

Construction en bois

Bachelor

Les sections composées

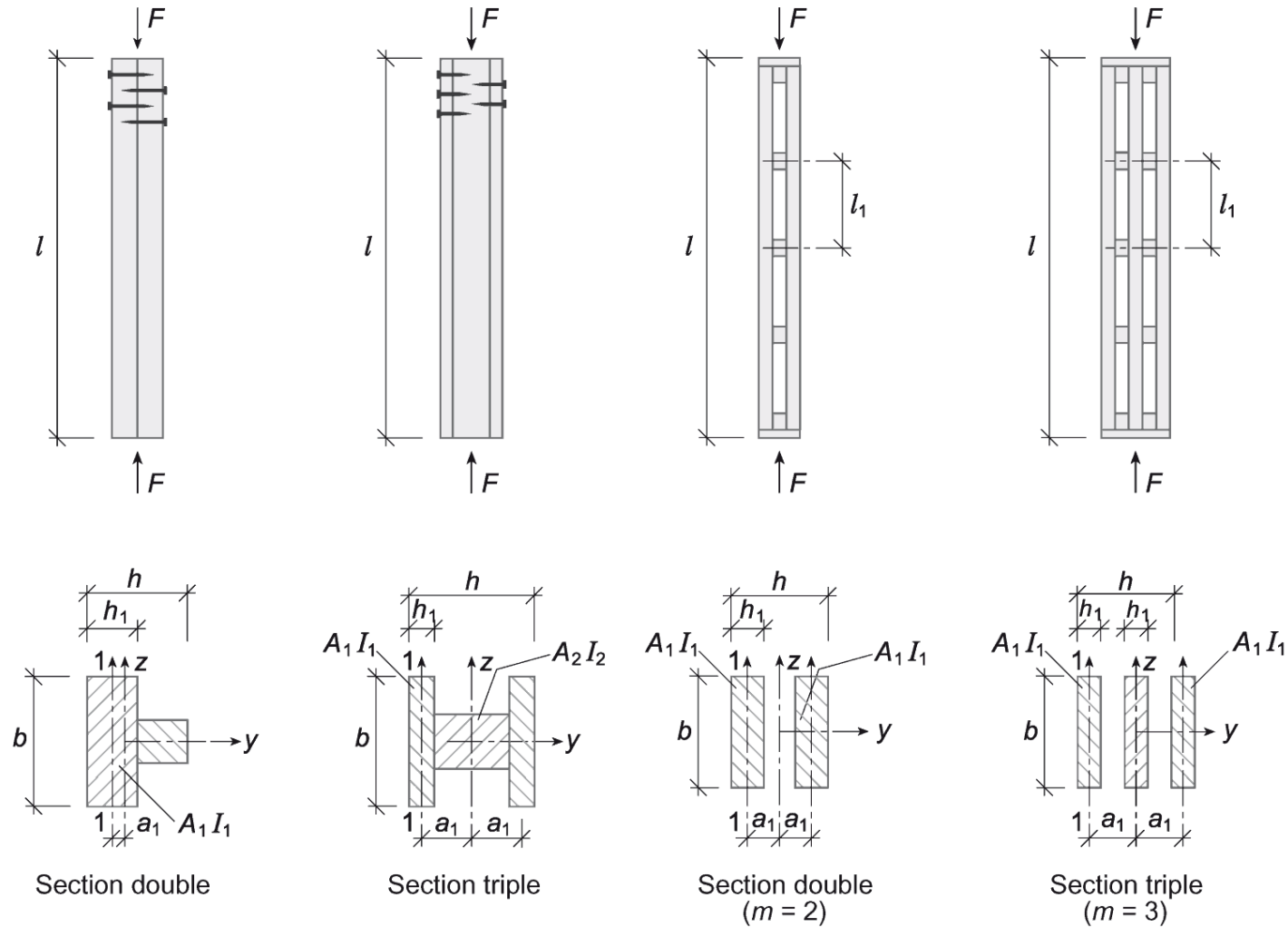
EPFL - SGC

Sections composées

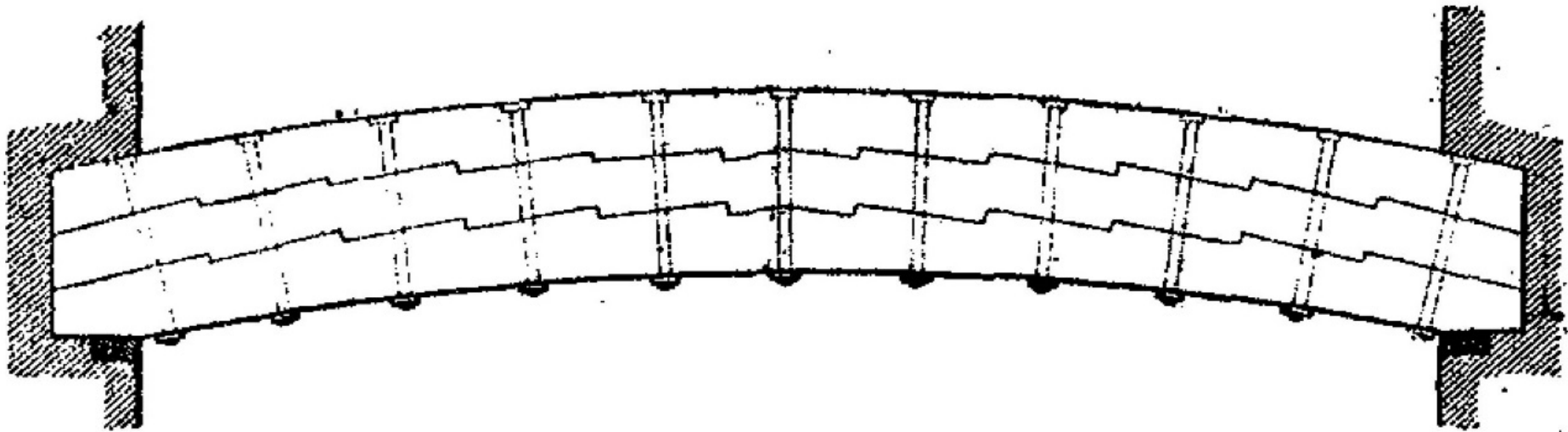
Type de sections

- Poteaux en compression
- Traverse
- Coques nervurée multi-couches
- Bois béton
- Dalle bois multi-collé

Poteau en compression

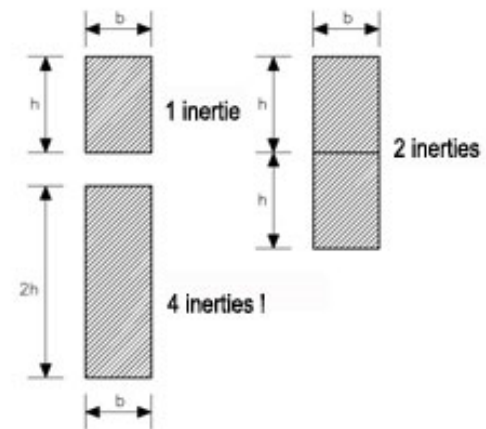
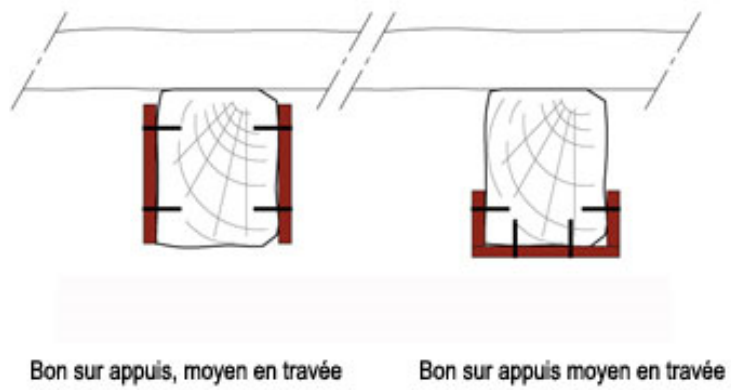


