

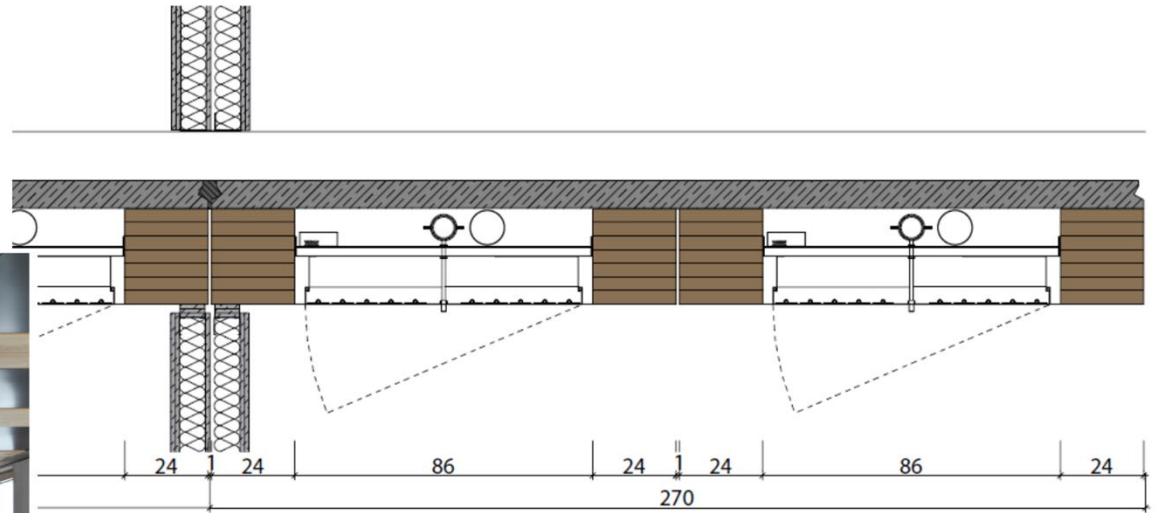
Construction en bois

Bachelor

Le bois béton mixte
Holzbetonverbund

EPFL – école polytechnique fédérale de Lausanne

Life cycle Tower One



Pont le sentier



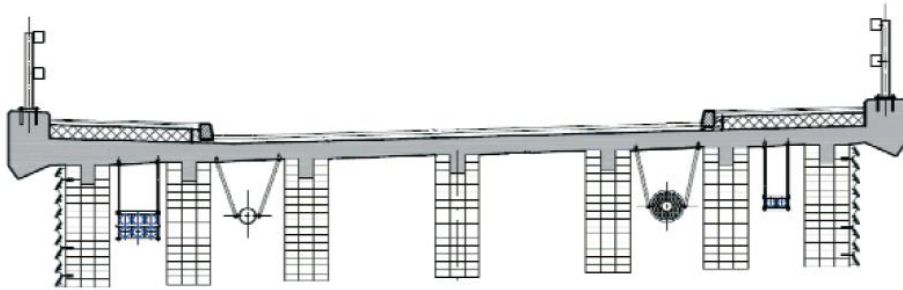
Dalle de Montherod



Charge utile 10 kN/m²
Portée 14,5 m

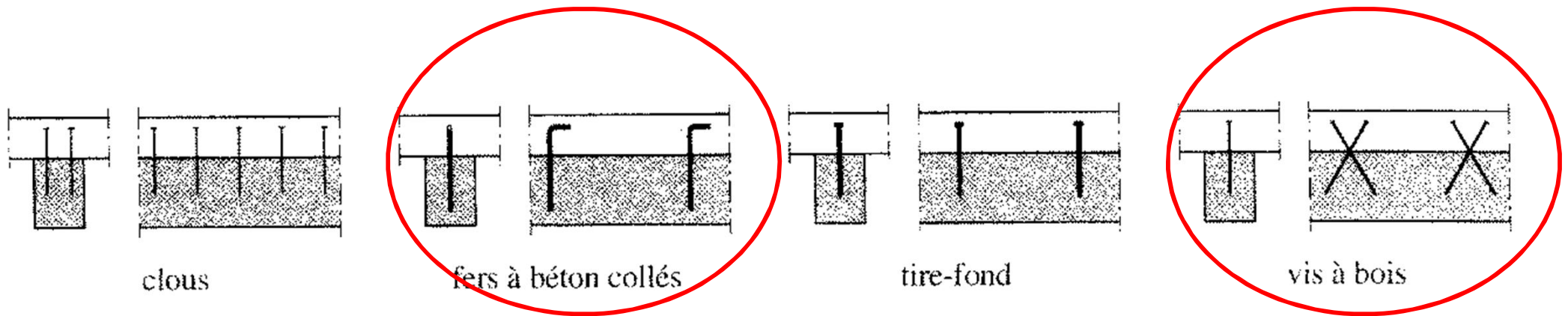


Pont du contournement de bulle



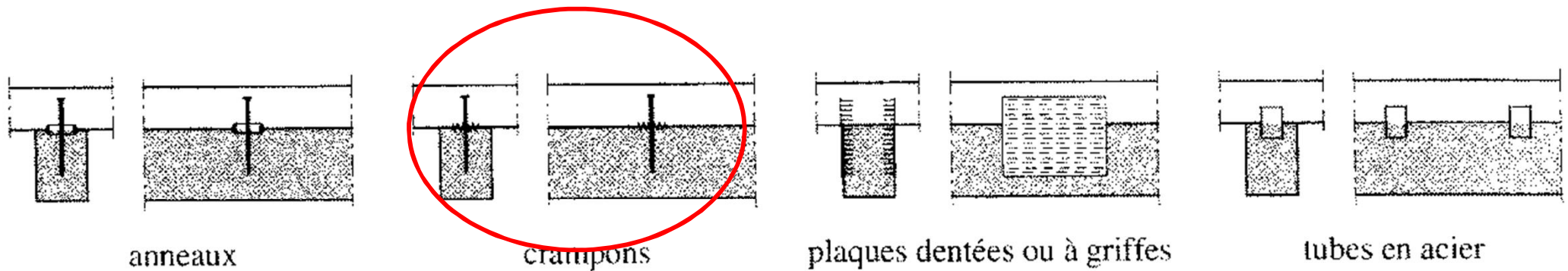
Type de connecteur

Type de connecteurs



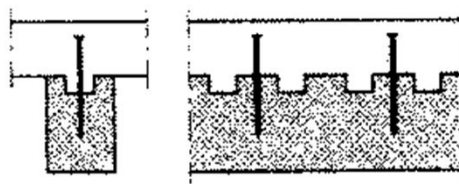
(a) Tiges cylindriques.

Type de connecteurs

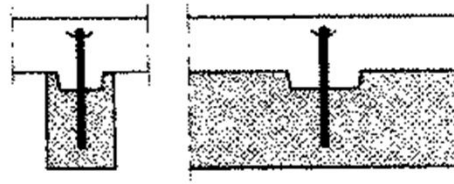


(b) Connecteurs.

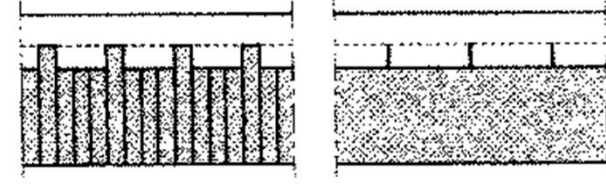
Type de connecteurs



trous cylindriques



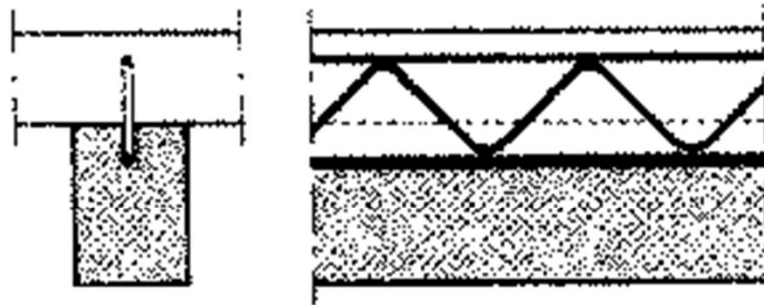
goujons précontraints



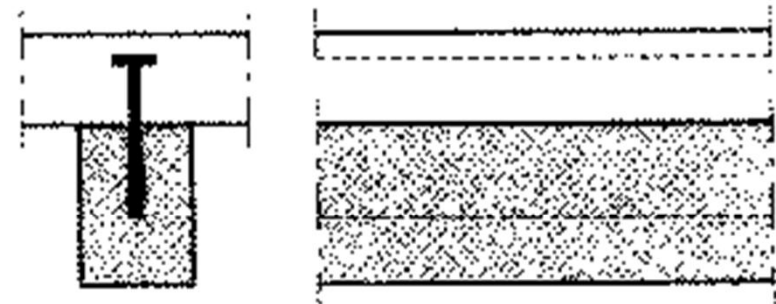
planches clouées + fers plats

(c) Liaisons avec rainures.

Type de connecteurs



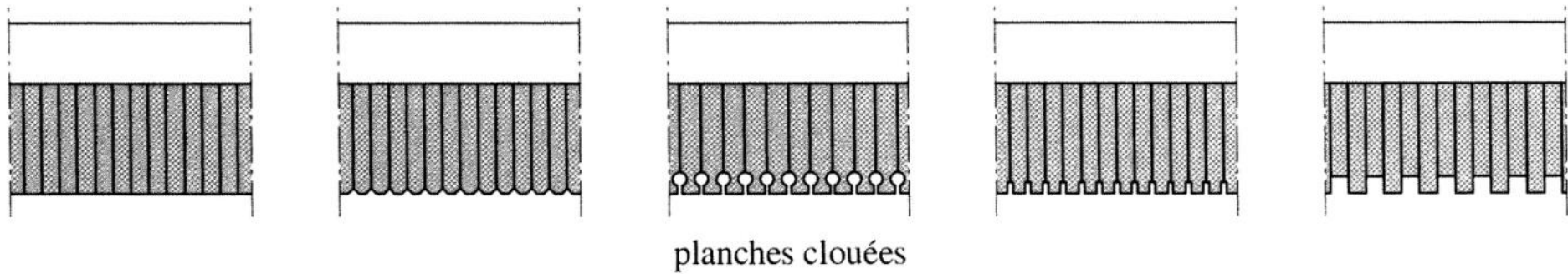
treillis



profilé composé-soudé

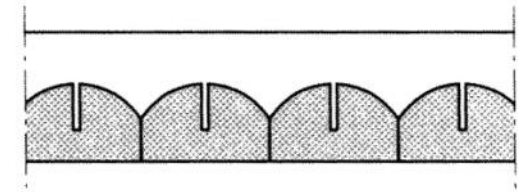
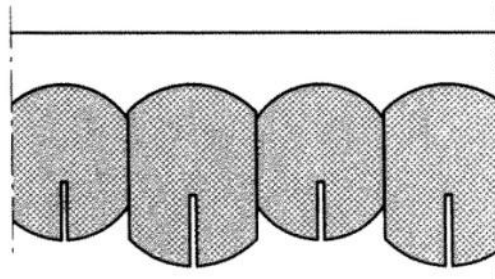
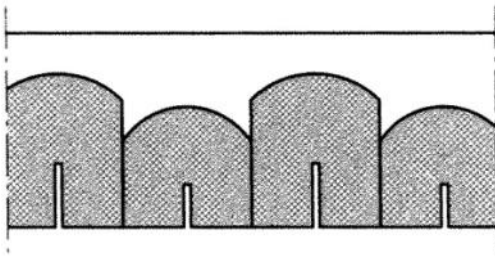
Type de sections mixte

