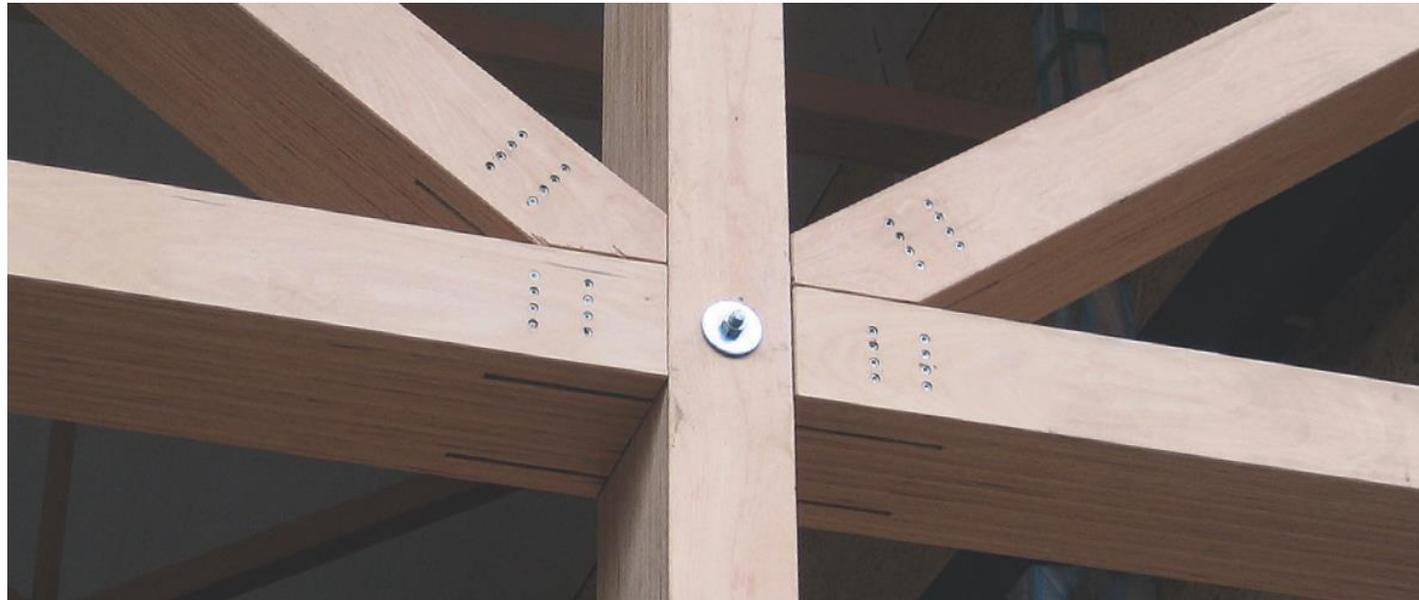


ÉCOLE
NATIONALE
SUPÉRIEURE
D'ARCHITECTURE
DE
PARIS LA VILLETTE

CYCLE MASTER S7/S8 – CT SCULPTURE TECTONIQUE



ST1-C6 LES ASSEMBLAGES DES OSSATURES BOIS

Comprendre et bien concevoir les assemblages des ossatures en bois

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

Une ossature en bois est souvent dimensionnée par ses assemblages !

Pourquoi ?

Pour le comprendre, apprenons-en plus sur la physique du bois

Sources : les éléments de ce cours proviennent des trois sources ci-dessous.

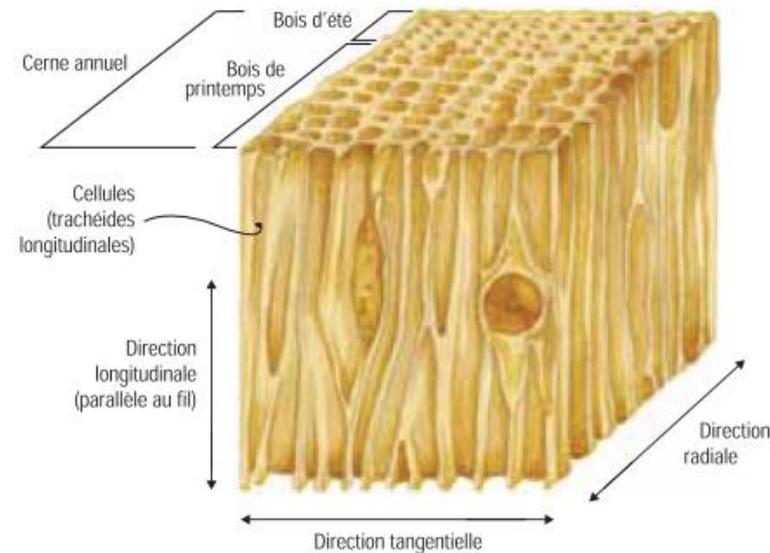
- Guide de conception des assemblages pour les charpentes en bois, *Cecobois*
- Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie, *Cecobois*
- *NF EN 1995-1-2 (septembre 2005) : Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-2 : Généralités - Calcul des structures au feu (Indice de classement : P21-712-1) - Section 6*

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Structure anatomique

Le bois est formé d'un **ensemble de cellules principalement orientées dans le sens longitudinal** du matériau. Sa structure interne pourrait être comparée à une **multitude de petits tubes collés** les uns aux autres.



Sa structure anatomique confère au bois d'intéressantes propriétés mécaniques. L'hygroscopicité du bois le rend **toutefois sensible à l'eau**.

1. Cours 50'

- Physique du bois
- Types d'assemblages
- Protection au feu

2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Anisotropie

Du fait de cette structure interne, **les propriétés mécaniques du bois varient selon la direction d'application de la charge par rapport à son fil**. Cette **anisotropie** la cause principale de modes de rupture qui diffèrent selon le type de chargement et leur orientation.

Pour bien résister aux principaux efforts au cours de sa croissance dans l'arbre (poids propre et vent), le bois est formé d'un ensemble de cellules orientées dans le sens longitudinal.



FIGURE 5 • Efforts exercés parallèlement à l'axe de l'arbre

1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Anisotropie

Du fait de cet alignement des fibres, la résistance parallèle au fil (compression et traction), est considérablement supérieure à la résistance perpendiculaire au fil.

Les efforts en compression sont préférables aux efforts en traction

	Compression parallèle au fil	Compression perpendiculaire au fil	Traction parallèle au fil	Traction perpendiculaire au fil
Comportement				
	BON : Enfoncement des fibres (rupture ductile)	MAUVAIS : Écrasement des fibres et cisaillement (rupture fragile)	MOYEN : Étirement des fibres puis arrachement des fibres les unes aux autres (rupture fragile par fendage)	MAUVAIS : Arrachement des fibres (rupture fragile)
Exemple d'un Bois Lamellé-Collé GL28h	$f_y = 26,50 \text{ MPa}$	$f_y = 3,00 \text{ MPa}$	$f_y = 19,50 \text{ MPa}$	$f_y = 0,45 \text{ MPa}$

