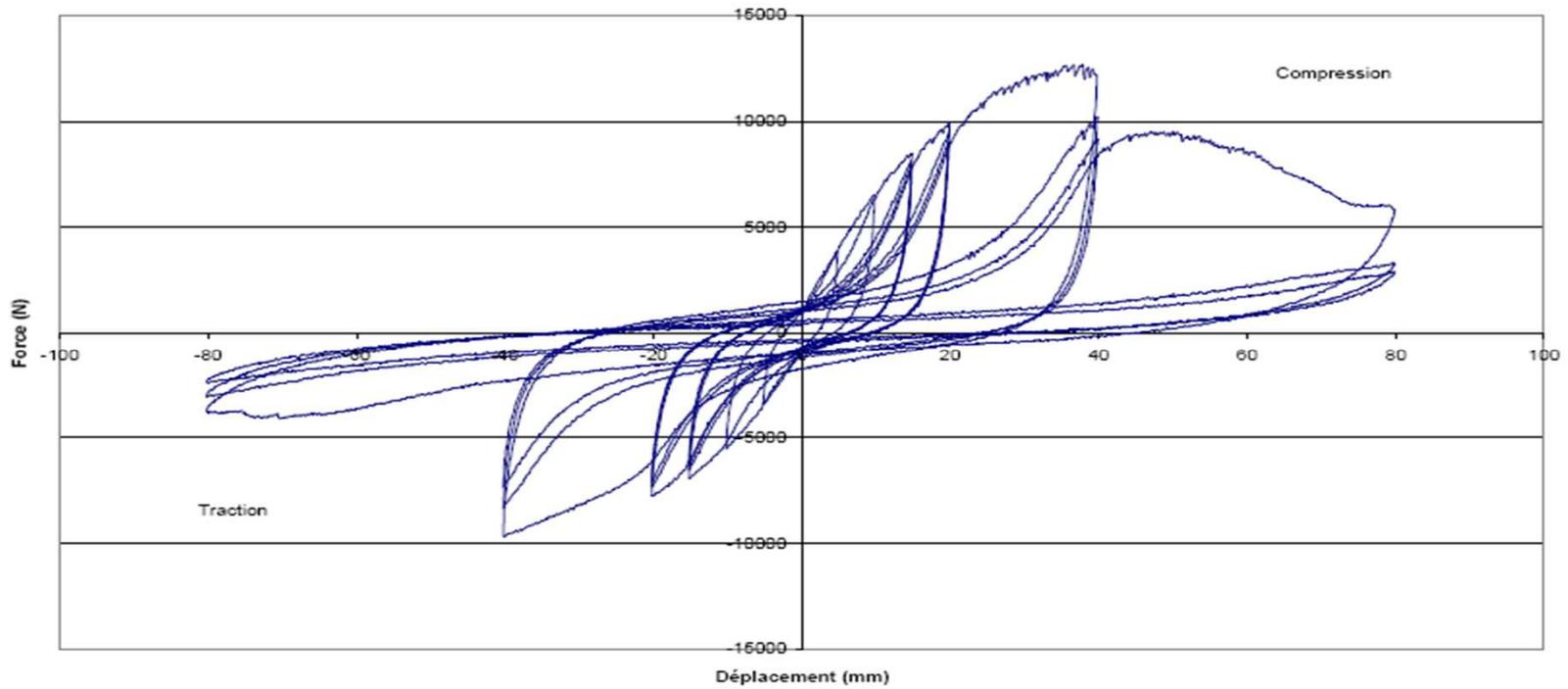
**Multiplication de petits assembleurs sans jeu (coutures des voiles)**



**HDL** : High Ductility Level (ductilité élevée)

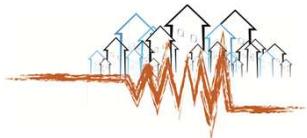
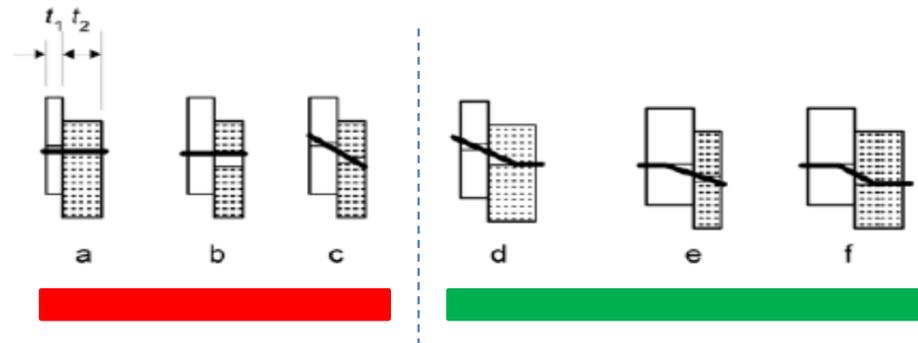
# Ductilité et dissipation d'énergie dans les assemblages

## Essai cyclique :



## Voiles/Murs à ossature bois

Tout cela nécessite un **mode de rupture ductile** (plastification des éléments métalliques) et non une **rupture fragile** (rupture des éléments bois)  
Pour le simple cisaillement (couture panneau/Ossature bois) selon l'Eurocode 5



## Voile Ossature Bois

L'EN 1998-1-1/NA §8.3 (1)P considère qu'il n'y a pas de restriction d'emploi pour la classe de ductilité M et l'EN 1998-1-1 §8.3 (4b) impose les règles suivantes pour atteindre le niveau de ductilité attendu dans le cas des murs à ossature bois :

