

FORMATION BATIMENT DURABLE

CONSTRUCTION BOIS À BRUXELLES

AUTOMNE 2022

Eléments de stabilité

Francis DE VOS





- ▶ Communiquer le langage et la philosophie des normes en vigueur
- ▶ Développer une réflexion sur le comportement du matériau bois
- ▶ Apprécier les systèmes constructifs au travers des efforts à reprendre
- ▶ Énoncer les critères de choix d'un assemblage
- ▶ Aborder succinctement la question du bois et du feu



CONTEXTE NORMATIF
APPROCHE STRUCTURELLE
SYSTÈMES CONSTRUCTIFS
ASSEMBLAGES
RÉSISTANCE AU FEU



CONTEXTE NORMATIF

- ▶ **Eurocodes**
- ▶ Matériaux bois

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



Les eurocodes règlent

la sécurité à considérer dans la construction (eurocode 0 – EC0)

les charges à considérer (eurocode 1 - EC1)

les règles de dimensionnement propres au matériau bois (eurocode 5 - EC5)

Chaque pays a rédigé à partir de ces textes normatifs, des documents d'application nationale dont les recommandations peuvent s'écarter ou réinterpréter les valeurs des eurocodes.

EC0: la sécurité est définie par des coefficients qui vont pondérer vers le haut les sollicitations (coefficient majorant des actions ou encore effets E) et par des coefficients qui vont pondérer vers le bas les résistances R).

On va aussi rechercher les combinaisons d'actions décrivant les situations

les plus défavorables.

Vérification :

$$E_d = \gamma_G G + \gamma_Q Q < R_d$$

Egalement on définit deux situations :

L'état limite ultime de rupture ELU (rupture, renversement,..) avec une sécurité importante

L'état limite de service ELS (utilisation, flèche, vibrations,..) avec une sécurité réduite.



EUROCODES: LES CHARGES

EC 1 : les actions dans le bâtiment.

Les charges à considérer doivent être estimées par l'auteur de projet.

Les valeurs proposées par l'EC 0 sont des références mais n'ont pas force de loi.

L'auteur de projet reste le seul responsable légal.

Charge permanente liée au poids des choses G_k

Charge variable liée à l'utilisation Q_k

Charge climatique, charges liées aux matériaux (retrait, fluage,..), charges accidentelles..

2 Charges d'exploitation des planchers et escaliers

2.1 Entretien d'une toiture non accessible

$Q = (1 - A/100) \text{ kN/m}^2$ où A est la surface projetée sur un plan horizontal ($A < 50 \text{ m}^2$)

Ce cas de charge remplace pour les petites toitures le calcul des charges climatiques.

On ne cumule pas l'entretien avec le vent et/ou la neige.

Pour une surface supérieure à 50 m^2 , on calcule les différentes combinaisons de charge et on recherche les situations les plus défavorables.

De toute façon on vérifie la reprise d'une surcharge d'entretien de 1 kN/m^2 ou de 1 kN ponctuel disposée de la manière la plus défavorable.

2.2 Toit - terrasse accessible et privée - deux situations doivent être vérifiées

soit $Q = 2 \text{ kN/m}^2$

soit une charge ponctuelle Q de 2 kN sur $10 \times 10 \text{ cm}^2$ disposée de façon aléatoire.

2.3 Toit - terrasse accessible au public

soit $Q = 4 \text{ kN/m}^2$

soit une charge ponctuelle Q de 2 kN sur $10 \times 10 \text{ cm}^2$ disposée de façon aléatoire.

2.4 Planchers porteurs

Classe 1 : locaux privés, habitations, ... $Q = 2 \text{ kN/m}^2$

Classe 2 : classes, dortoirs, escaliers, ... $Q = 3 \text{ kN/m}^2$

Classe 3 : églises, gares, salles publiques avec sièges fixes, balcons, locaux commerciaux, ... $Q = 4 \text{ kN/m}^2$

Classe 4 : salles de réunion publiques, salles de danse $Q = 5 \text{ kN/m}^2$

Classe 5 : cas particuliers (garages, archives, industries, ...) les valeurs de charge devront être déterminées au cas par cas.



EUROCODES : LA NEIGE

La neige: charge verticale en projection horizontale:

$$S = \mu l \times Ct \times Cc \times Sk$$

où μl est fonction de la pente de la toiture
 Ct est fonction de l'isolation thermique de la toiture,..
 Cc est fonction de l'orientation des vents dominants.

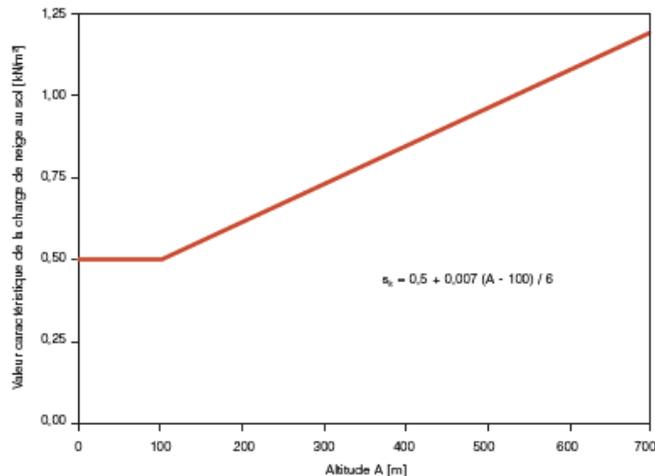


Fig. 7 Valeur caractéristique de la charge de neige au sol (s_g) en fonction de l'altitude en Belgique (NBN EN 1991-1-3 ANB) [7].

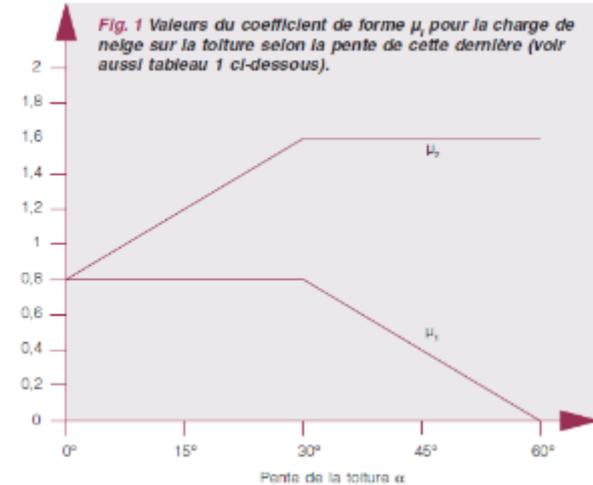


Tableau 1 Valeurs du coefficient de forme μ_i pour la charge de neige sur la toiture selon la pente de cette dernière.

α (angle du toit avec l'horizontale)	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	–

Tableau 1 Poids volumique apparent moyen de la neige [EC1-1-3 Annexe E].

Type de neige	Poids volumique apparent moyen ρ_s [kN/m³]
Neige fraîche	1,0
Neige établie (quelques jours ou quelques heures après la chute de neige)	2,0
Neige ancienne (plusieurs semaines/mois après la chute de neige)	2,5 à 3,5
Neige mouillée	4,0



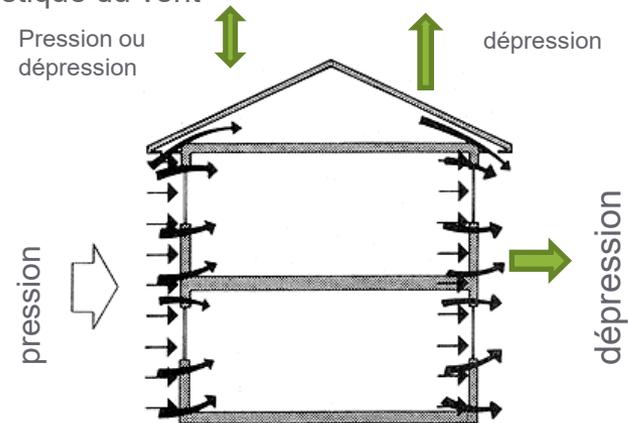
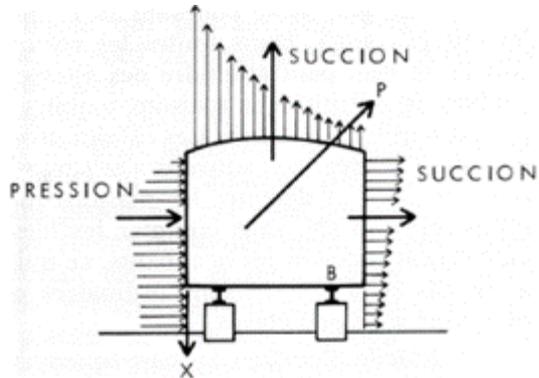
EUROCODES : LE VENT

Le vent est une sollicitation qui s'applique perpendiculairement aux surfaces rencontrées.