Poutre en flexion

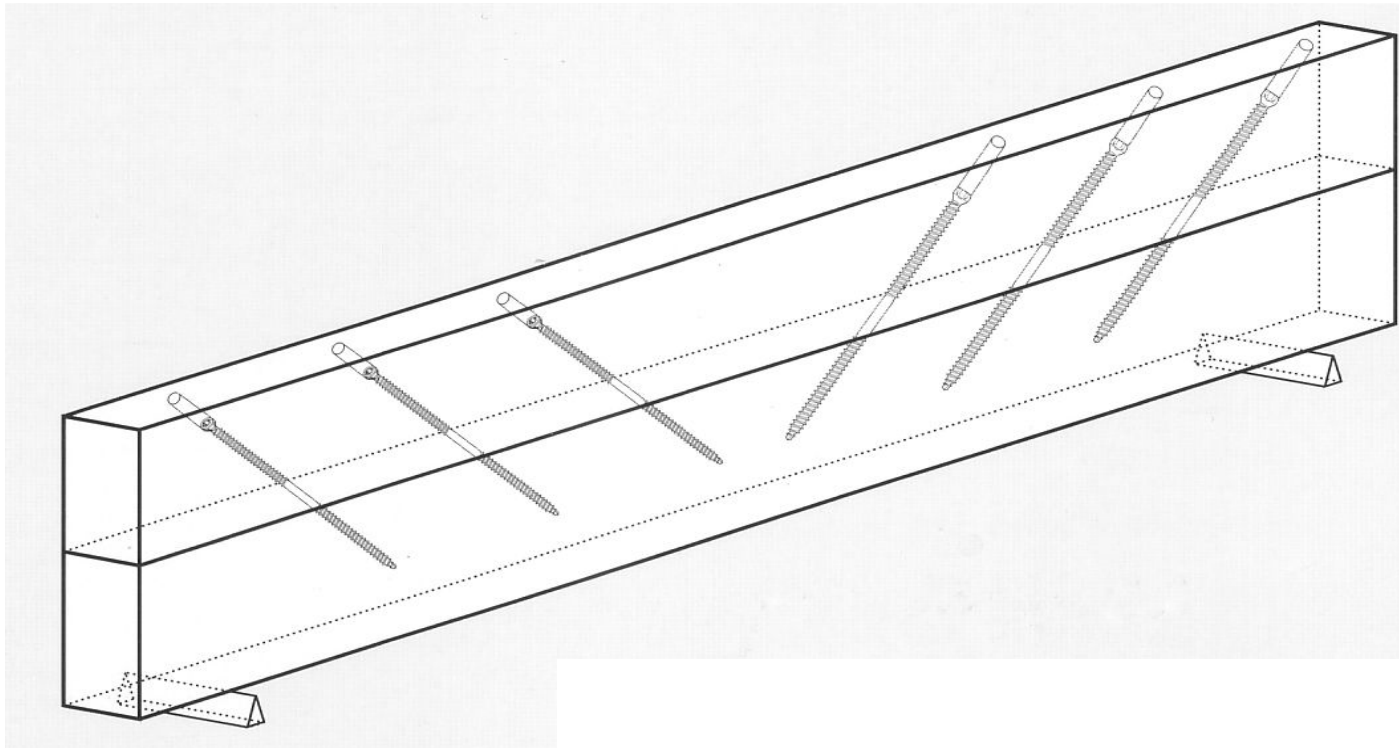


Poutre en flexion





Poutre en flexion



Exemple construit

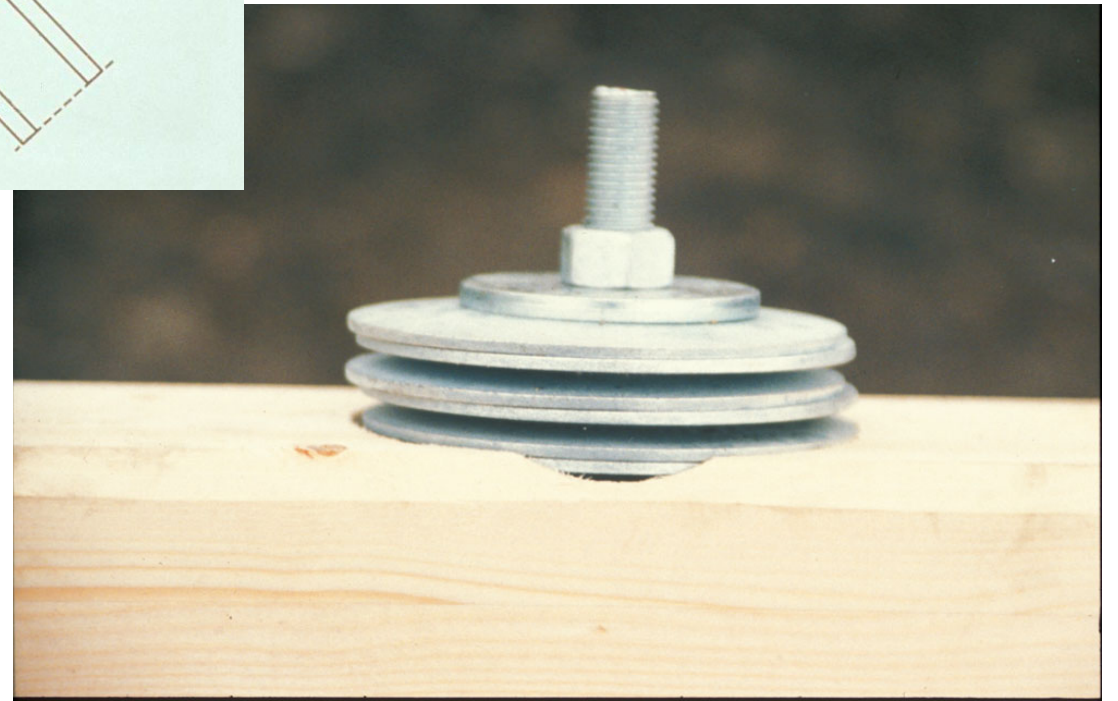
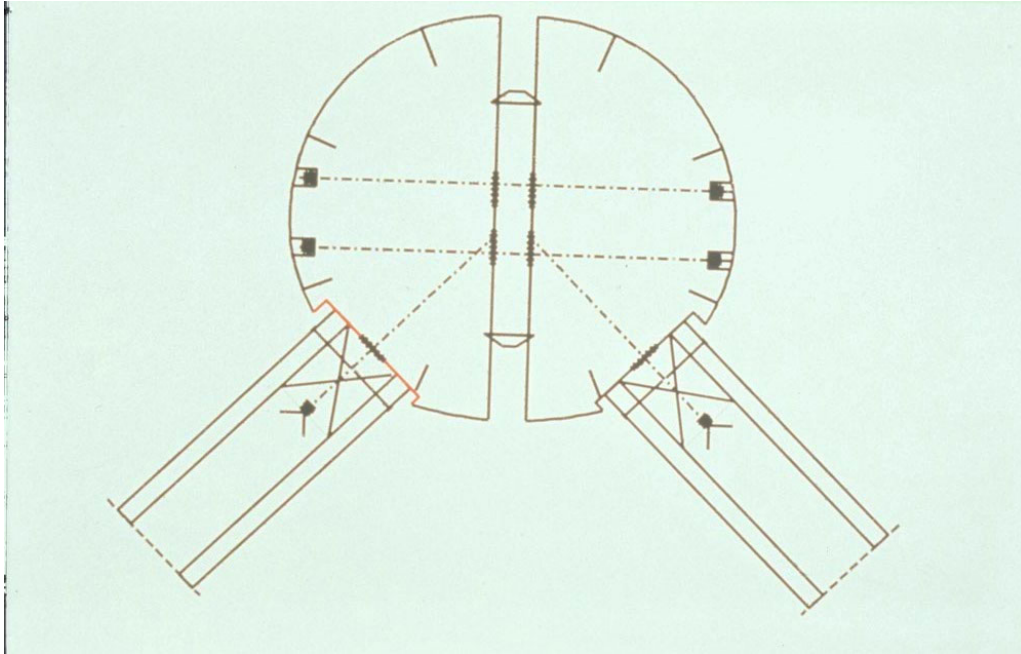


