

Systemes constructifs

Natterer Johannes

Ing. dipl. EPFL

Systeme constructif

- Stud – roundtimber stud
- Half-timbered – (Construction en colombage)
- Timber-frame
- Post and beam
- Solid panel

Stud – roundtimber stud

- The prinzip
 - Stacking peace of wood
- Stud
 - Squared timber
- Roundtimber stud – log house
 - Round timber

The chalet



Timberhouse.ca

Log house



<http://www.lacompagniedesfustes.com>

Yelomart.fr

Halftimber

- Halftimber
 - Building a squelette
 - Filling with torschi and clay

Half-timber



Half-timber

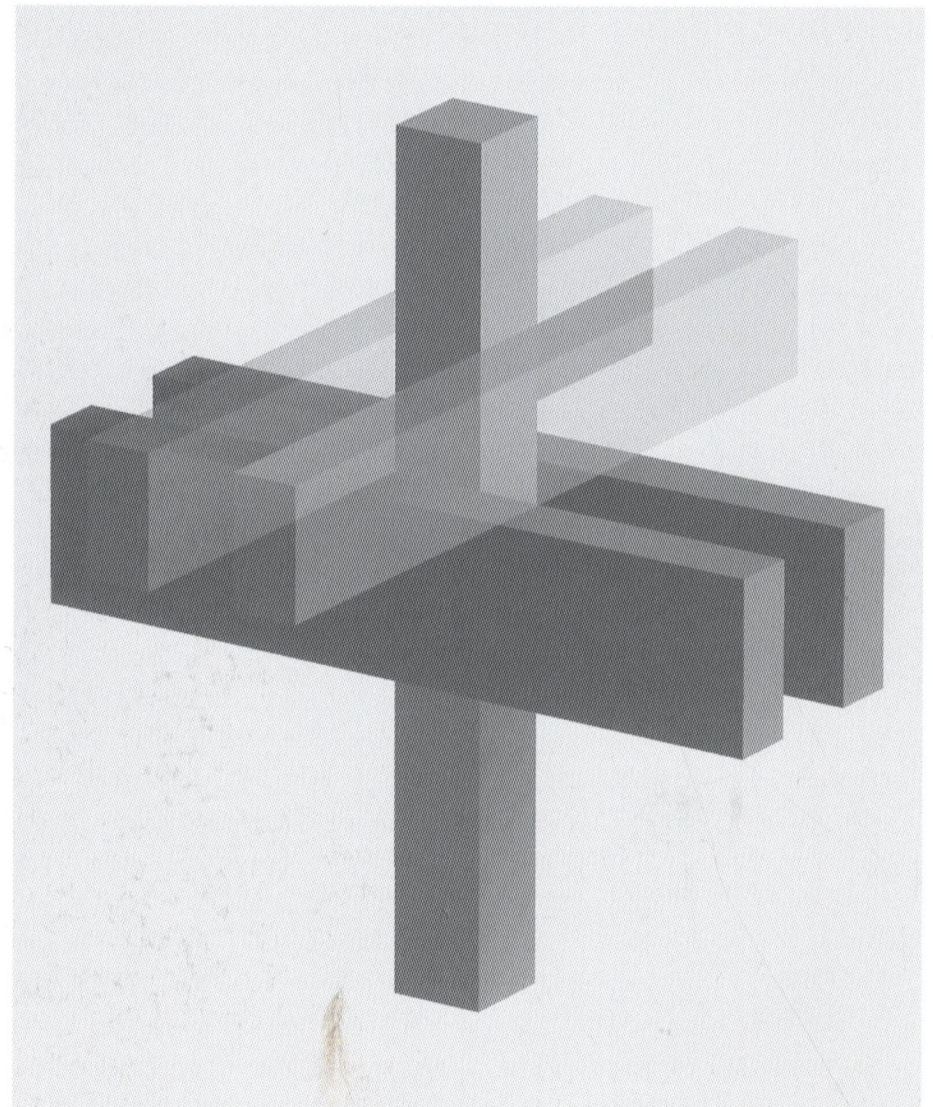


Stud and beam

Stud and beam

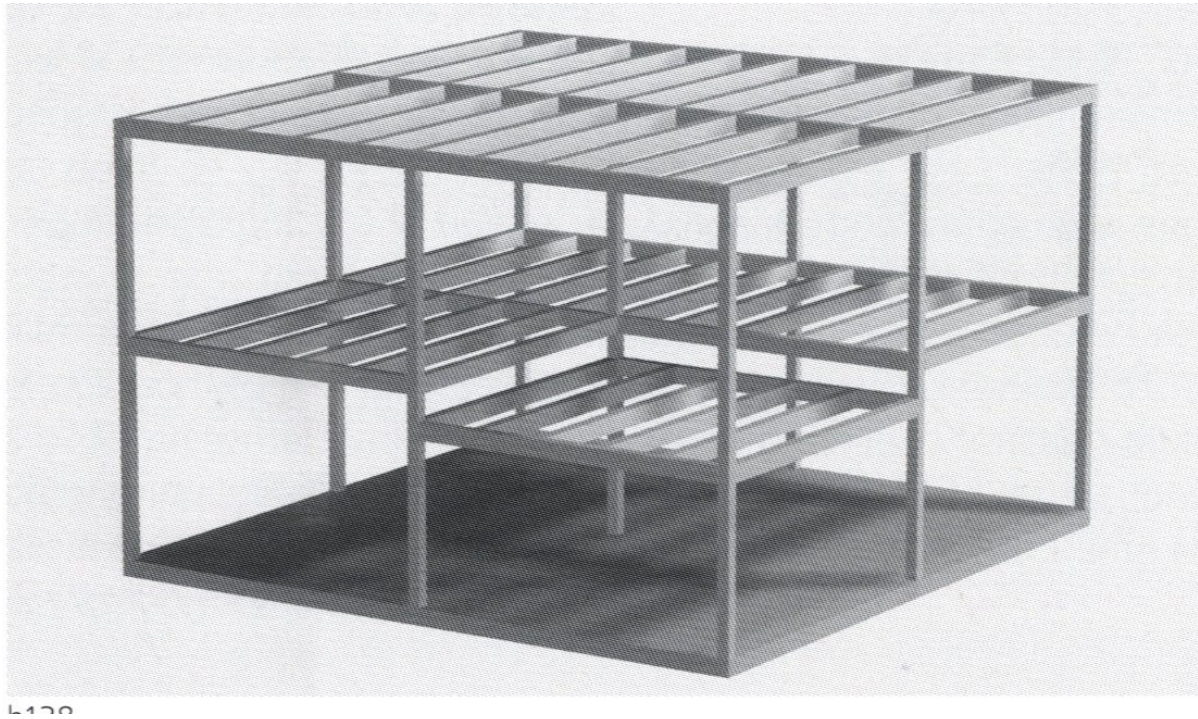


b145



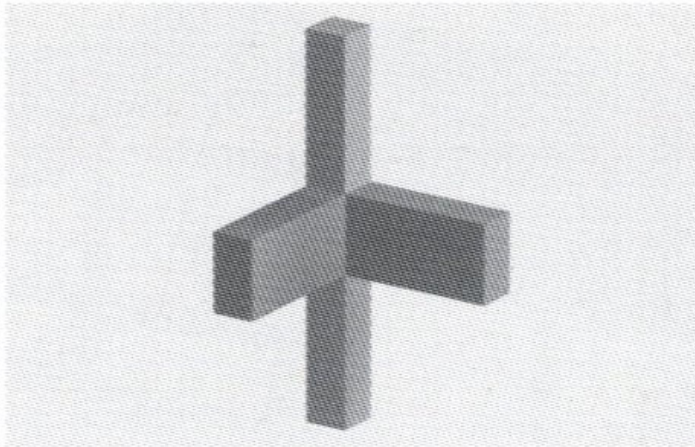
b146

Stud and beam

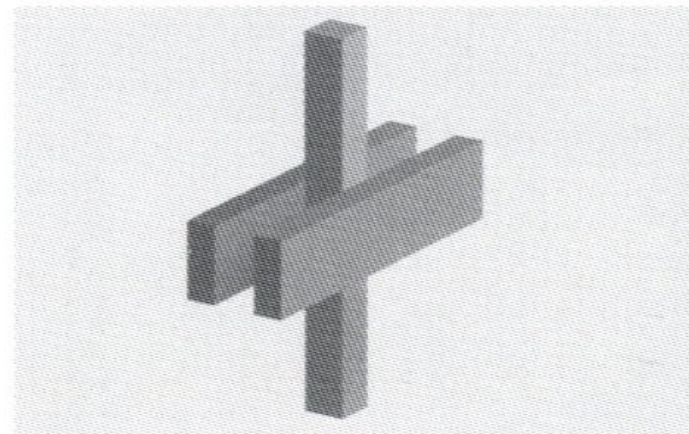


Bois système constructifs / Joseph Kolb / PPUR

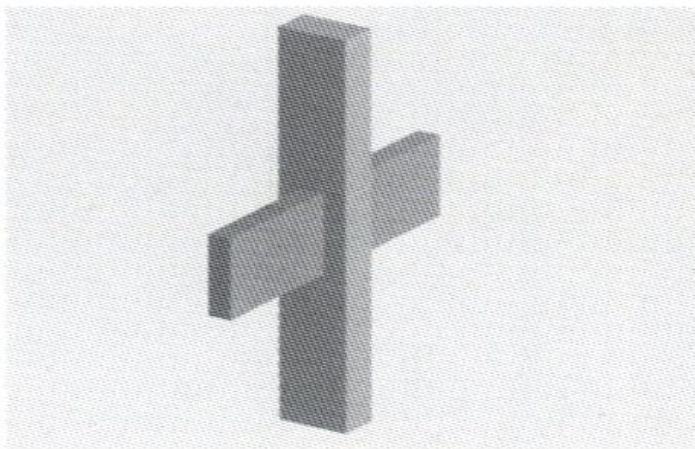
Stud and beam



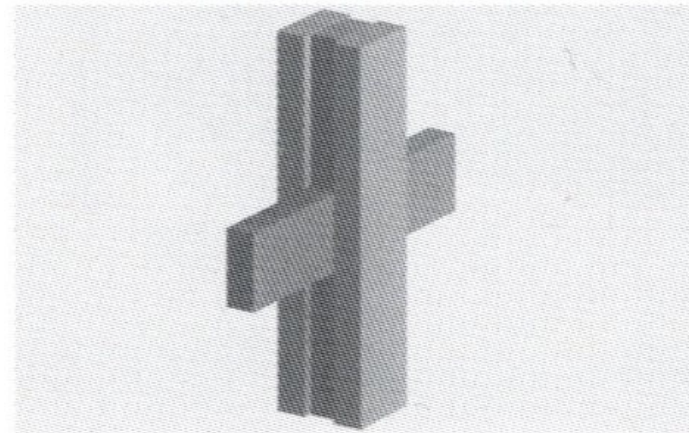
b142



b139



b143



b140



Stud and beam

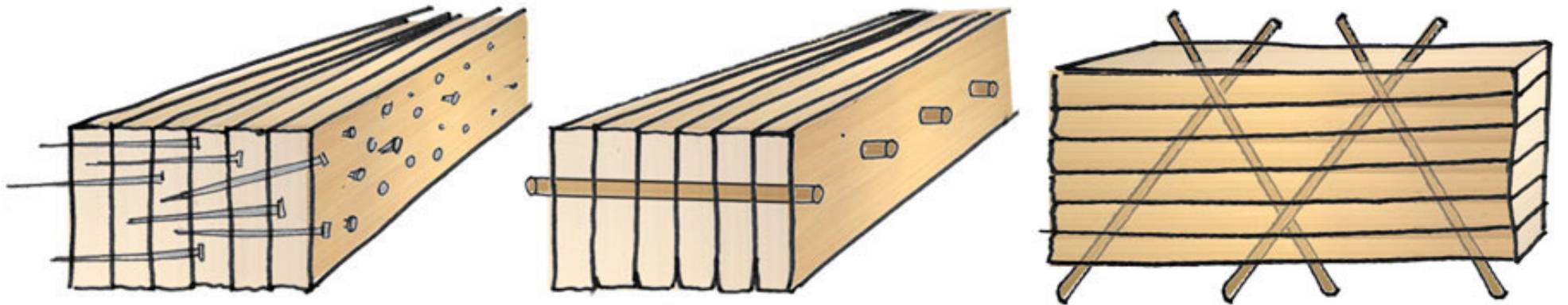


**Villa de l'entreprise
Huf Haus gmbH**

Slab-systems

Massif timber nailed/dowelled/glued

16



Amélioration par le facteur K_{sys}

Regensburg

■ Housing in Regensburg



Student housing at the bourdonnette

18



Cross Laminated Timber - CLT

- Plates 3-layer / 5-layer / 10-layer

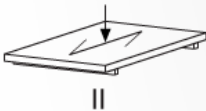
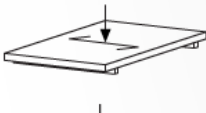
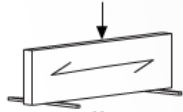
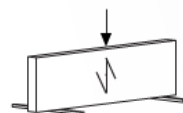
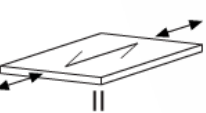
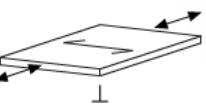


Cross Laminated Timber - CLT



Take care about the performance

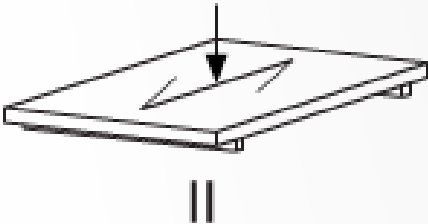
21

Epaisseur nominale des panneaux en mm					12 à 20	> 20 à 30	> 30 à 42	> 42	
Valeurs de calcul ^{1) 2)}									
Sollicitation en plaque	 II	parallèle ⁴⁾	flexion	$f_{m,0,d}$ N/mm ²	21,5	18,5	9,8	7,4	
			cisaillement	$f_{r,0,d}$ N/mm ²	1,0	1,0	0,75	0,75	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{m,0,mean}$ N/mm ²	10 000	8 200	7 600	7 100	