- Diamètre maximum des organes de fixation : 3,1 mm
- Epaisseur minimum du panneau : 4.d

De plus, **à défaut de pouvoir justifier du comportement ductile des fixations**, pour les panneaux de voiles travaillant des murs de contreventement ou des diaphragmes, l'EN 1998-1-1 propose des règles de moyens sans autres justifications :

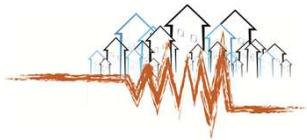
- a) les panneaux de particules ont une masse volumique d'au moins 650 kg/m<sup>3</sup> ;
  - b) les panneaux en contreplaqué ont une épaisseur d'au moins 9 mm ;
  - c) les panneaux de particules ou de fibres ont une épaisseur d'au moins 13 mm.
- (on note l'absence des OSBs)

**Ceci est une règle de moyen, en aucun cas une obligation !!**



Autre possibilité : Evaluer le niveau de ductilité selon EN 594 + EN 12512 et les critères de l'EN 1998-1 chapitre 8.

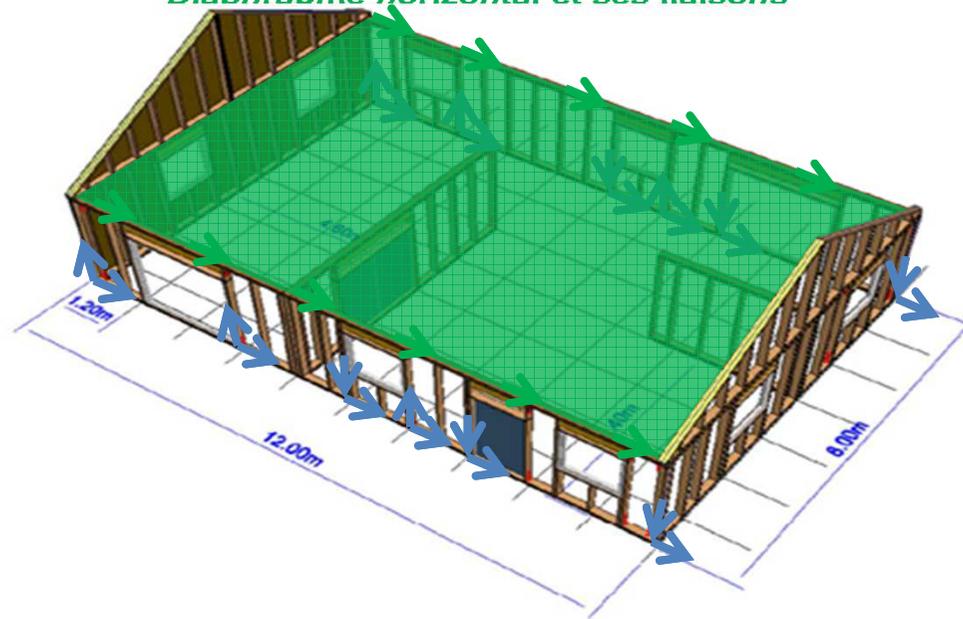
# Mobiliser cette ductilité



## Mobiliser la ductilité

Il faut « conduire » les efforts vers les zones dissipatives, et pour cela la conception doit :

- « hiérarchiser l'endommagement » par le dimensionnement en capacité
- Sur-résistance des éléments « conduisant » les efforts vers les voiles :
  - Ancrages
  - Diaphragme horizontal et ses liaisons



## Voile Ossature Bois

Le dimensionnement en capacité :

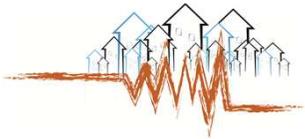


Rupture par rotule plastique des pointes



Glissement des panneaux en cisaillement

**Pas de rupture fragile du bois ou panneau (bon dimensionnement en capacité !!)**



## La sur-résistance

Pas de précision dans le chapitre bois de l'Eurocode 8, mais :

### Pour les diaphragmes horizontaux :

EC8 §4.4.2.5 (1)P Les diaphragmes horizontaux doivent pouvoir transmettre, avec une sur-résistance suffisante, les effets de l'action sismique aux divers contreventements auxquels ils sont liés

Majoration des efforts de calcul par le coefficient de sur-résistance  $\gamma_d$  de 1,1 (rupture ductile) à 1,3 (rupture fragile) (EC8 §4.4.2.5 (2)) pour dimensionner le diaphragme horizontal et ses liaisons aux murs

### Pour les ancrages :

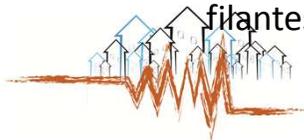
EC8 §4.4.2.6 (en référence à la justification des fondations)

Sur-résistance suffisante si les effets de l'action sismique sont majorés par  $\Omega \cdot \gamma_{Rd}$

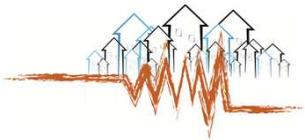
$\gamma_{Rd}$  coefficient de sur-résistance, pris égal à 1,0 pour  $q \leq 3$  (ou à 1,2 dans les autres cas)

$\Omega = R_d/E_d$  limité à  $q$  (rapport résistance de calcul / effort sismique de calcul)