Dalle bois massive



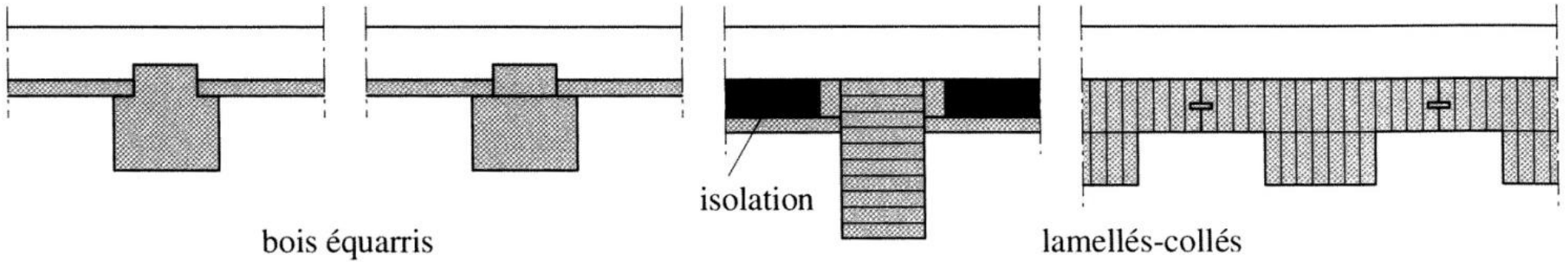
(a) Dalles massives.

Dalle massive bois rond



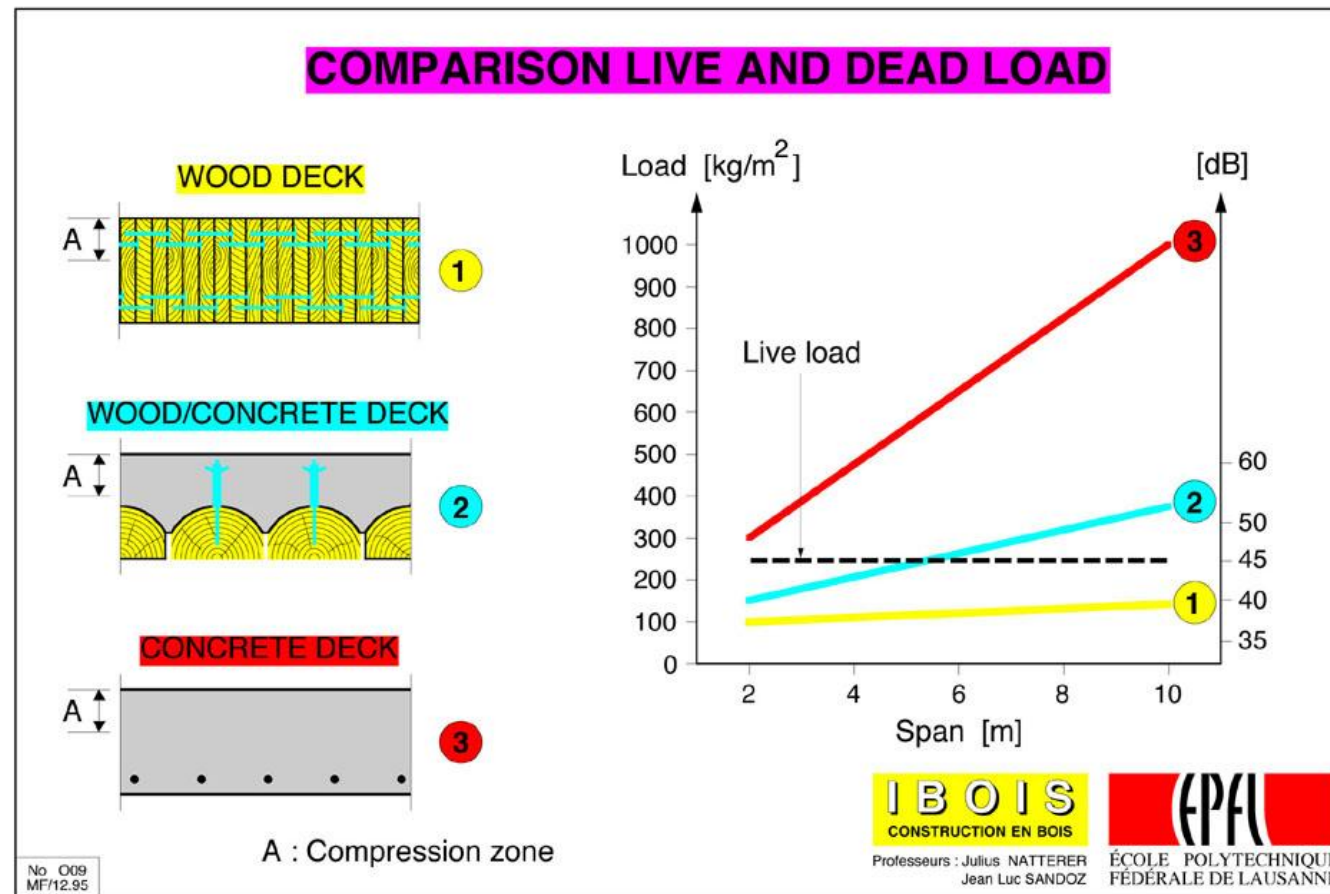
demi-rondins

Section solive



(b) Poutres en té.

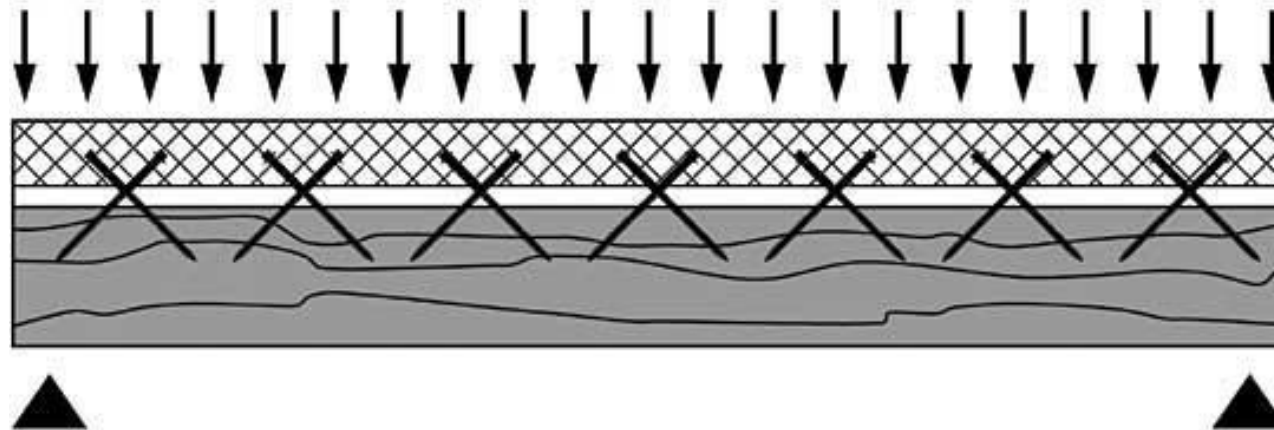
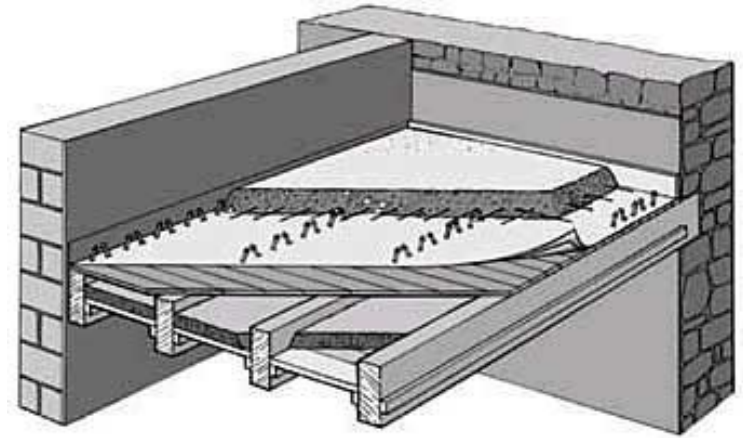
Avantage de la dalle bois béton mixte