Le vent s'écoule et exerce sur les surfaces des efforts de pression et de dépression en fonction de l'angle d'attaque.

La force du vent est fonction de sa vitesse et de différents paramètres qui ne seront pas expliqués ici (orientation, freinage du à la rugosité de la surface, environnement, fréquence,..).

$W = C_p \times C_d \times Q_k$ où C_p est le coefficient de pression = $C_{pe} \pm C_{pi}$ pour les bâtiments fermés
 où $C_p = C_{pe}$ pour les bâtiments ouverts (auvent, hangars, préau,..)
 où C_p et C_{pe} sont fonction de l'angle de la toiture par rapport à l'horizontale.
 où c_d est le coefficient dynamique qui pour les bâtiments moyens = 1
 où Q_k est la pression caractéristique du vent



CONTEXTE NORMATIF

- ▶ Eurocodes

- ▶ **Matériaux bois**

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

- ▶ Ossature bois

- ▶ Poteaux-poutres

- ▶ Panneaux massifs

- ▶ Madriers empilés

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



Le(s) matériau(x) bois selon les EC5

Les matériaux bois sont définis selon leur performance.

On a classifié le bois massif (BM), le lamellé-collé ou les panneaux structuraux (OSB, contre-plaqué...)

selon leur aspect (classement visuel – STS 04) et selon leur résistance (classement selon l'EC5)



Le matériau bois massif, selon le classement visuel

classe de tri	S4	S6	S8	S10
nœuds				
- pas de situation marginale $K_n \leq 1/2$	$K_n \leq 1/2$	$K_n \leq 1/2$	$K_n \leq 1/3$	$K_n \leq 1/5$ $K_n \leq 1/5$
- situation marginale $K_n > 1/2$	$K_n \leq 1/3$	$K_n \leq 1/3$	$K_n \leq 1/5$	
inclinaison de fibre	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	$\leq 1/10$	$\leq 1/10$
cernes de croissance				
Général	≤ 10 mm	≤ 6 mm	≤ 6 mm	≤ 6 mm
Orégon / Douglas	-	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 6 mm
flaches	réduction de la face et ou du chant $\leq 1/3$ de la dimension; longueur illimitée			
fentes				
- non traversantes	Maximum 1500 mm ou $\leq 1/2$ de la longueur de la pièce		Maximum 1000 mm ou $\leq 1/4$ de la longueur de la pièce	
- traversantes	Maximum 1000 mm ou $\leq 1/4$ de la longueur de la pièce		Admissible seulement aux extrémités maximum une fois la largeur de la pièce	

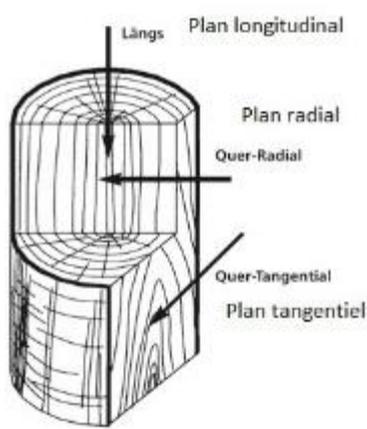
Source: STS 04 (2008)

déformations		
- bow	≤ 20 mm sur 2 m	≤ 10 mm sur 2 m
- spring	≤ 12 mm sur 2 m	≤ 8 mm sur 2 m
- twist	≤ 2 mm par 25 mm de largeur sur 2 m	≤ 1 mm par 25 mm de largeur sur 2 m
cup		
poches de résine et entre écorce		
- non traversants	< b pas de limite sinon mêmes limites que pour les fentes	
- traversants	< 1/2 b pas de limite sinon mêmes limites que pour les fentes	
altérations dues aux insectes		
pas tolérées; piqûre noire autorisée		
altérations dues aux champignons		
- bleuissement	autorisé illimité	
- échauffure	bois solide; max. 1/4 b et / ou 1/4 d; max. 0,5 m	exclue
- pourriture	pas autorisée	
détériorations mécaniques		
assimilées à l'imperfection nœud		
bois de compression	sur une face ou un chant ; limité au maximum à 5 mm d'épaisseur;	pas autorisé
- rou lure	maximum 10 mm autour de la moelle, visible sur une face ou un chant	



Classification des bois massifs selon l'EC5 (selon leurs performances)

	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	
<i>f_{m,k}</i>	14	16	18	22	24	27	30	35	40	N/mm ²
<i>f_{t,0,k}</i>	8	10	11	13	14	16	18	21	24	
<i>f_{t,90,k}</i>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	
<i>f_{c,0,k}</i>	16	16	18	20	21	22	23	25	26	
<i>f_{c,90,k}</i>	2,1	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	
<i>f_{v,k}</i>	1,8	1,8	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,4	3,8	
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	
<i>E_{0,moyen}</i>	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	12,0	13,0	14,0	kN/mm ²
<i>E_{0,05}</i>	4,70	5,40	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	
<i>E_{90,moyen}</i>	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	
<i>G_{moyen}</i>	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	
<i>ρ_k</i>	290	310	320	340	350	370	380	400	420	kg/m ³



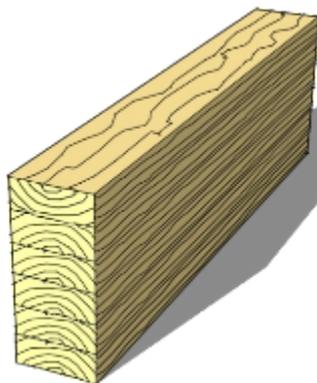
La résistance de calcul = $f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \times k_{mod} / \gamma_{bois}$

Une colonne en compression devra vérifier que $Ed = N_{Ed} < R_d = f_{c,0,d} \times A_{bois}$

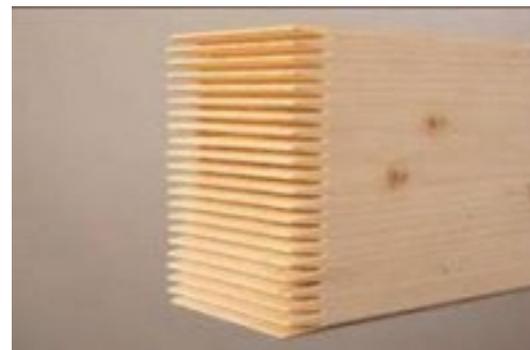


MATÉRIAU BOIS

Les poutres en lamellé-collé sont composées de planches encollées. La qualité des planches peut varier selon leur disposition dans la poutre.



	GL20	GL24	GL28	GL32	GL36	
$f_{m,g,k}$	20	24	28	32	36	N/mm ²
$f_{t,0,g,k}$	15	18	21	24	27	
$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45	
$f_{c,0,g,k}$	21	24	27	29	31	
$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	
$f_{v,g,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
$E_{0,moyen,g}$	10000	11000	12000	13500	14500	N/mm ²
$E_{0,05,g}$	8000	8800	9600	10800	11600	
ρ_k	360	380	410	440	480	kg/m ³



Le comportement du bois dans son environnement construit

- ▶ Le bois massif est résistant selon le sens de ses fibres.
 - le bois debout dont la résistance en compression équivaut à celle du béton.
 - le bois se fend sous traction transversale.

- ▶ Le bois réagit à l'eau comme une éponge
 - En milieu sec, il sèche et se fissure
 - En milieu humide, il se gonfle

⇒ **Pour une humidité du bois supérieure à 20%, on aura dégradation du bois.**

- ▶ Le bois sous charge se déforme et sous charge permanente perd de sa résistance (fluage).

