

SEMINAIRE DE FORMATION
RISQUES BATIMENTAIRES
BUILDING RISKS

SD / USAR

**ECOLE D'APPLICATION DE SECURITE CIVILE
DE VALABRE
- FRANCE -**

Niveau INITIAL

JOUR 4
**DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS
EN BOIS**

DAMAGES TO WOODEN STRUCTURES

**JOUR
4**

INTERVENANT: JEAN-LUC REY

REVISION RB 2019



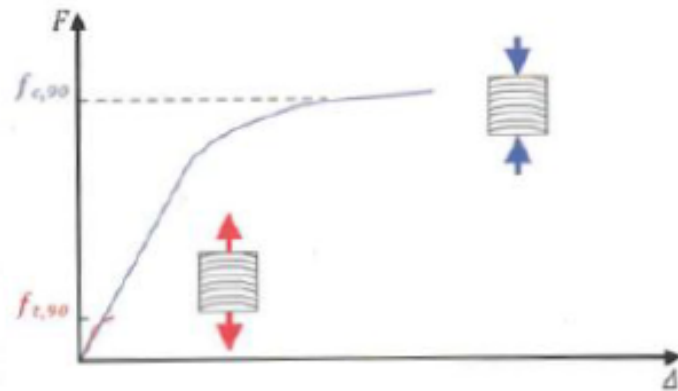
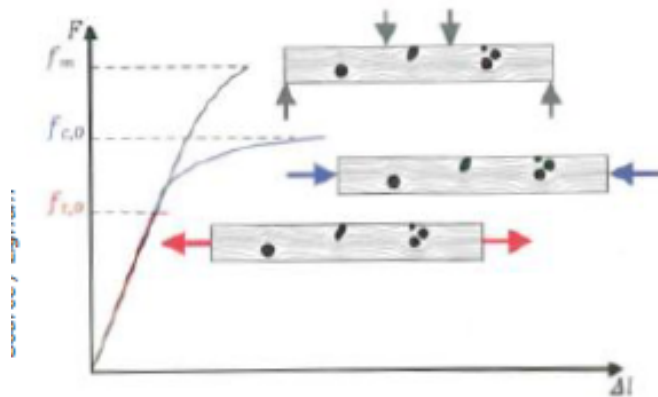
SOMMAIRE

- 1. Le matériau BOIS**
- 2. Les types de structures en bois**
- 3. Les assemblages**
- 4. Les dommages caractéristiques sous séisme**
- 5. Additif: stabilité au feu des bois et structures**
- 6. Annexes**
- 7. Crédits images**

LE MATÉRIAU BOIS

Matériau *anisotrope*

Matériau *globalement fragile* (ductilité en compression transversale)



→ La ductilité sera amenée par les assemblages

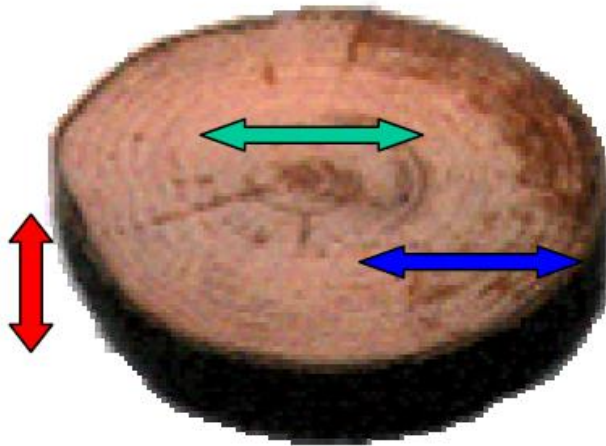
Faible rapport masse volumique/résistance

→ Bâtiments légers (moins d'inertie mobilisable en cas de séisme)

Faible rigidité horizontale par rapport à une structure béton

→ Période de vibration plus longue ($0,4 \text{ Hz} < T < 1,2 \text{ Hz}$) donc efforts sismiques équivalents plus faibles

LE MATÉRIAU BOIS



On considère 3 directions de travail:

- **Axiale** (sens des fibres): bonne résistance en traction et compression, donc à la flexion.
- **Radiale** (perpendiculaire aux fibres): très faible résistance en traction et en compression.
- **Tangentielle** (aux anneaux de croissance): idem.

Rapport résistance/masse volumique excellent dans le sens des fibres

En général faible résistance au cisaillement (axial ou non)

N-B: En outre la résistance dépend de l'essence, de la vitesse de croissance et de la position dans le tronc de la pièce.

LE MATÉRIAU BOIS

Valeurs des contraintes admissibles pour les bois de charpente

Mode de sollicitation	Contraintes de base forfaitaires pour bois sans défaut	
	Chêne	Résineux
Compression axiale	190 bars	180 bars
Traction axiale	435 bars	363 bars
Flexion statique	212 bars	202 bars
Cisaillement longitudinal	27 bars	22 bars
Traction transversale sans cisaillement	16 bars	12 bars
Compression transversale	54 bars	30 bars

On constate que la conception des structures doit éviter les éventuelles sollicitations des barres en cisaillement et en traction ou compression transversales.

Avantages du bois dans la conception parasismique

En résumé, les qualités à exploiter par la conception de la structure sont :

- Masse réduite = forces d'inertie réduites
- Amortissement élevé dans les assemblages bien conçus
- Bois = matériau résilient (supporte bien les chocs et les vibrations)
- Dans le sens des fibres: bonne résistance en traction et compression
- Rapport résistance/masse volumique excellent (sens des fibres)
- Rigidité et résistance des pièces de bois peu affectées par les charges cycliques de durée faible, quelques secondes (25% supérieure à charge statique).

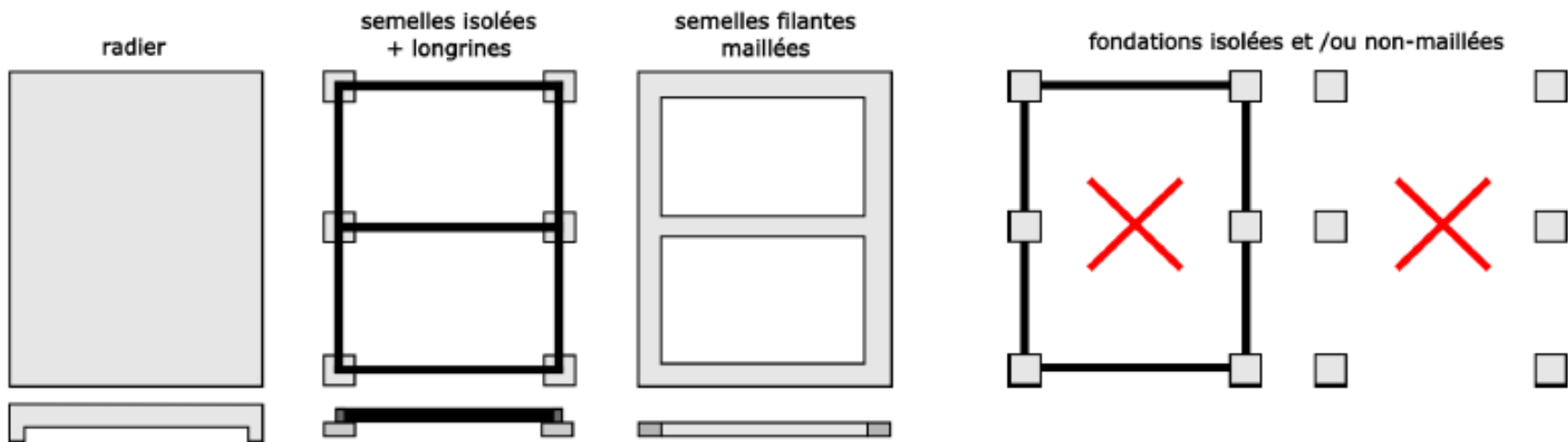
Inconvénients du bois dans la conception parasismique

- Matériau sensible aux champignons et insectes
- Les conditions de pérennité du matériau bois sont associées à son exposition à l'environnement.
- L'humidité et à la températures de l'air sont deux paramètres importants.