Toiture de Hannovre



Toiture de Hannovre

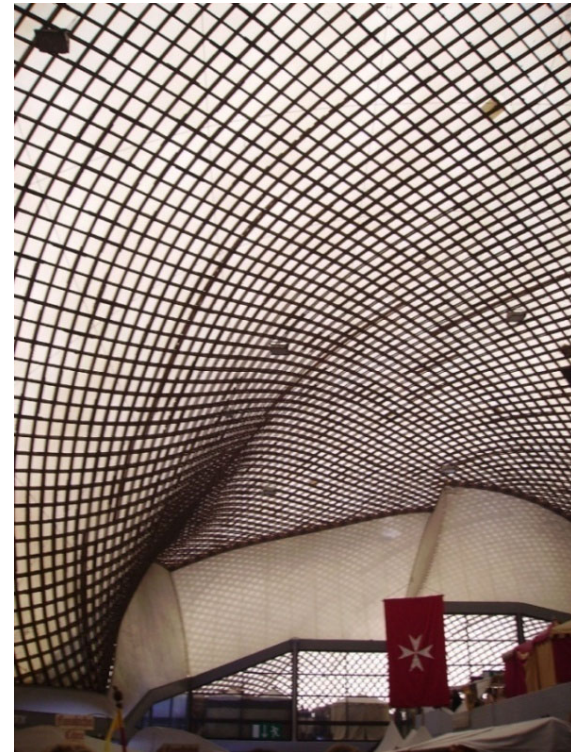
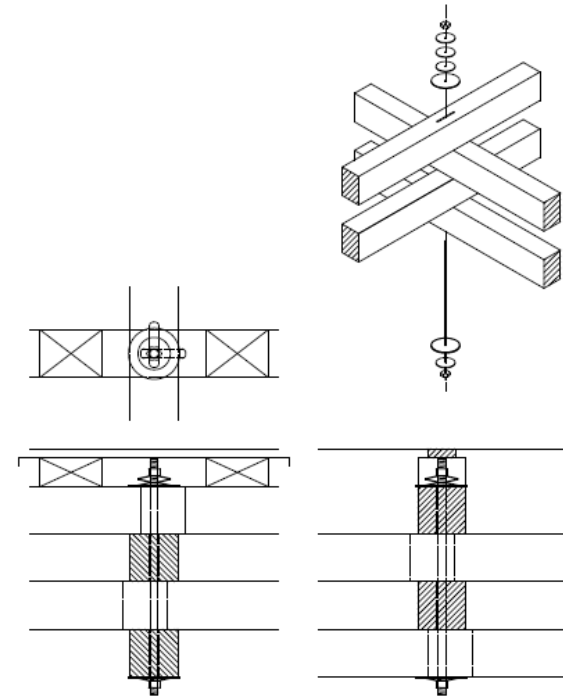




Restaurant de l'hôtel Palafitte

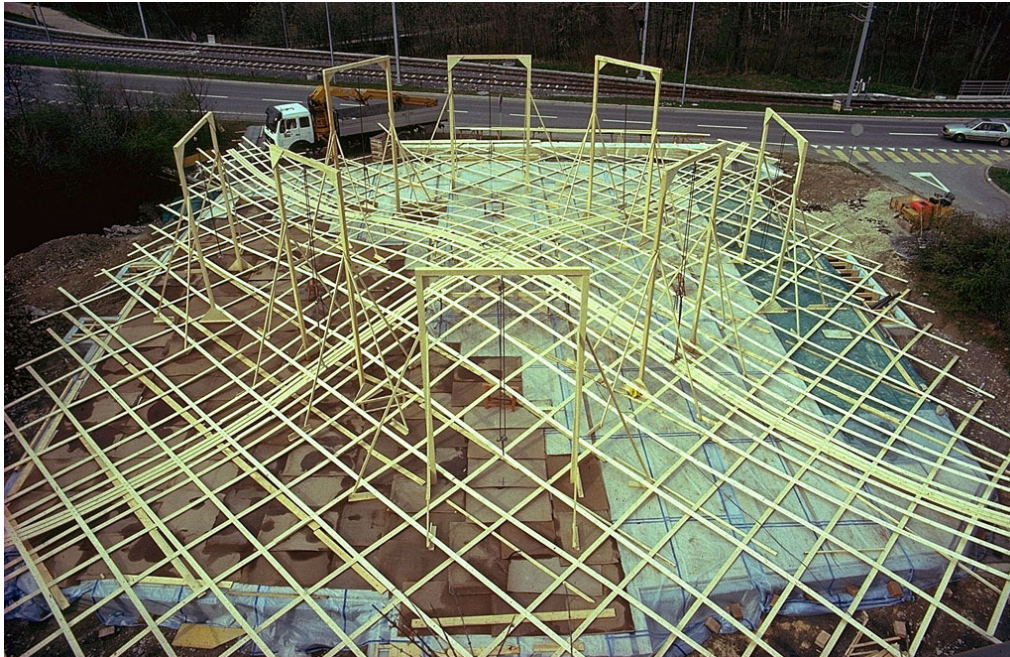


Coques nervurées



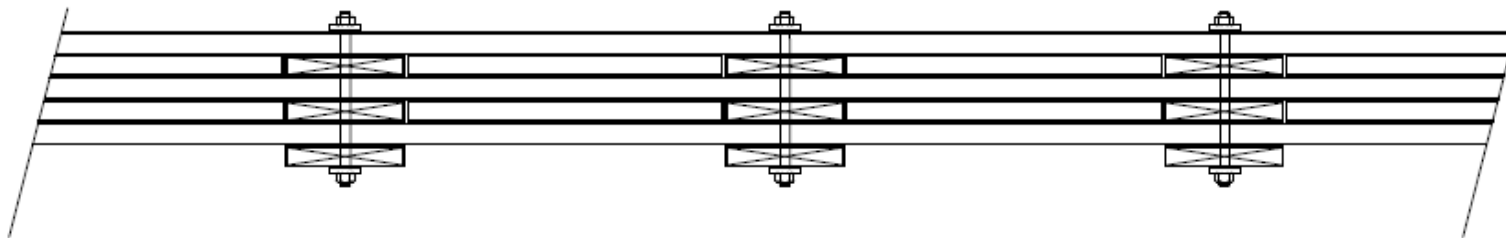
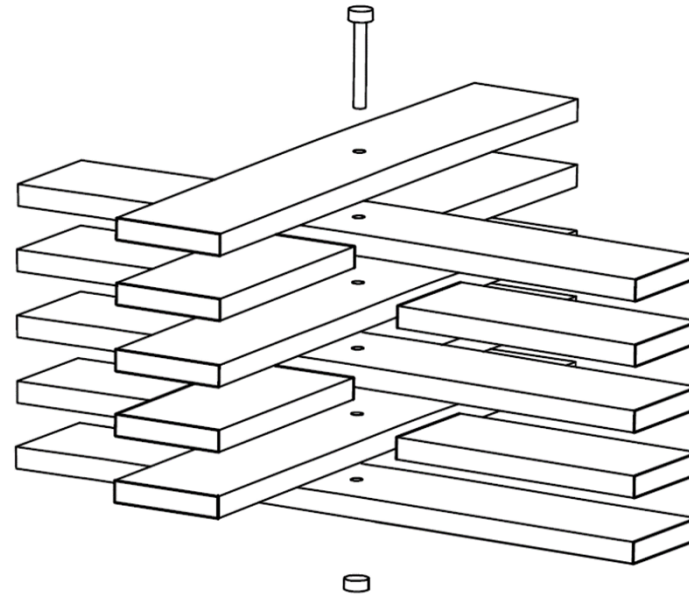
Coques nervurées