A noter que §4.4.2.6 (8) indique que pour des **fondations communes** (longrines de fondation, semelles filantes, radiers, etc.), on peut prendre forfaitairement  **$\Omega \cdot \gamma_{Rd} = 1,4$**



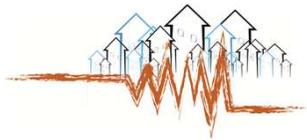
# Poteaux/poutres - Règles et principes généraux de conception



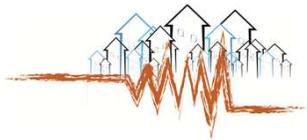
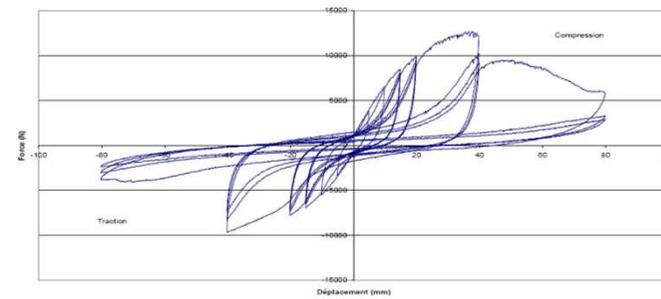
## Les principales règles à suivre ...



**... En complément**



# Rechercher la ductilité



## Rechercher de la ductilité

**Les zones dissipatives** assurent un comportement approprié à la fatigue oligo – cyclique ( les éléments bois sont considérés comme ayant un comportement élastique)

### Structures Bois = Dissipation dans les ASSEMBLAGES

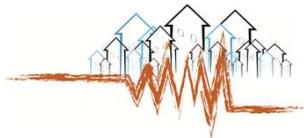
Les modes de **rupture doivent être liés à l'apparition de rotule plastique dans les assemblages** et non à une rupture dans le bois.

**Système constructif : Stabilité par triangulation**



**Assemblages de grandes dimensions (boulons, broches, ...)**

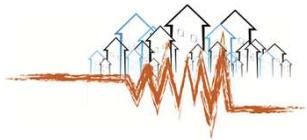
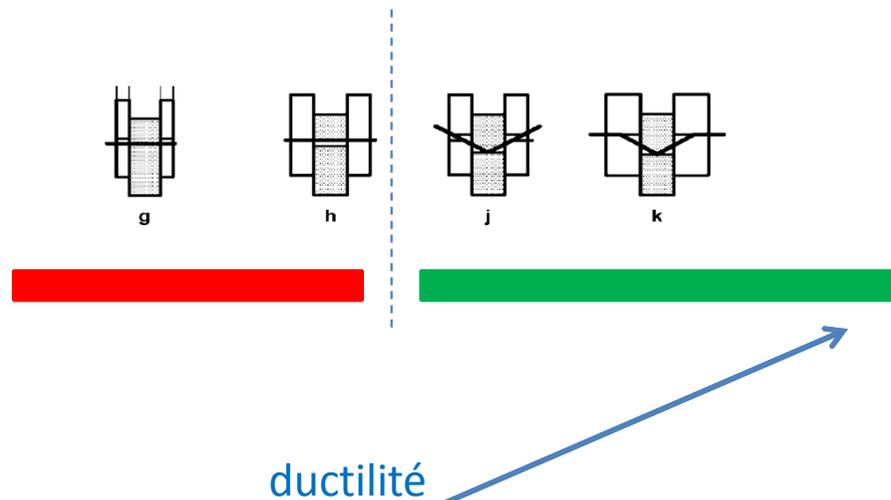
**MDL** : Médium Ductility Level (ductilité moyenne)



## Assemblages boulonnés / brochés

Tout cela nécessite un **mode de rupture ductile** (plastification des éléments métalliques) et non une **rupture fragile** (rupture des éléments bois)

Pour le double cisaillement selon l'Eurocode 5

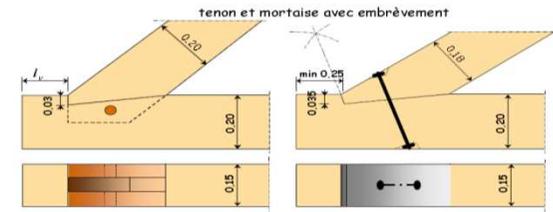
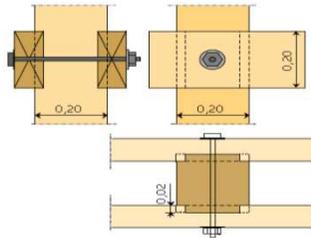


# Assemblages

Source schémas : Guide AFPS

Pas de rupture fragile en cas d'inversion d'effort (assemblage « traditionnels »)

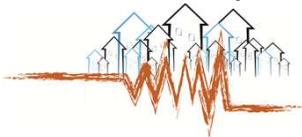
Assemblages le plus symétriques possibles



Trous ajustés pour les boulons et broches, éviter les diamètres > 16 mm

Proscrire les assembleurs « arrachables » (pointes lisses, crampons, etc...) sans dispositions « anti-arrachement »

Dispositions complémentaires pour limiter le risque de fendage par traction perpendiculaire