- ▶ Ses caractéristiques physiques sont fonction de sa densité.

- ▶ La durabilité du bois est fonction de
 - sa densité (croissance lente, bois exotique,..)
 - de son environnement (ventilé, protégé,..)
 - de sa position dans la construction.
 - ... éventuellement d'un traitement (imprégnation,..).

- ▶ Les nouveaux matériaux bois compensent partiellement ces faiblesses (panneaux, lamifié, CLT,..)



CONTEXTE NORMATIF

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



Les structures se définissent par rapport à leur état limite

On aura deux vérifications à faire

- ▶ L'état limite ultime
 - Soit l'état limite ultime de rupture (poutre, colonne,..)
 - Soit la perte d'équilibre (stabilité au renversement, glissement,..)
- ▶ L'état limite de service
 - Soit la flèche maximale
 - Soit les vibrations, fissurations,...

$E_d < R_d$ pour la portance (ELU) :

colonne $N_{Ed} < N_{Rd} = f_{c,0,d} \times (b \times H)$

poutre $M_{Ed} < M_{Rd} = f_{m,d} \times (b \times H^2 / 6)$

pour le renversement (stabilité)

$$M_{\text{renversement}} < M_{\text{stabilisation}}$$

Pour les ELS (flèche, vibration,..) flèche max $< L / 300 \dots L / 1000$

vibration,..



Critères d'approche d'une solution structurelle

- ▶ On repère les axes principaux du gros-œuvre
- ▶ On recherche des interdistances et des portées courantes
 - Pour les planchers, un gîtage tous les 30.. 50 cm
 - Pour les poutres en BM, des portées inférieures à 6 ..8 m
 - On devra vérifier les éléments employés (poutre, colonne, plancher,..)
 - On vérifie la stabilité d'ensemble du bâtiment
(soulèvement, glissement et renversement).



Critères de choix d'une section structurelle

- ▶ On considère que les poutres, colonnes et gîtes sont isostatiques (poutres sur deux appuis; moments fléchissants maximum et flèches maximales)
- ▶ On retient une classe de résistance du bois moyenne (C24 – GL24)
- ▶ On retient une base de poutre courante (entre 6 et 20 cm pour les poutres)
- ▶ La vérification aux ELU de portance nous donne une hauteur à respecter.
- ▶ La vérification de la flèche maximale nous donne une hauteur minimale différente à respecter.
- ▶ Ainsi en tenant compte du poids de la poutre étudiée, la hauteur minimale est fixée par ces deux critères et une proposition économique est possible.



Etats limites de service : 1. critère de la flèche maximale

- ▶ Le seuil à ne pas dépasser dépend de l'auteur du projet.
- ▶ La norme NBN B 03-003:2002 donne des références liées aux situations rencontrées
- ▶ Les structures en bois sous charges permanentes subissent un fluage important en fonction de l'environnement ($fl_{fin} \sim 2 \times fl_{init}$)

2	résistance des parois verticales (fissuration des cloisons, des façades) - parois armées	rares	$l / 350$
3	- parois non armées, avec ouvertures		$l / 1000$
4	- parois sans ouvertures ou avec ouvertures et armatures		$l / 500$
5	- parois amovibles		$l / 250$
6	résistance des châssis vitrés - pas de jeu châssis/structure	rares	$l / 1000 (f)$
7	- jeu châssis/structure		$l / 350 (f)$
8	résistance des plafonds (fissuration, écaillage) - enduits	rares	$l / 350$
9	- non-enduits, faux-plafonds		$l / 250$
10	résistance des revêtements de sol - de grandes dimensions ou fixés rigidement	rares	$l / 500 (b)$
11	- de petites dimensions ou fixés de façon telle que la déformation du support n'est pas intégralement transmise au revêtement (d)		$l / 350 (e)$
12	- revêtements souples		$l / 250 (b)$



Exemples: les planchers

La flèche d'un plancher souple $< L/300$ pour 5 m; 16 mm

Si les charges permanentes sont faibles, pas de fluage à considérer.

La flèche d'un plancher avec plafonnage sous les gîtes $< L/500$ pour 5m, 10 mm

les poutres

La flèche des poutres portant cloison rigide flèche init. $< L/1000$

flèche fin. $< L/500$

La flèche des poutres linteaux sur châssis sans jeu flèche fin. $< L/1000$

En général on prévoit un joint souple dont l'écrasement devrait éviter le contact entre la poutre et le châssis. (flèche de 10 mm; joint de 13 mm)

La flèche d'une panne faitière provoque la poussée des chevrons sur les sablières et les murs de façade.

Soit on surdimensionne la faitière (flèche $< L/1000$)

Soit on permet le déplacement horizontal des chevrons sur les sablières.



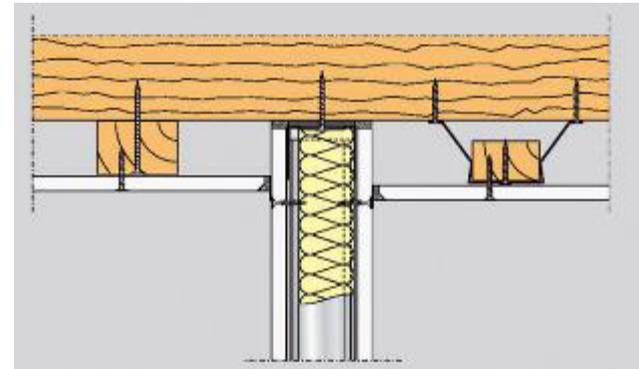
Vérification des ELS : 2. la vibration des planchers

Le comportement vibratoire d'un plancher peut soit se mesurer sur place, soit s'estimer par calcul.

La cause peut venir d'engins vibrants, de la circulation,... et de sources sonores.

Pour en diminuer les effets et en l'absence de masse, il faut

- ▶ Augmenter la raideur des planchers (l'inertie) donc la hauteur des gîtes et diminuer l'interdistance entre gîtes (loi masse – ressort – masse)
- ▶ Garantir un chaînage du plancher (chaînage entre solive ou panneautage)
- ▶ Une raideur suffisante du plancher posé perpendiculaire aux gîtes
- ▶ Déconnecter les niveaux de finition du plancher porteur



CONTEXTE NORMATIF

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

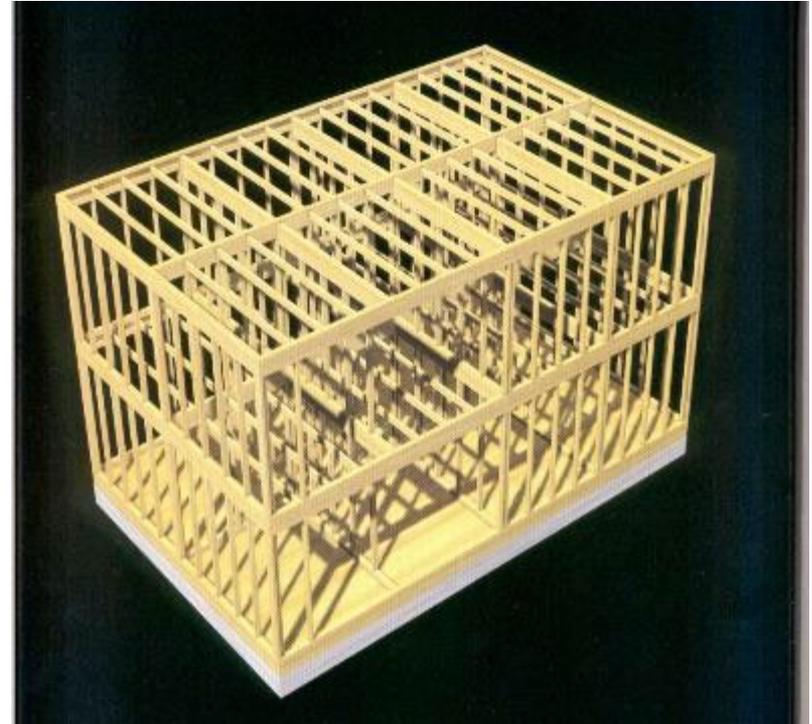
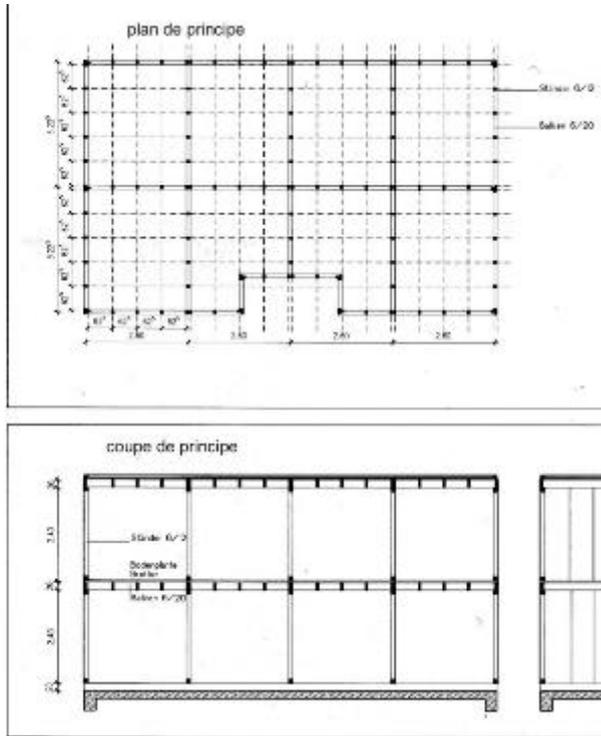
- ▶ **Ossature bois**
- ▶ Poteaux-poutres
- ▶ Panneaux massifs
- ▶ Madriers empilés