LE MATÉRIAU BOIS

Choix des fondations

Elles doivent permettre une excitation sismique uniforme à l'ensemble de l'ouvrage.



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

→ *Bâtiments cat. II – zone 3 et 4*

→ *Etablissements scolaires de cat. III – zone 2*

Implantation du bâtiment en dehors d'une zone de risque et hors d'un sol non consolidé

Maximum: ***R+1 + combles*** et $H_{\text{plancher combles}} \leq 3,3 \text{ ou } 6,6 \text{ m}$

Forme rectangulaire ou s'écartant peu du rectangle :

$$\sum L_{\text{décrochement}} < L_{\text{bâtiment}}/4$$

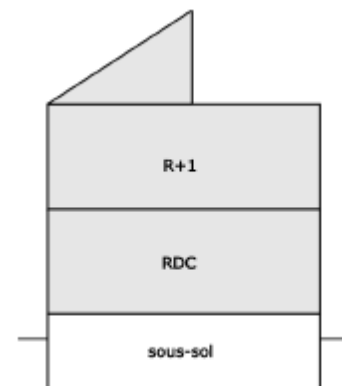
Charge d'exploitation plancher $q \leq 250 \text{ kg/m}^2$

Contreventement proportionné entre façades (écart < 20 %)

Diaphragme rigide à chaque niveau + ***Superposition des éléments de contreventement***

Pas de masse rapportée > à ***1t*** en étage

Pas de porte à faux/balcons > à ***1,5 m***



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

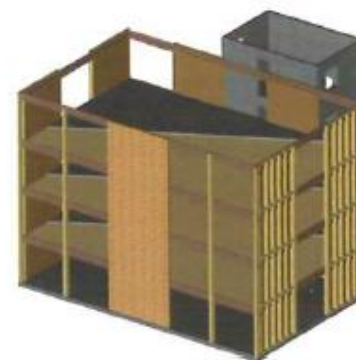
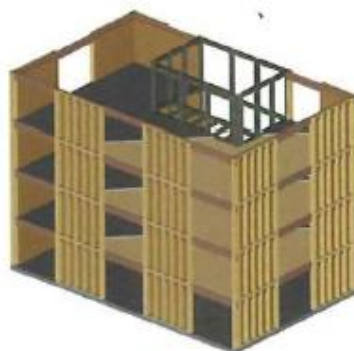
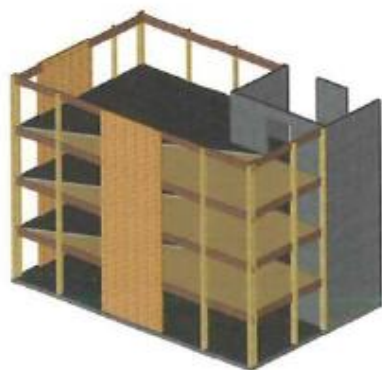
Résistance et Rigidité

Pour la stabilité verticale, il faut rechercher:

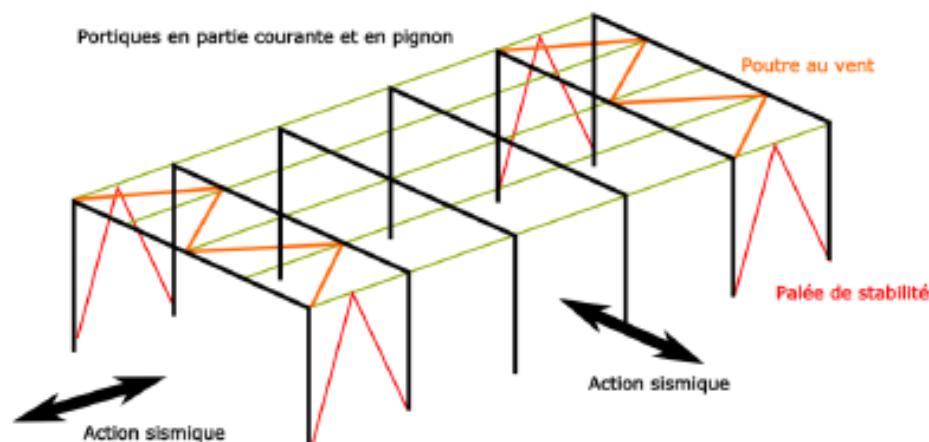
- des éléments capables de *transmettre les efforts aux fondations*
- *la résistance* dans les *deux directions principales*



Torsion d'ensemble
Déformations



Source / Lignum

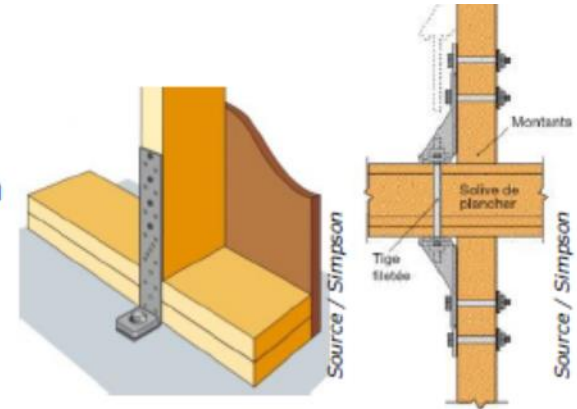
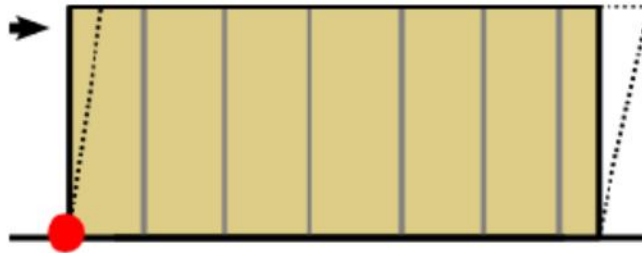


LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

OSSATURE BOIS DE TYPE PLATEFORME

Murs contreventants

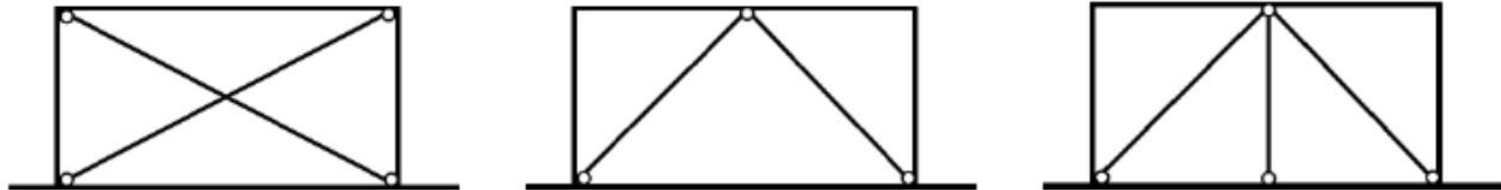
Les ancrages doivent permettre la déformation des murs et donc la dissipation d'énergie par plastification des organes.