1. Cours 50'

- a. Physique du bois
- b. Types d'assemblages
- c. Protection au feu

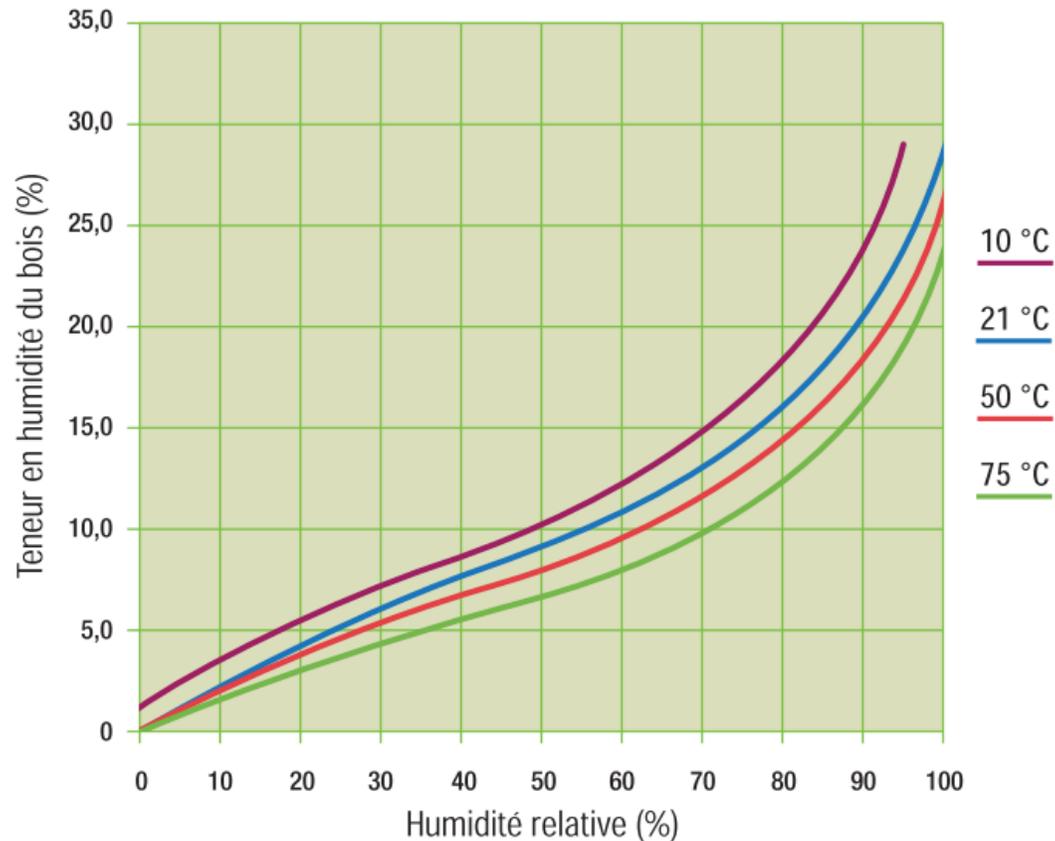
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Hygroscopicité, retrait et gonflement

le bois est un matériau très sensible à l'eau. Sa **teneur en humidité** (TH en %) varie avec l'humidité relative de l'air et la température :



1. Cours 50'

- Physique du bois
- Types d'assemblages
- Protection au feu

2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Hygroscopicité, retrait et gonflement

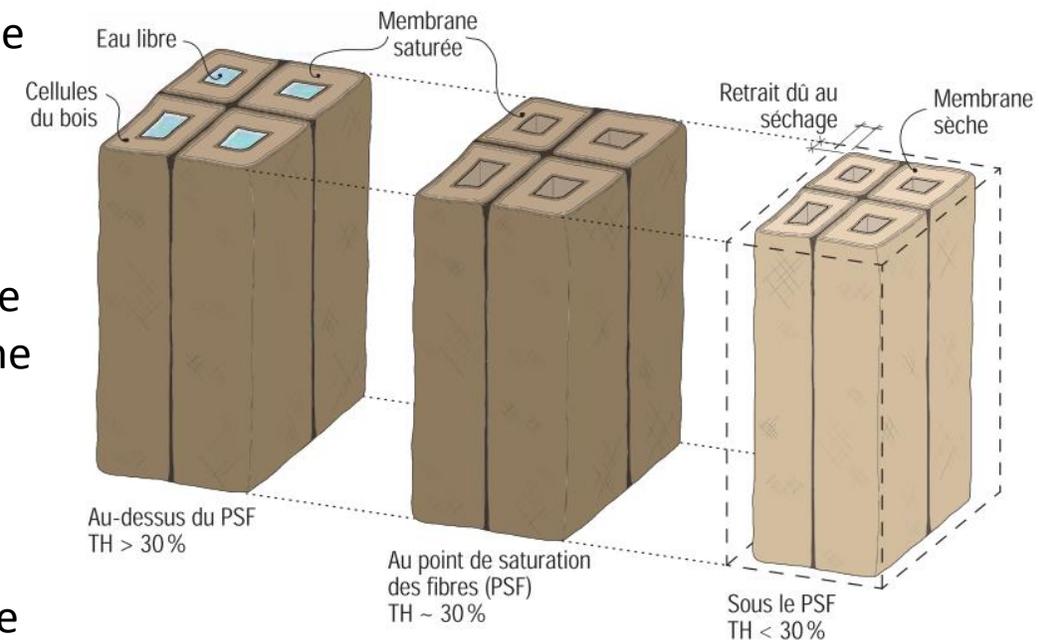
Le matériau bois peut contenir de l'eau sous deux formes :

- l'eau libre dans les vides à l'intérieur des cellules,
- l'eau absorbée par les parois cellulaires.

Le **point de saturation des fibres (PSF)** est la teneur en humidité limite pour laquelle il n'y a plus d'eau libre dans les vides et l'eau absorbée dans les membranes est maximale.

Il se situe à TH = 30 % environ.

- **Entre TH = 0% et TH = 30% (PSF)** : l'eau est absorbée par les membranes. Le bois gonfle quand il absorbe l'eau et diminue de volume quand il sèche (retrait).
- **Au-dessus de TH = 30% (PSF)** : les membranes sont saturées, les cellules se remplissent d'eau libre sans changement de dimension pour le bois.