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



OSSATURE BOIS



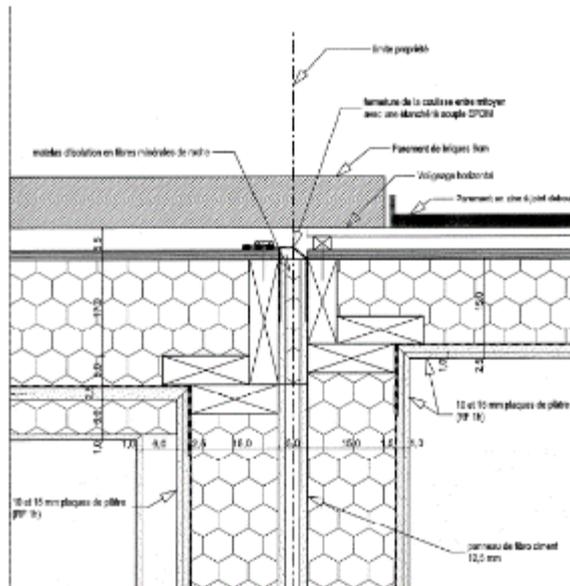
La résistance en compression du bois équivaut à celle du béton C25 (béton) ~ C24 (bois) ~ 24 N/mm²



OSSATURE BOIS

Semblable à la logique des murs porteurs en maçonnerie

- ▶ Les montants reprennent les charges verticales
- ▶ Un panneau latéral rigidifie horizontalement la paroi



CONTEXTE NORMATIF

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

- ▶ Ossature bois
- ▶ **Poteaux-poutres**
- ▶ Panneaux massifs
- ▶ Madriers empilés

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



POTEAUX-POUTRES

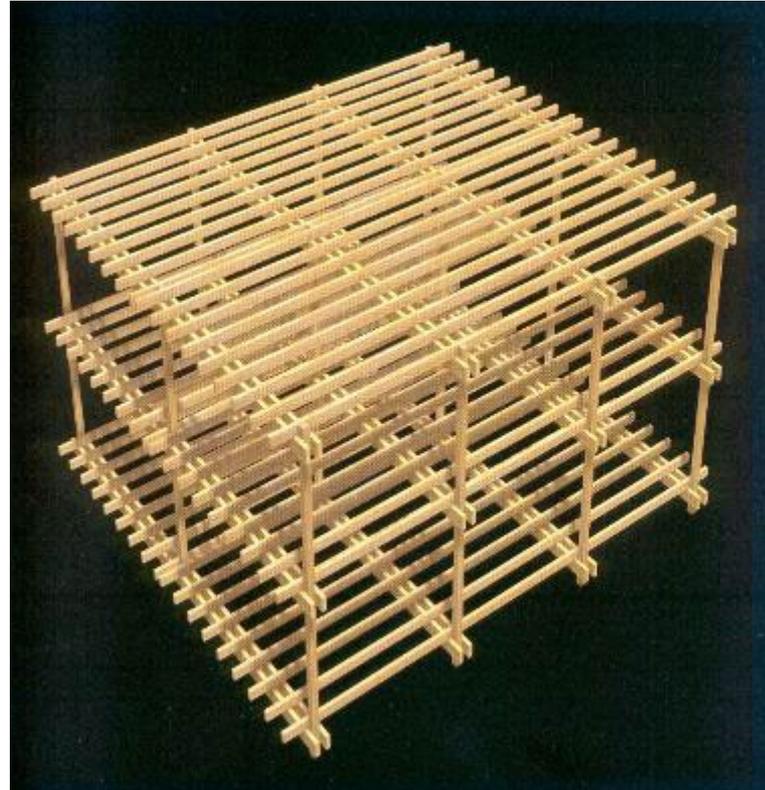
- ▶ Poutres moisées sur poteaux
- ▶ Poutre entre poteaux

Avantages

- ▶ Permet des débordements
- ▶ Libération des parois

Faiblesses

- ▶ Stabilité des parois non garantie
- ▶ Déformabilité plus grande



CONTEXTE NORMATIF

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

- ▶ Ossature bois
- ▶ Poteaux-poutres
- ▶ **Panneaux massifs**
- ▶ Madriers empilés

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



PANNEAUX MASSIFS

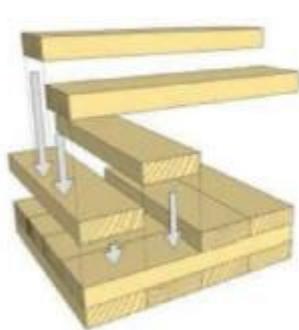
- ▶ Hourdis bois
- ▶ Panneaux CLT (cross laminated timber) constitués de planches croisées
- ▶ Panneaux sandwich (cadre – plaques)

Avantages

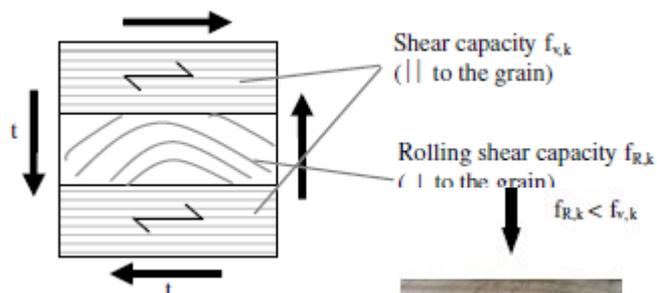
- ▶ Le bois travaille par plis dans le sens des fibres
- ▶ Comportement en plaque ou voile vertical

Faiblesses

- ▶ Les techniques affaiblissent la section.
- ▶ Sensible au cisaillement (appuis, coins des percements,..)



PANNEAUX MASSIFS



Typical fracture-mode caused by the exceedance of the rolling shear capacity

Panneaux en contre-latté de 75 à 125 mm.

La disposition alternée des planches permet de reprendre les effort selon les deux sens.

La transmission entre plis se fera par la colle

Le point faible est la résistance au cisaillement des planches.