Les marques

Les marques

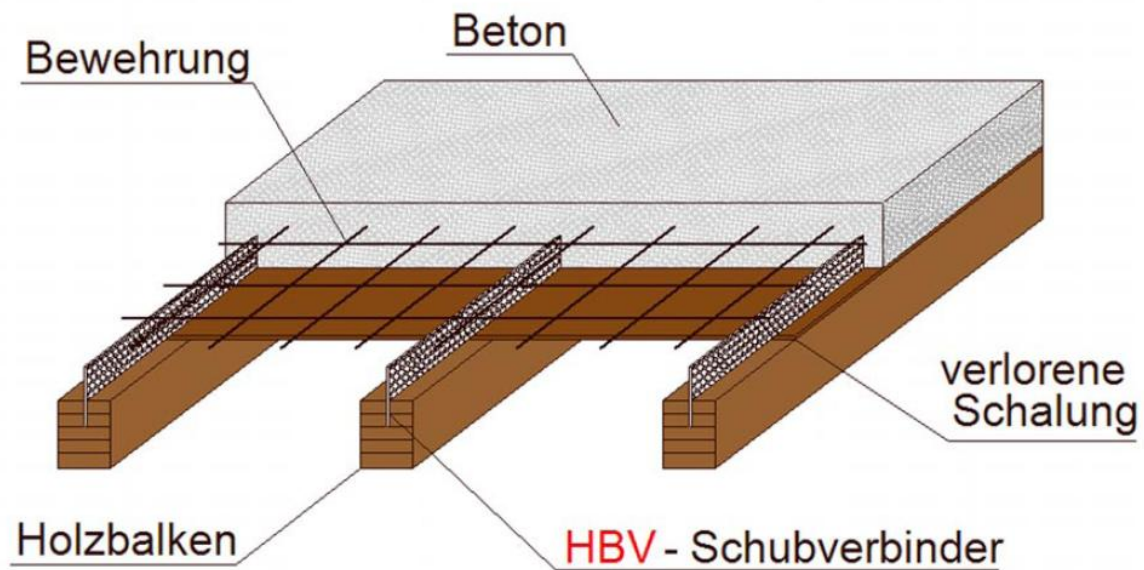
- Système SFS depuis 1995



- Vis wüth
- Vis rothoblass

Les marques

- Système TiComTec – HBV-system

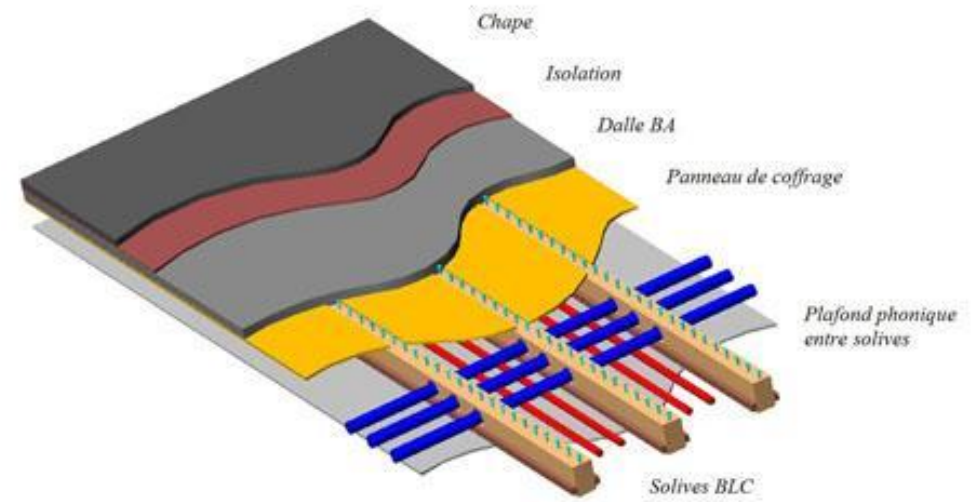


Ticomtec.de

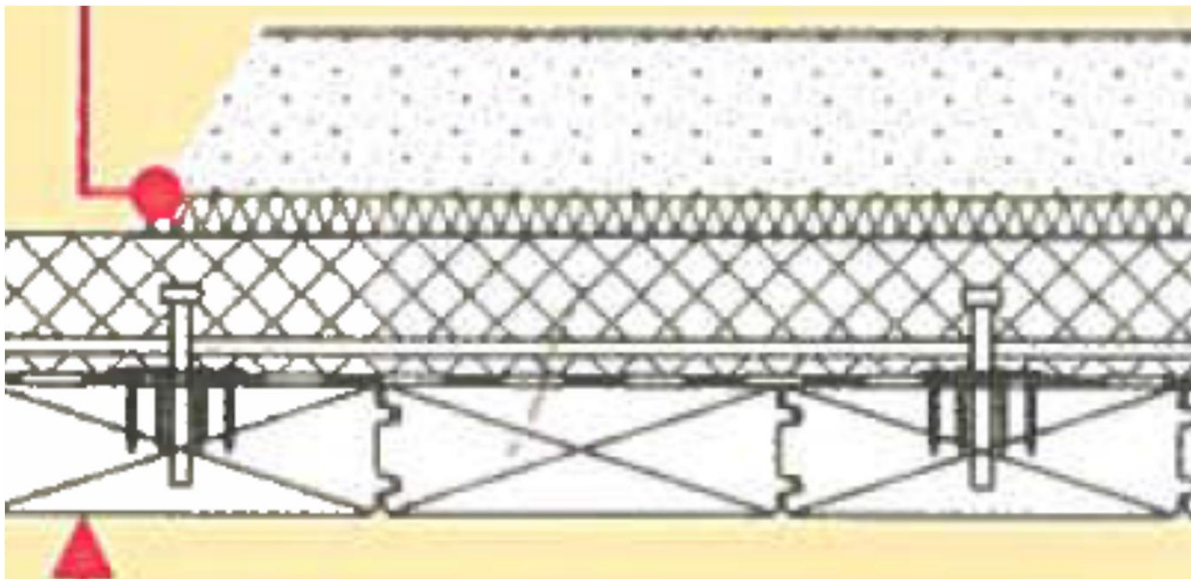
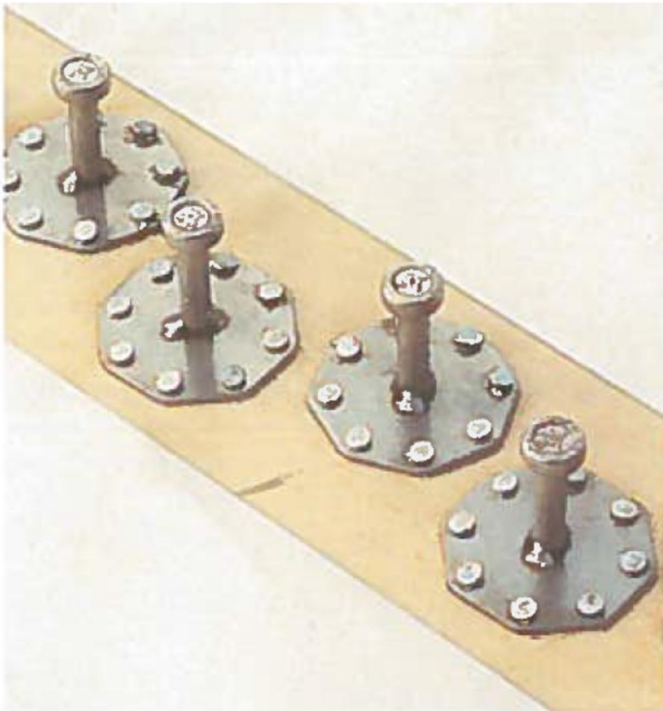


Système

■ JPF-Ducret



Systeme Küttel



Système Küttel

- Module de glissement (ELS) $K_{ser} = 25'000 \text{ N/mm}^2$
- Module de glissement (ELU) $K_u = 13'500 \text{ N/mm}^2$

- Résistance $R_{u,k} = 21.9 \text{ kN}$ (5% fractile)
- $Fd = k_{mod} R_{u,k} / \gamma_v = 0.8 \times 21.9 / 1.25 = 14 \text{ kN}$

La problématique Bois-Béton

Problématique du bois béton

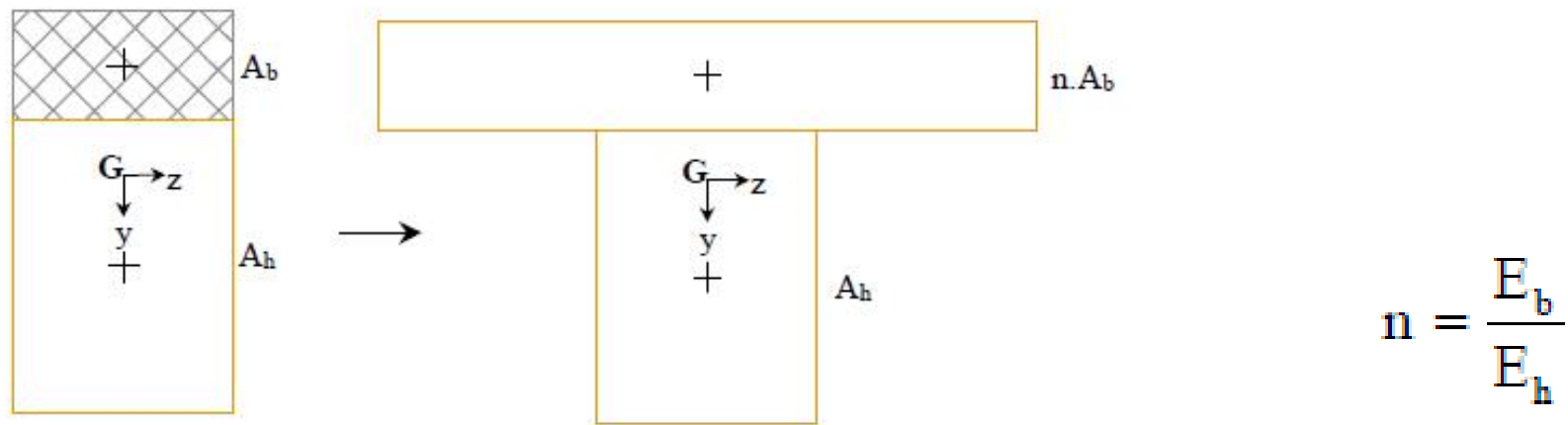
- Assemblage semi-rigide

Méthode γ

$$I_{eq} = \underbrace{\sum_{i=1}^m I_i}_{\text{rigidité propre}} + \underbrace{\sum_{i=1}^m \gamma_i \cdot \bar{A}_i \cdot a_i^2}_{\text{rigidité de translation}}$$

Problématique du bois béton

- matériaux différents bois et béton avec rigidités différentes



$$\sigma_b = E_b \varepsilon_{\text{sup}} = \frac{E_b}{E_h} E_h \varepsilon_{\text{sup}} = n \sigma_h$$

Problématique du bois et du béton

- Déformation différenciée dans le temps : le fluage

$$E_{\infty} = \frac{E_0}{1 + \varphi}$$

Coefficient de liaison γ

Systeme à entaille

Coefficient de liaison γ

Connecteur linéaire

C , Kser, Ku :	Coefficient de rigidité ponctuel de l'assemblage	N/mm
$\bar{C}$, $\bar{K}_{ser}$, $\bar{K}_u$:	coefficient de rigidité linéaire c'est-à-dire divisé par la distance entre connecteur	N/mm ²

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_b \cdot A_b}{l^2 \cdot \bar{C}}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + k}$$