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

STRUCTURE A BARRES - PORTIQUES

Palées de stabilités

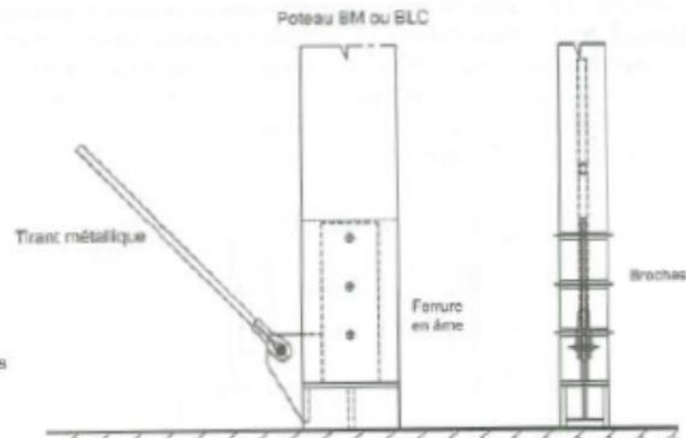
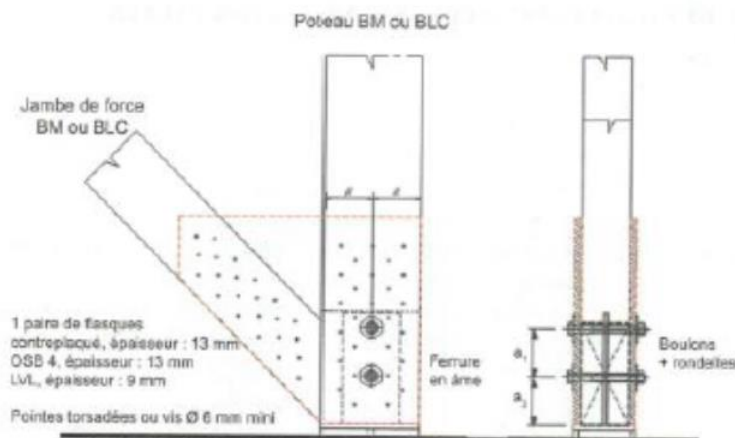


Concevoir l'assemblage avec *intersection des files d'axes* (palée, poteau et platine)

➔ **Canonicité des nœuds**

Attention aux efforts de *traction perpendiculaire* dans le poteau

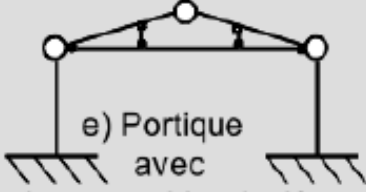
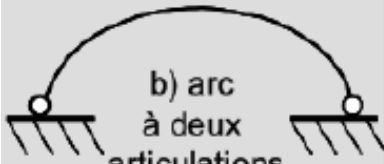
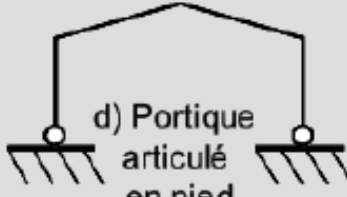
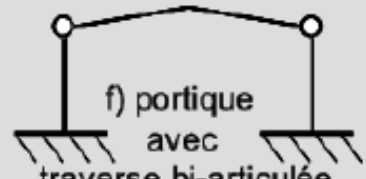
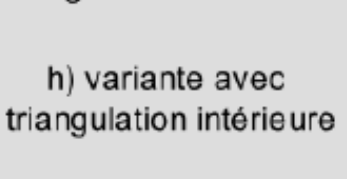
Platines de contreventement vissées à proscrire



Tous documents : Source / AFPS

LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

STRUCTURE A BARRES - PORTIQUES

Structures isostatiques			
 a) arc à trois articulations	 c) portique à trois articulations	 e) Portique avec charpente bi-articulée	 g) portique avec pieds de poteaux articulés et triangulation extérieure
Structures hyperstatiques			
 b) arc à deux articulations	 d) Portique articulé en pied	 f) portique avec traverse bi-articulée	 h) variante avec triangulation intérieure
arcs à assemblages courants	portiques avec assemblages en rein difficiles à fiabiliser	portiques avec pieds de poteaux encastrés	portiques avec traverse à consoles courtes

LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

LES BOIS COMPOSITES

Bois lamellé-collé (BLC)



Le Bois Lamellé-Collé -**BLC**-:

- Matériau de structure très utilisé en raison de ses qualités de résistance qui permettent des portées importantes en maîtrisant le problème du fluage.
- Ceci en raison de:
 - **L'absence de défaut des bois utilisés** (Sapin, Epicéa, Mélèze, Pin sylvestre, Douglas)
 - **L'alternance du sens de fibres**
 - **L'effet des films de colle plus résistants que le bois**
- Bon rapport résistance / masse volumique-voir tableau des résistances mécaniques-
- Permet actuellement des franchissements de 40 mètres de portée



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

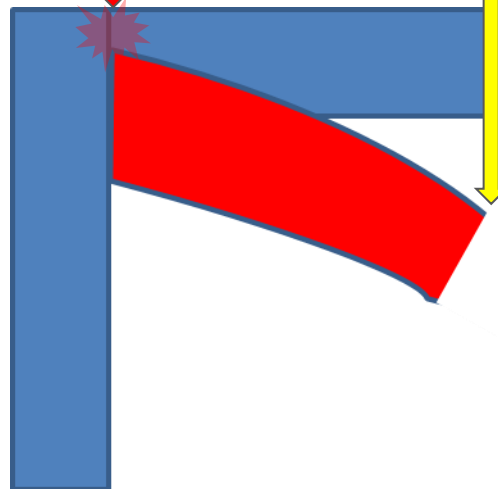
LES BOIS COMPOSITES

Bois lamellé-collé (BLC)



Tableau des résistances mécaniques NF EN 1194 pour calculs suivant EC5

Symbole	Désignation	Unité	Lamellés collés homogènes				Lamellés collés panachés			
			GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
$f_{m,g,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	24	28	32	36	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	16.5	19.5	22.5	26.0	14.0	16.5	19.5	22.5
$f_{t,90,g,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0.40	0.45	0.50	0.60	0.35	0.40	0.45	0.50
$f_{c,0,g,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	24	26.5	29	31	21	24	26.5	29
$f_{c,90,g,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2.7	3.0	3.3	3.6	2.4	2.7	3.0	3.3
$f_{v,g,k}$	Contrainte de Cisaillement	N/mm ²	2.7	3.2	3.8	4.3	2.2	2.7	3.2	3.8
$E_{0,g,mean}$	Module moyen axiale	kN/mm ²	11.6	12.6	13.7	14.7	11.6	12.6	13.7	14.7
$E_{0,g,05}$	Module axiale au 5 ^{ème} percentile	kN/mm ²	9.4	10.2	11.1	11.9	9.4	10.2	11.1	11.9
$E_{90,g,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm ²	0.39	0.42	0.46	0.49	0.32	0.39	0.42	0.46
$G_{g,mean}$	Module de cisaillement	kN/mm ²	0.75	0.78	0.85	0.91	0.59	0.72	0.78	0.85
$\rho_{g,k}$	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	380	410	430	450	350	380	410	430

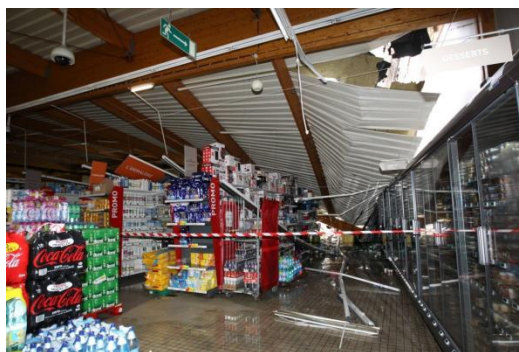


Notons le rapport de
~10 entre les
résistances
Longitudinale et
transversale !!