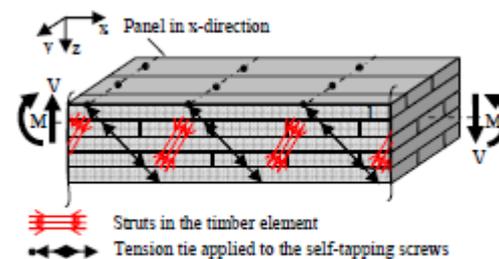


Figure 3: Strut-and-tie model of a reinforced panel



CONTEXTE NORMATIF

APPROCHE STRUCTURELLE

SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

- ▶ Ossature bois
- ▶ Poteaux-poutres
- ▶ Panneaux massifs
- ▶ **Madriers empilés**

ASSEMBLAGES

RÉSISTANCE AU FEU



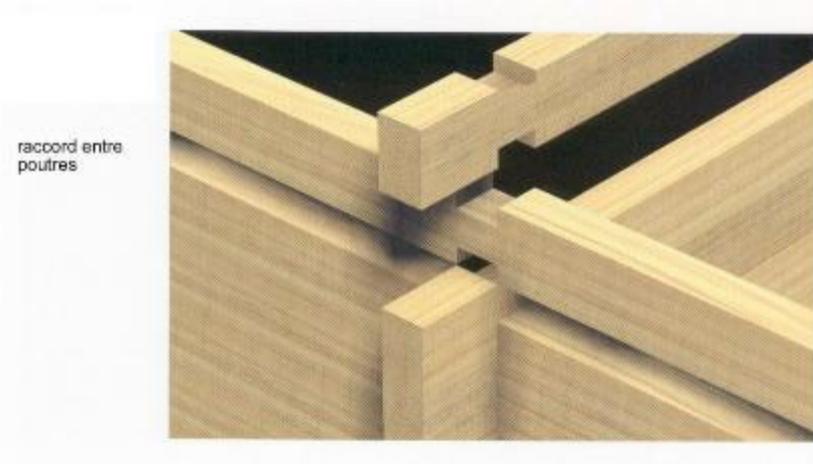
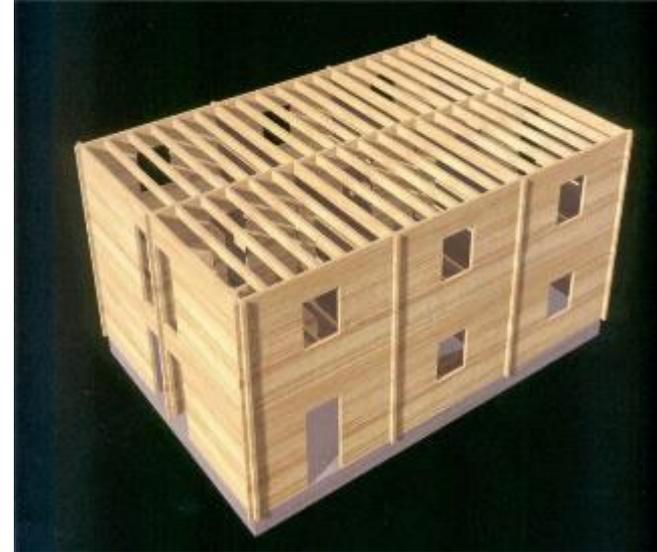
MADRIERS EMPILÉS

Reprise des charges perpendiculairement
au sens des fibres du bois.
.. d'où écrasement et déformation dans le temps.

Paroi stable dans leur plan suite au frottement
des madriers entre eux.

Raccords dans les coins ..

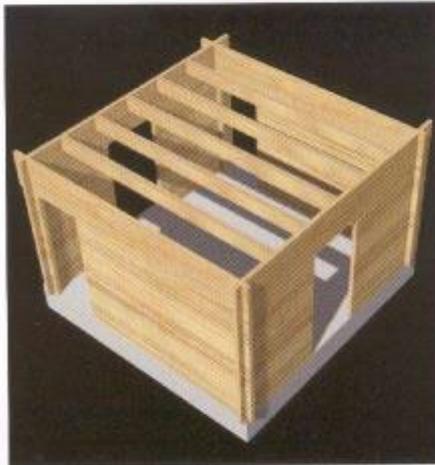
Etanchéité difficile à réaliser



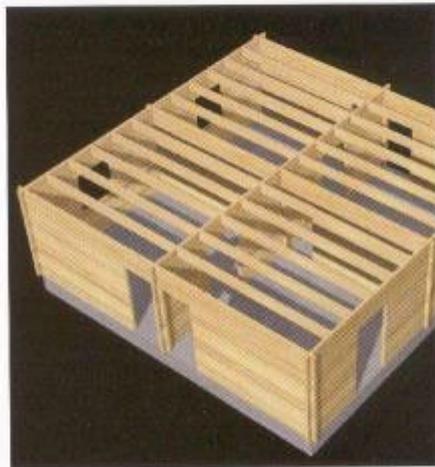
MADRIERS EMPILÉS

- ▶ Difficulté de sortir du plan
- ▶ Déformation importante des parois suite au fluage du bois
- ▶ Conflit entre l'aspect intérieur et le passage des techniques

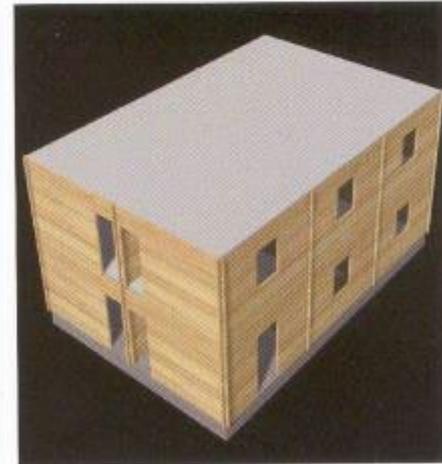
système à bois horizontaux



portance des planchers
sur parois pleines



stabilité par les parois pleines



volume délimité par
les parois extérieures



CONTEXTE NORMATIF
APPROCHE STRUCTURELLE
SYSTÈMES CONSTRUCTIFS
ASSEMBLAGES
RÉSISTANCE AU FEU



Les grandes structures sont l'assemblage de petites structures constituantes

Fonctions d'un assemblage

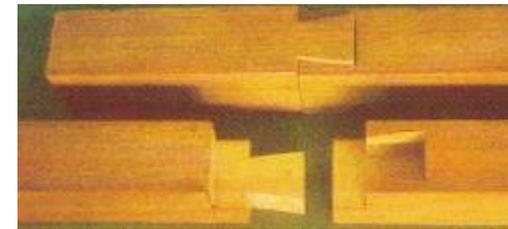
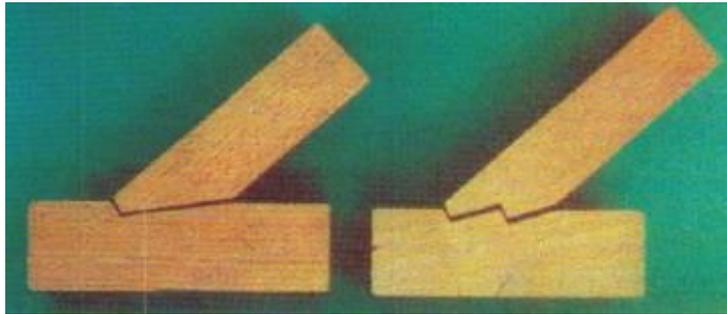
- ▶ Permettre de positionner les pièces à assembler dans les conditions inconfortables d'un chantier.
- ▶ Permettre le réglage ou serrage des pièces de bois entre elles
- ▶ Permettre la transmission d'efforts entre les pièces (effort axial, transversal et couple de forces)
- ▶ Limiter les déformations possibles dues à la transmission de ces efforts ainsi que suite au séchage du bois et aux variations de température
- ▶ Se protéger du feu en cas d'incendie



TYPES D'ASSEMBLAGES

Assemblages traditionnels bois - bois

- ▶ Positionnement (mi-bois; enfourchement, entaille,..)
- ▶ Transmission des efforts (tenon-mortaise; embrèvement)



Assemblages collés (par entures pour les lamellés collés)

- ✓ Indéformable
- ✓ À réaliser mécaniquement en atelier.