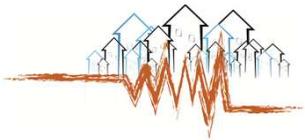
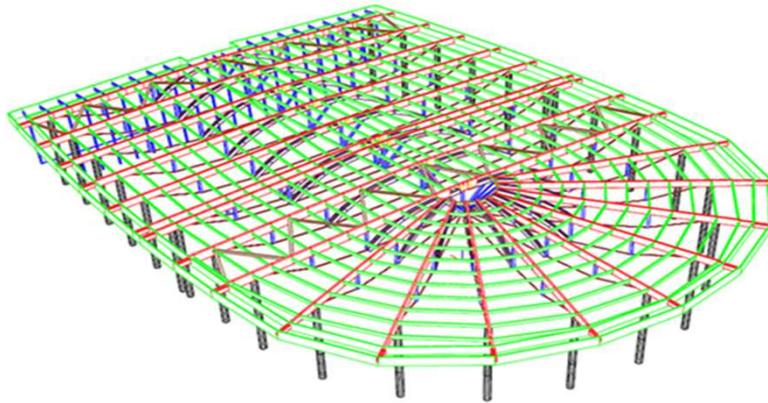
## Cohérences Modèle / Ouvrage réel

Les efforts sont liés à la position sur le spectre de calcul

la position sur le spectre de calcul est liée à la période fondamentale du modèle

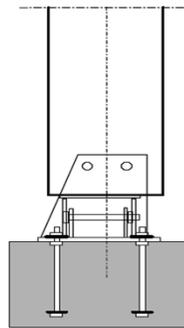
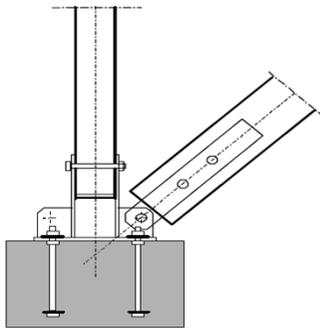
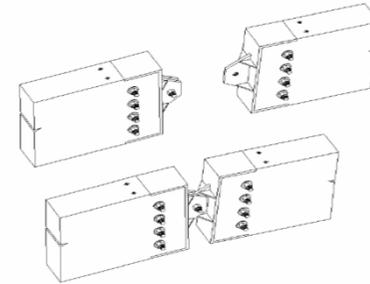
la période fondamentale du modèle est liée à la raideur de la structure modélisée

La structure réelle doit donc être le plus fidèle possible à la structure modélisée

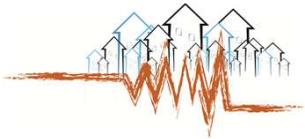


## Cohérences Modèle / Ouvrage réel

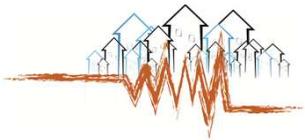
Une rotule doit être une rotule !



Les nœuds canoniques doivent l'être ! Eviter les excentricités générant des efforts induits importants.

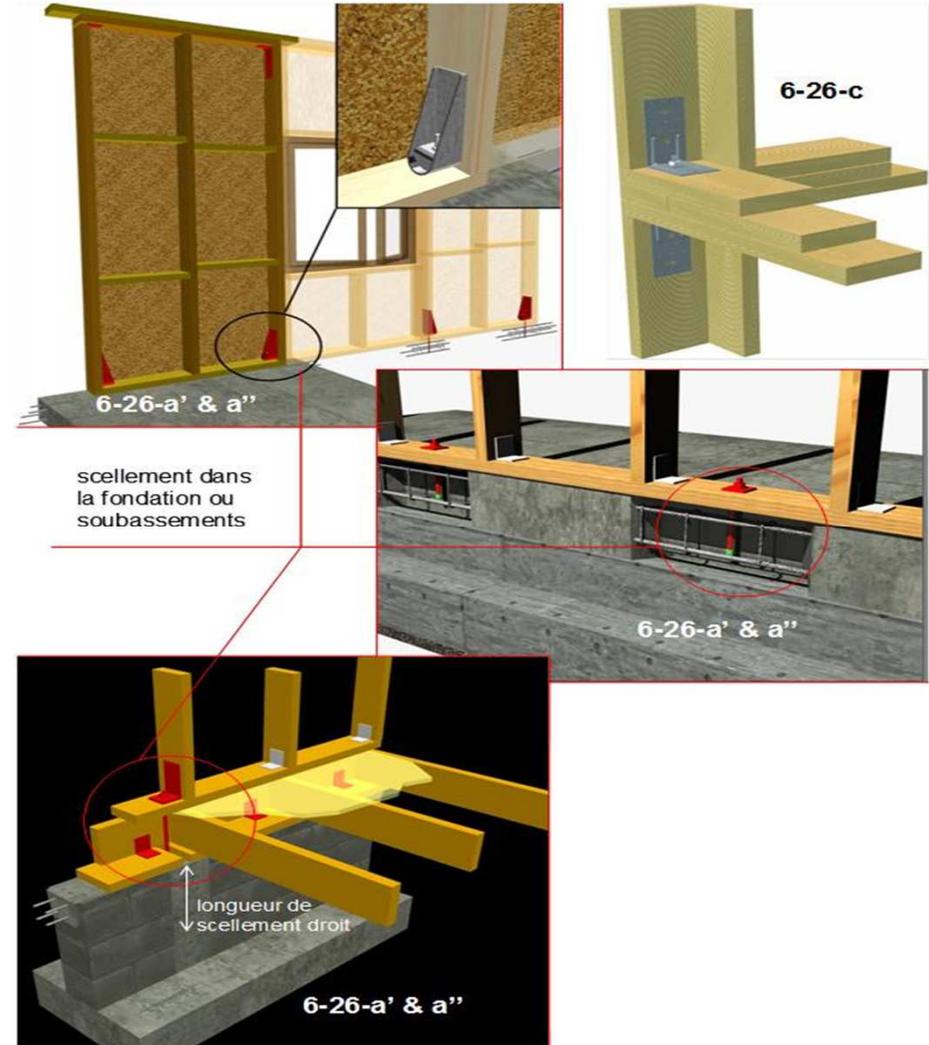
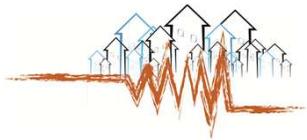
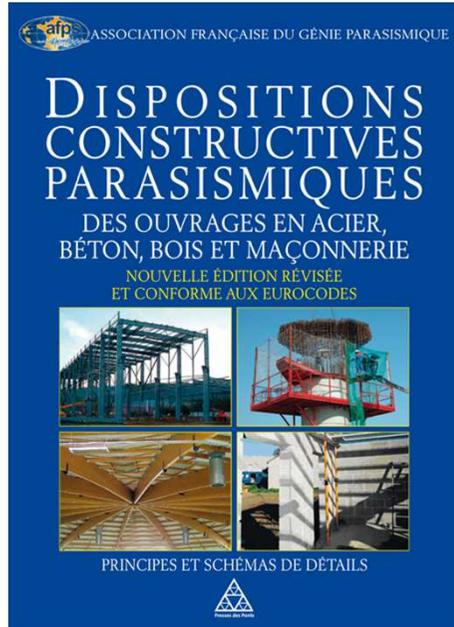