Le polydôme



Coques nervurées

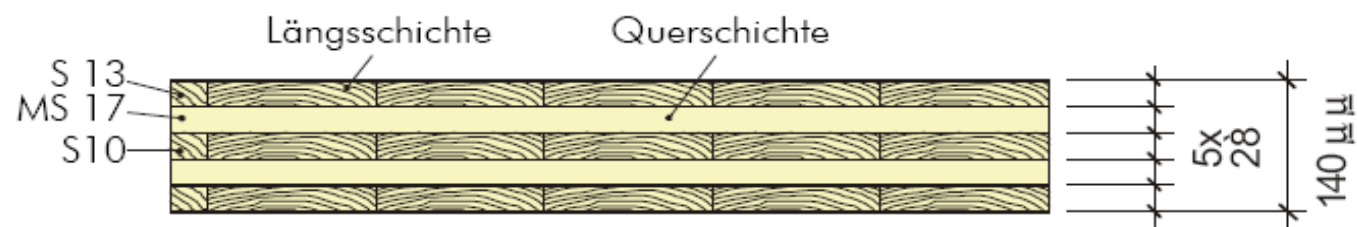
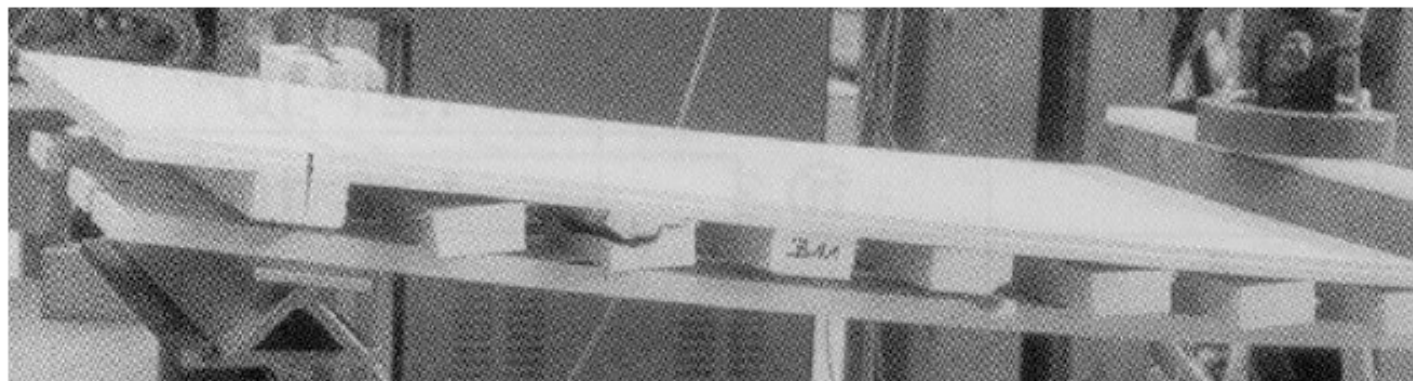
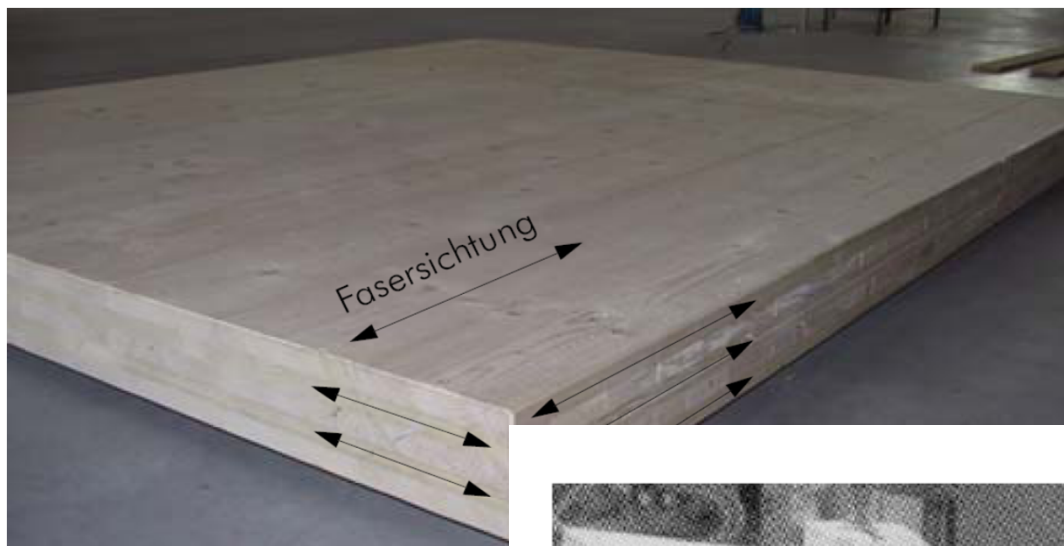
Le polydôme



Bois béton



Panneaux bois contrecollé

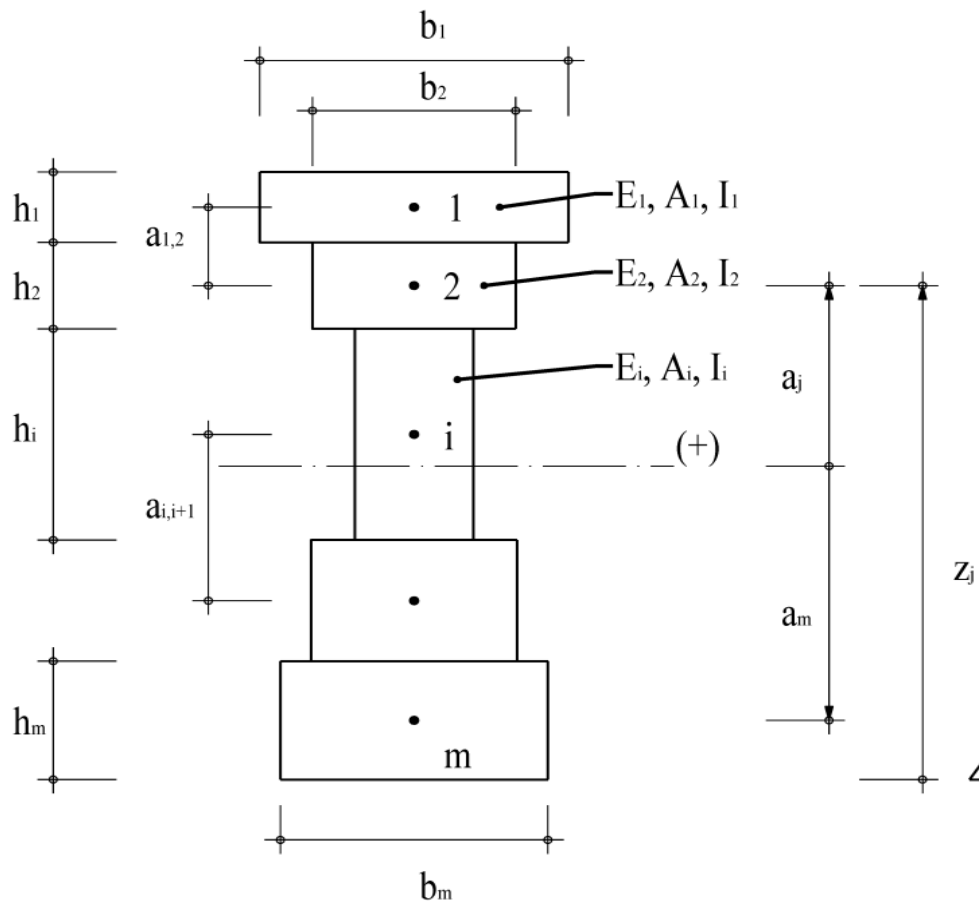


Theories

- Méthode simplifiée SIA 265 2012
- Méthode - γ 1955 & 1968
- Méthode des poutre à treillis 1990
- Méthode de l'Analogie à l'effort tranchant 1999