Système

■ Entaille

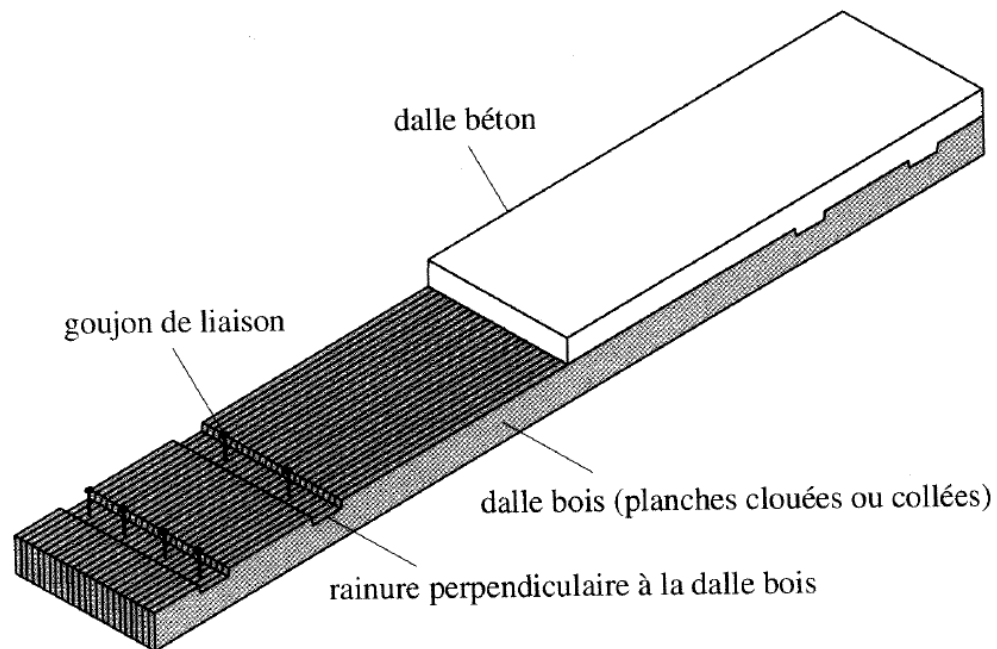
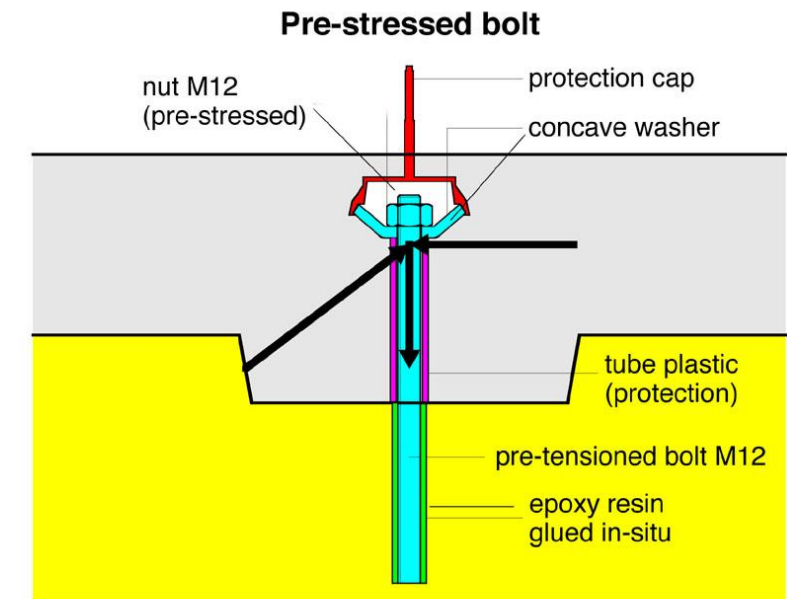


Fig. 9.16 Dalle mixte bois-béton avec rainures.



Coefficient de liaison γ

Connecteur ponctuel

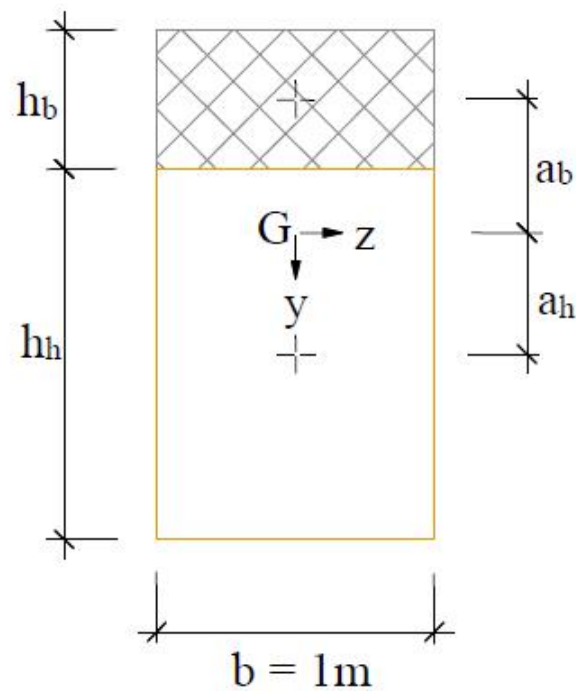
Pour le système à entaille

Tableau 9.18 Coefficient de glissement de la liaison γ pour une dalle mixte bois-béton avec rainures.

Portée l de la dalle mixte	Types de joints de planches clouées ou collées sur la portée l		
	Joints droits	Joints aboutés	Sans joint ($= l$)
$l \leq 7.0$ m	0.80	0.80	0.85
$7.0 \text{ m} < l \leq 10.0$ m	0.80	0.85	0.90
$l > 10.0$ m	0.85	0.90	0.90

Méthode de dimensionnement

■ Section bicouche



Béton

$$A_b = h_b b$$

$$I_b = \frac{b h_b^3}{12}$$

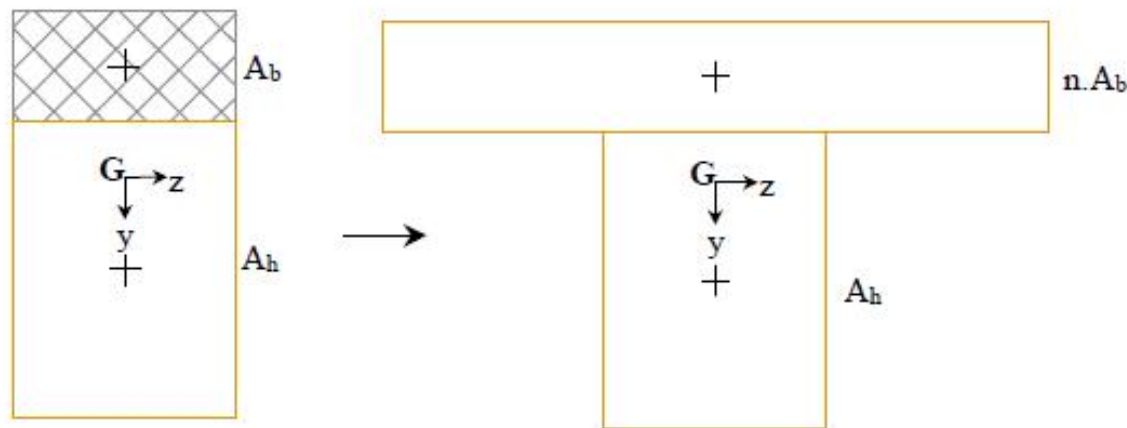
Bois

$$A_h = h_h b$$

$$I_h = \frac{b h_h^3}{12}$$

Méthode de dimensionnement

■ Section bicouche



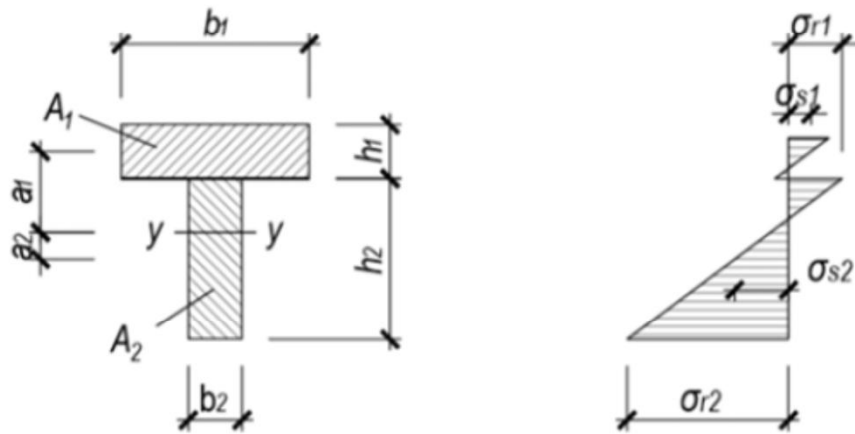
$$n = \frac{E_b}{E_h}$$

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_{\text{sup}} = \frac{E_b}{E_h} E_h \varepsilon_{\text{sup}} = n \sigma_h$$

Méthode de dimensionnement

■ Section bicouche

Section composée bi-couches



$$n_1 = E_1 / E_v$$

$$n_2 = E_2 / E_v$$

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + k}$$

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{n_2 \cdot A_2 \cdot (h_1 + h_2)}{2 \cdot \gamma \cdot n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2}$$

$$a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_1$$

$$S_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot a_1$$

$$S_2 = b_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2 / 2$$

$$I_{eff} = n_1 \cdot I_1 + n_2 \cdot I_2 + \gamma \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + n_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2$$

Méthode de dimensionnement

- Contrainte à l'axe de la section i

$$\sigma_{si} = \frac{M}{I_{eq}} \cdot \gamma_i \cdot a_i$$

- Contrainte de bord

$$\sigma_{ri} = \frac{M}{I_{eq}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i \pm \frac{h_i}{2} \right)$$

$\sigma_{s1} = \frac{M}{I_{eff}} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot n_1$	$\sigma_{s2} = \frac{M}{I_{eff}} \cdot a_2 \cdot n_2$	$\sigma_{r1} = \frac{M}{I_{eff}} \cdot \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right) \cdot n_1$	$\sigma_{r2} = \frac{M}{I_{eff}} \cdot \left(a_2 + \frac{h_2}{2} \right) \cdot n_2$
--	---	---	--