# Quelques sources de solutions constructives



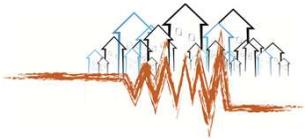
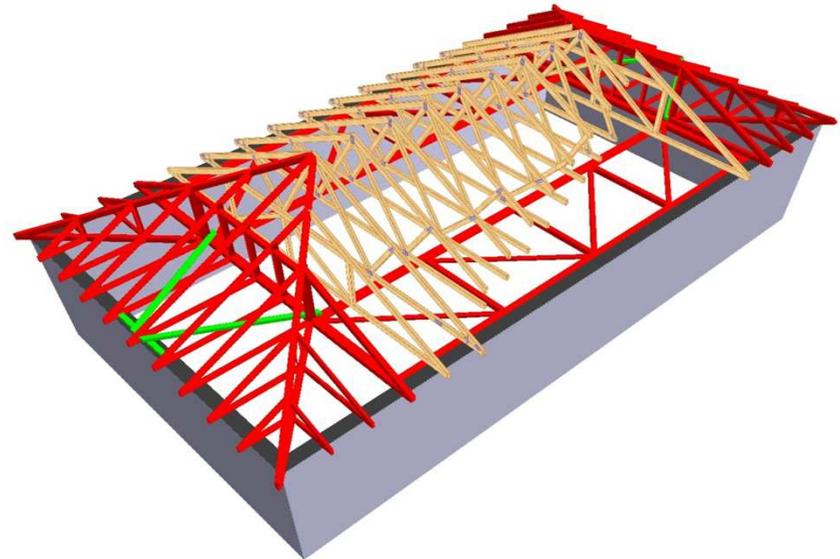
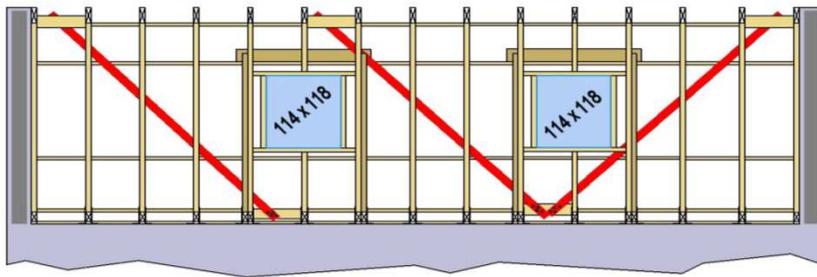


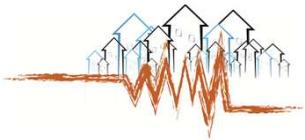
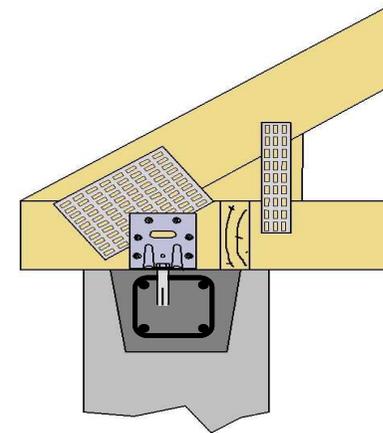
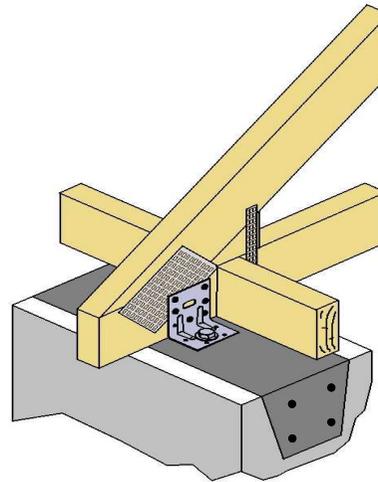
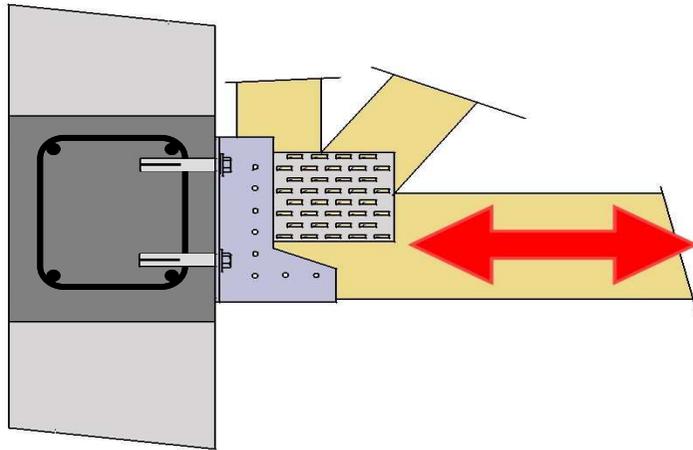
INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE