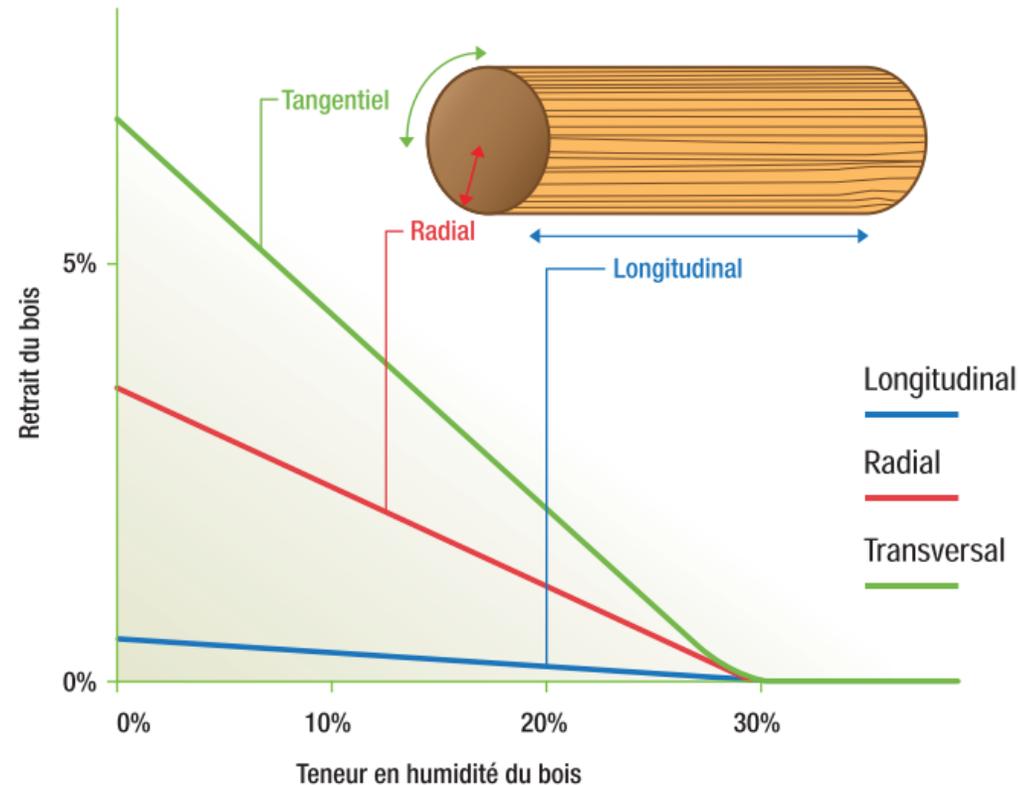


ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Hygroscopicité, retrait et gonflement

Le retrait longitudinal est pratiquement négligeable alors que le **retrait perpendiculaire** (radial et tangentiel) **est beaucoup plus important** :



ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Hygroscopicité, retrait et gonflement

Pour minimiser l'effet du retrait sur la structure, il faut que les matériaux aient une **teneur en humidité lors du chantier la plus près possible de celle prévue en service** (entre 8% et 12%).

- Les gros bois d'œuvre sont cependant rarement secs au cours de la pose (TH de 13% à 19%),
- Inversement, les BLC sont séchés à des TH de 4% à 12 % afin d'assurer un collage adéquat des différents éléments, leur utilisation réduit donc considérablement le retrait total.

Éviter de les mélanger dans un même système constructif (risque de retrait différentiel).

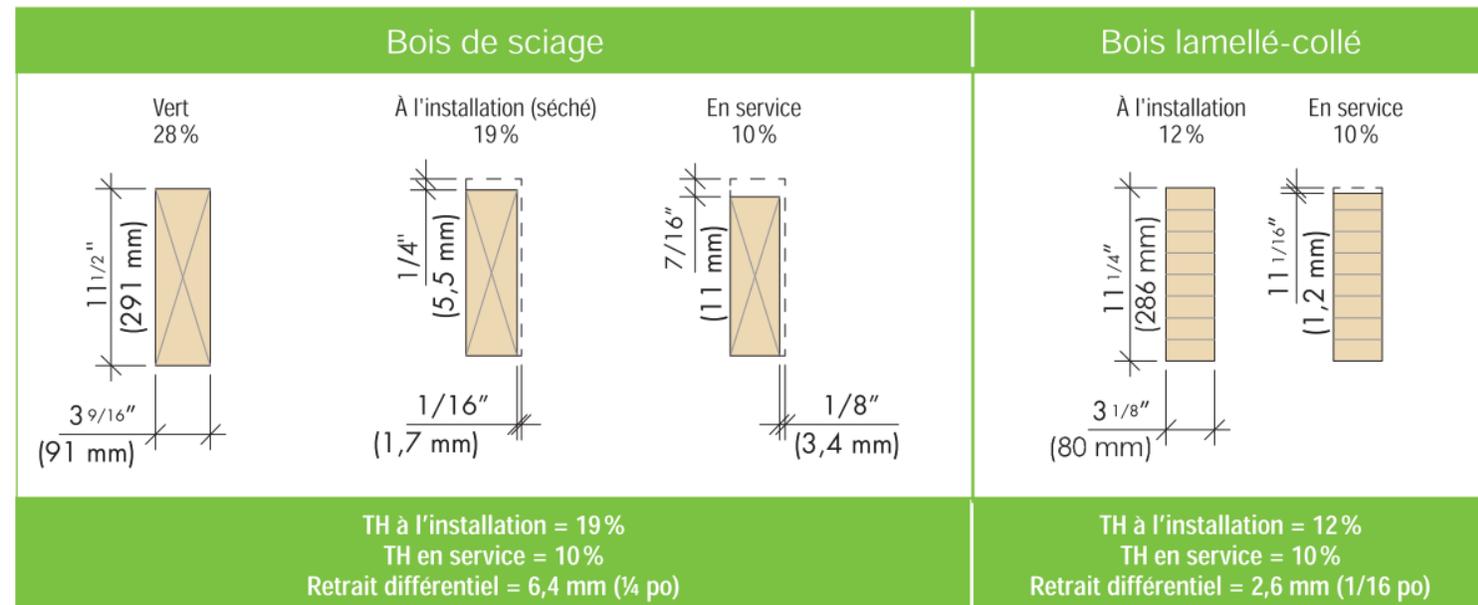


FIGURE 19 • Retrait des éléments en bois dû au séchage

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

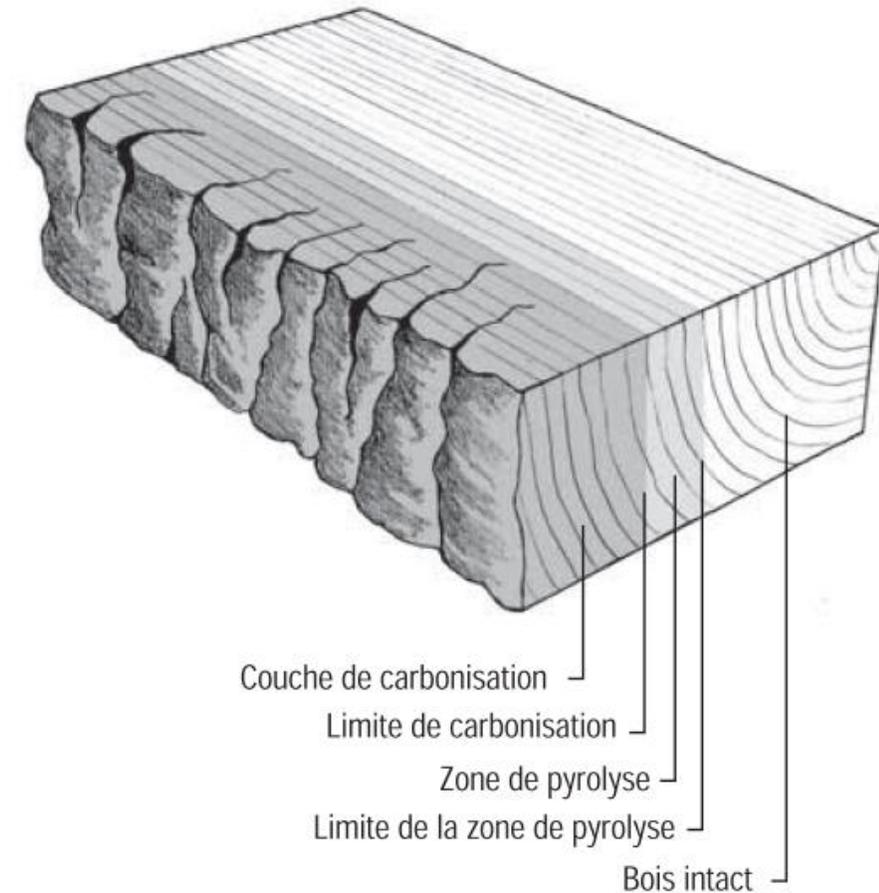
1.a. Physique du bois

Comportement au feu

Les charpentes en bois offrent une **bonne résistance au feu**. Bien que le bois soit un matériau combustible, l'apparition et la propagation d'un incendie est souvent dû au contenu du bâtiment plutôt qu'aux matériaux de structure.