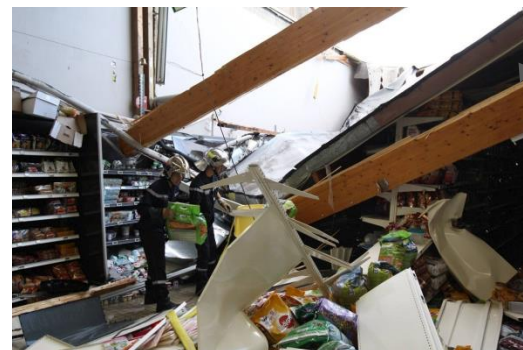
LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS / LES BOIS COMPOSITES

BLC : Exemple de dommages / effondrement de structure dû au poids de l'eau durant l'orage (charge Verticale)

Intermarché Angoulême 13 Sept. 2016 – Crédits photos quotidien SUD OUEST-



1



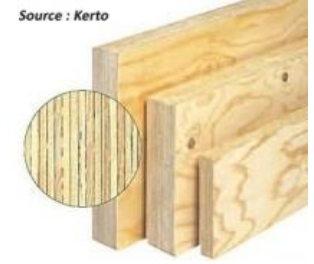
2

ANALYSE DU MODE DE RUPTURE:

C'est typiquement de la rupture FRAGILE (matériau BLC) initialisée dans la zone de liaison du portique [1]. L'effort tranchant (cisaillement vertical) a produit localement un large dépassement de la contrainte admissible au cisaillement du BLC (3 à 4 Mpa); le clivage horizontal des bois de la poutre porteuse [2] a suivi immédiatement (contraintes de flexion) entraînant la ruine de celle-ci

LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

LES BOIS COMPOSITES



Le Bois lamifié ou Lamibois - **LVL** - «Lamenated Veneer Lumber »

- Matériau à vocation essentiellement structurelle, il se présente en plateaux larges, dans une gamme d'épaisseur variant en fonction du nombre de plis assemblés (épaisseur unitaire de l'ordre de 3mm), et en longueurs importantes

Constitué de lames de bois déroulé puis collées en plis majoritairement parallèles pour former des poutres, poteaux et planches. Le LVL peut être composé de plusieurs essences différentes pour les faces extérieures et pour l'âme.

Matériaux performant en raison de:

- o L'absence de défaut des bois utilisés
- o L'effet des films de colle plus résistants que le bois
- Très bon rapport résistance / masse volumique
- .Fortement spécifié pour son module E variant de 12 000 À 14 000 Mpa (forte raideur)



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

LES BOIS COMPOSITES

Le Bois Lamellé-Croisé **CLT** « Cross
Laminated Timber »

Matériau à vocation structurelle sous forme de panneaux.

Ces panneaux sont constitués de couches de planches **croisées à 90°** et collées entre elles. Le nombre de couches est impair, avec un minimum de trois. L'épaisseur finie des planches est comprise entre 6 et 60 mm, leur largeur varie de 40 à 300 mm à 12% d'humidité. Les planches peuvent être aboutées et/ou collées à chant.



Matériaux performant en raison de:

o Ces panneaux sont utilisés en murs, planchers, support de couverture et d'étanchéité. Ils permettent la construction bâtiments bois au-delà de R+4 quelque soit la catégorie (ERP, bureaux, logements,...) contrairement à l'ossature bois « standard » type 31.2. Ils peuvent en effet **repandre des descentes de charges et des efforts horizontaux** relativement élevés par rapport à l'ossature bois.

Dimensions des panneaux CLT:

• **Epaisseur** : de 60 à 500 mm • **Largeur** : de 1,2 m à 4,8 m • **Longueur** : jusqu'à 18 m



LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

LES BOIS COMPOSITES

Le Bois Lamellé-Croisé **CLT**:

• exemple de réalisation –France-

« *L' Ilot Bois -SENSATIONS* »



Programme 2019, Strasbourg

Résidence R+11, H= 38 mètres

Le Moniteur, © Christian Robischon

© © Koz Architectes/ASP

Architecture/Bouygues Immobilier

Maître d'ouvrage: Bouygues Immobilier

Maîtrise d'œuvre: KOZ Architectes (mandataire), ASP Architecture (associé), Ingénierie Bois (BE structure bois), Illios (fluides), Aïda Acoustique (acoustique)

Bureau de contrôle: Socotec

Entreprise générale: Eiffage Construction; Altibois, sous-traitant charpente bois

Programme: 146 logements et six commerces

Surface: 9 146 m²

Objectifs de performance: RT 2012 niveau Bepas et BBCA niveau Excellence

Structure porteuse (Noyau Central) : portiques en BLC et murs en panneaux CLT

Cages escalier, cages ascenseur et planchers: panneaux CLT

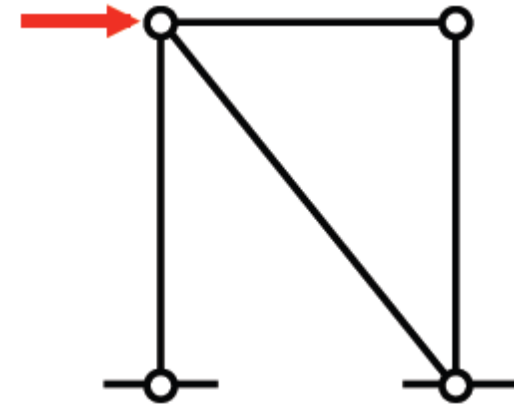
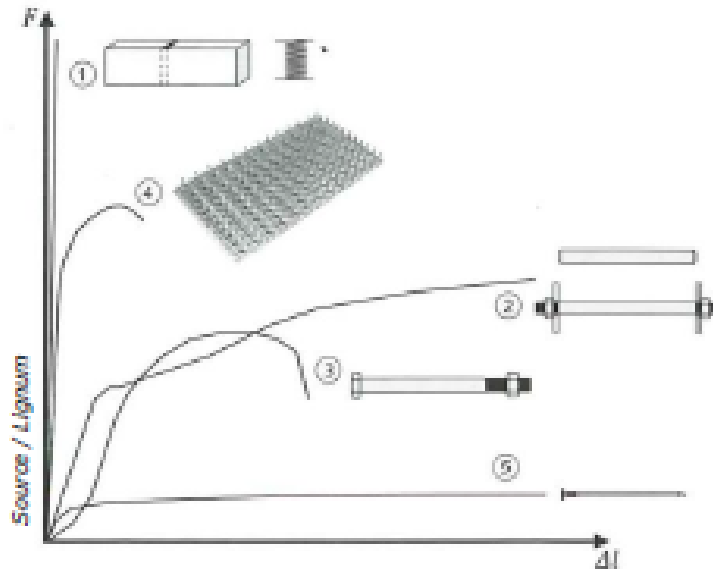
Volées escalier & RdC: Béton Armé (règlementation)