Les théories de la section composée

Rigide - formule de Steiner



$$I_{eq} = \underbrace{\sum_{i=1}^m I_i}_{\text{Rigidité propre}} + \underbrace{\sum_{i=1}^m A_i a_i^2}_{\text{Rigidité de translation}}$$

Rigidité propre

Rigidité de translation

Rigide - Formule de Steiner

- Centre de masse

$$Z_S = \frac{\sum_{i=1}^m A_i z_i}{\sum_{i=1}^m A_i}$$

z_i altitude de chaque section

A_i surface de chaque section

Rigide – Contrainte de cisaillement

- Cisaillement

$$\tau_{i,i+1} = \frac{Q S_{i,i+1}}{I_{eq} b_{i,i+1}}$$

- Le moment statique

$$S_{i,i+1} = \sum_{j=1}^i A_j a_j$$

a_j bras de levier de la section

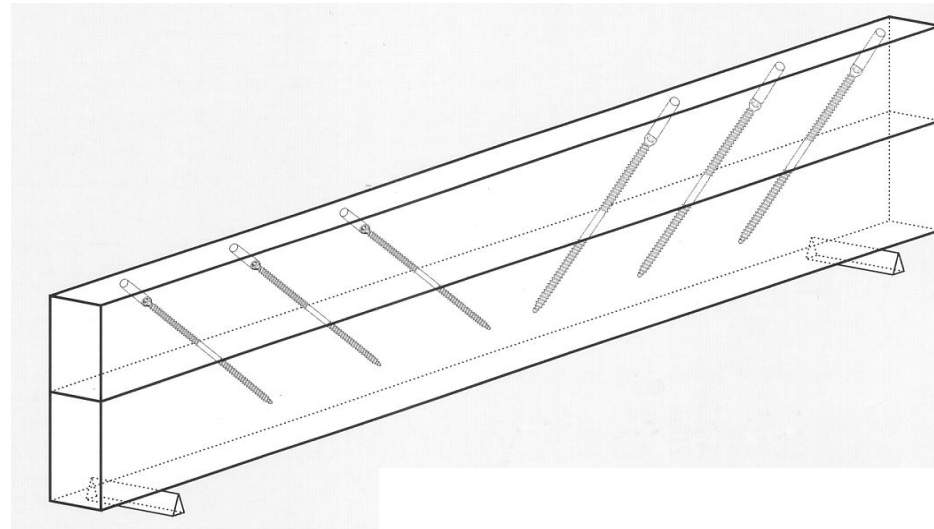
A_j surface de chaque section

Section semi-rigide

Méthode simplifiée SIA 265

Dimensionnement facilité selon SIA 265

- La SIA 265 propose un dimensionnement facilité , a prendre avec toutes les précautions nécessaire
 - 2 couches
 - 3 couches
 - élanement limite $\lambda_{z,id} < 170$ pour les pièces en compression
 - Ne pas oublier de faire la vérification des connecteurs

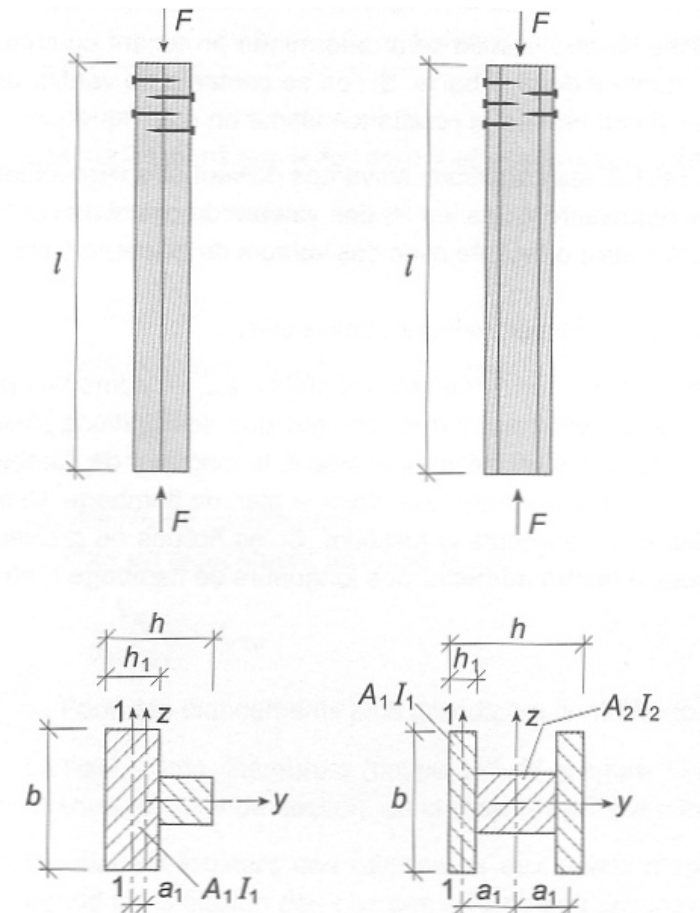


Eléments en compression

- barres avec liaison continue
(§ 5.3.7.3)

$$\lambda_{z,id} = \sqrt{\frac{\lambda_z^2}{\eta}}$$

$$\text{avec } \eta = \frac{I_{z,ef}}{I_z}$$

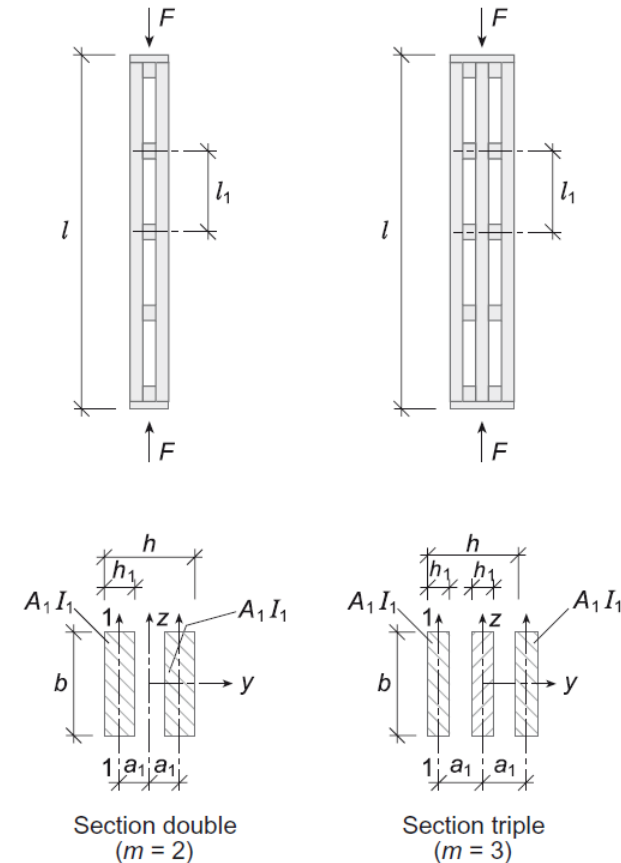


où: η degré d'efficacité de la liaison
 I_z moment d'inertie, la liaison étant admise rigide
 λ_z élancement de la section totale, la liaison étant admise rigide
 $I_{z,ef}$ moment d'inertie effectif, compte tenu de la souplesse moyenne des assemblages.