			module de cisaillement ³⁾	$G_{0,mean}$ N/mm ²	41	41	41	41	
	 ⊥	perpendi- culaire ⁴⁾	flexion	$f_{m,90,d}$ N/mm ²	3,1	3,1	5,5	5,5	
			cisaillement	$f_{r,90,d}$ N/mm ²	0,85	0,85	0,85	0,85	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{m,90,mean}$ N/mm ²	550	550	1 500	1 500	
			module de cisaillement ³⁾	$G_{90,mean}$ N/mm ²	41	41	41	41	
Sollicitation en voile	 II	parallèle ⁴⁾	flexion	$f_{p,0,d}$ N/mm ²	15,4	8,6	7,4	6,2	
			cisaillement	$f_{v,0,d}$ N/mm ²	2,5	2,5	2,2	1,5	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{p,0,mean}$ N/mm ²	4 700	2 900	2 400	1 800	
			module de cisaillement ³⁾	$G_{0,mean}$ N/mm ²	470	470	470	470	
	 ⊥	perpendi- culaire ⁴⁾	flexion	$f_{p,90,d}$ N/mm ²	7,4	7,4	7,4	7,4	
			cisaillement	$f_{v,90,d}$ N/mm ²	3,1	2,2	1,5	1,2	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{p,90,mean}$ N/mm ²	3 500	3 500	4 700	4 700	
			module de cisaillement ³⁾	$G_{90,mean}$ N/mm ²	470	470	470	470	
	 II	parallèle ⁴⁾	traction	$f_{t,0,d}$ N/mm ²	9,8	5,5	3,7	3,7	
			compression	$f_{c,0,d}$ N/mm ²	9,8	9,8	6,2	6,2	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{t,0,mean}$ N/mm ²	4 700	3 500	2 400	2 400	
	 ⊥	perpendi- culaire ⁴⁾	traction	$f_{t,90,d}$ N/mm ²	3,7	3,7	3,7	3,7	
			compression	$f_{c,90,d}$ N/mm ²	6,2	6,2	9,8	9,8	
			module d'élasticité ³⁾	$E_{t,90,mean}$ N/mm ²	2 900	2 900	2 900	2 900	
Densité caractéristique ^{1) 2)}					ρ_k kg/m ³	410	410	410	410

TCB p.31

Take care about performance

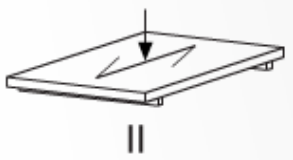
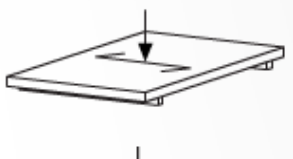
TCB p.31

Valeurs de calcul ^{1) 2)}	
on en plaque	
	parallèle ⁴⁾

Epaisseur nominale des panneaux en mm				12 à 20	> 20 à 30	> 30 à 42	> 42
parallèle ⁴⁾	flexion	$f_{m,0,d}$	N/mm ²	21,5	18,5	9,8	7,4
	cisaillement	$f_{r,0,d}$	N/mm ²	1,0	1,0	0,75	0,75
	module d'élasticité ³⁾	$E_{m,0,mean}$	N/mm ²	10 000	8 200	7 600	7 100
	module de cisaillement ³⁾	$G_{0,mean}$	N/mm ²	41	41	41	41