Méthode de dimensionnement

- Le flux de cisaillement entre la couche i et $i+1$ (N/mm)

$$\tau = \frac{\max Q}{I_{eff}} \cdot \gamma \cdot n_1 \cdot S_1$$

- Avec

$$S_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot a_1$$

Le fluage

Méthode de dimensionnement

- Considération du fluage des matériaux

$$E_{\infty} = \frac{E_0}{1 + \varphi}$$

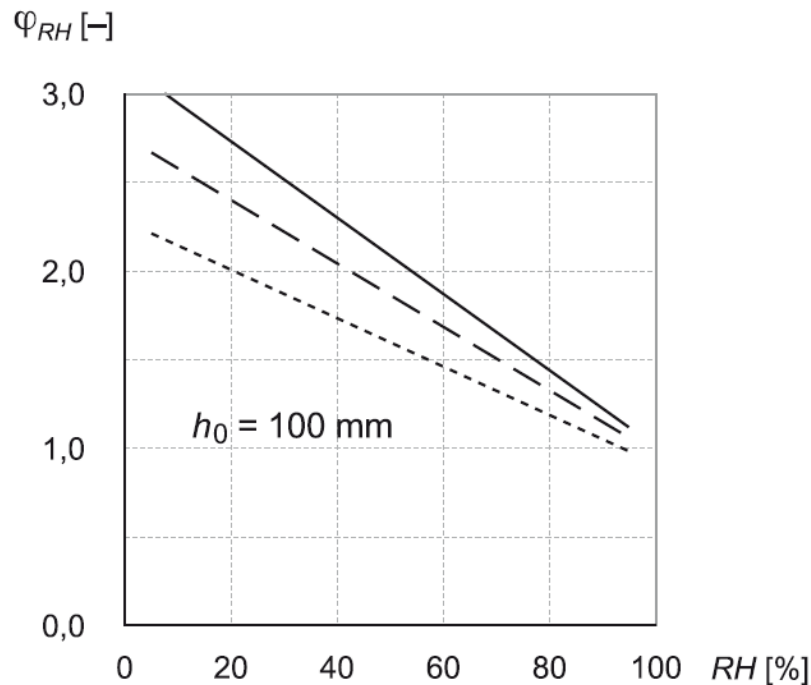
Coefficient de fluage du béton

- SIA 262 formule 13

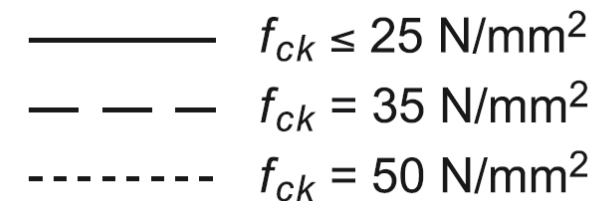
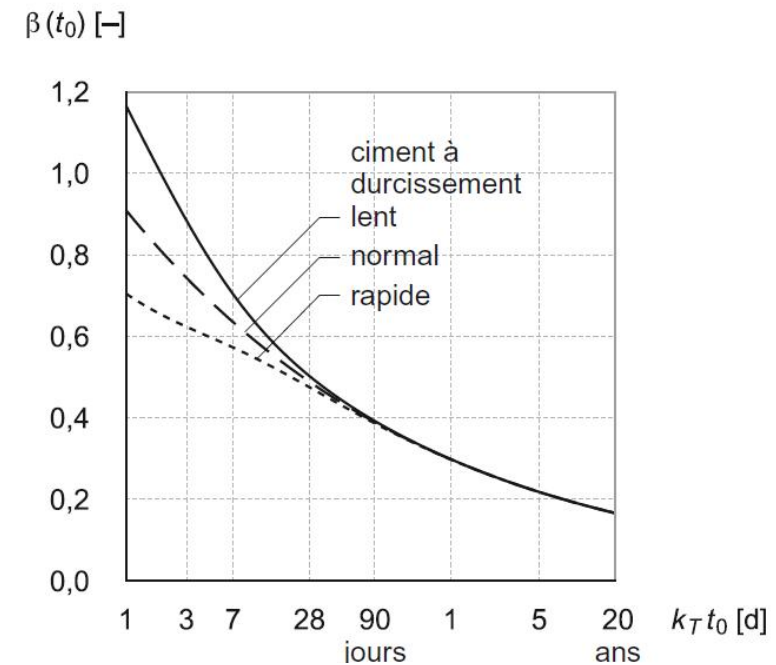
facteur de fluage $\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} * \beta_{fc} * \beta(t_0) * \beta(t - t_0) =$

Coefficient de fluage du béton

Coefficient d'humidité ambiante

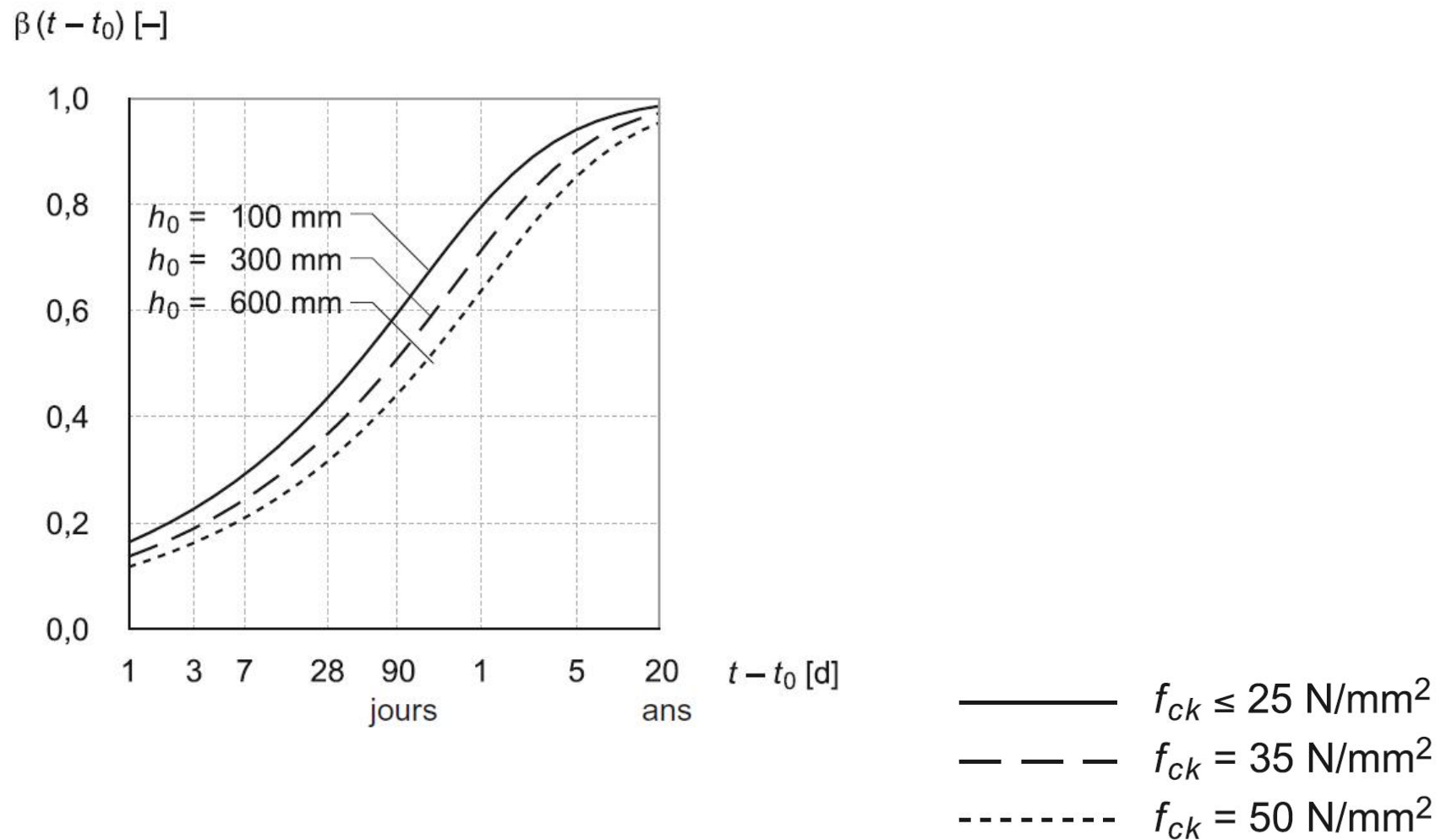


Coefficient de l'âge de la mise en charge



Coefficient de fluage du béton

Coefficient de durée de charge



Coefficient de fluage du béton

Coefficient de résistance

Tableau 4: Coefficient β_{fc} tenant compte de la résistance du béton dans le calcul du coefficient de fluage

Béton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	C .../...
β_{fc} [–]	3,8	3,4	3,2	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	< 2,2

Coefficient de fluage du béton

- SIA 262 formule 13

facteur de fluage $\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} * \beta_{fc} * \beta(t_0) * \beta(t - t_0) = 2.1 * 2.9 * 0.5 * 0.6 = 1.83$

(SIA 262
formule 13)

fluage

qualité du béton $\beta_{fc} = 2.9$

jour de mise en charge (28j) $\beta(t_0) = 0.5$

durée de la charge ($\infty - 28j$) $\beta(t - t_0) = 1 - 0.4 = 0.6$

humidité d'ambiance $\varphi_{RH} = 2.1$

Coefficient de fluage du bois

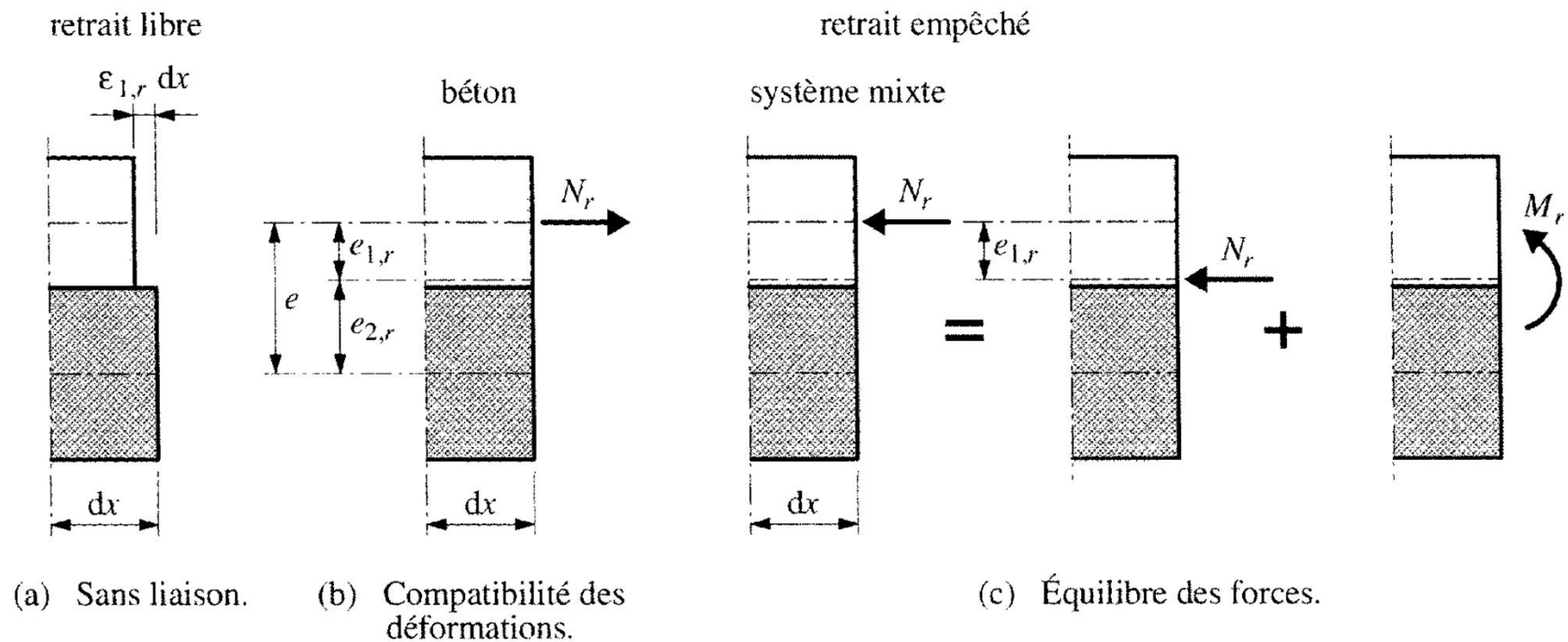
- Selon SIA 265
- $E = 11'000 \text{ N/mm}^2$
- $\varphi = 0,6$