Elément en compression

- barres comprimées diaphragmées
(§ 5.3.7.4)

$$\lambda_{z,id} = \sqrt{\frac{\lambda_z^2}{\eta} + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$



- où: η degré d'efficacité de la liaison, en admettant une distribution continue des connecteurs sur la longueur de la barre l
- m nombre d'éléments
- λ_z élancement de la section totale, la liaison étant admise rigide
- λ_1 élancement d'un des éléments l_1/i_1 , avec la condition $l_1 \leq l/3$
- i_1 rayon de giration de la section d'un des éléments par rapport à l'axe 1–1.

Élément en compression

- Effort de cisaillement pour les connecteurs
(§ 5.3.7.5)

$$V_d = \frac{\lambda_{z,id}}{2000} F_d$$

où: F_d valeur de calcul de l'effort de compression
 $\lambda_{z,id}$ élancement fictif de la section totale selon les chiffres 5.3.7.3 ou 5.3.7.4.

Propriétés mécaniques d'une poutre chevillée

- Restrictions :
 - calcul approché
 - chaque couche possède les mêmes propriétés
 - trois couches maximales
- Coefficients de réduction (§ 5.3.3.1)

Composition de la section	Moment de résistance	Moment d'inertie
2 profils superposés	$\beta = 0.85$	$\eta = 0.65$
3 profils superposés	$\beta = 0.60$	$\eta = 0.33$

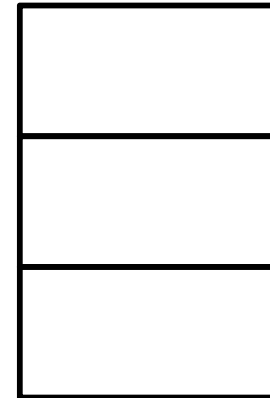
Propriétés mécaniques d'une poutre chevillée

Exemple : poutres chevillées

Longueur : 5.0 m

Sections : 3 x 160/80 mm

$$\lambda_z = l_{\text{eff}} / i$$



$$I = (160 \cdot 240^3) / 12 = \mathbf{184.3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$W = I / (h/2) = 184.3 \cdot 10^6 / (240/2) = \mathbf{1.54 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$I_{\text{eff}} = \eta \cdot I = \mathbf{0.33} \cdot 184.3 \cdot 10^6 = \mathbf{60.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

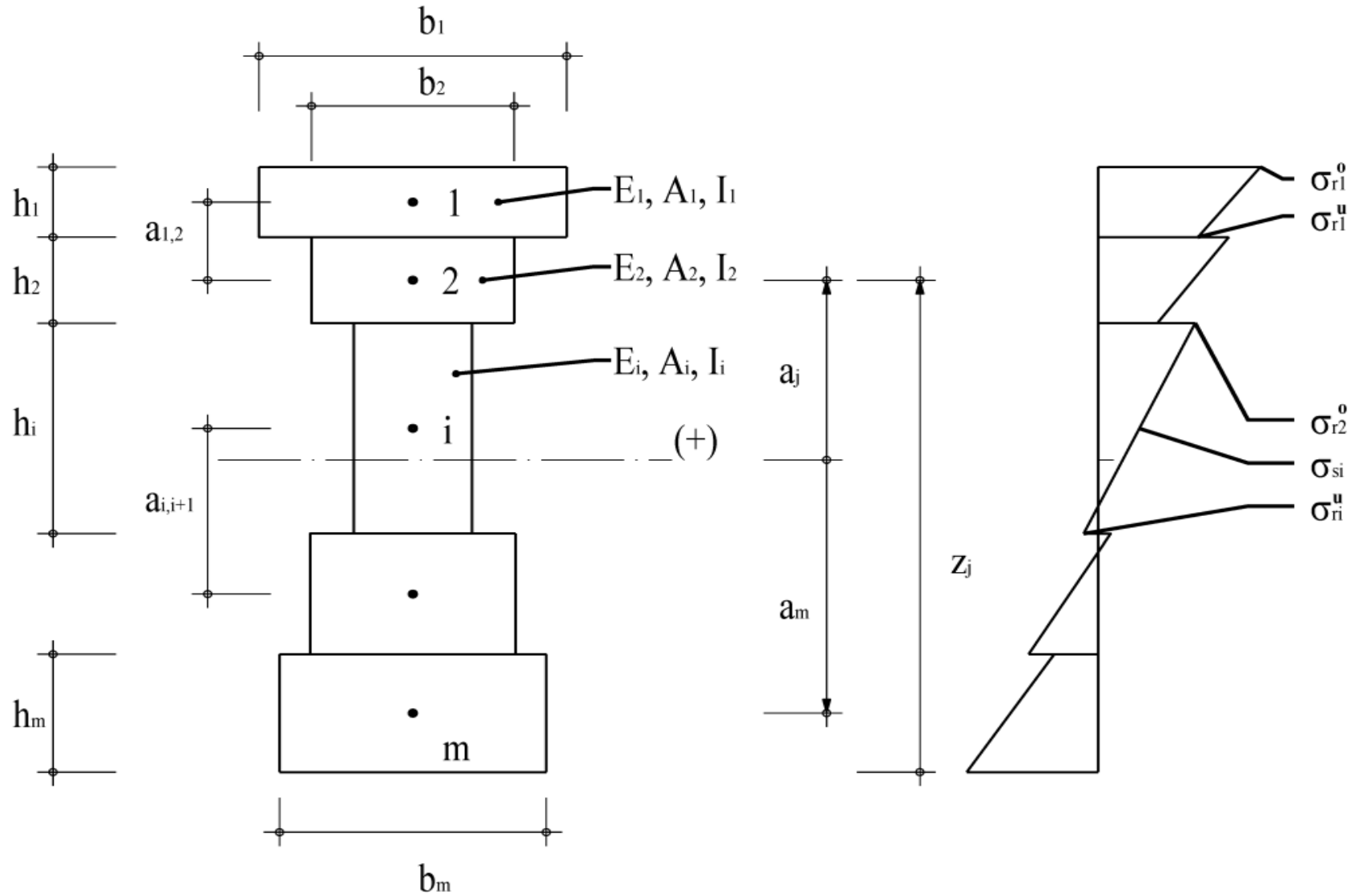
→ pour la déformation

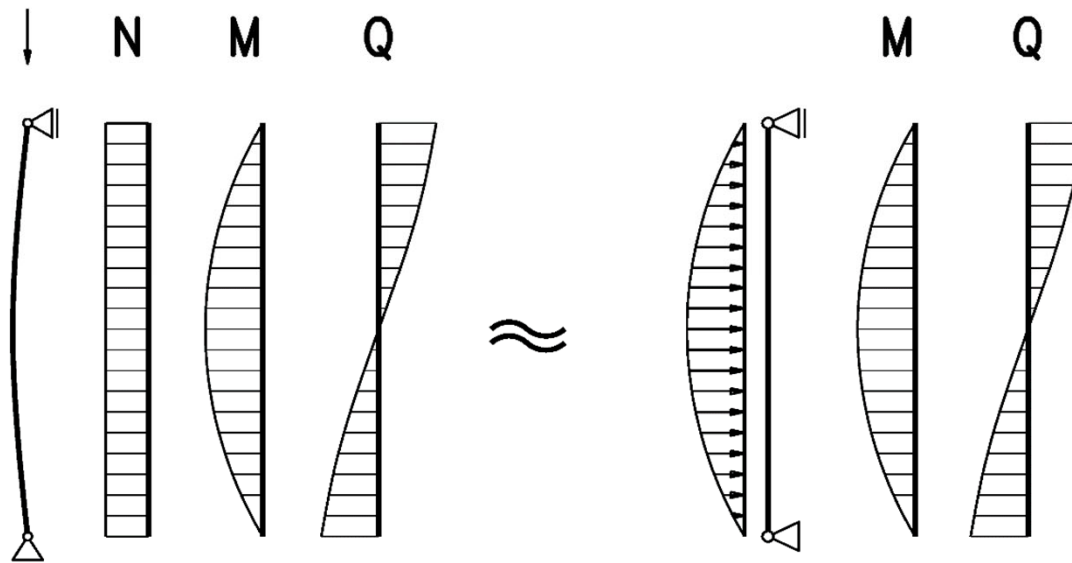
$$W_{\text{eff}} = \beta \cdot W = \mathbf{0.6} \cdot 1.54 \cdot 10^6 = \mathbf{0.924 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