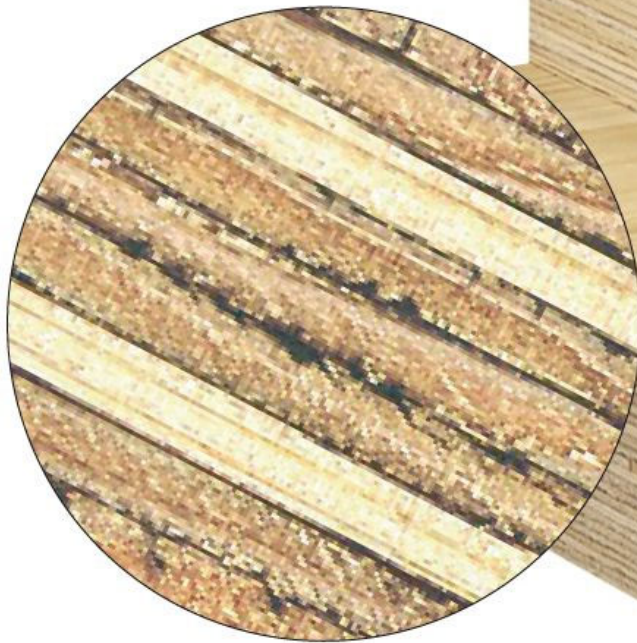
Take care about performance

TCB p.31

Sollicitation en plaque	 II	parallèle ⁴⁾	flexion	$f_{m,0,d}$	N/mm ²	21,5	18,5	9,8	7,4
			cisaillement	$f_{r,0,d}$	N/mm ²	1,0	1,0	0,75	0,75
			module d'élasticité ³⁾	$E_{m,0,mean}$	N/mm ²	10 000	8 200	7 600	7 100
			module de cisaillement ³⁾	$G_{0,mean}$	N/mm ²	41	41	41	41
	 ⊥	perpendi- culaire ⁴⁾	flexion	$f_{m,90,d}$	N/mm ²	3,1	3,1	5,5	5,5
			cisaillement	$f_{r,90,d}$	N/mm ²	0,85	0,85	0,85	0,85
			module d'élasticité ³⁾	$E_{m,90,mean}$	N/mm ²	550	550	1 500	1 500
			module de cisaillement ³⁾	$G_{90,mean}$	N/mm ²	41	41	41	41

Laminated wood – Kerto

Kerto-Q



https://www.youtube.com/watch?v=qNMCu4MMx_0&t=16s

Épaisseur 21 / 27 / 33 / 39 / 45 / 51 / 57 / 63 / 69 / 75 mm

Laminated wood - Kerto



Laminated wood - Kerto

CHARAKTERISTISCHE FESTIGKEITSWERTE UND E-MODULN FÜR KERTO-Q IN N/mm² (FÜR DIN 1052: 2008-12)

1 Plattenbeanspruchung

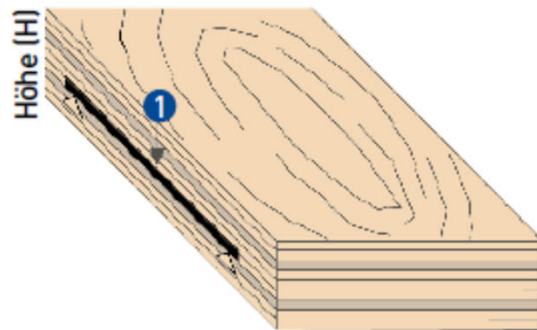
		21 ≤ d ≤ 24	27 ≤ d ≤ 69
Biegung zur Faser ¹⁾	$f_{m,0,k}$	32	36
Biegung ⊥ zur Faser	$f_{m,90,k}$	9,0 ²⁾	9,0
Druck ⊥ zur Faser	$f_{c,90,k}$	2,0	
Schub	$f_{v,k}$	1,5	
Elastizitätsmodul zur Faser	$E_{0,mean}$	10 000	10 500
Elastizitätsmodul ⊥ zur Faser	$E_{90,mean}$	1000 ²⁾	2 500
Schubmodul	G_{mean}		

2) Für d = 21 mm und den Furnieraufbau I-III-I darf $f_{m,90,k} = 16 \text{ N/mm}^2$ bzw. $E_{90,mean} = 2500 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden.

2 Scheibenbeanspruchung

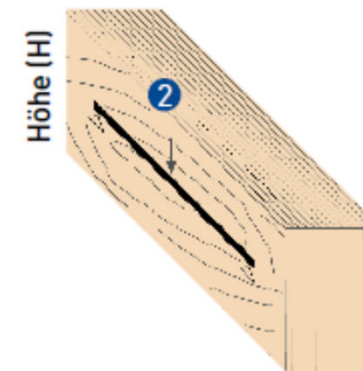
		21 ≤ d ≤ 24	27 ≤ d ≤ 69
Biegung ¹⁾	$f_{m,k}$	32	36
Zug zur Faser	$f_{t,0,k}$	20	27
Zug ⊥ zur Faser	$f_{t,90,k}$	6,0	
Druck zur Faser	$f_{c,0,k}$	20	27
Druck ⊥ zur Faser	$f_{c,90,k}$	9,0	
Schub	$f_{v,k}$	4,8	
Ausklinkung	k_n	4,8	
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	10000	4,8
Schubmodul	G_{mean}	500	

1) Die Werte gelten für $H \leq 300 \text{ mm}$. Für $H > 300 \text{ mm}$ sind die Werte mit dem Beiwert $k_H = \left(\frac{300}{H}\right)^{0,12}$ zu multiplizieren.



Schwind- und Quellmaß q in % pro % Änderung der relativen Holzfeuchte

in Plattenebene	zur Faserrichtung	0,01%
	⊥ zur Faserrichtung	0,03%
⊥ zur Plattenebene		0,24%



Laminated wood – GL75 - Baubuche

27

- Pannels BauBuche Q
- Or BauBuche S

BauBuche



Lamibois – GL75 - Baubuche

Résistance à la flexion	$f_{m,k}$	75 N/mm ² ¹⁾
-------------------------	-----------	------------------------------------

Module d'élasticité

Parallèle au sens des fibres	$E_{0,mean}$	16 800 N/mm ¹⁶
------------------------------	--------------	---------------------------

Résistance à la pression

Classe d'utilisation 1

Parallèle au sens des fibres des lamelles	$f_{c,0,k}$	59,4 N/mm ² ³⁾
---	-------------	--------------------------------------

Perpendiculaire au sens des fibres des lamelles	$f_{c,90,k}$	14,8 N/mm ² ³⁾
--	--------------	--------------------------------------

Laminated – GL75 - Baubuche



Fagus – glued batten wood



HÊTRE

S

FAGUS BOIS TASSEaux-COLLÉS (BTC) VALEURS DE CALCUL POUR HÊTRE

POLLMEIER BAUBUCHE

Classes de résistance			BTC40	BTC48	BTC48Eplus	Baubuche
Propriétés caractéristiques = valeurs caractéristiques			GL40h	GL48h	GL60h	GL75
Résistance à la flexion	f_{mk}	N/mm ²	40,0	48,0	48,0	75
Résistance à la traction aux fibres	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	33,0	42,0	42,0	60
Résistance à la compression aux fibres	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	45,0	50,0	50,0	59 / 49
Résistance au cisaillement	$f_{v,k}$	N/mm ²	6,0	6,0	6,0	4,5
Module d'élasticité moyen en flexion	$E_{m,mean}$	N/mm ²	14'500	16'000	17'000	16'800