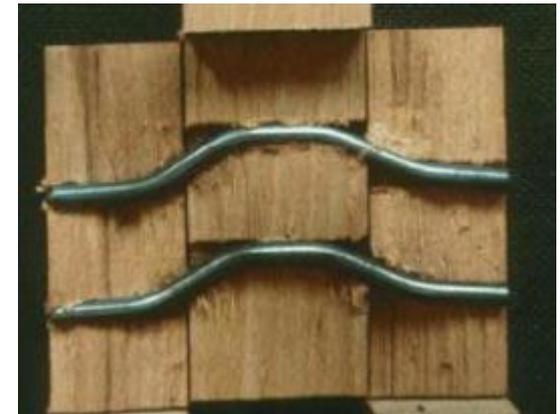
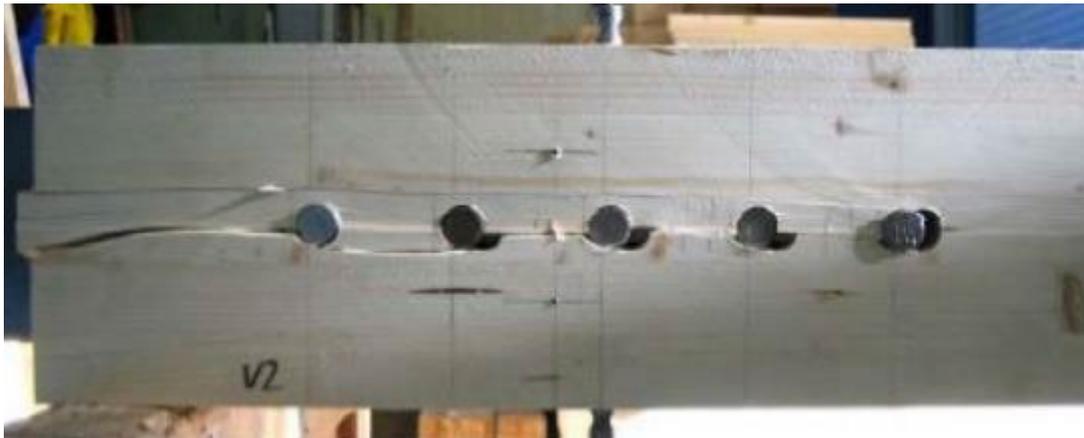


Assemblages par tige (semi-rigide)

En cisaillement

- ▶ soit par écrasement du bois
- ▶ soit par pliage de la tige
- ▶ soit les deux à la fois

Avec risque de fendage du bois et disparition de la portance.



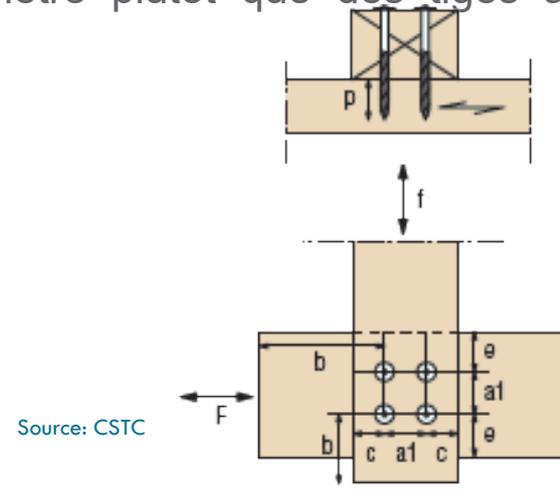
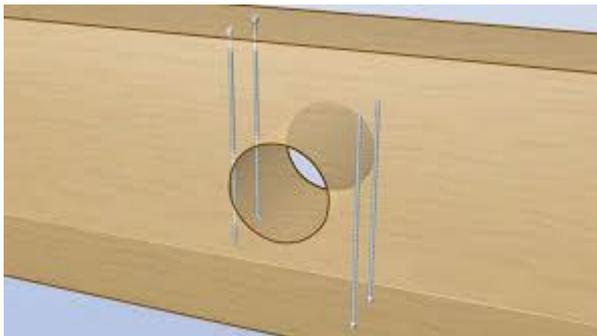
TYPES D'ASSEMBLAGES

Pour limiter le risque de fendage du bois (dépassement de la résistance en traction transversale)

- ▶ Respecter les écarts minimum entre tiges
- ▶ Favoriser le pliage des tiges plutôt que l'écrasement du bois
- ▶ Éviter les entailles
- ▶ Sélectionner un bois sec et dense (poids spécifique élevé)

Remarque : en cas de risque de fissures, il faut coudre la zone fissurée par des vis transversales à filetage continu.

On préférera plusieurs tiges de faible diamètre plutôt que des tiges à gros diamètre.



Source: CSTC



CONTEXTE NORMATIF
APPROCHE STRUCTURELLE
SYSTÈMES CONSTRUCTIFS
ASSEMBLAGES
RÉSISTANCE AU FEU



L'arrêté royal du 12-7-2012 définit les exigences en cas d'incendie.

Elle définit les exigences par rapport à la réaction au feu des matériaux c'ad le comportement des matériaux comme combustibles.

La résistance au feu des éléments structurels précise la durée minimale durant laquelle les structures doivent rester apte à reprendre les charges et à garantir la stabilité.

La réaction au feu concerne les premières 15 minutes et n'est pas prise en compte pour la vérification des structures en bois. Par contre on classera les matériaux à employer selon leur propension à s'enflammer et à dégager des fumés et des gouttelettes enflammées.

La résistance au feu décrit la période durant laquelle la structure doit pouvoir reprendre des charges avant rupture. On vérifie la portance résiduelle à la fin de cette période.

1° critère de classement : types de bâtiments :

BE (bâtiments élancés $H > 25$ m)

BM (bâtiments moyens ($10 \text{ m} < H < 25$ m))

BB (bâtiments bas $H < 10$ m)



Dans l'arrêté royal on considère les bâtiments au travers de 3 types différents d'occupants.

- ▶ Les bâtiments à occupants non autonomes (hôpitaux, crèches, maison de repos,..)
- ▶ Les bâtiments à occupants autonomes et dormants (résidentiels).
- ▶ Les bâtiments à occupants autonomes et vigilants (bureaux, lieux de travail,..)

Classification des matériaux à la réaction au feu. **X / si / di**

X définit la combustibilité du matériau.

On les classe entre pas inflammable A1, A2 ; B , C , D , E , F à fort inflammable.

les produits à base de bois (BM, LC, CLT,..) sont de classe **D**.

les produits plâtres sont en classe A ou B selon les traitements

S i définit le dégagement de fumée (s = smoke)

- s1 faible dégagement de fumée
- s2 dégagement faible ou moyen (le bois)
- s3 fort dégagement de fumée

D i décrit la production de gouttelettes enflammées

- d0 pas de gouttelettes enflammées (le bois)
- d1 production faible ou moyenne de gouttelettes
- d2 forte production de gouttelettes enflammées



Euroclass	Exemple
A1, A2	Laine de roche, plaque de gypse
B	Plaque de gypse peinte
C	Plaque de gypse avec papier peint
D	Bois
E	PSE ignifugé (PS polystyrène expansé, extrudé,...)
F	Matériaux non testés, PSE

Tableau 2: Locaux

		Type 1			Type 2 et 3		
		BB	BM	BE	BB	BM	BE
Salles	Parois verticales	B s1 d2	B s1 d2	B s1 d2	C s2 d2	C s2 d2	C s2 d2
	Plafonds et faux-plafonds	B s1 d0	B s1 d0	B s1 d0	C s2 d0	C s2 d0	C s2 d0
	Sols	B _{FL} s1	B _{FL} s1	B _{FL} s1	C _{FL} s2	C _{FL} s2	C _{FL} s2
Tous les autres locaux	Parois verticales	C s2 d2	C s2 d2	C s2 d2	E d2	E d2	D s3 d2
	Plafonds et faux-plafonds	C s2 d1	C s2 d1	C s2 d1	E**	E**	D s3 d1**
	Sols	C _{FL} s1	C _{FL} s1	C _{FL} s1	E _{FL}	E _{FL}	D _{FL} s2

** d2 dans les locaux < 30 m²

(L'annexe 5/1 de l'arrêté royal 'normes de base)



La résistance au feu d'un bâtiment est régit par l'arrêté royal de 2012 qui définit les exigences des éléments structurels en fonction des types de bâtiments et des fonctions attendues.