→ pour le moment résistant

Méthode γ

Méthode - γ





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

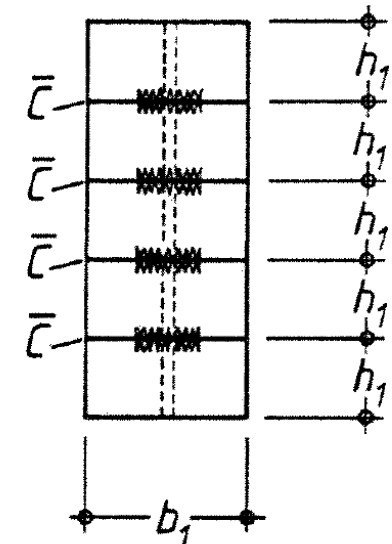
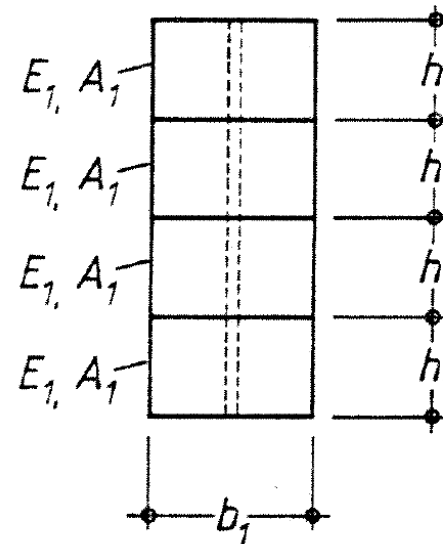
Méthode – γ

■ Exemple du 4-couches

$$K = 1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_1}{l^2 \cdot 2 \cdot \bar{C}}$$

$$\gamma_2 = \gamma_3 = \frac{1}{2 \cdot K^2 - 1}$$

$$\gamma_1 = \gamma_4 = (2K + 1) \cdot \gamma_2 / 3$$



C : rigidité de la connexion exprimée en (N/mm)

$\bar{C} = C/e$: rigidité de la connexion exprimée en (N/mm²)

e : distance entre les connecteurs (mm)

Méthode - γ

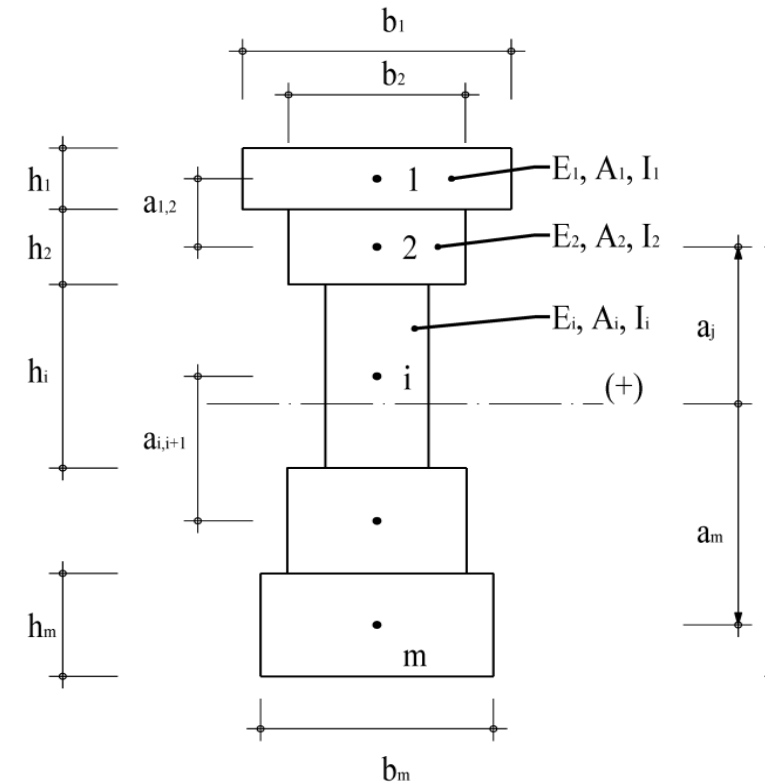
Les contraintes

- Contrainte à l'axe de la section i

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

- Contrainte de bord

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



Méthode - γ

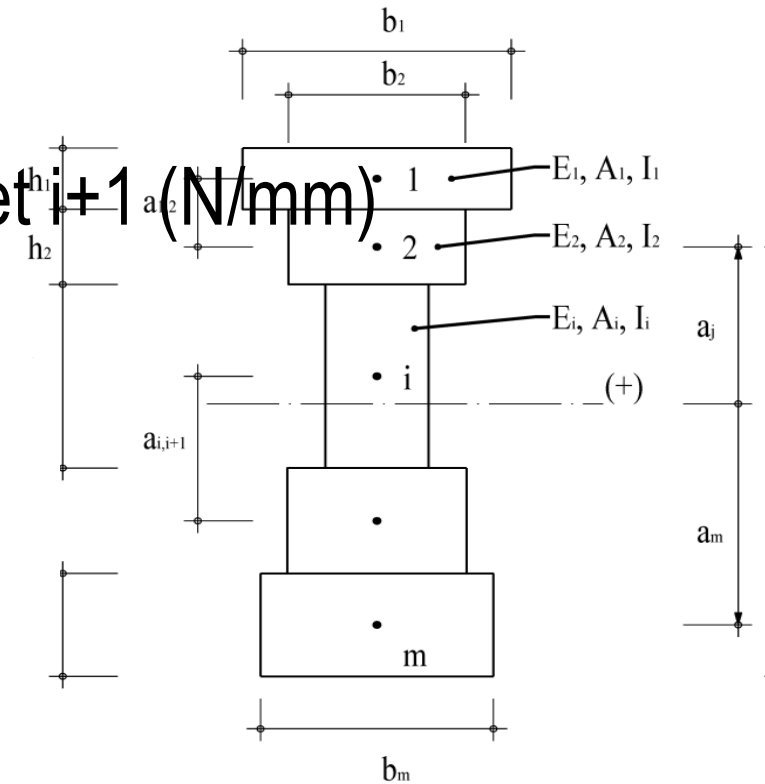
Les contraintes

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

$$t_{i,i+1} = \frac{Q}{I_{eq}} \cdot S_{i,i+1}$$

- Avec

$$S_{i,i+1} = \sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot \bar{A}_j \cdot a_j$$