$$E_{\infty} = \frac{E_0}{1 + \varphi}$$

Retrait du béton

Méthode de dimensionnement

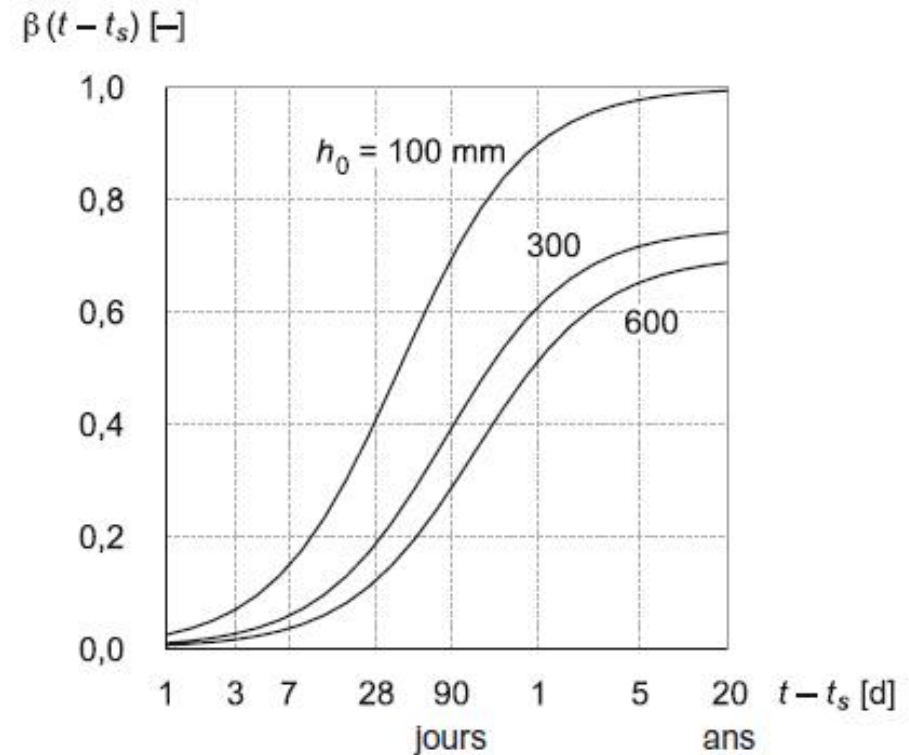
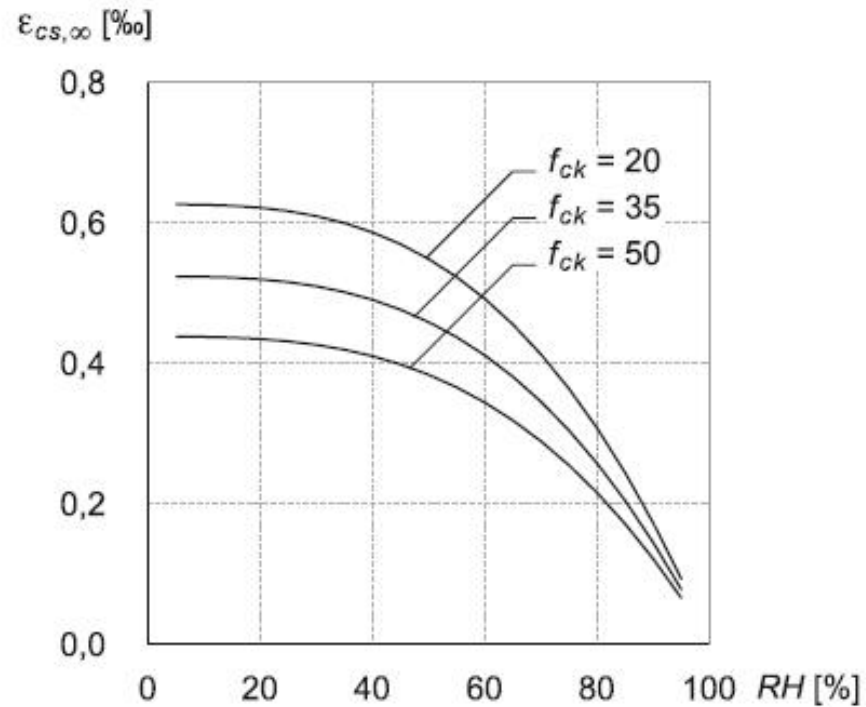
■ Considération du retrait du béton



Coefficient de retrait du béton

Coefficient d'humidité ambiante

Coefficient du début de
dessiccation



Retrait du béton

- Module de rigidité du béton pour le retrait

$$E_{br} = \frac{E_b}{1 + 0,5 \varphi}$$

φ : coefficient de fluage du béton.

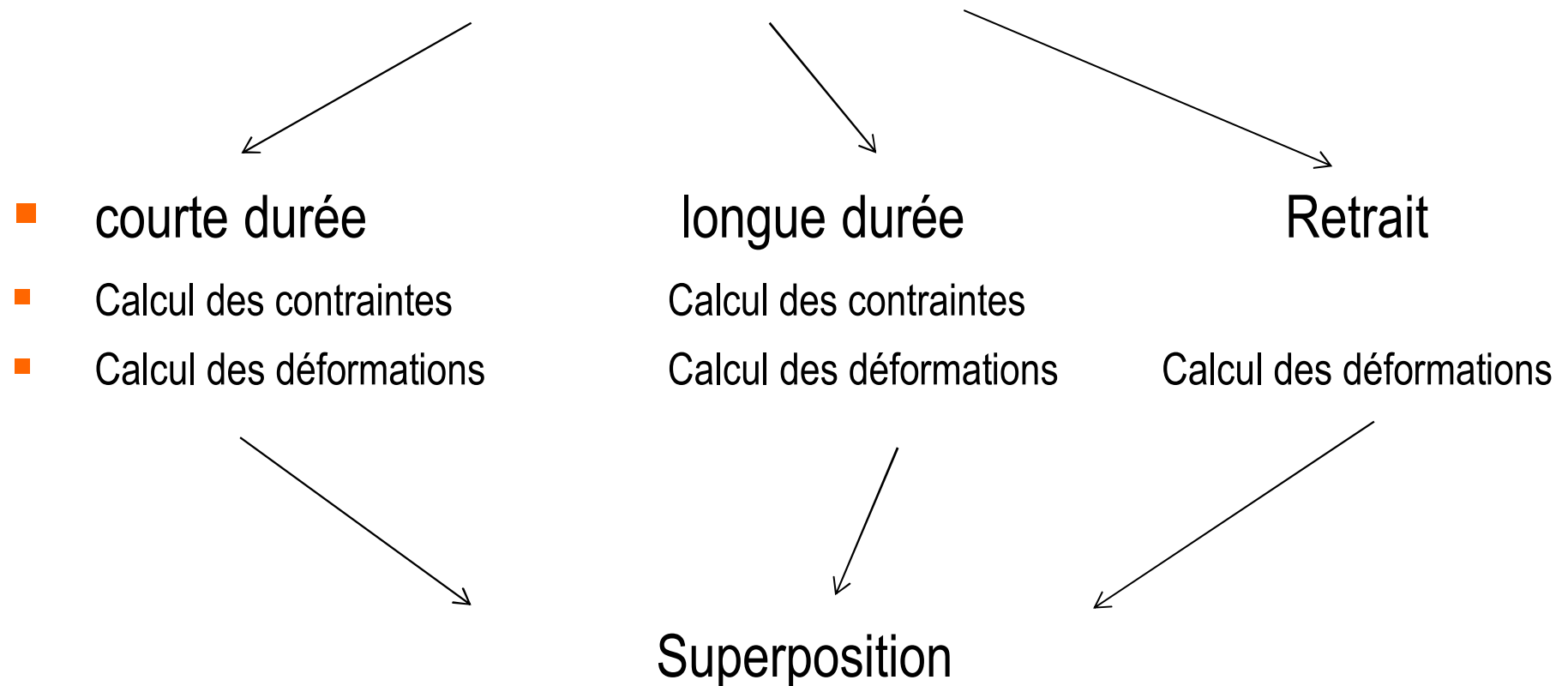
- Module de rigidité du bois pour le retrait

$$E_{h,\infty} \quad E_{\infty} = \frac{E_0}{1 + \varphi}$$

Combinaison

Méthode de dimensionnement

- Considération du fluage des matériaux
 - Par conséquent il faut splitter les charges – splitter les modèles



Superposition ELU

CD	LD	RETRAIT
■ E bois = 11'000 N/mm ²	E bois = 7'600 N/mm ²	Favorable
■ E beton = 30'000 N/mm ²	E beton = 12'000 N/mm ²	négligé
■ Charge = $1,5(1-\psi_2) q$	charge = $1,35g + \psi_2 q$	

Résultat

- Contrainte

Superposition ELS

CD	LD	Retrait
E bois = 11000	E bois = 6875	E bois = 6875
E béton = 30000	E béton = 10600	E béton = 15700
Charge $(\psi_1 - \psi_2) q$	Charges = $g + \psi_2 q$	
v_{CD}	v_{LD}	$v_{retrait}$

Verification

Fonctionnement	$v_{CD} + v_{LD} + v_{retrait} + CF < l/350$
Aspect	$v_{LD} + v_{retrait} < l/300$
Confort:	$v_{CD} + v(\psi_2 q) < l/350$