Revêtement des façades: Panneaux aluminium

LES ASSEMBLAGES

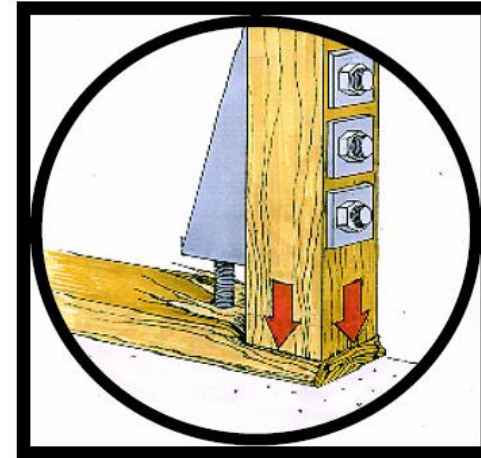
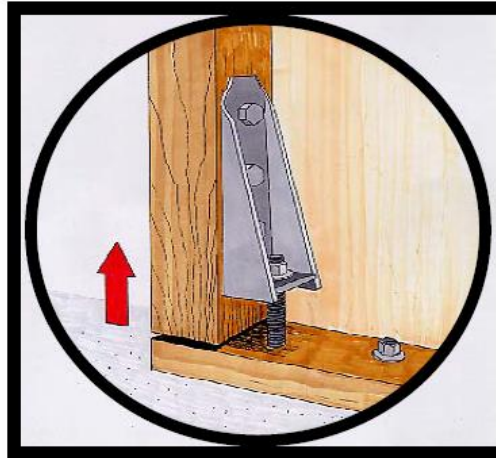
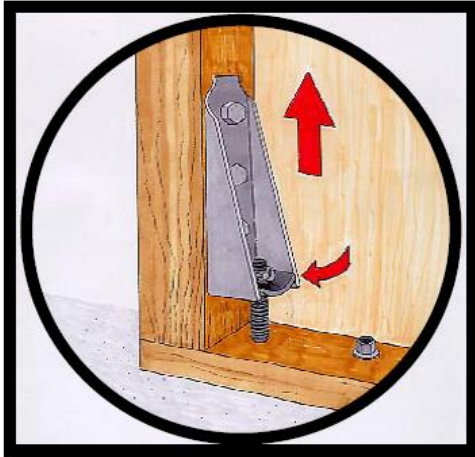
Assemblages collés: considérés comme non-dissipatif

Assemblages bois-bois brochés, boulonnés et cloués et bois-métal (*)



Important : La résistance ultime du bois doit être supérieure à celle des assemblages!!! (conception en capacité).

LES ASSEMBLAGES



Type de sollicitations affectant les sabots d'ancrage boulonnés. Ces sabots sont raidis par des « joues » triangulaires. (Document Simpson)

Exemple de connexion avec le soubassement



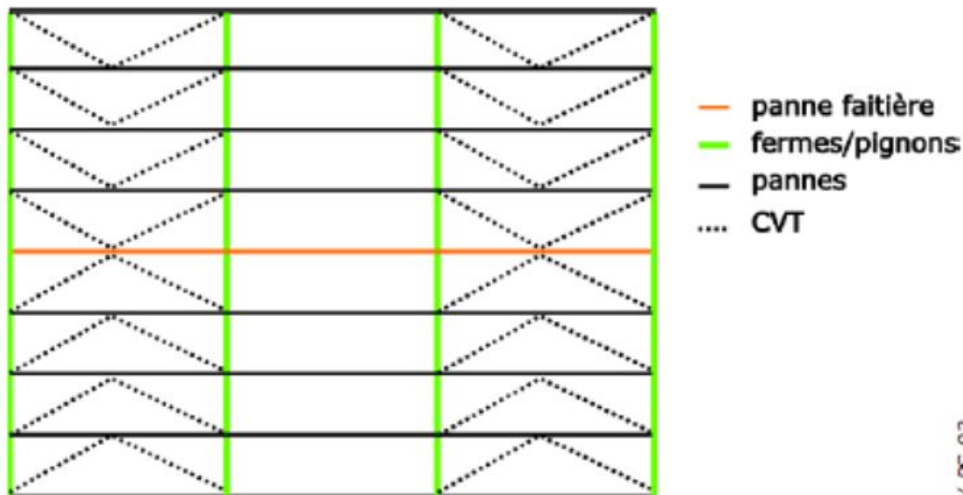
Sabot d'ancrage de montant avec petits boulons nombreux : l'effort est mieux réparti, la ductilité de l'assemblage plus élevée. (Document Simpson)

LES CHARPENTES

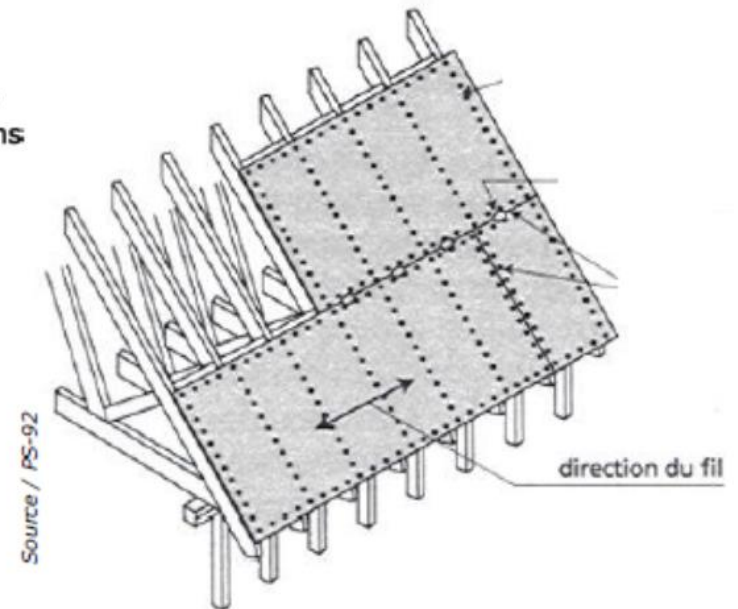
TYPES TRADITIONNELLES

Règles générales

- Mise en place de *liens de faitage*
- *Poutre au vent*
- *Diaphragme par panneaux* (EN 1995 + entretoises)