Le bois ne perd en effet que de 10 à 15 % de sa résistance sous les températures extrêmes d'un incendie, mais l'acier en perd 90% !

De plus, au moment d'un incendie, une **couche de carbonisation** se forme autour des larges éléments de bois et protège le matériau central de la chaleur des flammes. Ce phénomène réduit la **vitesse de carbonisation à environ 0,65 mm/min** (après 45 minutes de combustion, une pièce de bois n'aura donc brûlé que d'environ 29 mm).



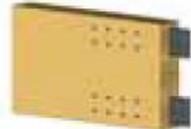
ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.a. Physique du bois

Une ossature en bois est souvent dimensionnée par ses assemblages !

Pourquoi ?

- Parce que le retrait du bois provoque des tractions dans les assemblages (risque de **rupture fragile**) → nécessité d'une multiplication des éléments de visseries.
- Parce que les bons assemblages fonctionnent en compression (**comportement ductile**), mais dans le sens transversal (résistance 10 fois inférieure à la compression longitudinale) → **la section de contact à l'assemblage doit donc être d'autant plus élevée.**
- **Parce que le métal perd ses propriétés mécaniques en cas d'incendie** : les faut donc protéger les assemblages contre le feu, ce qui peut conduire à des surépaisseurs.

TYPE D'EFFORT GÉOMÉTRIE	Compression	Traction	Cisaillement	Flexion
				

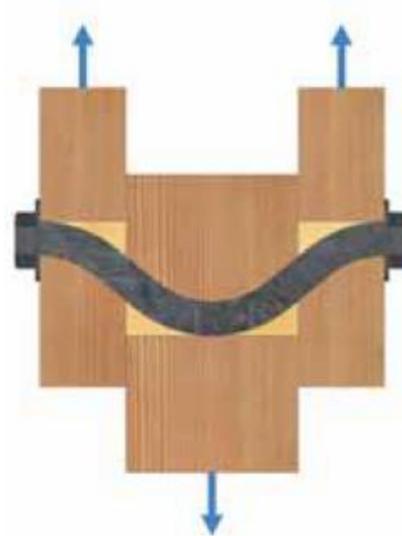
ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 1 : Les assemblages mécaniques - 1A : Boulons et Broches

Les **boulons** et les **goujons** sont des tiges d'acier qui servent à assembler plusieurs éléments en les traversant sur **toute leur largeur**.

Boulons



- **Sérés par des écrous**
→ Donc fonctionnement en barre encastrée : déformation plus faible
- Des **rondelles** répartissent l'effort de serrage sur le bois (compression perpendiculaire au fil)
- **Diamètre du trou = diamètre du boulon + 1mm**
→ Donc assemblage à jeu

Broches (ou Goujons)



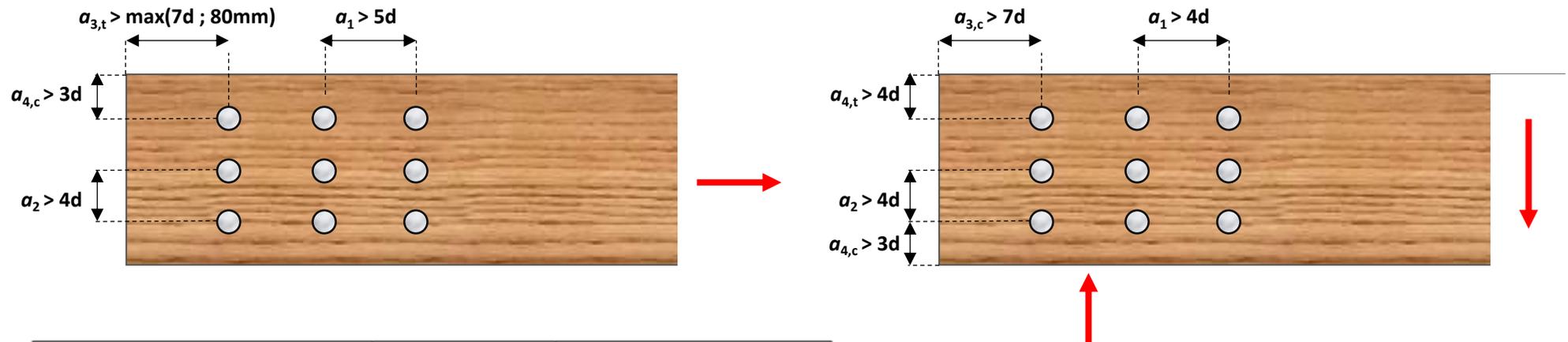
- **Sans écrous**
→ Donc fonctionnement en barre articulée : déformation plus importante
- **Diamètre du trou = diamètre du boulon**
→ Donc assemblage sans jeu

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 1 : Les assemblages mécaniques - 1A : Boulons et Broches

Distances minimales (selon EC5-1 - §8.5.1.1 Tab.8.4 et Fig.8.7)



Espacement et distance (voir Figure 8.7)	Angle	Distance minimum
a_1 (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d ; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max [(2 + 2 \sin \alpha) d ; 3d]$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

- a_1 : espacement des tiges dans le sens parallèle au fil
- a_2 : espacement des tiges dans le sens perpendiculaire au fil
- $a_{3,c}$: distance entre une tige et une extrémité non chargée
- $a_{3,t}$: distance entre une tige et une extrémité chargée
- $a_{4,c}$: distance entre une tige et une rive non chargée
- $a_{4,t}$: distance entre une tige et une rive chargée
- α : angle entre la charge et la direction du fil