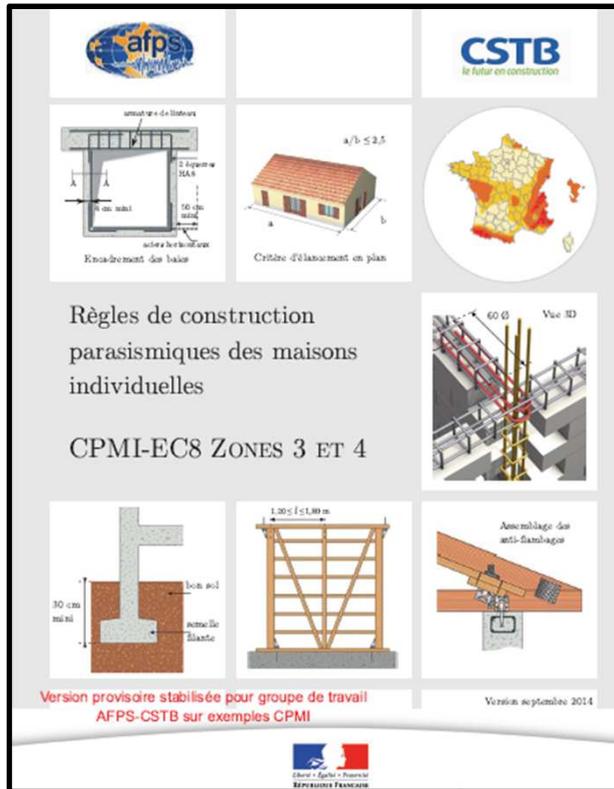


 AFA  
 Lisses filantes

 Entretoise







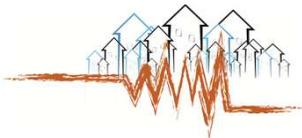
Domaine d'application

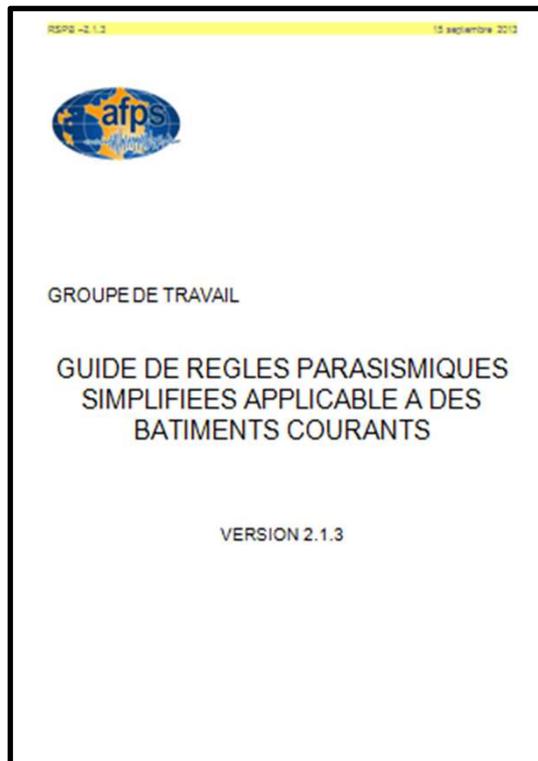
Dispositions concernant la conception

Dispositions concernant l'exécution

tableaux de dimensionnement

hypothèses de calcul





Introduction-conception

Domaine couvert par le guide

Principe de calcul & méthode d'utilisation

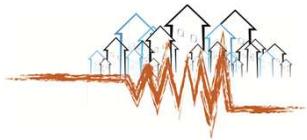
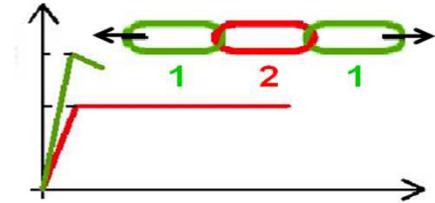
Bâtiments en BA