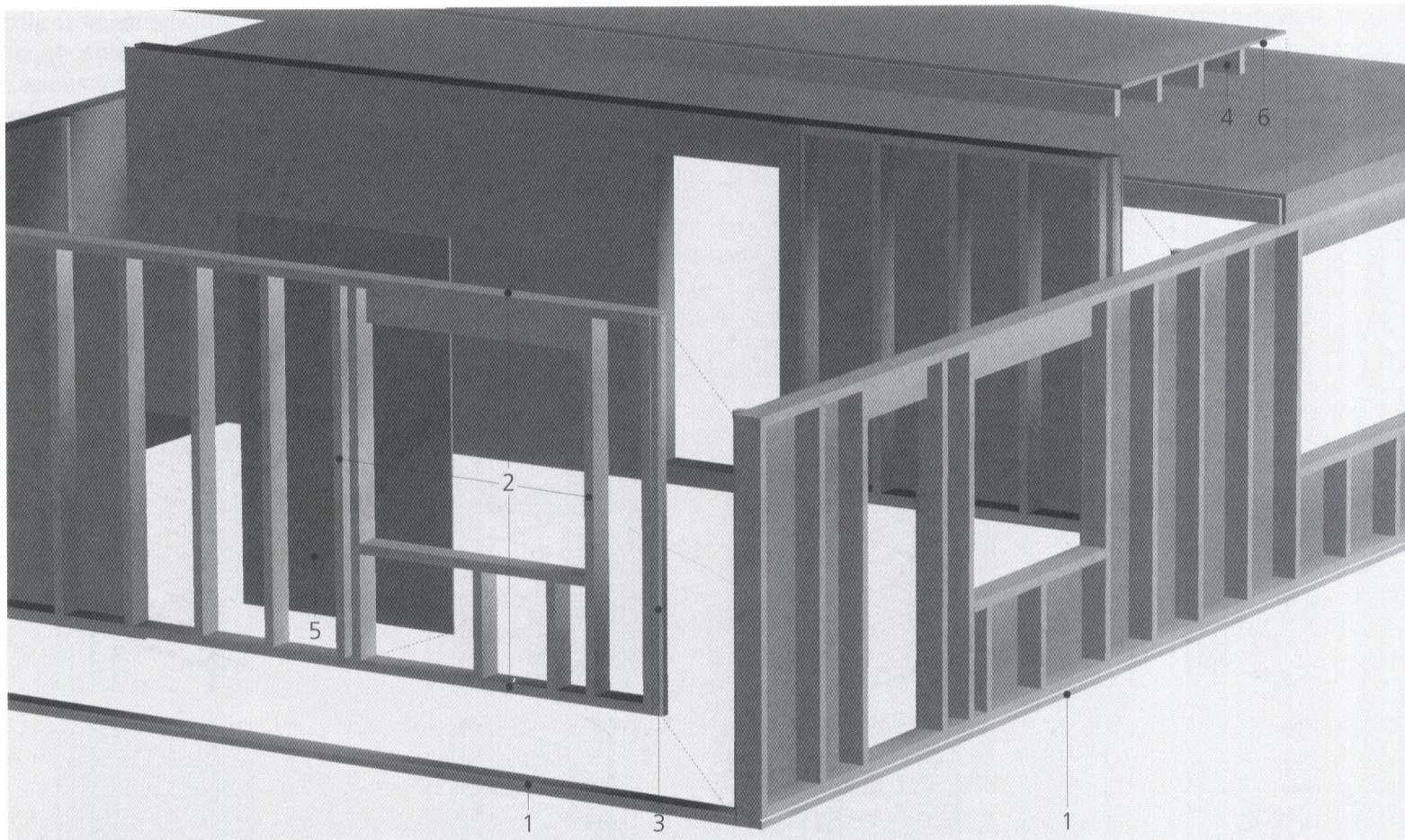
Timber frame

- With insulation
- Stabilisation with OSB panel



La construction à ossature

- Système ossature bois



La construction à ossature



Le panneau OSB

- Oriented Strand Board - panneaux à copeaux orientés



Le panneau OSB

■ Propriété mécanique

Caractéristiques essentielles	Performance	
Gamme d'épaisseurs	>10 <18 mm	
Sens du panneau	0° (axe principal)	90° (axe secondaire)
Résistance		
- Flexion	16,4	8,2
- Compression	15,4	12,7
- Traction	9,4	7,0
- Contrainte perpendiculaire au plan du	6,8	6,8
- Contrainte dans le plan du panneau	1,0	1,0
Rigidité moyenne		
- Flexion	4930	1980
- Compression	3800	3000

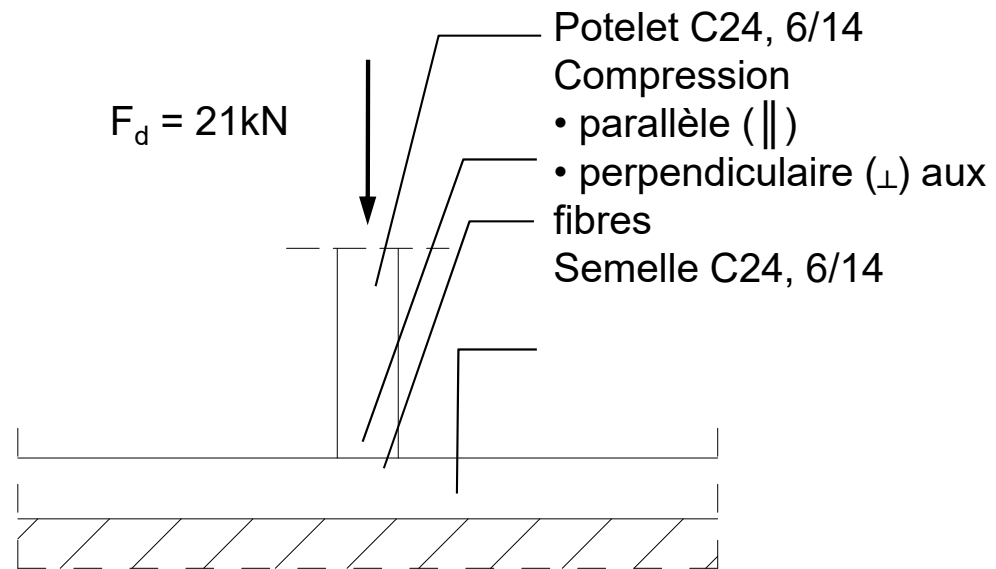
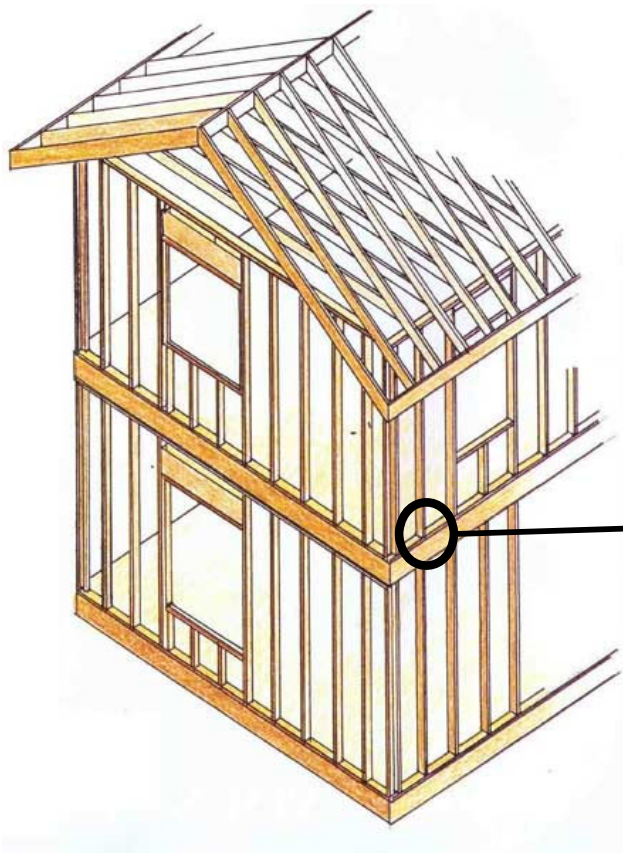
Processus de fabrication



<https://www.youtube.com/watch?v=PH6yT5rRRcw>

Timberframe

- The limitation is on the footing
- Stress on footing element



Vérification des deux pièces :

La résistance parallèle à la fibre est supérieure à la résistance perpendiculaire à la fibre → la vérification se fait uniquement pour la semelle.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{21000N}{40mm \cdot 140mm} = 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

Tableau 6: Propriétés caractéristiques et valeurs de calcul du bois massif ($\eta_w = 1,0$ et $\eta_t = 1,0$)

Classes de résistance			Résineux					Chêne Hêtre
			C20	C24	C27	C35 ⁴⁾	C45 ⁴⁾	D30
Propriétés caractéristiques ¹⁾								
– Résistance en flexion	$f_{m,k}$	N/mm ²	20	24	27	35	45	30
– Module d'élasticité moyen en flexion	$E_{m,mean}$	kN/mm ²	9,5	11	12	13	15	10
– Densité apparente	ρ_k	kg/m ³	330	350	370	400	440	530
Valeurs de calcul ¹⁾								
Résistance	Flexion	$f_{m,d}$	12	14	16	23	30	17
	Traction parallèle aux fibres	$f_{t,0,d}$	7 ³⁾	8	9,5	14	18	10
	Comp. parallèle aux fibres	$f_{c,0,d}$	11	12	13	17	18	13
	Traction perpen. aux fibres	$f_{t,90,d}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Comp. perpen. aux fibres	$f_{c,90,d}$						
	– en général	N/mm ²	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	5,3
	– avec un avant-bois ^{5) 6)}	N/mm ²	2,2 (2,8)	2,3 (2,9)	2,5 (3,1)	2,7 (3,3)	2,9 (3,7)	7,0
	– appui d'extrémité ⁶⁾	N/mm ²	1,7 (2,8)	1,8 (2,9)	1,9 (3,1)	2,0 (3,3)	2,2 (3,7)	5,3
	Contrainte tangentielle	f_{vd}	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	2,0
Déformation	$E_{0,mean}$ parallèle aux fibres ²⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{m,mean} \\ E_{t,0,mean} \\ E_{c,0,mean} \end{matrix} \right\}$	9,5	11	12	13	15	10
	$E_{90,mean}$ perpen. aux fibres ²⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{m,mean} \\ E_{t,90,mean} \\ E_{c,90,mean} \end{matrix} \right\}$	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6
	Module de cisaillement ²⁾	G_{mean}	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0

¹⁾ Toutes les propriétés et les valeurs de calcul correspondant à une teneur en eau de 12%.

²⁾ Le fractile 5% est défini par les $2/3$ de la valeur moyenne.

³⁾ Pas admis pour des barres tendues.

⁴⁾ Pour ces classes (triées mécaniquement), il faut vérifier qu'elles sont disponibles sur le marché.

⁵⁾ L'avant-bois doit dépasser de 100 mm de chaque côté, sinon prendre la valeur « en général ».

⁶⁾ La valeur supérieure (entre parenthèses) n'est admissible que si les déformations qui en résultent sont sans conséquence sur le comportement de l'élément porteur.

La valeur dépasse la résistance

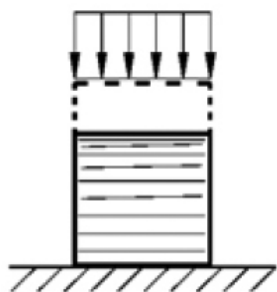
$f_{c,90,d}$ (2.3 N/mm²).