Résistance au feu en fonction d'une durée exigée: 30' ; 60' ; 90' , 120'

- ▶ Un élément structurel doit pouvoir porter et rigidifier (reprendre des sollicitations et garantir l'équilibre global) durant la période imposée.
Cette caractéristique est définie par la lettre **R**.
- ▶ Un élément structurel doit être étanche à la propagation de l'incendie durant la période imposée (étanche et isolant au feu) Caractéristique **EI**.
- ▶ Enfin un élément structurel doit pouvoir porter, rigidifier et cloisonner (étanchéité et isolation thermique) – caractéristique **REI**

- ▶ L'EC5 partie 2 considère la vérification des structures à chaud càd à la fin de la durée d'incendie exigée.
- ▶ Les charges considérées sont réduites par rapport à celles du calcul à froid.
- ▶ La sollicitation considérée pour la vérification à chaud reprendra les charges permanentes multipliées par 1 ainsi que les charges variables multipliées par des facteurs < 1 (elles représentent indirectement l'intervention des pompiers et l'évacuation du bâtiment par ses occupants)



Résistance au feu en fonction d'une durée exigée: 30' ; 60' ; 90' , 120'

Selon le type de bâtiment et la fonction des locaux considérés, l'arrêté royal et les documents d'application régionaux définissent une résistance au feu minimale. Pour les locaux courants, on aura une **R = 30** minutes tandis que pour des locaux d'évacuation ou bien techniques (local de chauffage), on aura **R 60** ou plus. Egalement une étanchéité **E** et un niveau d'isolation thermique **I** sont exigés durant cette période (par exemple **REI 60**).

Comportement du bois au feu.

La température du bois confronté à un incendie va progressivement monter jusque 250° à 300° à laquelle le bois va s'enflammer.

Une couche de produit carbonisé va apparaître dont les caractéristiques mécaniques sont médiocres.

Soumis à un apport de chaleur constant, le front de carbonisation va se déplacer à vitesse régulière vers l'intérieur de la pièce de bois.

Cependant la couche carbonisée a un pouvoir isolant ce qui freine la pénétration de la chaleur extérieure (la température se réduit vers 100°C) et l'apport d'oxygène.

Donc contrairement à l'acier qui voit sa résistance s'effondrer avec une augmentation importante de température, le cœur du bois garde ses caractéristiques de résistance.



Dans la pratique,

L'architecte fixe

- ▶ les niveaux d'exigence R, REI par local ou zone du bâtiment,
- ▶ À partir des matériaux retenus, il fixe les exigences X,s,d minimales. (inflammabilité, fumée et gouttelettes enflammées)
- ▶ Il organise les accès et évacuations en fonction du type de bâtiment (BE, BM, BB) et du type d'occupants.

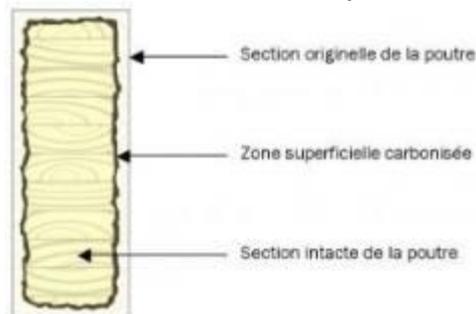
L'ingénieur en stabilité

- ▶ vérifie les éléments structurels et de cloisonnement en fonction des exigences fixées.
- ▶ (vérification à froid selon EC5-1 et à chaud selon EC5-2)
- ▶ Vérifie l'étanchéité des raccords prévus dans les éléments structurels.
- ▶ Vérifie la REI des assemblages.
- ▶ En accord avec l'architecte, il consulte le responsable local du service incendie.



Vérification à chaud d'une structure bois selon l'EC5 (portance et stabilité)

- ▶ Deux approches...
- ▶ Soit on isole les structures porteuses (même approche pour l'acier)
 - On arrête la propagation en emballant la structure ou le compartiment par des parois étanches au feu (matériaux de type A1 , A2,.. panneaux plâtre).
 - Les couches de protection doivent vérifier la résistance au feu demandée.
- ▶ Soit on considère la section résiduelle à la fin de la période exigée
 - Pour le calcul selon la section résiduelle, on considère une combinaison des sollicitations propre à la vérification à chaud. $E_{d,f} = 1 \times G_k + 0,5 \times Q_k + ..$
 - On réduit la section résistante de la couche carbonisée.
 - On vérifie que la section réduite reprend la sollicitation définie si avant (compression, flexion,..) en considérant une sécurité réduite propre à une situation accidentelle (coefficient de sécurité = 1).



Section d'une poutre en Bois Lamellé soumise au feu

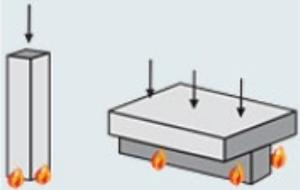
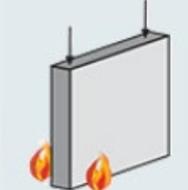
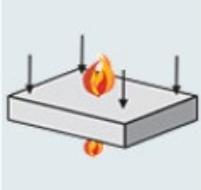
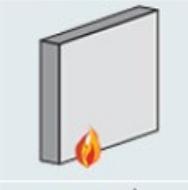
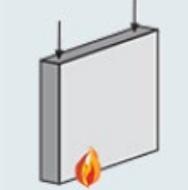
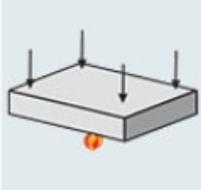
- Pour une section de bois massif (résineux) exposée au feu, on considère une avancée du front de carbonisation de 0,8mm / minute de feu + 7mm

Ces valeurs varient selon le matériau bois considéré.



Vérification des critères d'étanchéité et d'isolation.

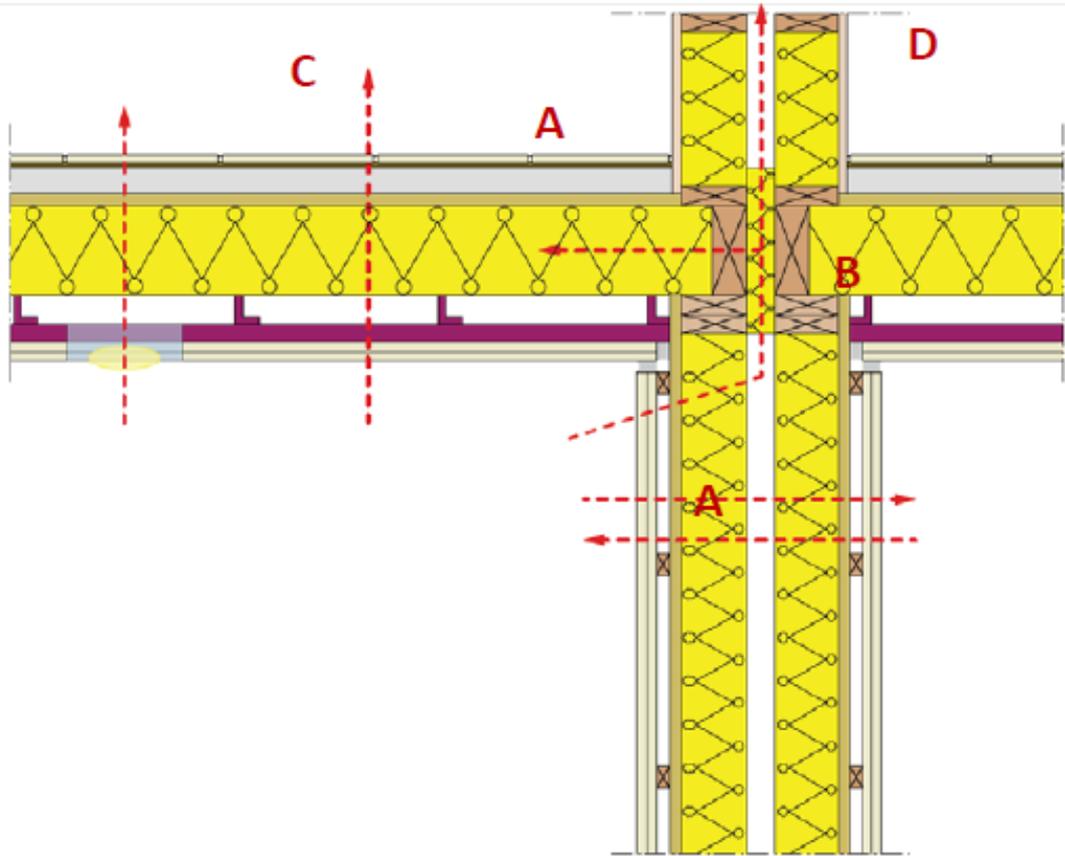
- ▶ Si on considère un élément structural comme une paroi, un plancher ou plafond qui sert également de compartimentage, il faut vérifier que le feu ne puisse pas se propager du côté exposé à la face opposée par l'existence de joints ou autres raccords.
- ▶ Egalement il faut que la paroi considérée comme limite d'un compartiment garantisse la limitation du niveau de température par un isolant thermique inerte au feu (laine minérale).
- ▶ Pour cela un soin particulier devra être apporté aux différents raccords.