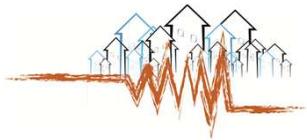
Bâtiment en maçonnerie

Bâtiment en bois

Annexes

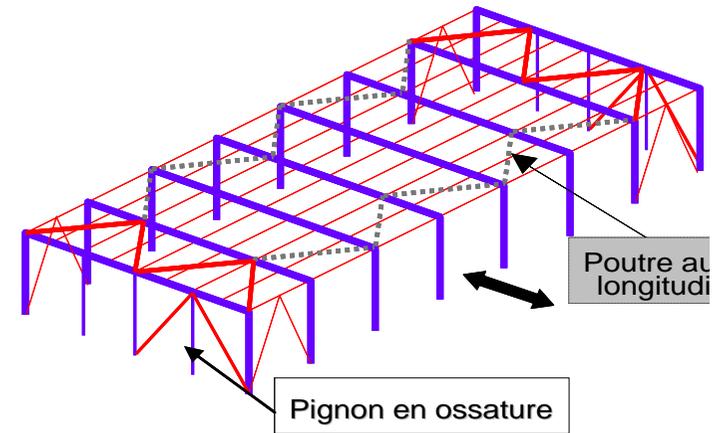
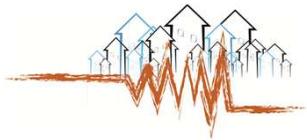






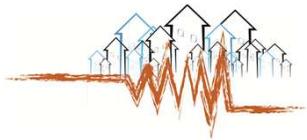
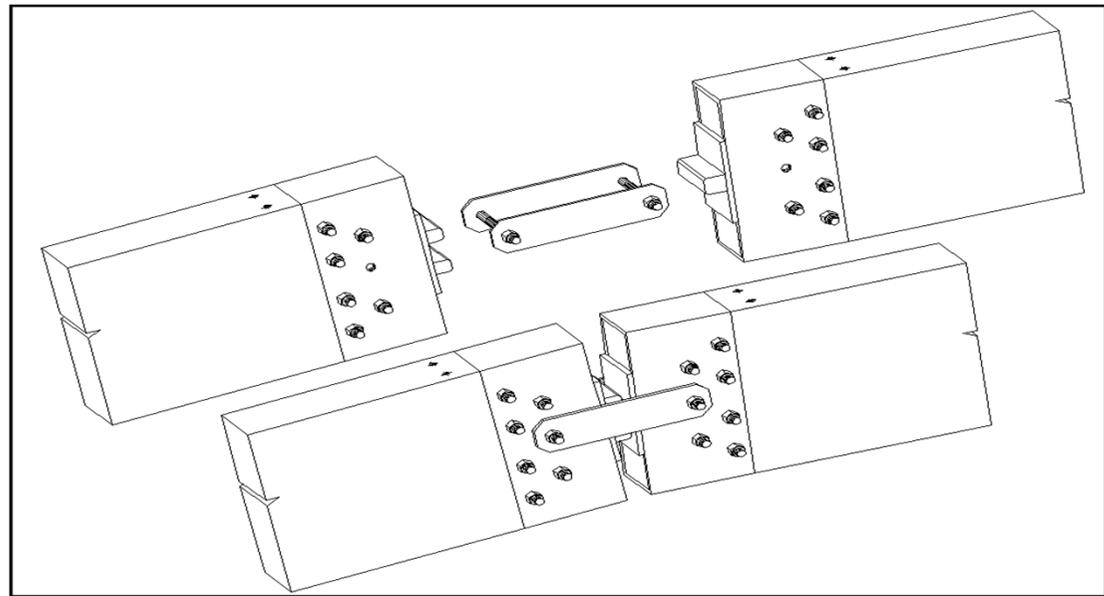
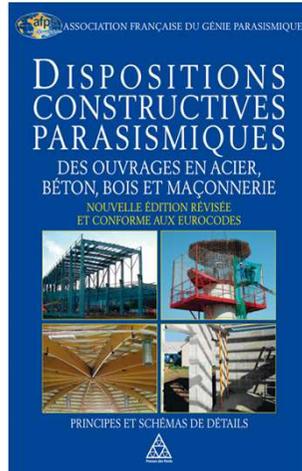