Mais la SIA 265 prévoit une augmentation de la résistance, si l'écrasement local sont sans conséquence structurel sur de l'élément porteur

$$2.5 \text{ N/mm}^2 < \mathbf{2.9 \text{ N/mm}^2} \text{ 😊}$$

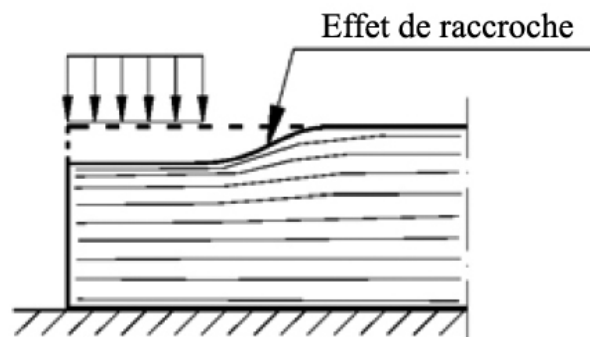
Compression $\perp$

Pas de débordement



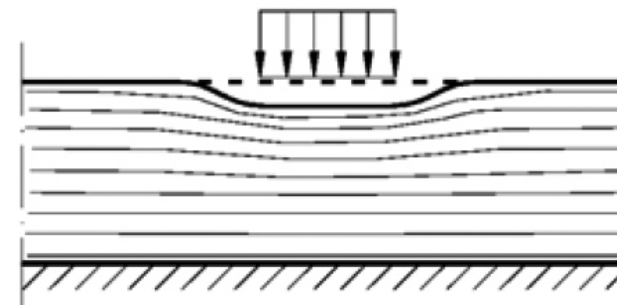
Cas général

Débordement simple



avec un avant bois > 10cm
ou
appui d'extrémité

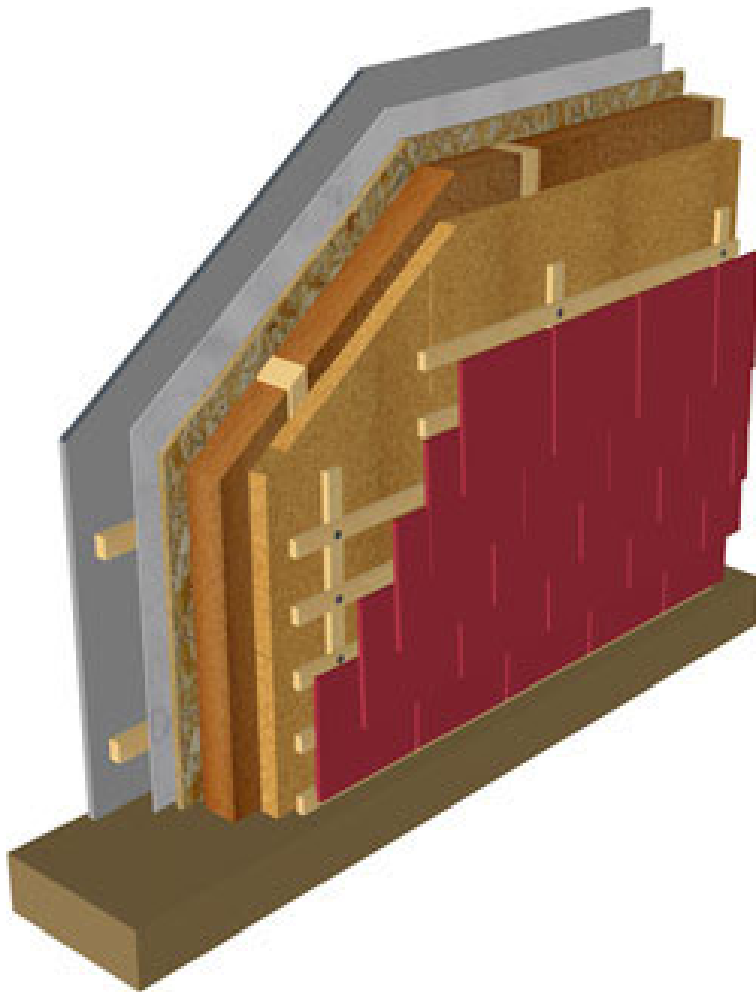
Double débordement



double débordement
>>
selon Eurocode

		C24	D30	GL24H
Comp. perpen. aux fibres $f_{c,90,d}$				
- en général	N/mm^2	1.8	5.3	1.9
- avec un avant bois ⁵⁾⁶⁾	N/mm^3	2.3 (2.9)	7.0	2.5 (4.0)
- appui d'extrémité ⁶⁾	N/mm^4	1.8 (2.9)	5.3	2.5 (4.0)

Composition de la paroi



Composition:

- Finition intérieure
- Lattage technique
- Pare-vapeur / pare vent
- Panneaux OSB 15mm
- Isolation avec ossature
- Isolation
- Sous-toiture
- Lattage
- Contre-lattage
- Finition extérieure

Dégradation



Vapor barrier

- Plastic film



Fiber insulation

- Glass fiber - ISOVER



- Stone fiber - Flumroc



- Natural fiber

- Timber - Paper
- Hemp
- Stow
- ...



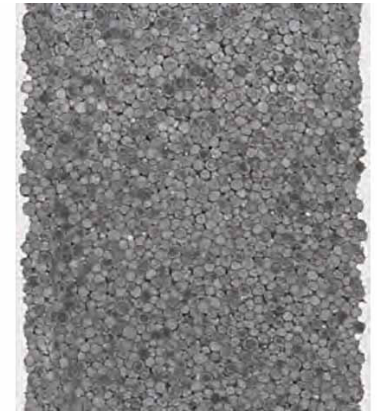
Construire. Isoler. Bien vivre.

Mass insulation

- Isolation PUR – polyuréthane
- Isolatoin PIR – polyisocynaurate



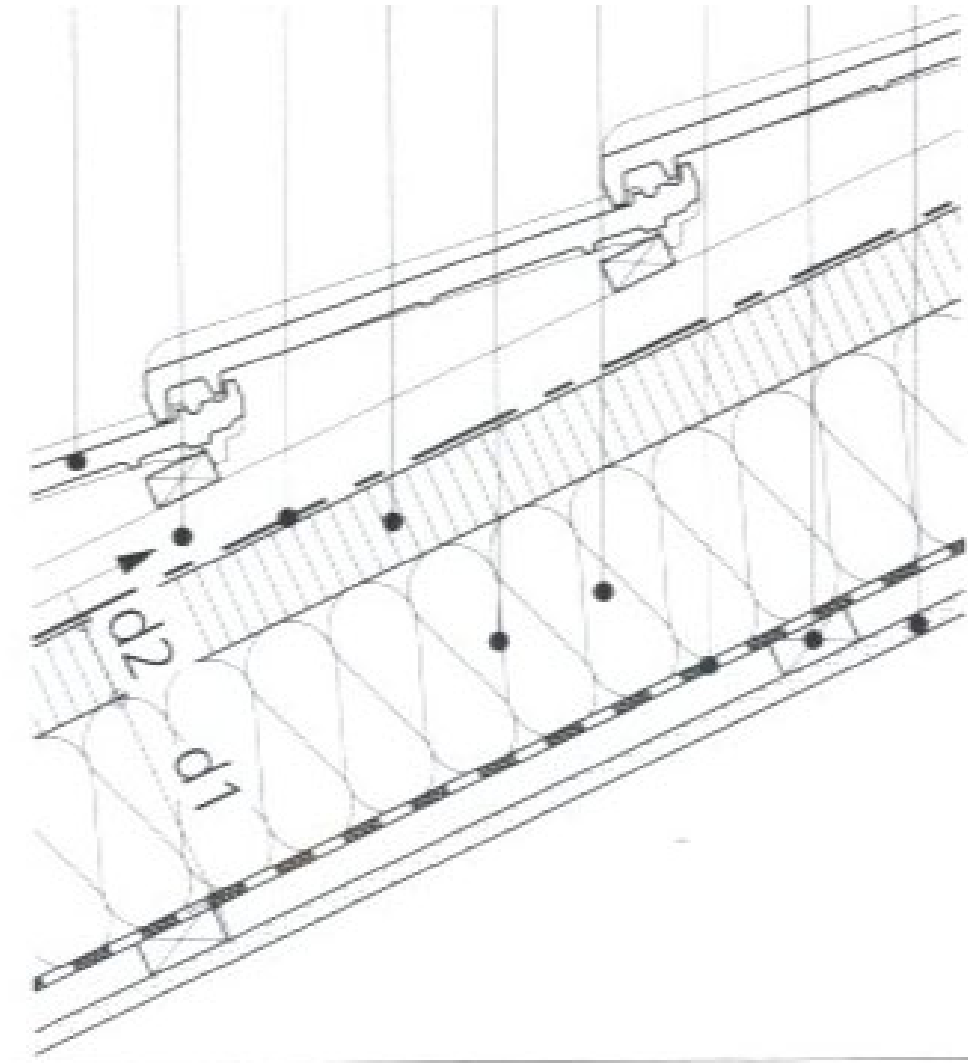
- Isolation EPS – **E**xpanded **P**olystyrène