1. Cours 50'

- Physique du bois
- Types d'assemblages
- Protection au feu

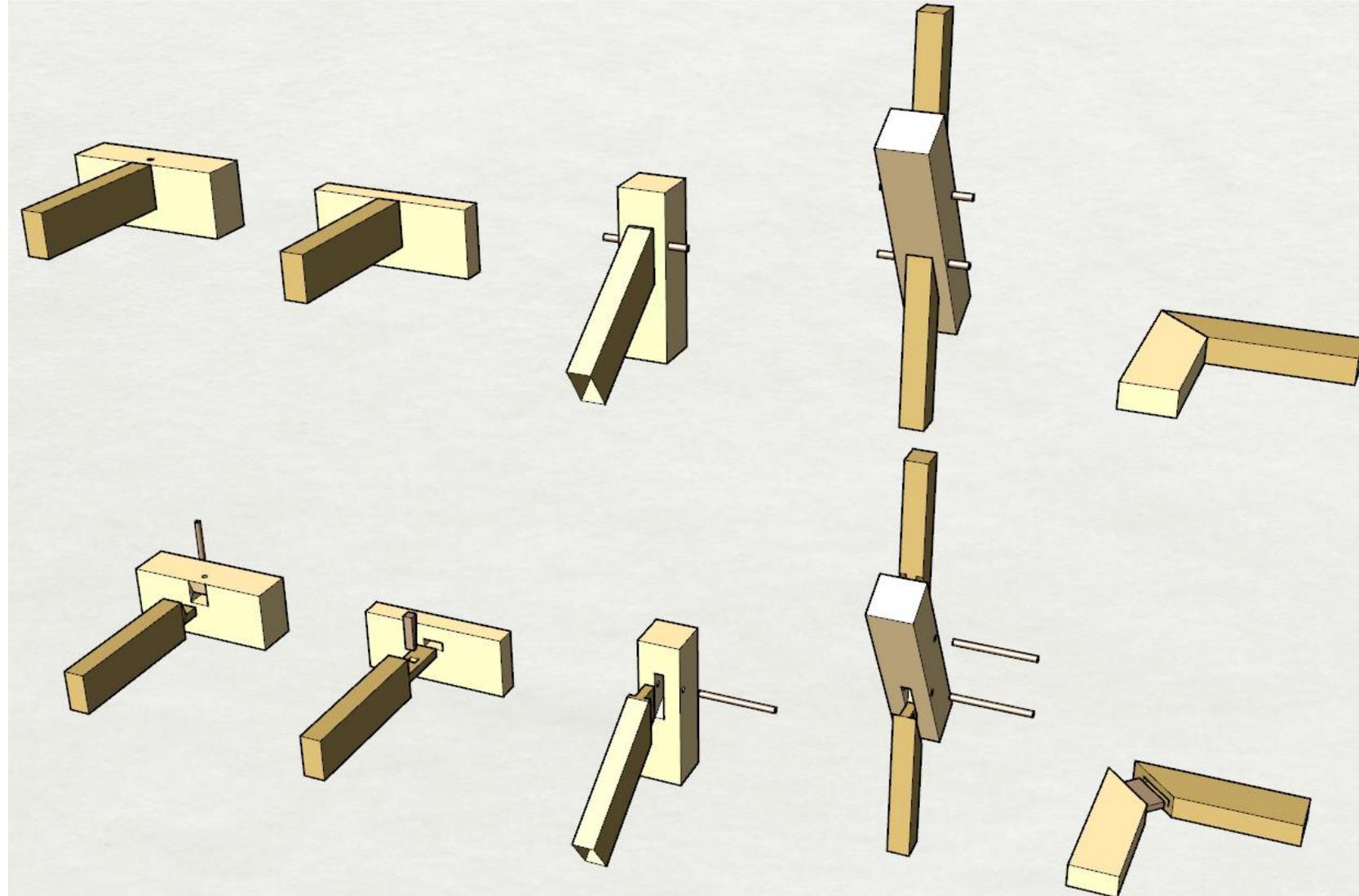
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 2 : Les assemblages de charpentes traditionnelles

*Ces assemblages
seront présentés
par Guillaume
Bonin lors de son
intervention (ST-C7)*



*Type 2-a :
Les tenons mortaises*

1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu

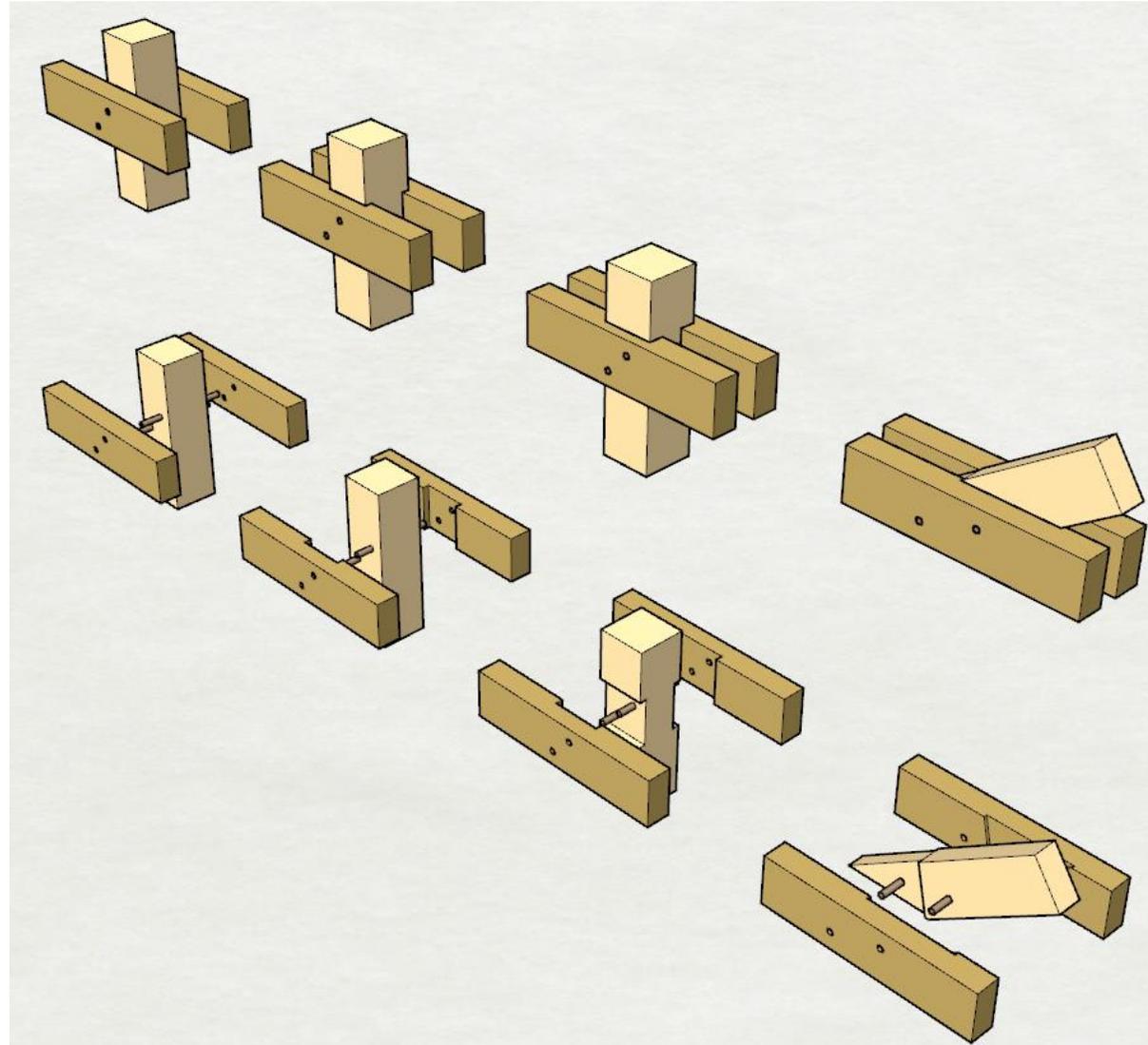
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 2 : Les assemblages de charpentes traditionnelles

*Ces assemblages
seront présentés
par Guillaume
Bonin lors de son
intervention (ST-C7)*