Exemple de contreventement de toiture en K

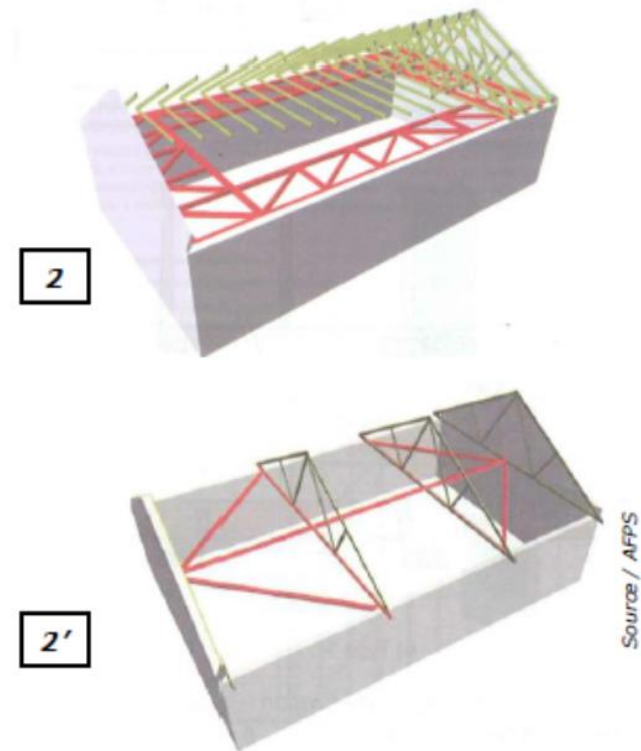
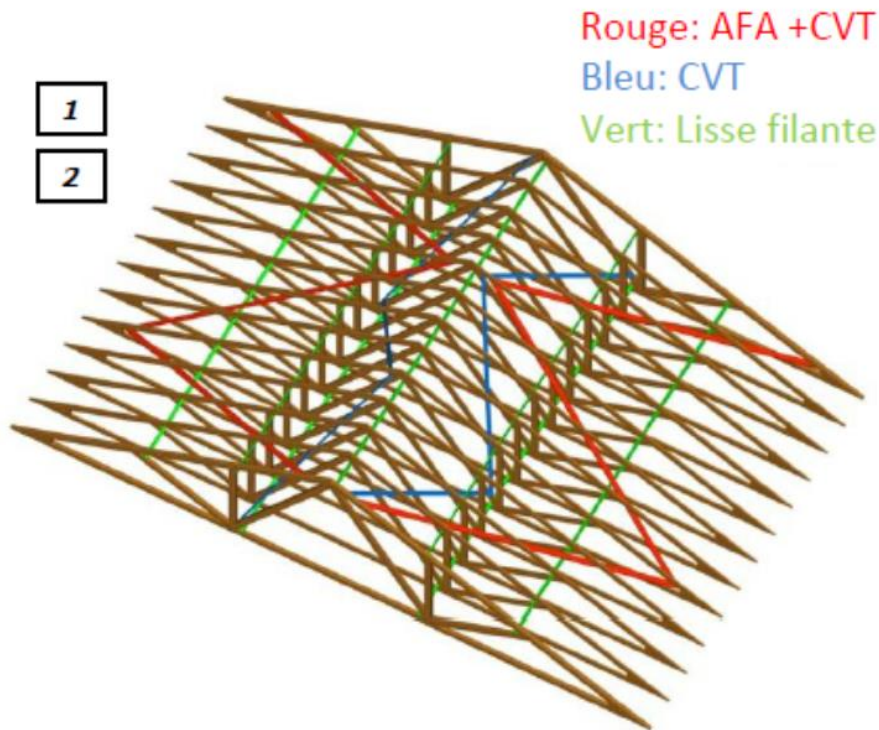


Contreventement par plaques de contreplaque ou de bois (figures extraites de « Construire parasismique » de Milan Zacek, éditions parenthèses)

LES CHARPENTES TYPES INDUSTRIELLES

Stabilisation des fermettes

- 1) Combles aménageables (plancher bois ou béton): *diaphragme de toiture*
- 2) Combles perdus: *diaphragme de plancher + diaphragme de toiture*

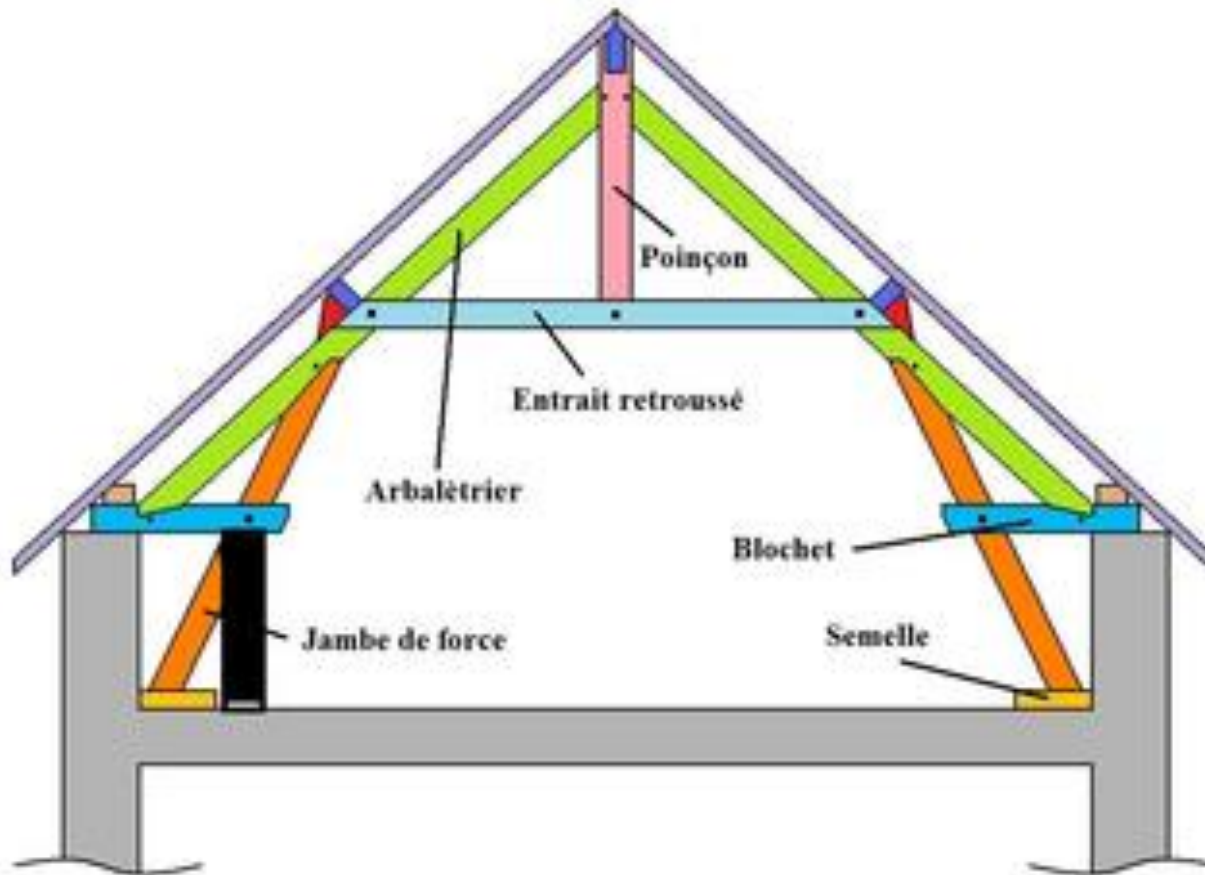


Source / AFPS

UU

LES TYPES DE STRUCTURES EN BOIS

STRUCTURE BOIS A EFFET PORTIQUE : FERME TRADITIONNELLE



LES DOMMAGES CARACTÉRISTIQUES



Mode de ruine d'une construction en bois (Séisme du Chili, 1960) (Document Rodolfo Schild)

S'il n'y a pas d'arrachement des liaisons entre les éléments, même suite à des déformations très importantes, l'endommagement du bâtiment est progressif.



Séisme du Chili (Document Karl-V. Steinbrugge). Les structures en bois acceptent des déformations importantes de leurs assemblages s'ils ne mènent pas à effondrement pour rupture fragile.

LES DOMMAGES CARACTÉRISTIQUES

CE QUE L'ON VEUT !!!