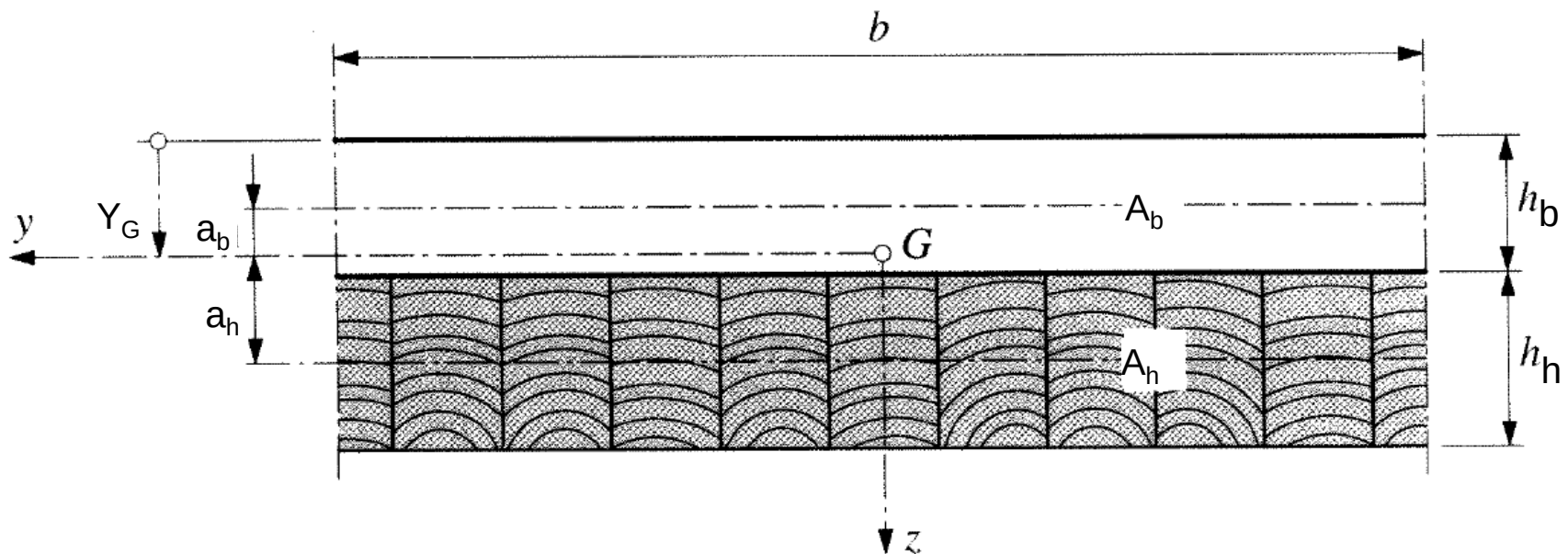
EXAMPLE

Un exemple

- Une dalle portée 7.5 m
- Charge utile 2,0 kN/m² Log. cat A
- Surcharge 1.0 kN/m²

béton = 80 mm

bois = 160 mm



Coefficient de liaison γ

Pour le système avec entaille

Tableau 9.18 Coefficient de glissement de la liaison γ pour une dalle mixte bois-béton avec rainures.

Portée l de la dalle mixte	Types de joints de planches clouées ou collées sur la portée l		
	Joints droits	Joints aboutés	Sans joint ($= l$)
$l \leq 7.0$ m	0.80	0.80	0.85
$7.0 \text{ m} < l \leq 10.0$ m	0.80	0.85	0.90
$l > 10.0$ m	0.85	0.90	0.90

Les connecteurs

Systeme avec entaille

Reprise de l'effort de cisaillement

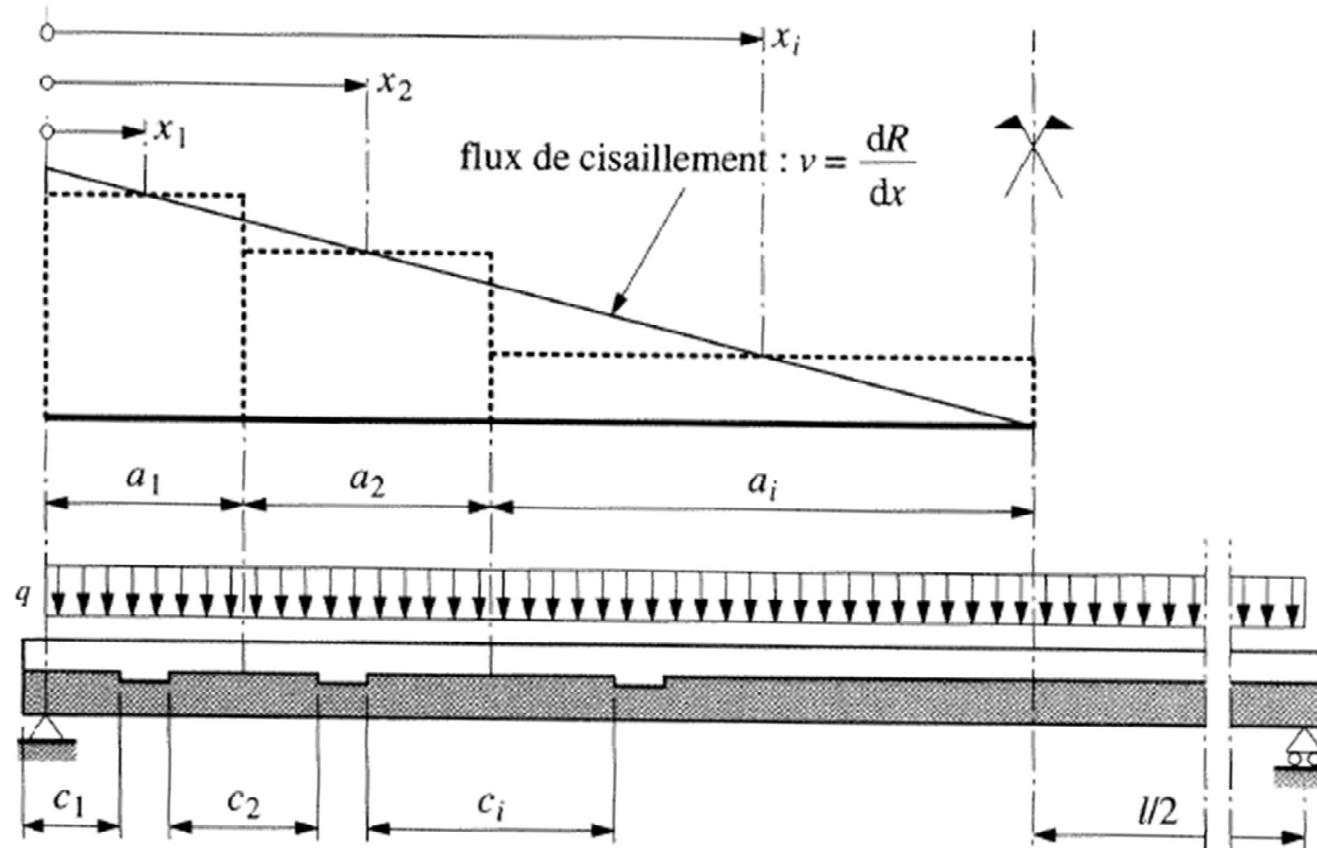


Fig. 9.19 Diagramme du flux de cisaillement v (effort rasant par unité de longueur) et position des rainures de la dalle mixte bois-béton.