*Type 2-B :
Les moisements*

1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

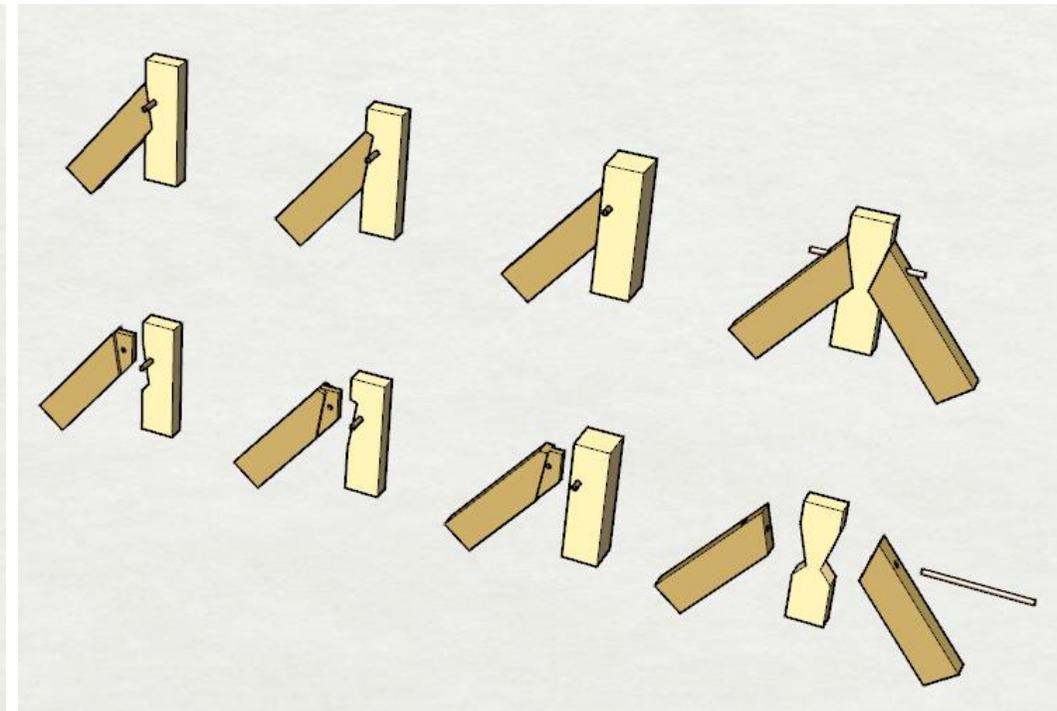
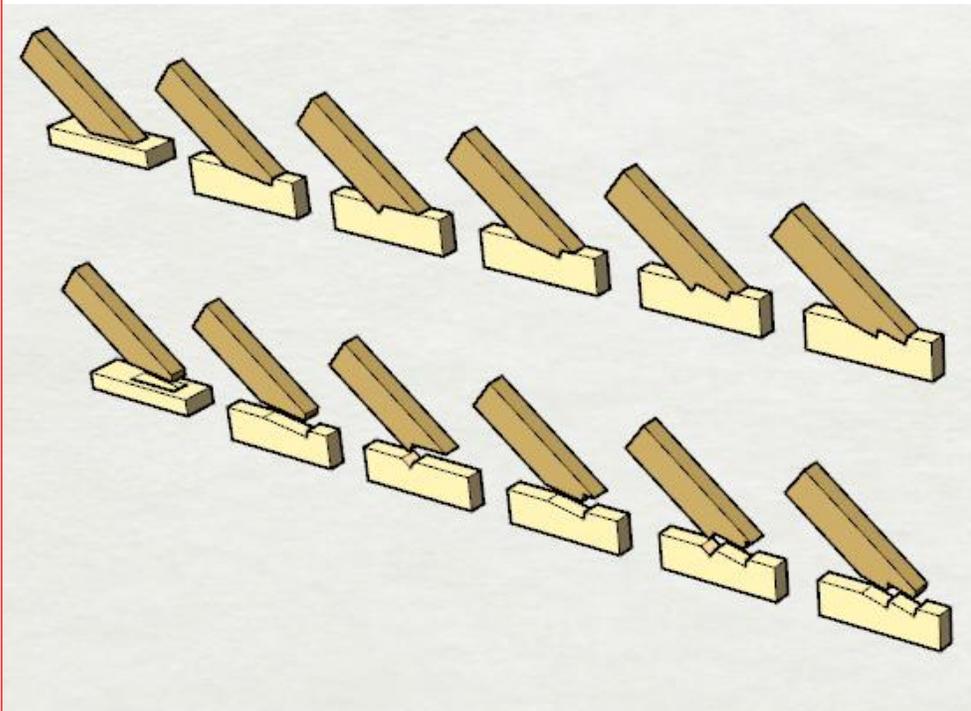
ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 2 : Les assemblages de charpentes traditionnelles

Ces assemblages seront présentés par Guillaume Bonin lors de son intervention (ST-C7)

Type 2-C :
Les embrèvements



1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

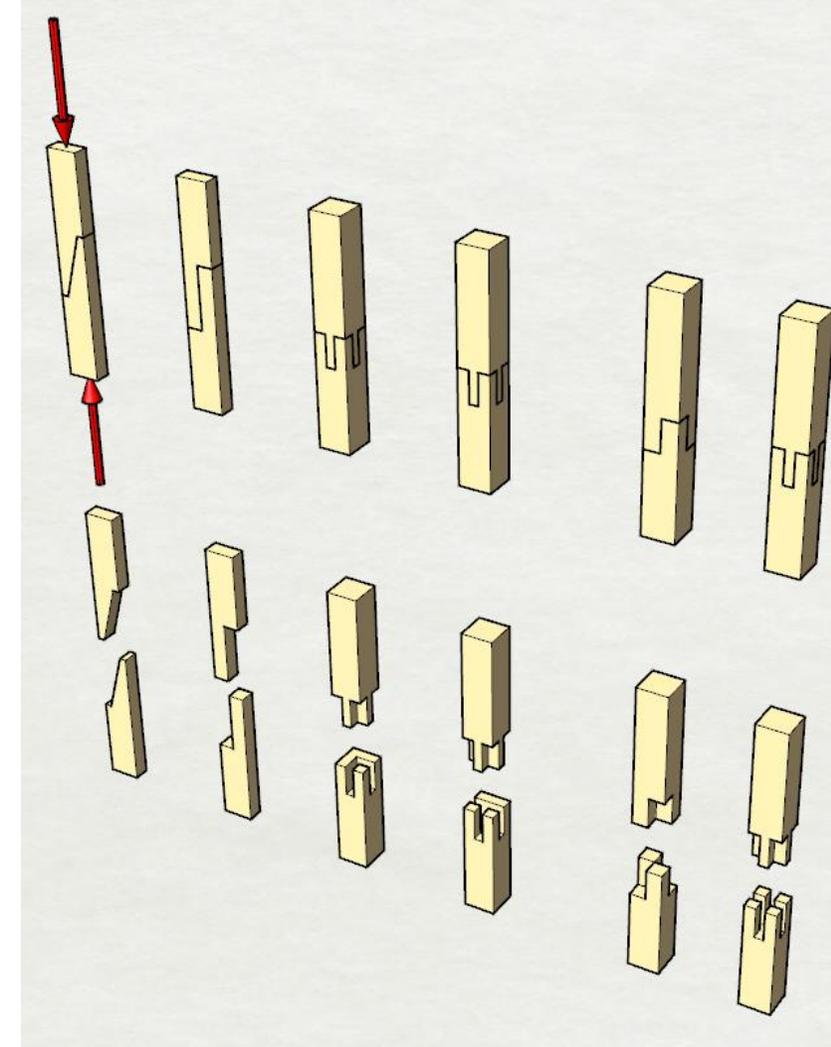
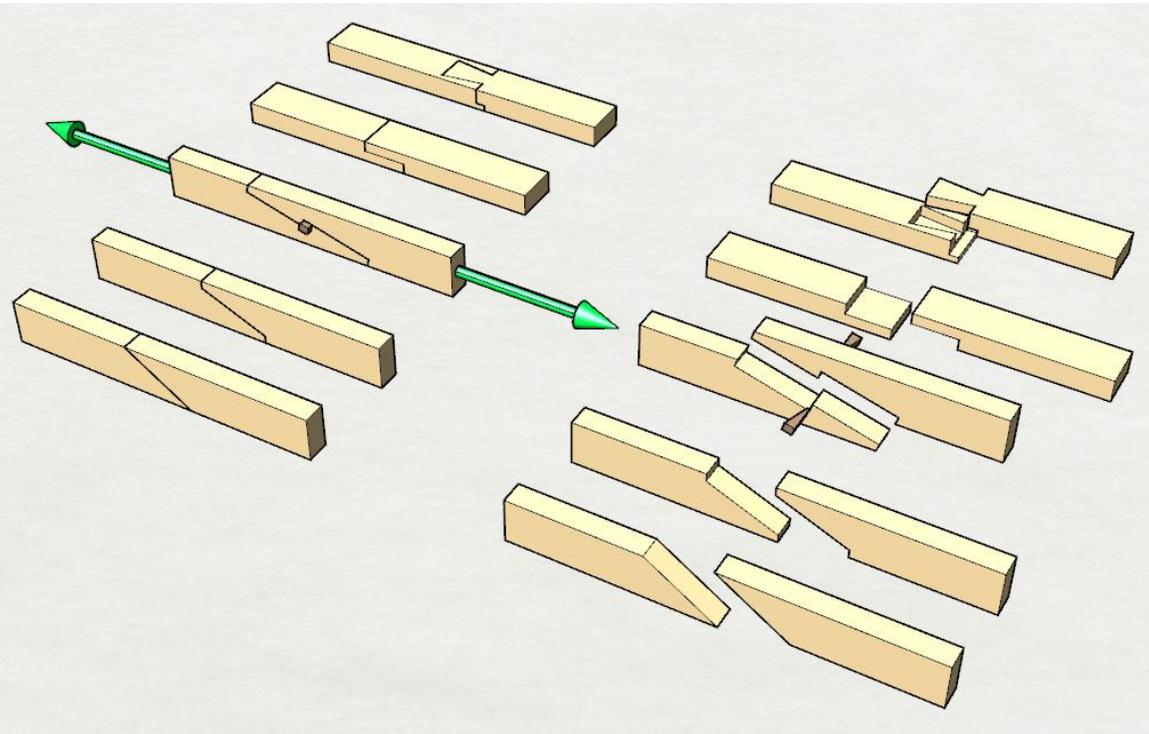
1.b. Types d'assemblages