Les déformations acquises de cette construction, dont les assemblages n'ont pas lâché, n'ont pas entraîné son effondrement. Séisme de Kobé, 1995 (Document EERI)

LES DOMMAGES CARACTÉRISTIQUES



Défauts d'ancrages (Alaska)

ADDITIF

STABILITÉ AU FEU DES BOIS ET STRUCTURES EN BOIS

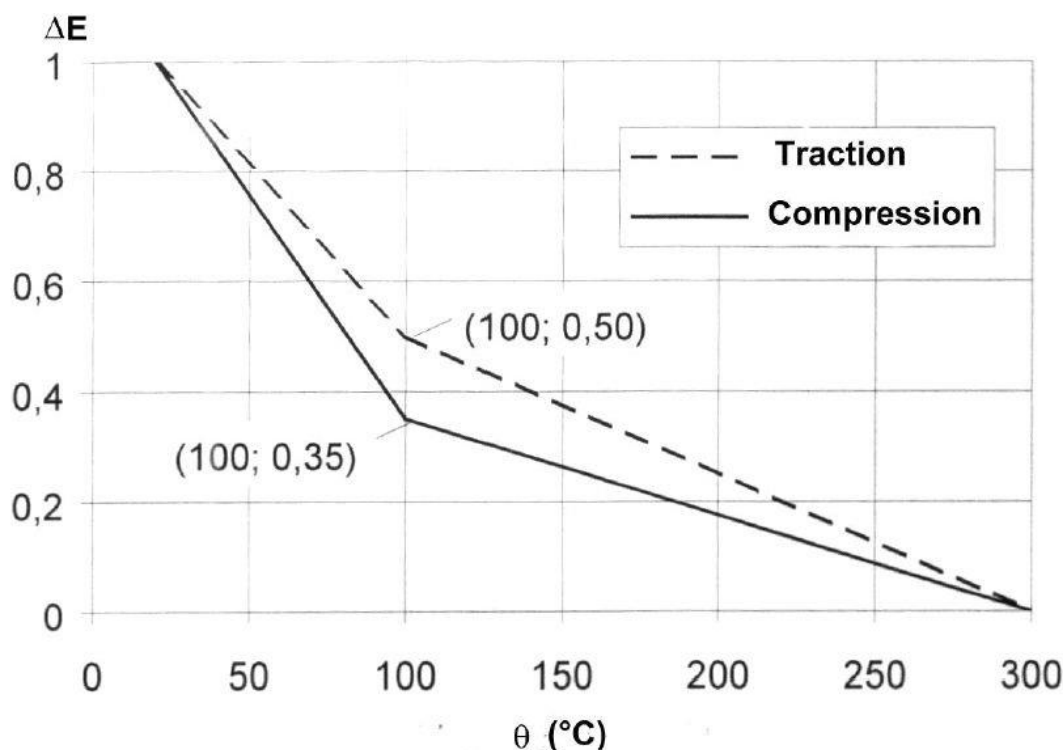
LA COMBUSTION DES BOIS : COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE

Important !! L'évaporation rapide de l'eau de 0 à 100 ° C entraîne la chute brutale des **RIGIDITES** (longitudinale et transversale)

- 50 % en Traction !!

- 65 % en Compression

Puis décroissance plus progressive



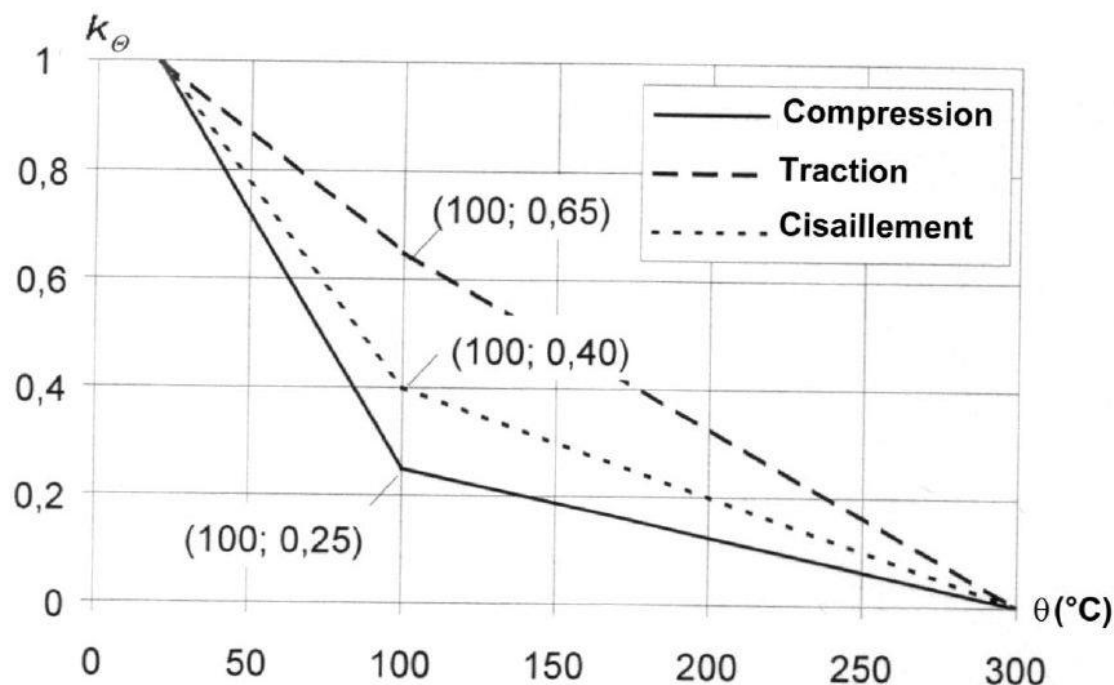
VIGILANCE !!
Pertes des RIGIDITES =
flexion excessive dans les
poutres de grande portée et
flambement dans les
poteaux

ADDITIF: STABILITÉ AU FEU DES BOIS ET STRUCTURES

LA COMBUSTION DES BOIS : COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE

Important !! L'évaporation rapide de l'eau de 0 à 100 ° C entraîne la chute brutale des **RESISTANCES** mécaniques (E).

- 75 % en Compression
- 60 % en cisaillement
- 35 % en Traction !!

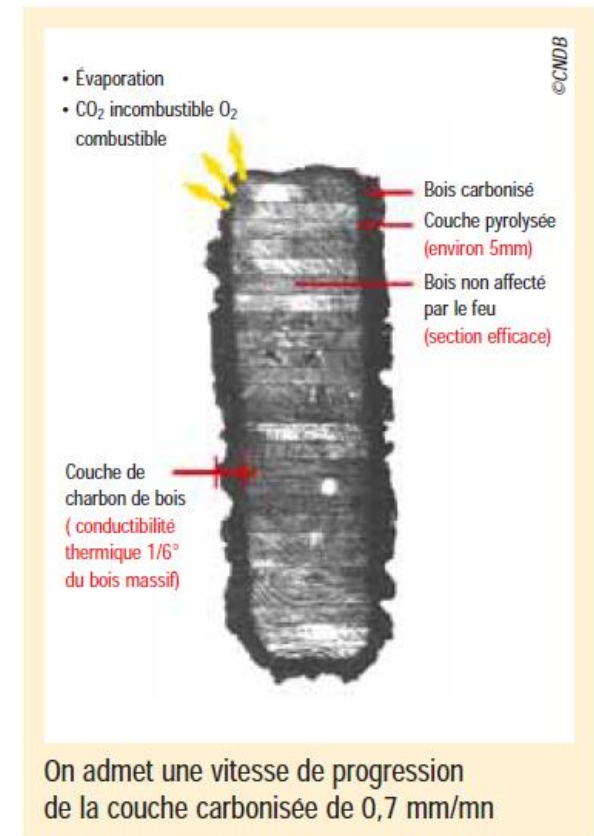


VIGILANCE !!
Pertes rapides des
Résistances = désordres
localisés aux liaisons et
dans les appuis