Fonction	Poutres et colonnes	Parois verticales	Planchers
Elément porteur non séparant : critère R			
Elément non porteur, mais séparant : critère EI			
Elément porteur et séparant : critère REI			



ETANCHÉITÉ ET ISOLATION AU FEU

Figure 11. Schéma de principe des différents chemins possibles pour la propagation de l'incendie *, non applicable aux maisons unifamiliales



* A. Résistance au feu des éléments à fonction séparante ; B. Assemblage ; C. Traversées et affaiblissement; D. Propagation via les vides.



ETANCHÉITÉ ET ISOLATION AU FEU

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

t_{ins} est le temps nécessaire pour atteindre la température limite sur la face non exposée,
t_{req} est la résistance au feu exigée pour la paroi en minutes.

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} k_{pos} k_j$$

où :

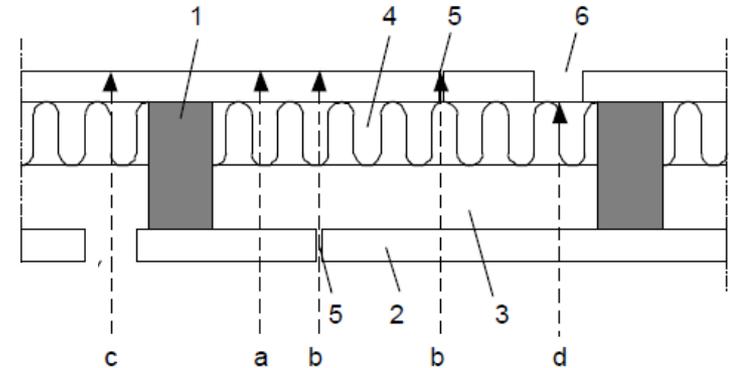
t_{ins,0,i} est la valeur d'isolation de base de la couche "i" en minutes,

k_{pos} est un coefficient de position, voir E2.3;

k_j est un coefficient d'assemblage, voir E2.4.

Tableau E1 — Chemin de transfert de chaleur à travers la couche devant être pris en compte

	Elévation de température sur la face non exposée	Chemin de transfert de chaleur conformément à la figure E1
	K	
Construction générale	140	a
Liaisons	180	b
Services	180	c, d



Clé :

- 1 Elément d'ossature bois
- 2 Panneau
- 3 Cavité de vide
- 4 Isolation de la cavité
- 5 Liaison de panneau non recouverte par une volige, un montant ou une solive
- 6 Position des services
- a – d Chemins de transfert de chaleur

Figure E1 — Illustration des chemins de transfert de chaleur à travers une construction séparative



ETANCHÉITÉ ET ISOLATION AU FEU

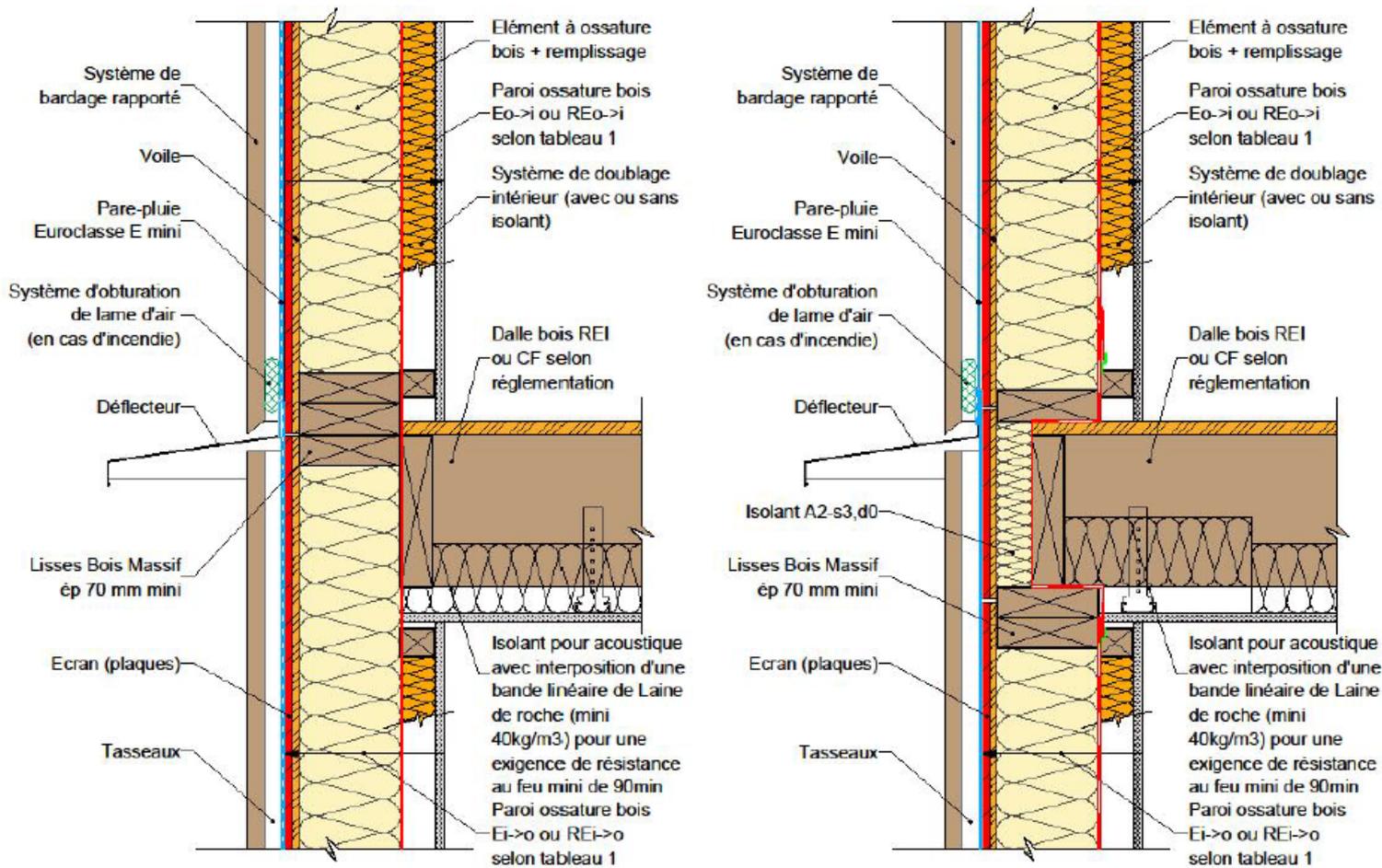


Figure 14 : Façade/mur ossature bois & plancher en ossature bois.





- ▶ Le bois et les produits en bois ont un comportement lié à la constitution du matériau.
- ▶ Les structures doivent reprendre les sollicitations mais aussi permettre leur utilisation.
- ▶ Les structures et leur assemblage suivent les mêmes règles de conception.
- ▶ Les structures bois sont le résultat d'assemblage d'éléments standardisés.
- ▶ La résistance au feu, la durabilité par rapport à des environnements humides, la raideur des structures et de leur assemblages, la facilité de montage,
sont fonctions d'une bonne conception faite en tenant compte de la nature du matériau et de son environnement.



Francis DE VOS

Enseignant émérite de Loci – Bruxelles (technologie du béton et du bois)

Formation bois – module structure à LLN

BE De Vos – Eupen

 0479-599119

 francisdevos@skynet.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