Type 2 : Les assemblages de charpentes traditionnelles

Ces assemblages seront présentés par Guillaume Bonin lors de son intervention (ST-C7)

1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

Type 2-D :
Les entures



ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

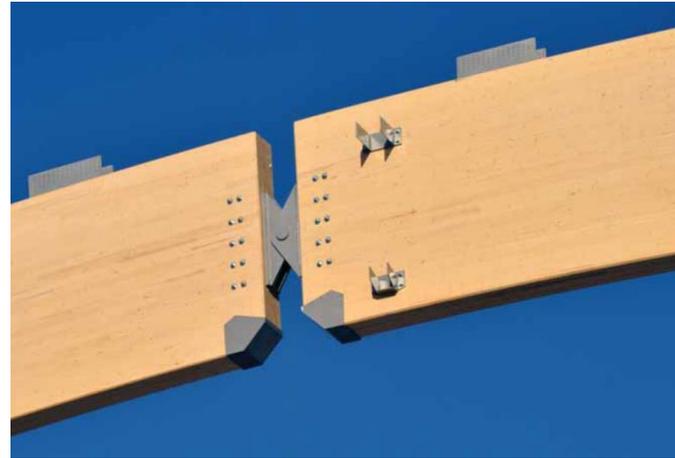
1.b. Types d'assemblages

Type 3 : Les assemblages par plaques

Nous pouvons lister deux types d'assemblages par plaques : les assemblages de transfert des charges et ceux d'assise.



Plaques de transfert



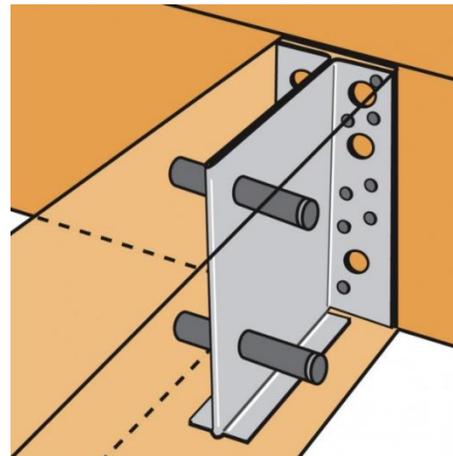
Plaques de transfert interne



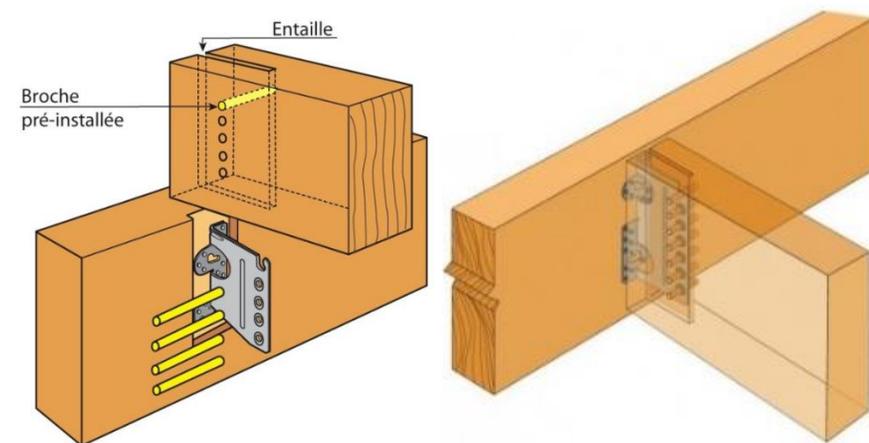
Plaques de d'assise



Étrier externes



Étrier internes



ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

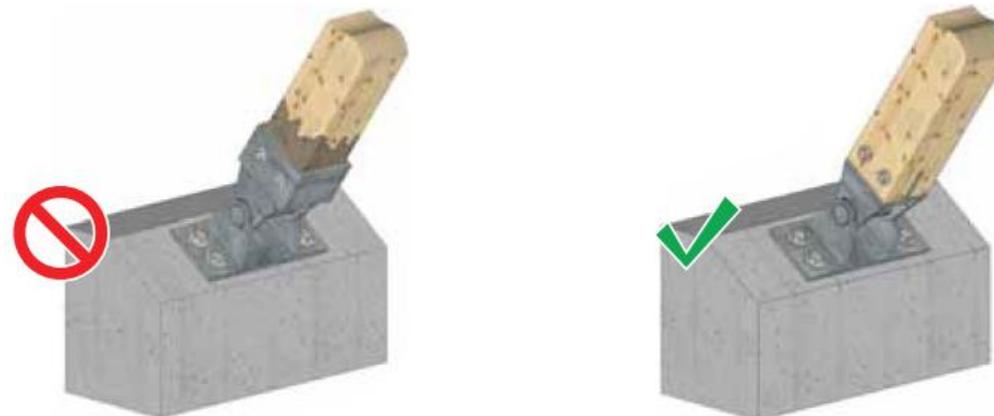
Type 3 : Les assemblages par plaques

Pour la bonne conception :

- Dimensionnement à l'Eurocode - Partie 1-1 – Paragraphe 8.8
- Pour soutenir une poutre, utiliser un étrier et positionner les boulons pour reprendre la charge en compression plutôt que des cornières latérales et une file de boulons qui risquent d'entraver le mouvement du bois perpendiculairement au fil.