- Granule de verre expansé - Misapor



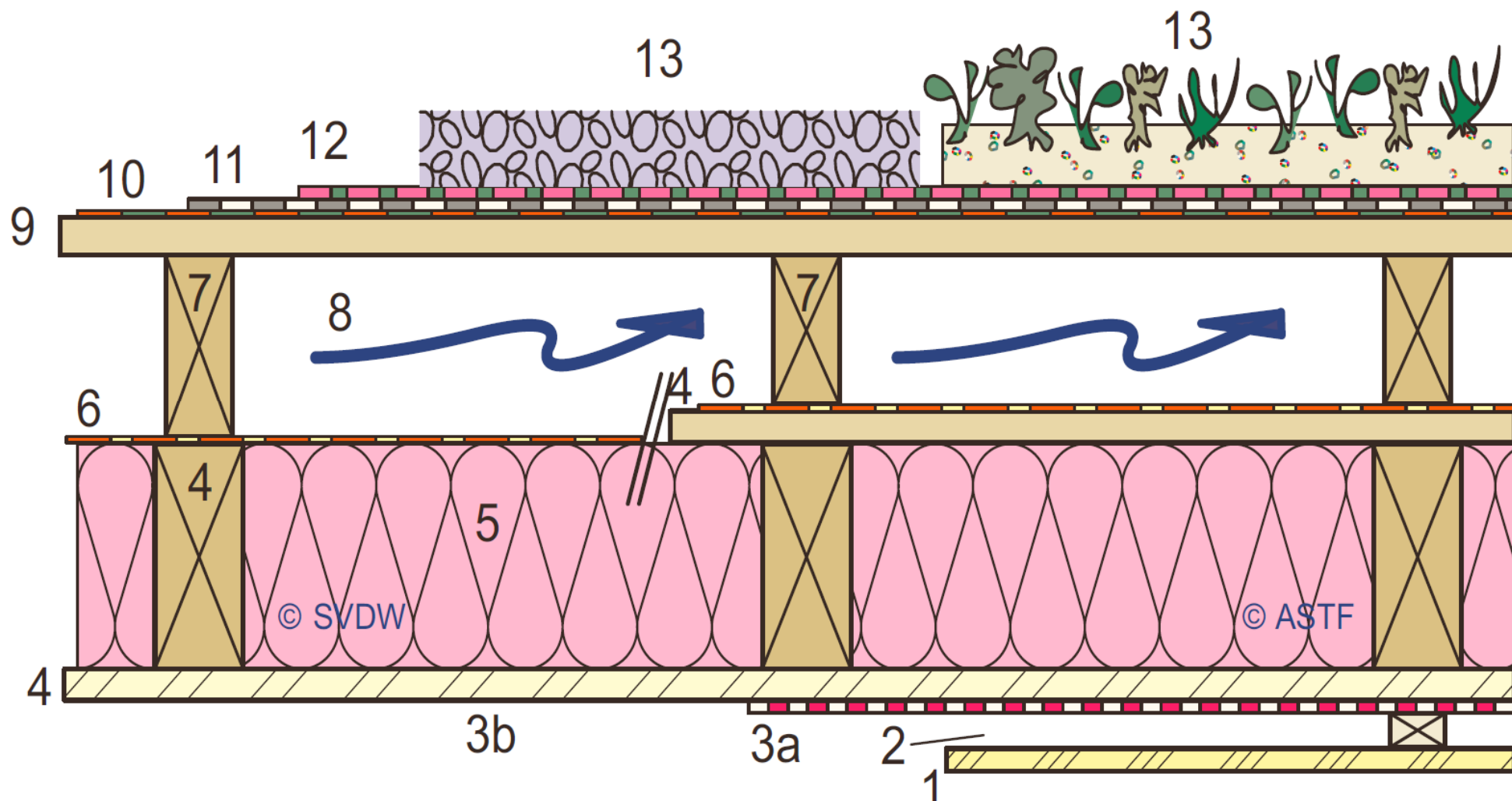
Roof



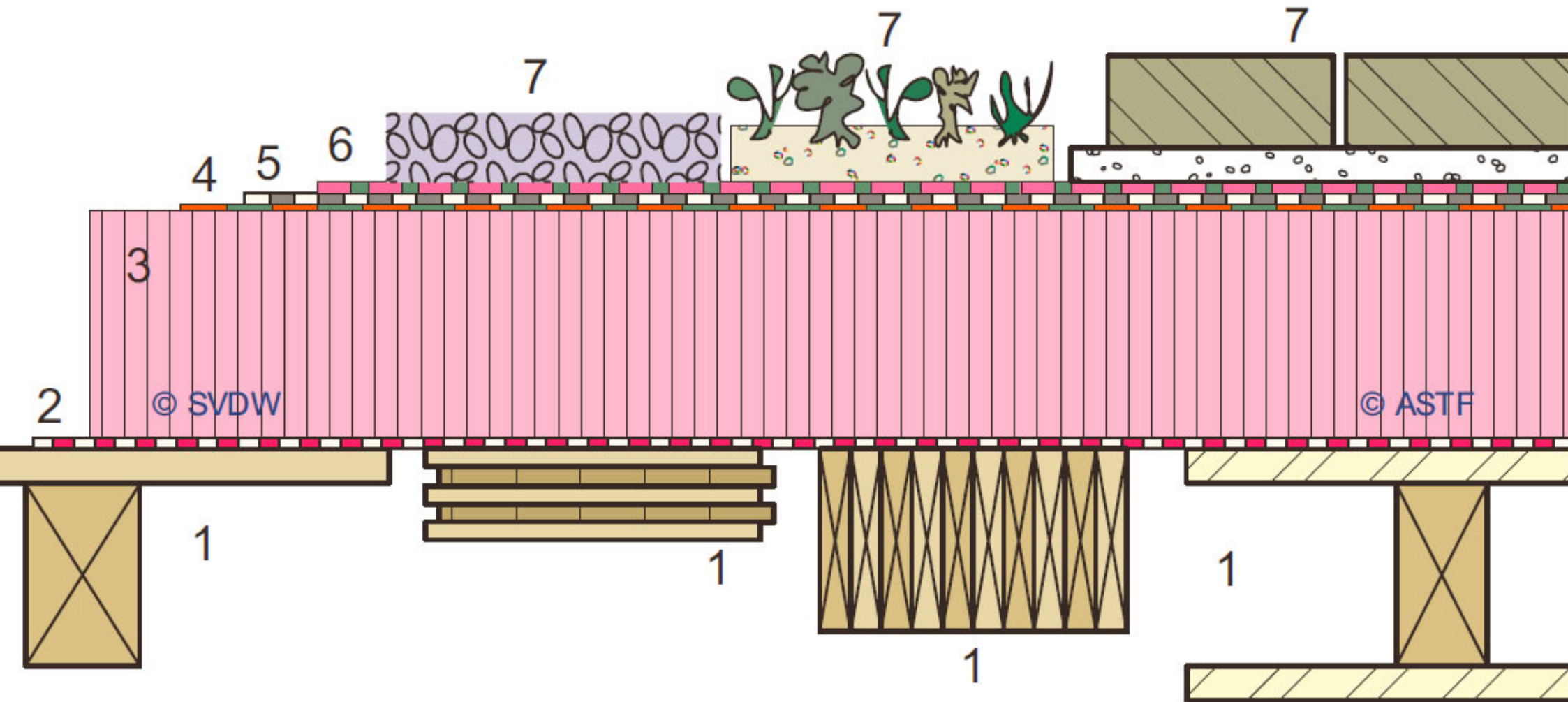
Composition:

- Tiles
- Counter-battens
- Ventilation battens
- Under-roof
- Insulation
- Rafter + insulation
- Vapor barrier
- Lathing
- Interior finish

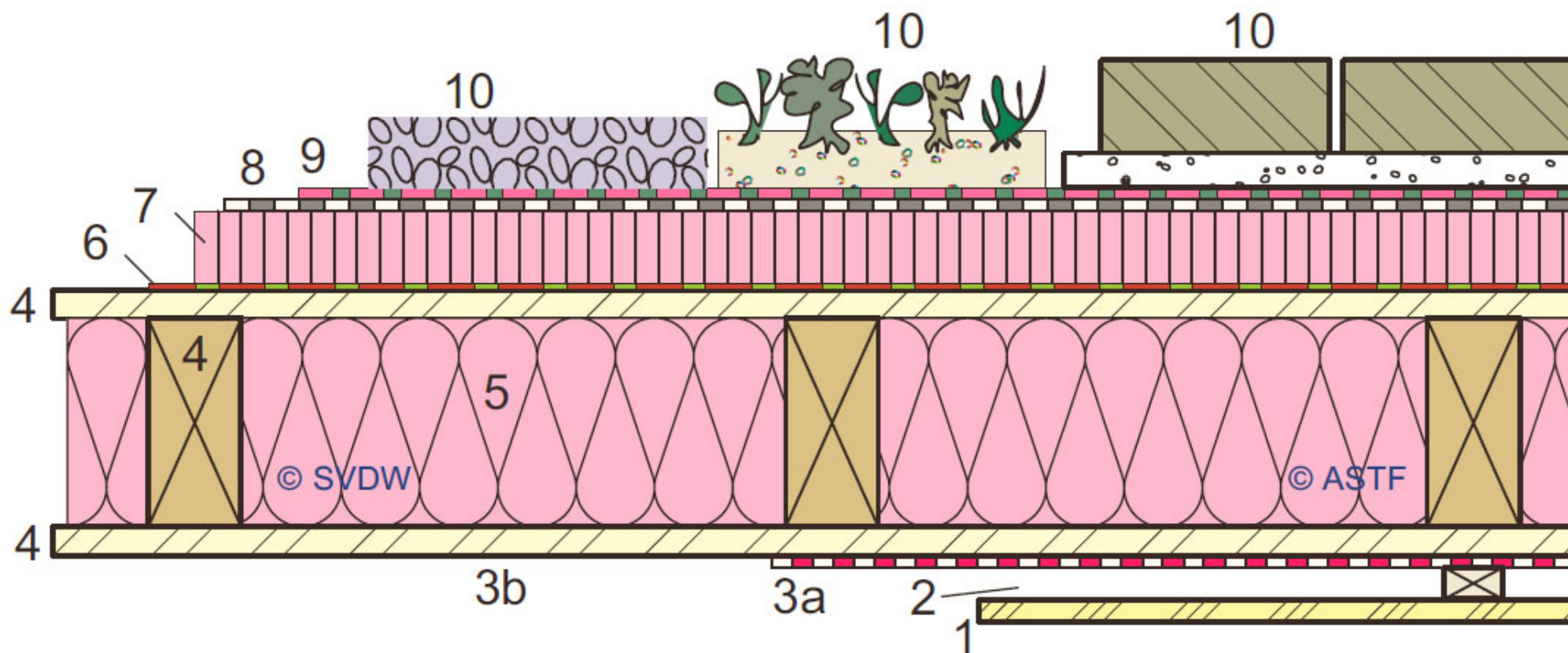
Flat roof (ventilated)