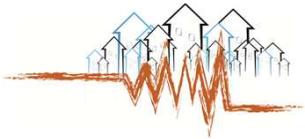
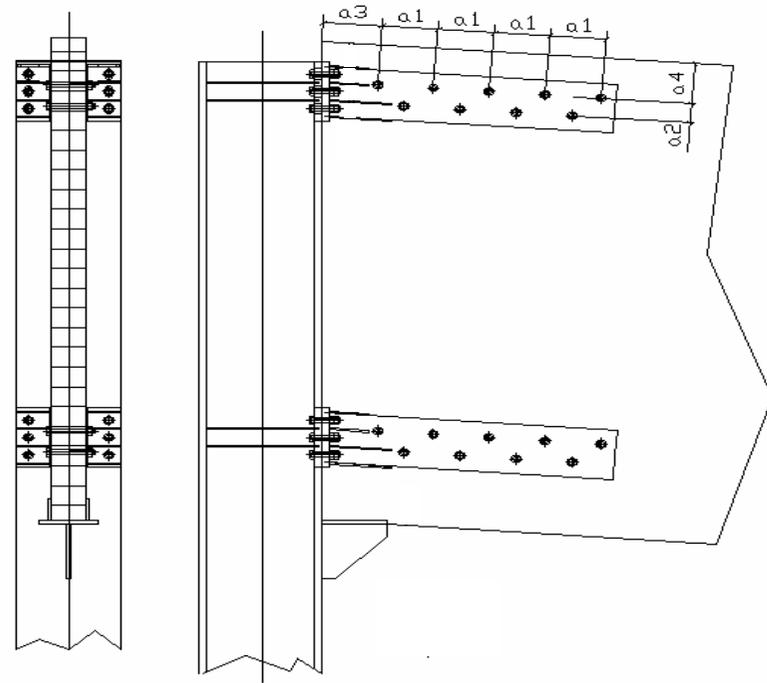
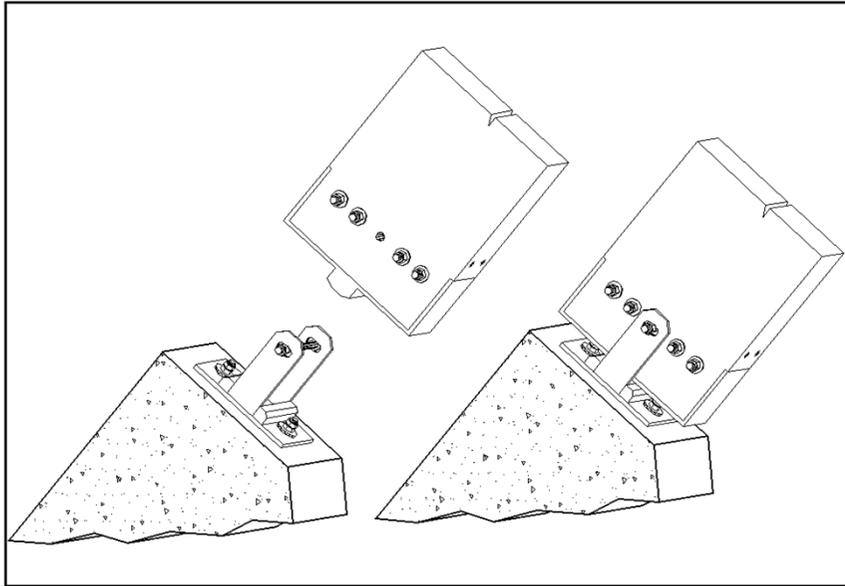
SARL D+H Architecture Environnement

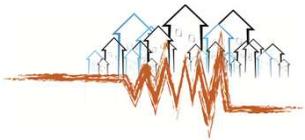
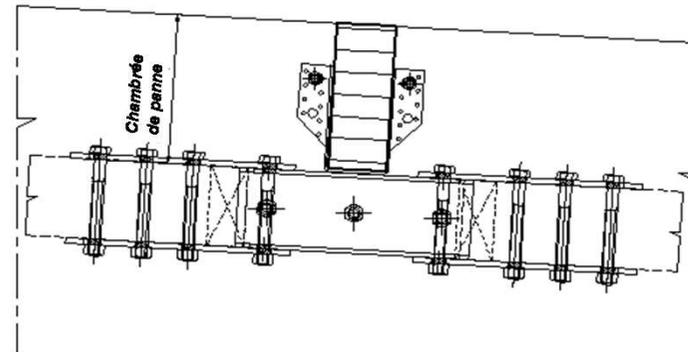
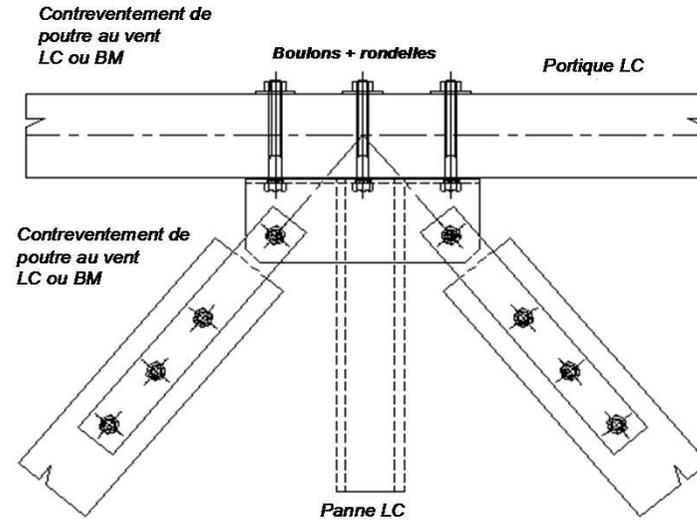
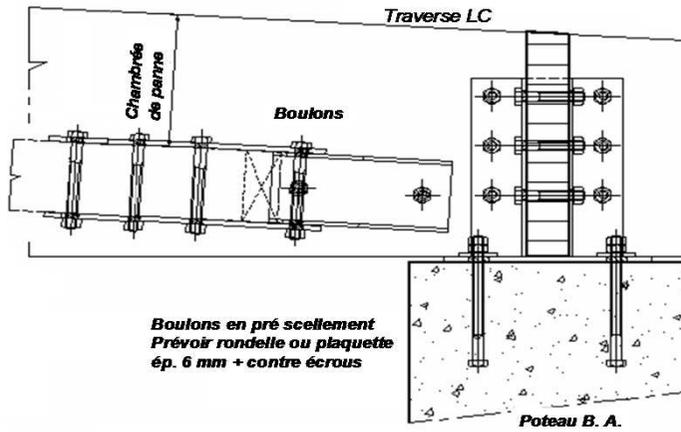




INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE









Merci pour votre attention.

FCBA Institut technologique Forêt | Cellulose | Bois – construction | Ameublement