- Prévoir un assemblage qui facilite l'écoulement de l'eau et le séchage du bois (les plaques internes sont des atouts pour cela)



1. Cours 50'

- Physique du bois
- Types d'assemblages
- Protection au feu

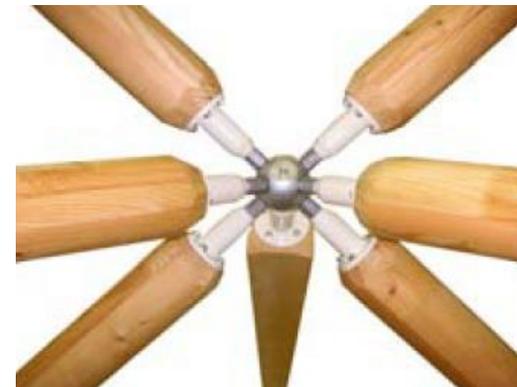
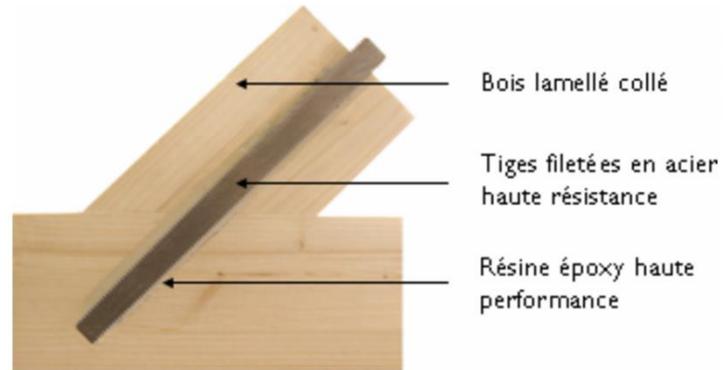
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.b. Types d'assemblages

Type 4 : Les assemblages par goujons

Goujons collés (ex. RESIX de SIMONIN)



Goujons mécaniques (ex. Système BERTSCHE)



1. Cours 50'
 - a. Physique du bois
 - b. Types d'assemblages
 - c. Protection au feu
2. Discussion 10'

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.c. Protection au feu

Nécessité de la protection au des assemblages

Au-delà des exigences sur les éléments en bois de la charpente elle-même, **le concepteur doit également s'assurer que les assemblages résisteront aussi à la chaleur produite en cas d'incendie.**

Bien que le matériau bois conserve sa capacité structurale en cas d'incendie, **les propriétés mécaniques des pièces métalliques composant les assemblages peuvent être considérablement réduites sous l'effet des hautes températures générées durant un incendie.**

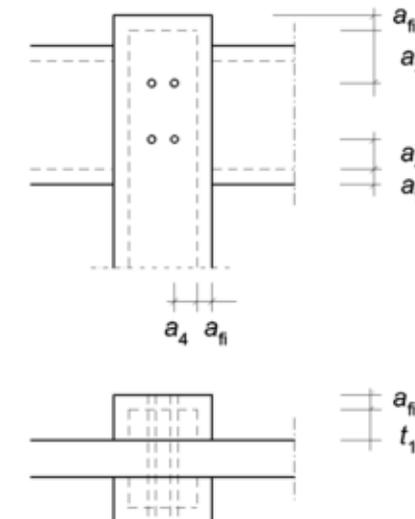
Assemblages non protégés

Selon Eurocode 5 - Partie 1-2 :

	Temps de résistance au feu $t_{fi,d}$ min	Préconisations ^{a)}
Pointes	15	$d \geq 2,8$ mm
Tirefonds	15	$d \geq 3,5$ mm
Boulons	15	$t_1 \geq 45$ mm
Broches	20	$t_1 \geq 45$ mm
Assembleurs conformément à EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm

a) d est le diamètre de l'organe d'assemblage et t_1 est l'épaisseur de l'élément latéral

Il est possible d'augmenter cette résistance, dans un maximum de 30 minutes, en augmentant l'épaisseur des éléments, la largeur des éléments latéraux, la distance de bout et de rive vis à vis des organes d'assemblage.

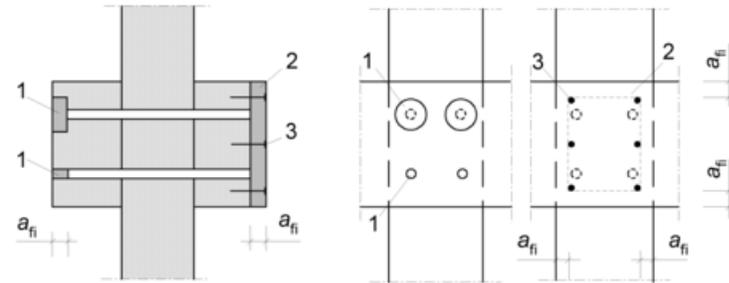


ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1.c. Protection au feu

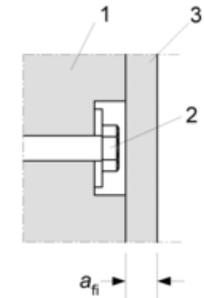
Méthodes de protection des assemblages

Assemblages protégés par bouchon de bois ou plaques de bois ou de plâtre



Clé :

- 1 Bouchons collés
- 2 Protection additionnelle utilisant des panneaux
- 3 Organe d'assemblage pour la fixation des panneaux conférant la protection additionnelle

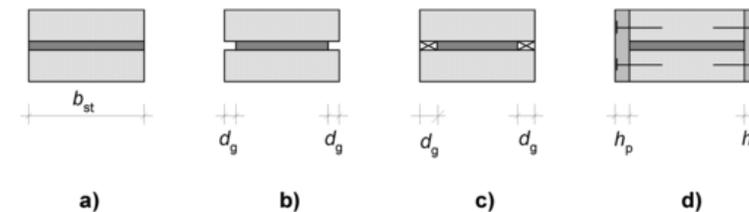


Clé :

- 1 Élément
- 2 Tête du boulon
- 3 Élément conférant la protection

Épaisseur plaque métallique		DRF
a) Plaque dissimulée dans interstice	$d_g \geq 20 \text{ mm}$	30 min
	$d_g \geq 60 \text{ mm}$	60 min
b) Bande collée	$d_g \geq 10 \text{ mm}$	30 min
	$d_g \geq 30 \text{ mm}$	60 min
c) Panneaux de protection en bois	$h_p \geq 10 \text{ mm}$	30 min
	$h_p \geq 30 \text{ mm}$	60 min

Assemblages protégés par plaques insérées



ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

2. DISCUSSION

1. Cours 50'

- a. Physique du bois**
- b. Types d'assemblages**
- c. Protection au feu**

2. Discussion 10'

Des remarques ? Des questions ?



LES ASSEMBLAGES BOIS

ST1-C6 LES ASSEMBLAGES BOIS

1. Cours 50'
a. Physique du bois
b. Types d'assemblages
Protection au feu
- A LA SEMAINE PROCHAINE !**
2. Discussion 10'

Pavillon Hermès

Toyo Ito
Baselworld
2013