APPROCHE DE LA COMBUSTION DES BOIS

Matériau	V c Moyenne En MM/mn *
- Résineux et hêtre massif - Lamellé-collé	0,7
Feuillus massif ou Lamellé-collé de densité ≥ 290 Kg/M3	0,7
Feuillus massif ou Lamellé-collé de densité ≥ 450 Kg/M3	0,5
LVL de densité ≥ 480 Kg/M3	0,7
Panneaux (contreplaqué et autres)	1
*Par face exposée aux flammes -Valeurs issues des Eurocodes 5 Vc est la moyenne de β_0 et β_n	



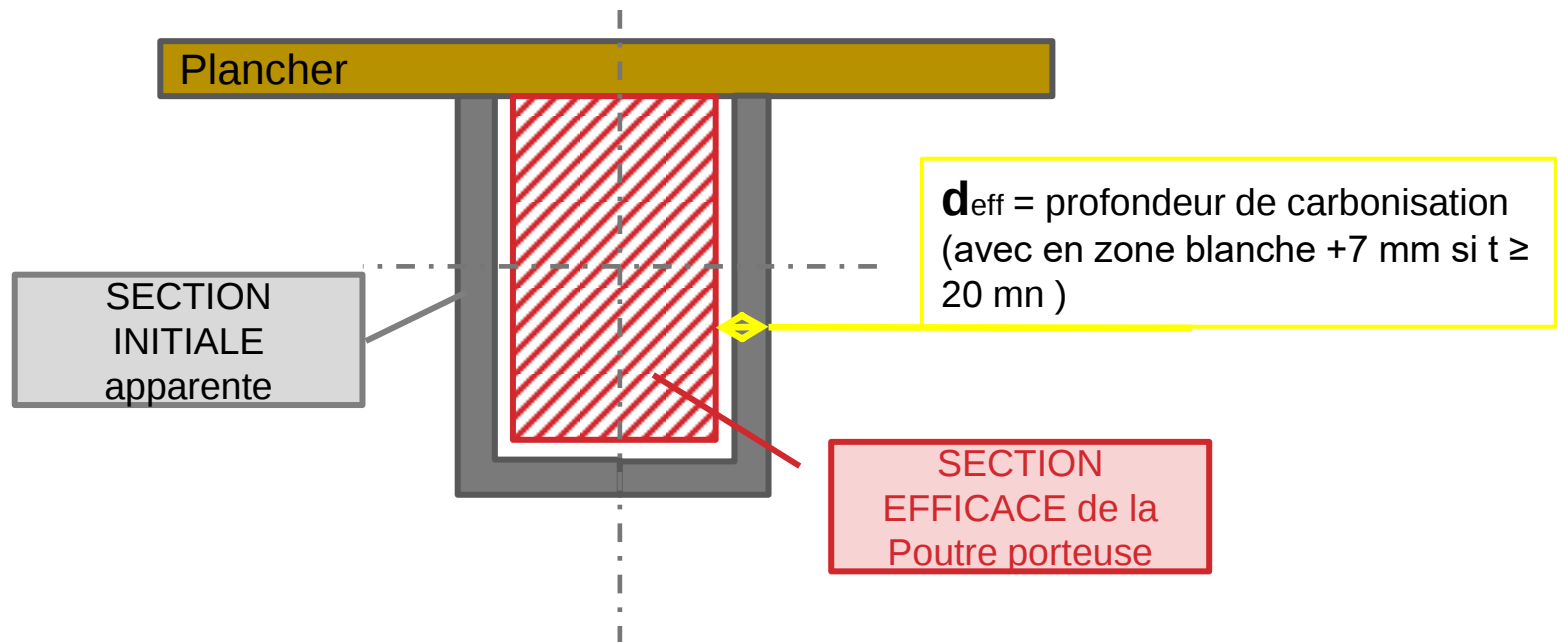
On admet dans l'usage une Vc des pièces de structure en bois de 1 Cm / Face / Quart d'Heure et 1,5 Cm pour les panneaux

ADDITIF: STABILITÉ AU FEU DES BOIS ET STRUCTURES

DIMENSIONNEMENT

Méthode de Calcul: on prend en compte la valeur de la « **Section Réduite** »

Le principe est de calculer une section efficace en diminuant la section initiale de la profondeur de carbonisation (d_{eff}).



Nota: dans ce cas, d'un point de vue Protection Incendie, on agit seulement sur la l'effet de massivité des pièces en bois.

ADDITIF: STABILITÉ AU FEU DES BOIS ET STRUCTURES

Mauvais
comportement
des connecteurs
métalliques



Charnanta industrialiella carhâa an hnic massif

Fermettes industrielles



Charnanta traditiinnalla annaranta

Fermes traditionnelles

L'inertie, contribuant à la massivité des pièces porteuses des charpentes traditionnelles, contribue à la stabilité au feu des structures bois

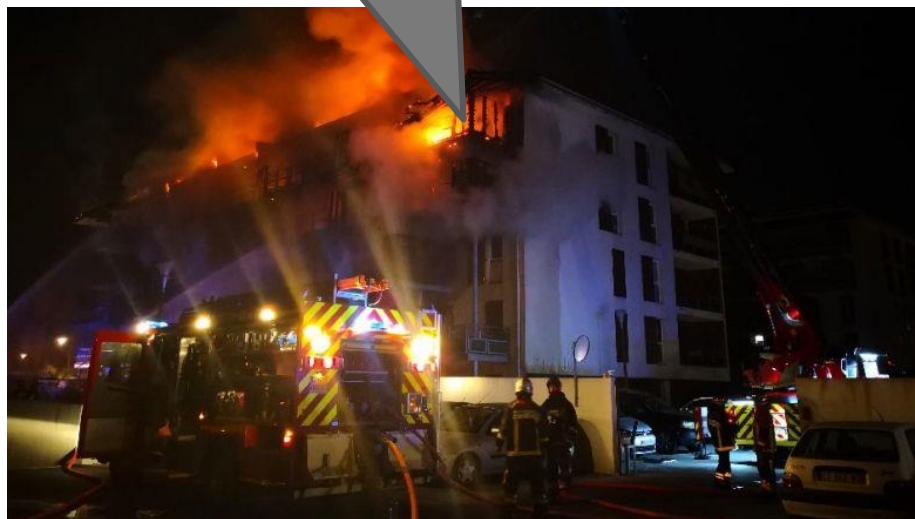
ANNEXE

DRAGUIGNAN , Mars 2019, SDIS 83
Incendie d'une résidence R+5 à structure bois



Départ de feu,
appartement situé au
4^e étage

2 heures après:
Propagation rapide en façade par les
éléments de structures en bois



CREDITS

Crédits images, photos et illustrations

- Patricia Balandier,DDE Guadeloupe
- Doc CRITT BOIS Centre de Ressources Technologiques
- AFPS
- Société KERTO
- FCBA-Institut Technologique
- Quotidien presse SUD OUEST
- CTBA – Centre Technique du Bois et Ameublement-
- Le Point
- SDIS 83
- Le Moniteur
- Nordic Structures Bois
- Cecobois- Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois
- WoodWorks
- Koz Architectes/ASP , Architecture/Bouygues Immobilier