Entaille

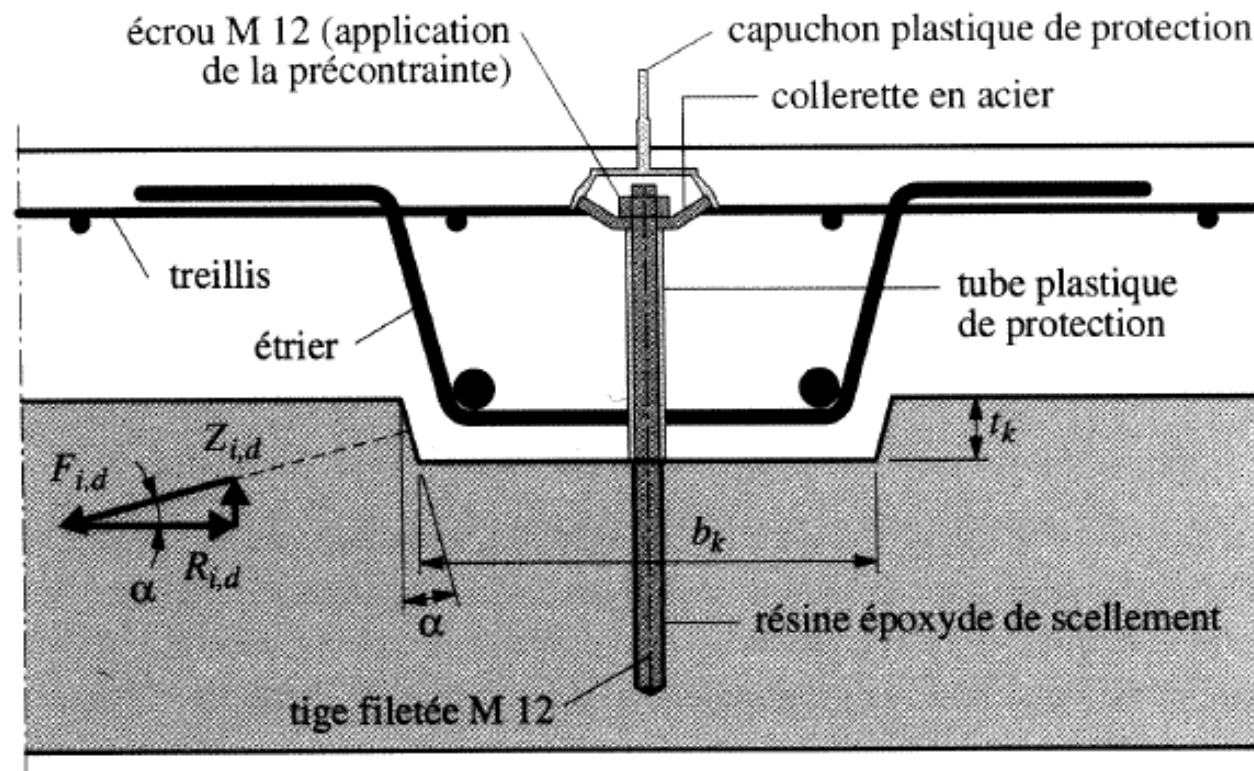
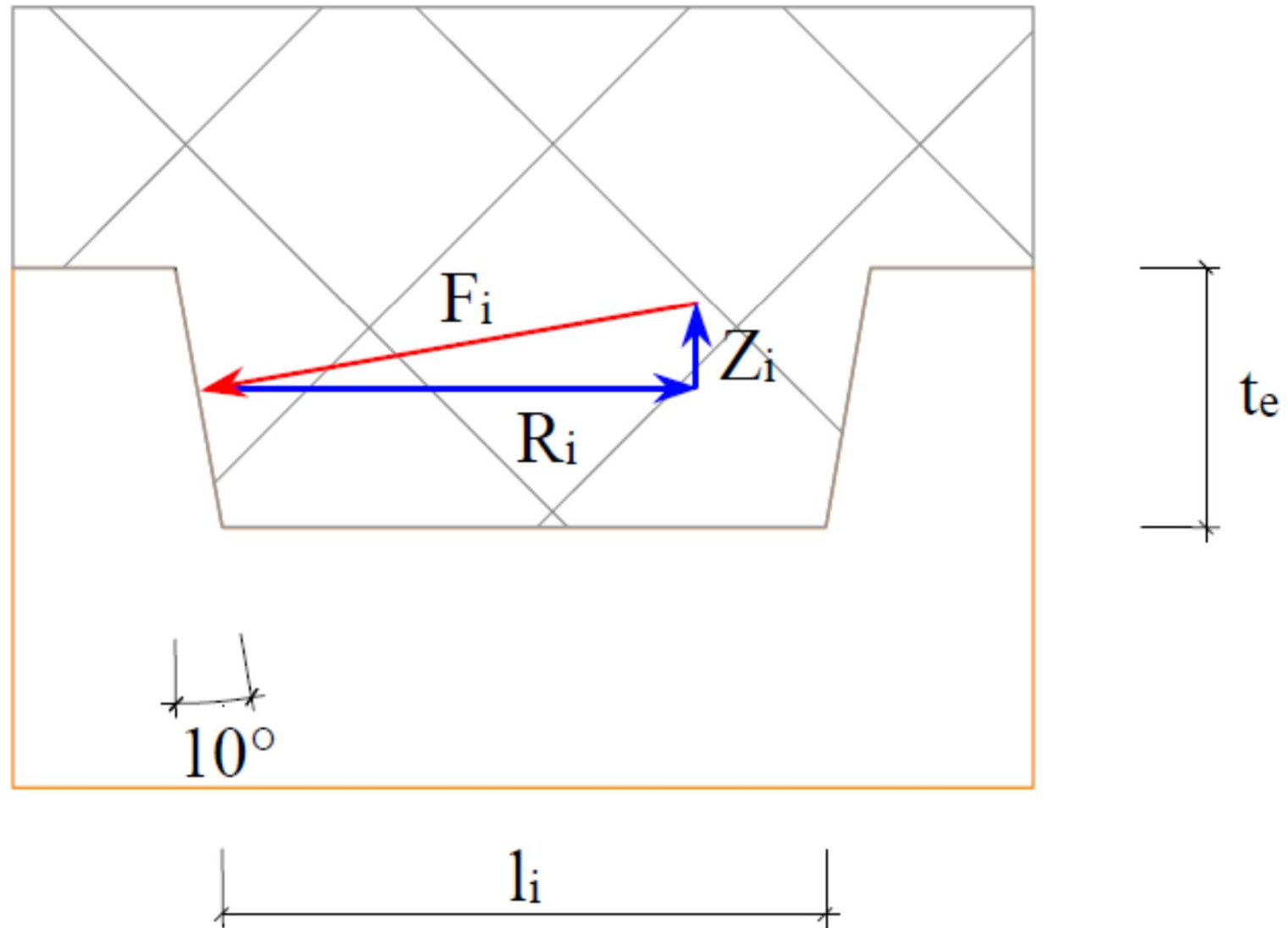


Fig. 9.17 Détail d'un goujon dans une rainure de dalle mixte bois-béton.

Entaille



Entaille

- ✓ Poinçonnement du bois incliné.

$$\frac{F_i \cos \alpha}{t_e b_e} \leq \bar{\sigma}_{d\alpha=10^\circ}$$

Entaille

- ✓ Cisaillement de l'avant bois.

$$\frac{R_i}{c_i b_e} \leq \tau$$

τ : cisaillement simple admissible du bois.

c_i : longueur de l'avant bois de l'entaille i .

b_e : largeur d'entaille résistante. En général, $b_e = b = 1\text{m}$.

Entaille

Exigence concernant le goujon.

- ✓ Traction du goujon.

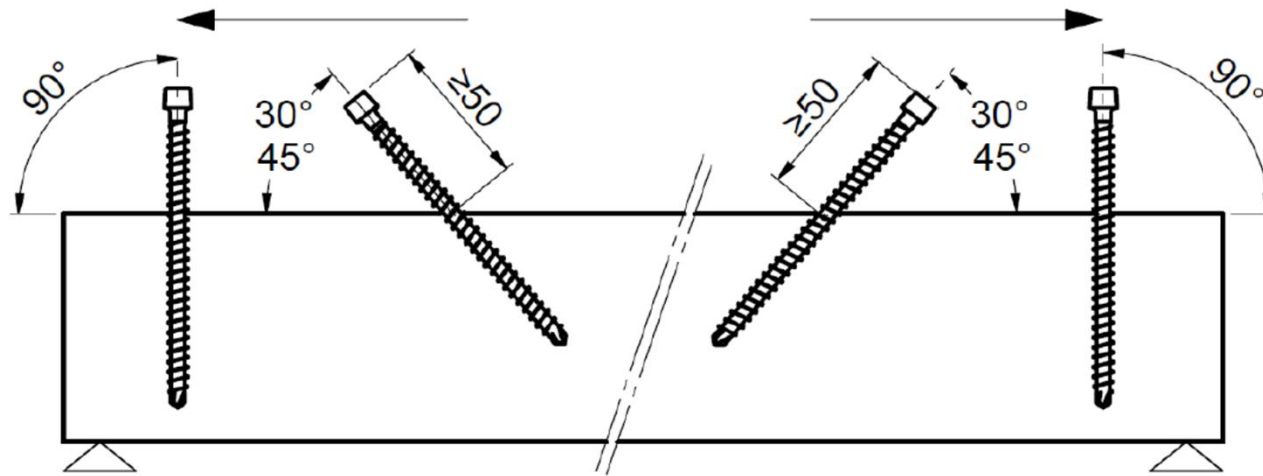
$$Z_i \leq n_i \bar{F}$$

$\bar{F}$: résistance à l'arrachement du goujon.

n_i : nombre de goujons dans l'entaille.

Vis Würth

ETA-13/0029 du 11/7/17



Connecteur Würth

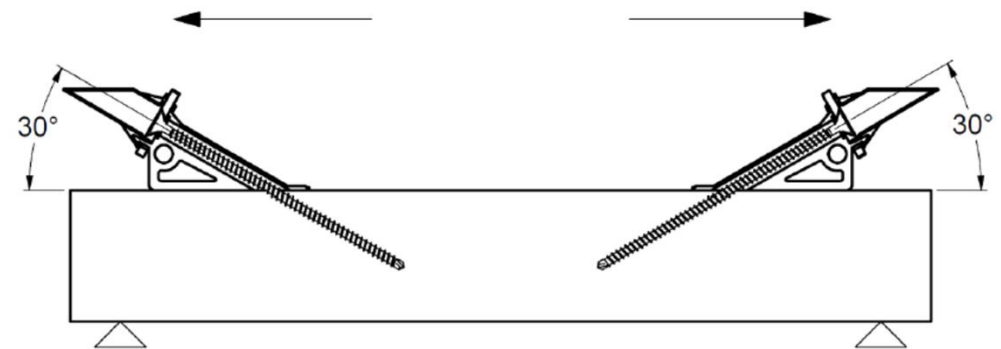
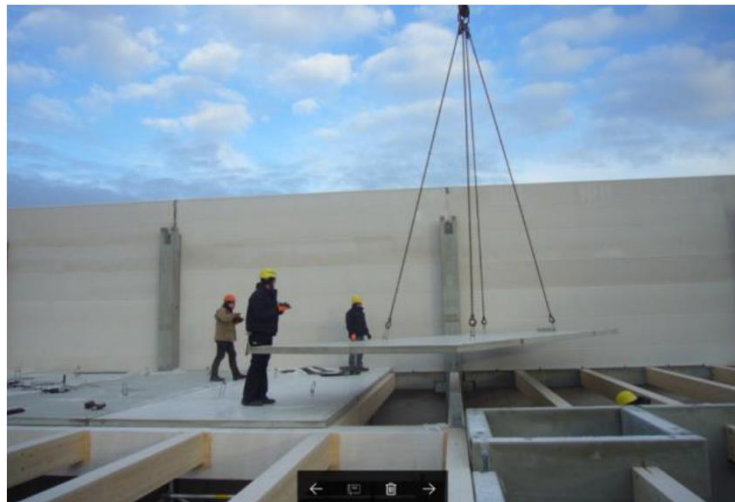
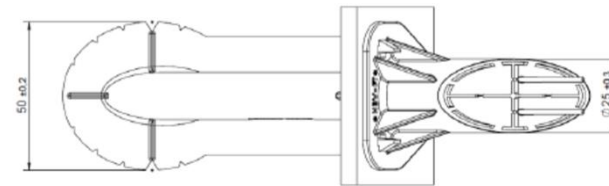


Abb. 1.1c Anordnung von ASSY plus VG-Schrauben und FT-Verbindern

K_{ser} – rigidité du connecteur

Tabelle 2.2 – Werte für K_{ser} von Holz-Beton-Verbindungen mit ASSY plus VG-Schrauben

Ausrichtung ASSY plus VG- Schrauben	K _{ser} in N/mm			
	Mit Zwischenschicht		Direkter Kontakt von Holz und Beton	
	d = 8 mm	d = 10 mm	d = 8 mm	d = 10 mm
90°	700	-	2000	-
45°	100 ℓ_{ef}	-	100 ℓ_{ef}	-
30°	-	45 ($\ell_{ef} - 2 \cdot t_{ib}$)	-	45 ($\ell_{ef} - 2 \cdot t_{ib}$)

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + k}$$

$$C = K_{\text{ser}}$$

e' = distance entre les connecteurs

Vérification de l'assemblage

Flux de cisaillement:

$$ef\ t = \frac{\max Q}{I_{eff}} \cdot \gamma \cdot n_1 \cdot S_1$$

Assemblage:

$$N_1 = ef\ t \cdot e' < N_{r,d}$$