Flat roof (compact)



Flat roof = DANGER



Flat roof = DANGER

- Conditions:
 1. Validated airtightness – Blower test
 2. Perform a dynamic verification with a precise simulation program such as WUFI
- Main problem: the wooden structure free about 6 water per m²

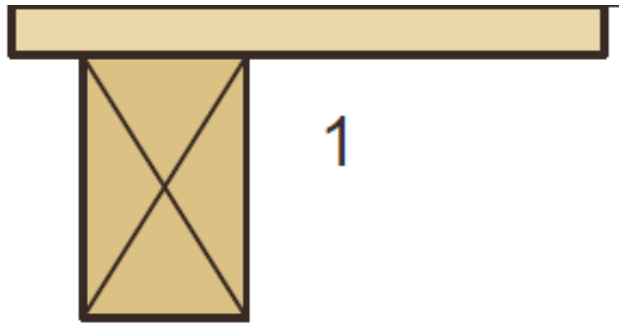
Le bois est un matériaux naturelle et dégradable

50

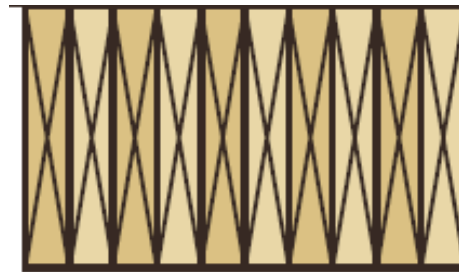


Slab structure

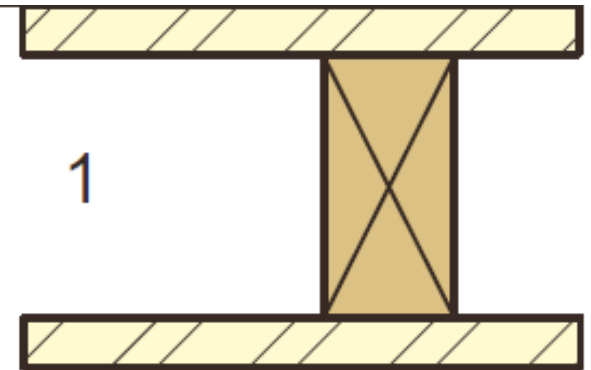
- The prinzip



Joist



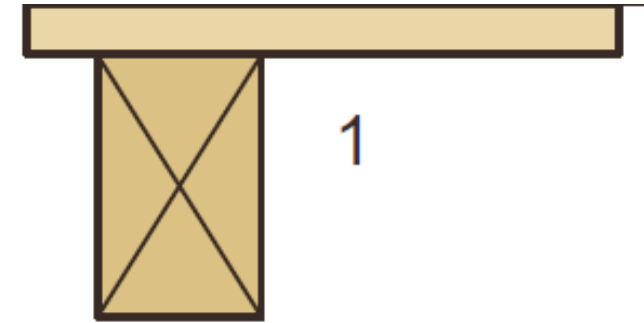
massif



Boxes

Slab structure

- The joist

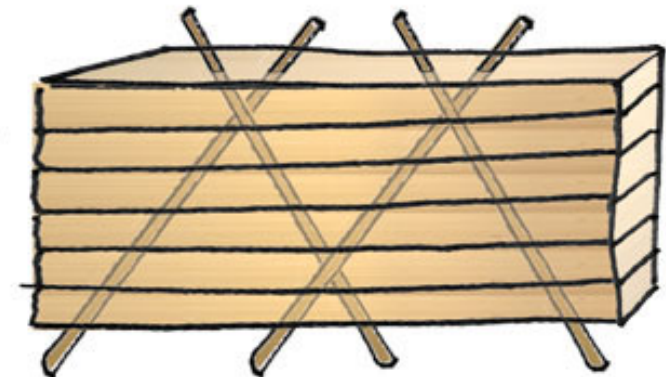
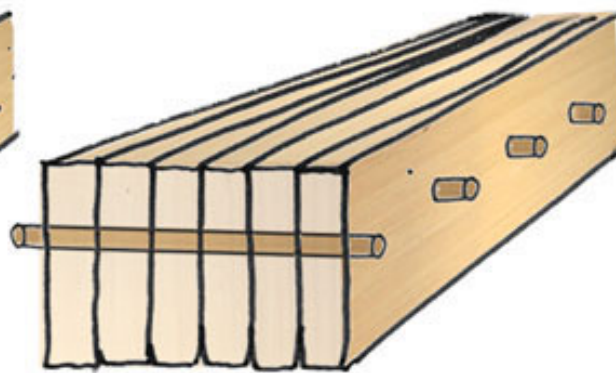
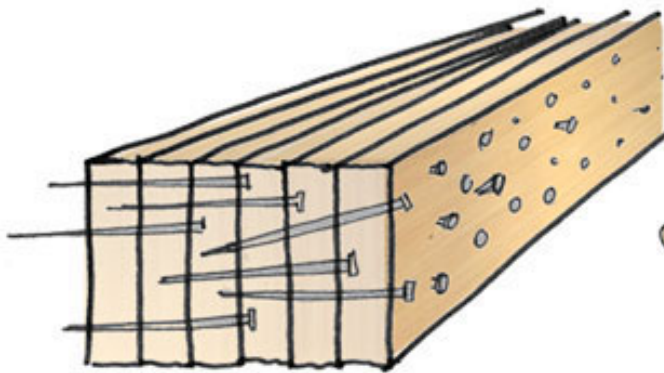


Massif slab

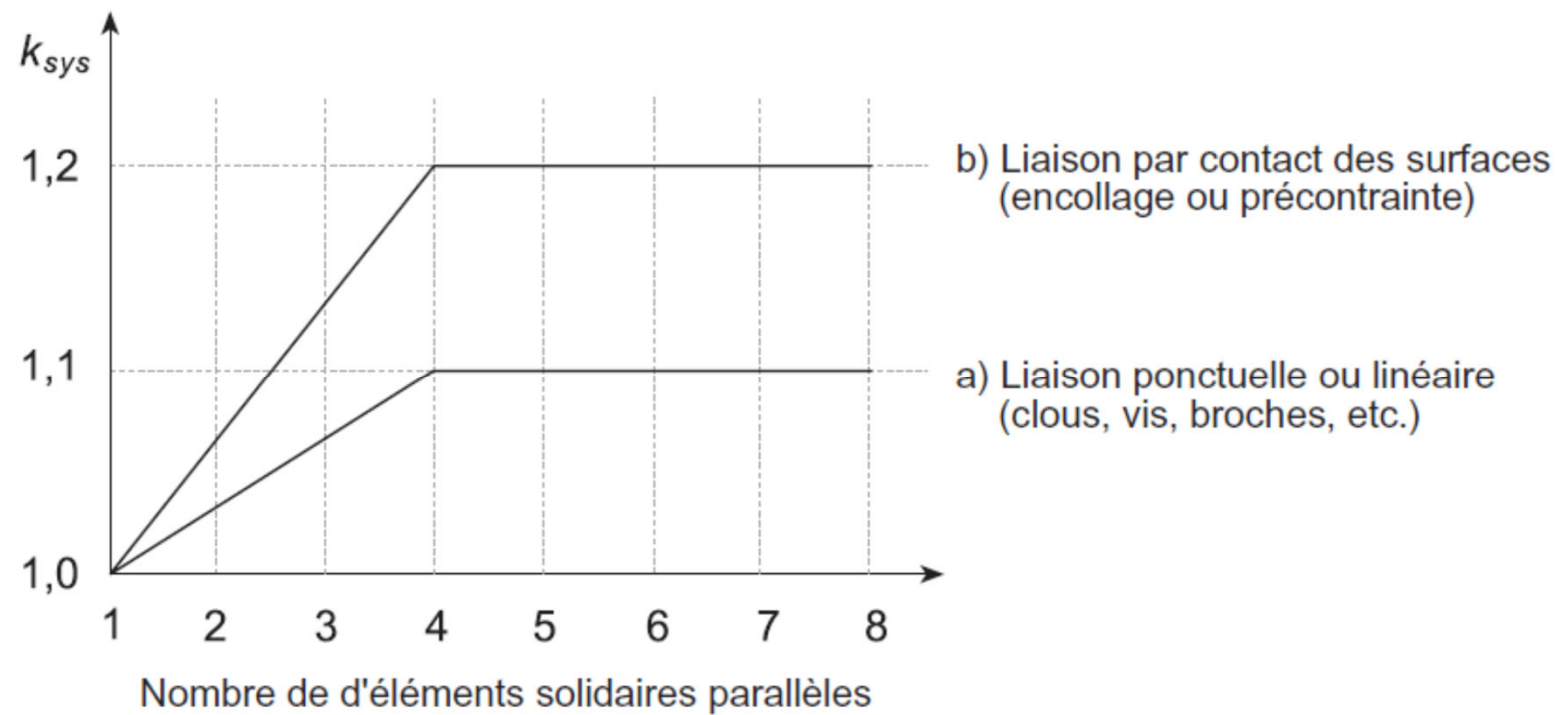
- Nailed/glued/doweled slabs
 - improvement due to K_{sys}



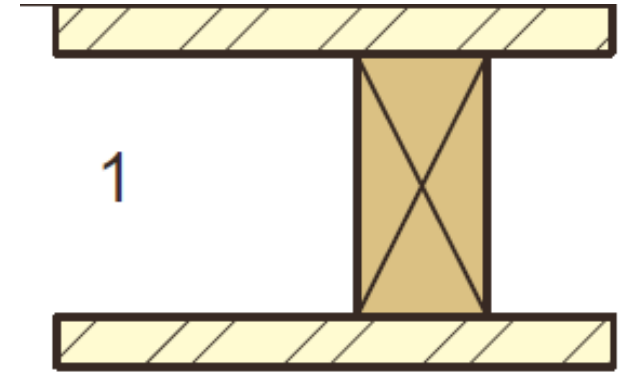
1



Facteur K_{sys}

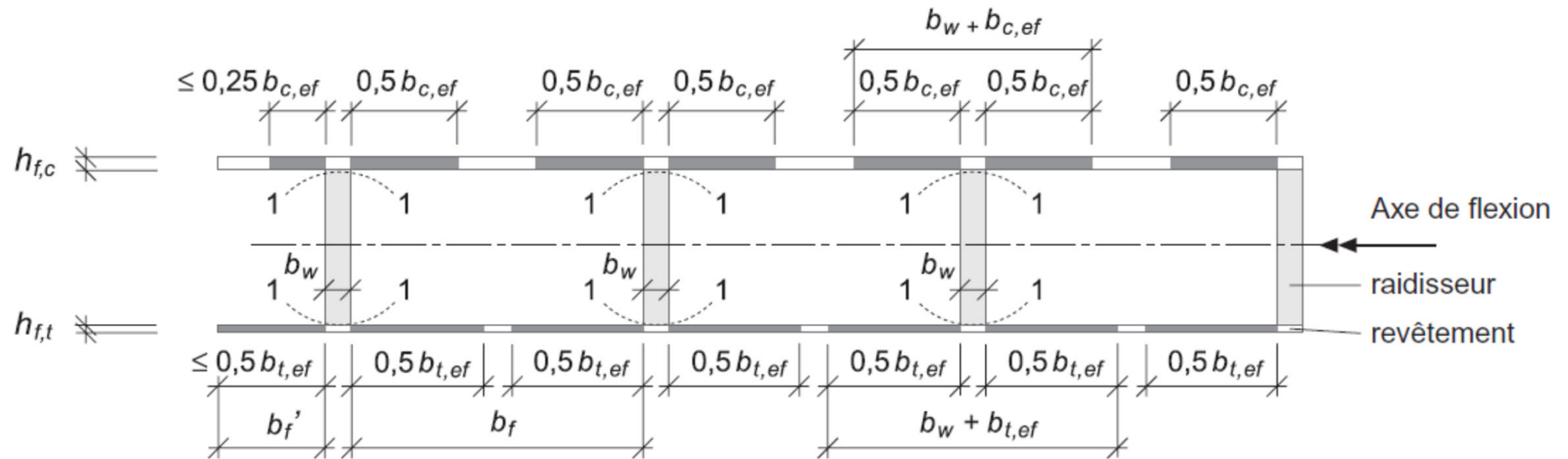


Boxe slabs



Boxe slabs

Figure 16: Éléments de plaques avec panneaux sur les deux côtés



Boxe Slabs

- Pannels – take care about fire protection
 - 3-layer
 - Bois massif C24
 - Kerto
 - Baubuche
 - CLT

Structure de la dalle caisson

- Solid wood panel
 - Classe C24
 - Classe GL24h
 - Classe GL36h

not common!!!

But possible



Laminated wood

- Kerto S

$E = 13'800 \text{ N/mm}^2$

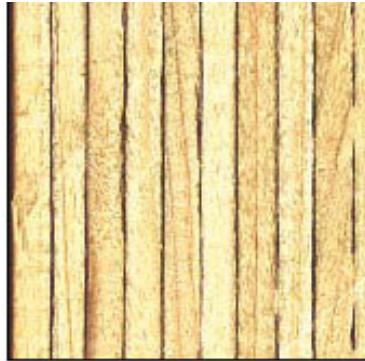
$f_{m,d} = 32 \text{ N/mm}^2$



Laminated wood - Kerto



KERTO ® Q



KERTO ® S

② Scheibenbeanspruchung

Biegung ¹⁾	$f_{m,k}$	48
Zug zur Faser	$f_{t,0,k}$	38
Zug ⊥ zur Faser	$f_{t,90,k}$	0,8
Druck zur Faser	$f_{c,0,k}$	38
Druck ⊥ zur Faser	$f_{c,90,k}$	6,0
Schub	$f_{v,k}$	4,4
Ausklüftung	k_n	6,0
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	13800
Schubmodul	G_{mean}	500

PLATTENAUFBAU

d	
21	
24	
27	
33	
39	
45	
51	
57	
63	
69	

La valeur de calcul de la résistance f_d est

$$f_d = \frac{\eta_M \eta_t \eta_w}{\gamma_M} f_k$$

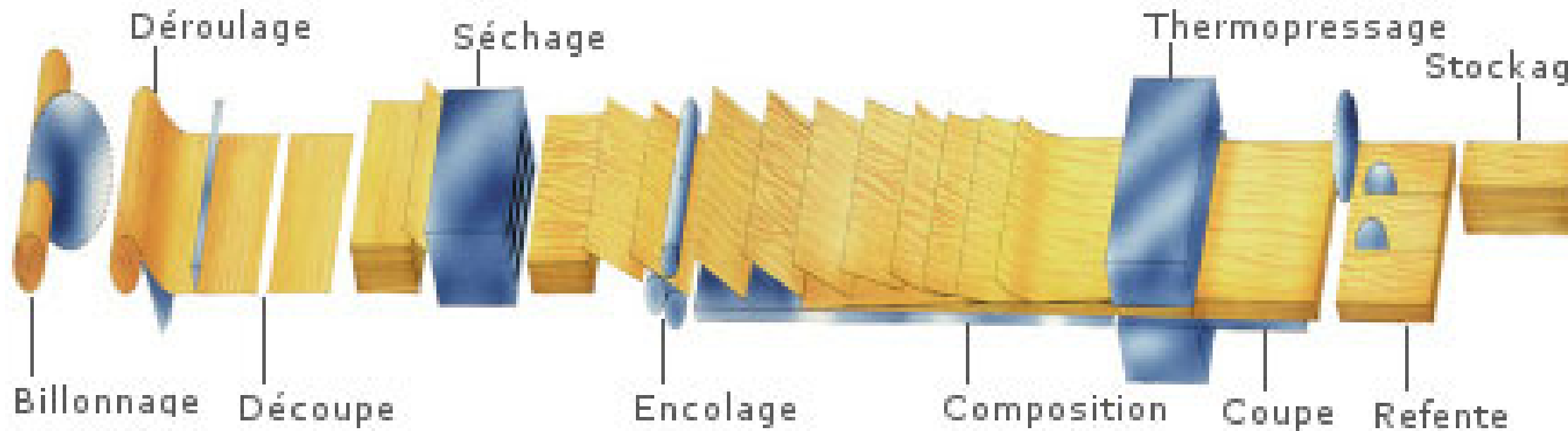
avec: f_k , γ_M , η_M , η_t , η_w selon chiffres 2.2.3 à 2.2.7.

Tableau 1: Rapport γ_M/η_M

Éléments de construction et assemblages	γ_M/η_M
Éléments de construction réalisés avec:	
– du bois rond ou massif, des produits analogues	1,7
– du bois lamellé collé certifié, du bois massif trié mécaniquement, du bois stratifié (LVL) et du contreplaqué	1,5
– des panneaux de particules, OSB et de fibres	cf. norme SIA 265/1
Assemblages réalisés avec:	
– du bois massif, du lamellé collé, du bois stratifié (LVL) et du contreplaqué	1,7
– en général	1,5
– si la ductilité (selon le chiffre 6.1.2.3) $D_s \geq 3$	
– des panneaux de particules, OSB et de fibres	cf. norme SIA 265/1

Laminated wood - Kerto

- Fabrication process



Laminated wood



**Fabrication
de lamibois
STEICO LVL**

<https://www.youtube.com/watch?v=Q4fCLfcwZF0>

https://www.youtube.com/watch?v=_up6zpidHHg

Boxes

- Boxes and acoustic