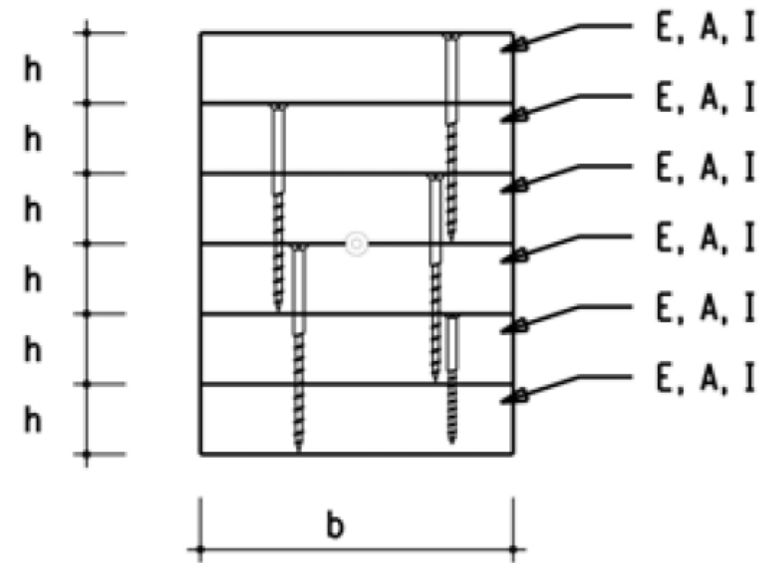
■ Exemple du 6 - couches

$$I_{ef} = \sum_i^m I_i + \sum_i^m \gamma_i A_i a_i^2$$

$$K = 1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{l^2 \cdot 2 \cdot \bar{C}}$$

$$\gamma_1 = \gamma_6 = \frac{2 + 3 \cdot \gamma_2}{(2 \cdot K - 1) \cdot 5}$$

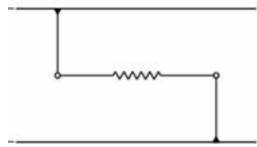
$$\gamma_3 = \gamma_4 = \frac{1}{K \cdot (4 \cdot K^2 - 1)}$$



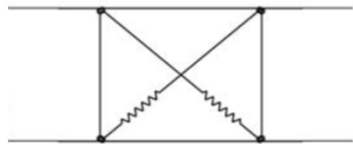
Méthode des poutres à treillis

Méthode des poutres à treillis

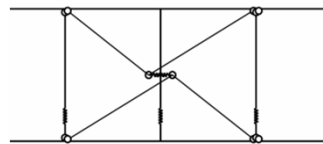
- Modélisation de chaque couche
- Modélisation de chaque connecteur



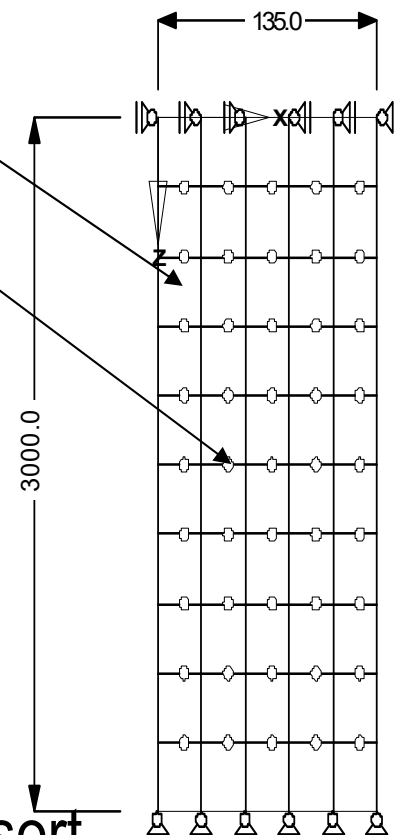
Var A: porte à faux



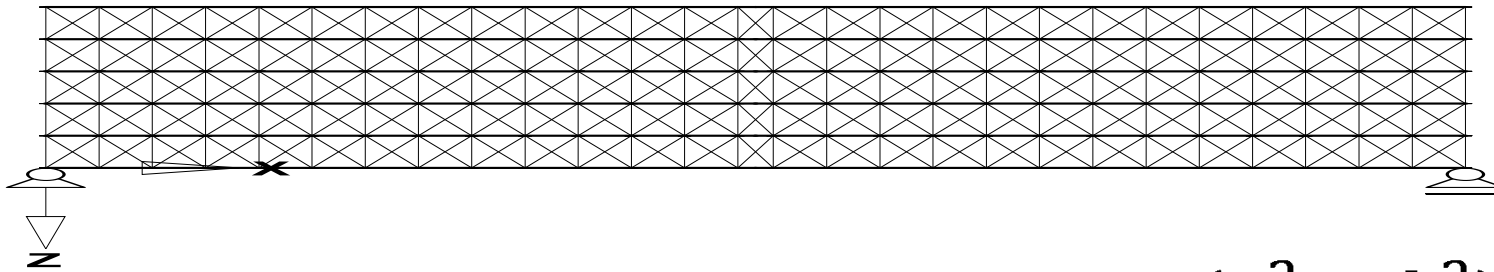
Var B: Diagonales



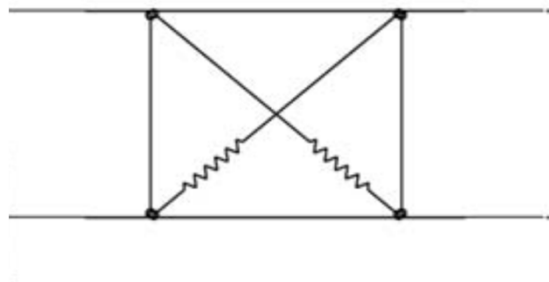
Var C: Porte à faux avec ressort



■ Variant B: deux diagonales



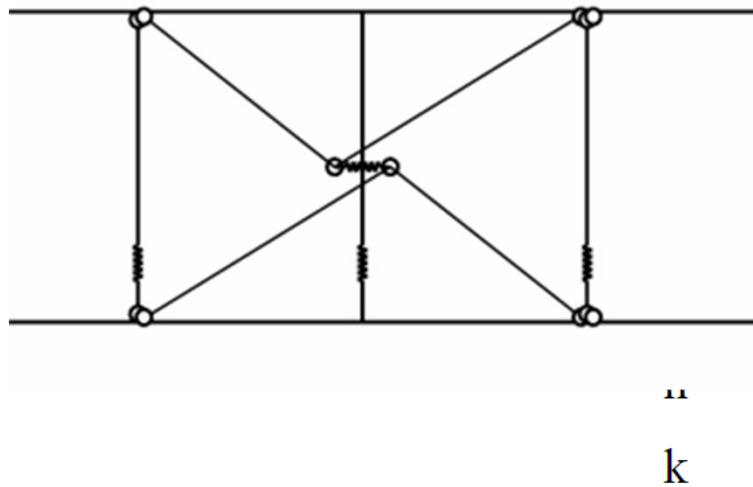
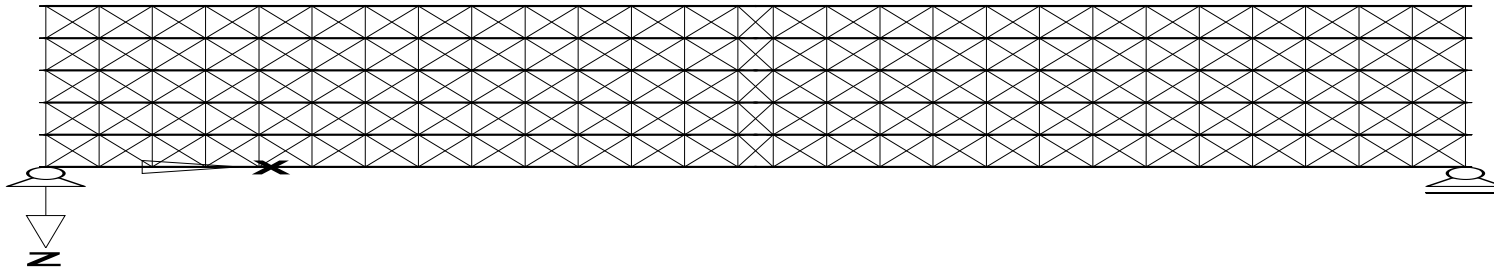
$$E \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \frac{(e^2 + h^2)}{e} \cdot k$$



Avec :

$E \cdot A$	Rigidité de la diagonale [N]
e	distance entre les connecteurs [mm]
h	distance entre les axes des couches [mm]
k	rigidité de l'assemblage [N/mm]

- Variant C: porte à faux avec ressort



Rigidité de la diagonale [N]

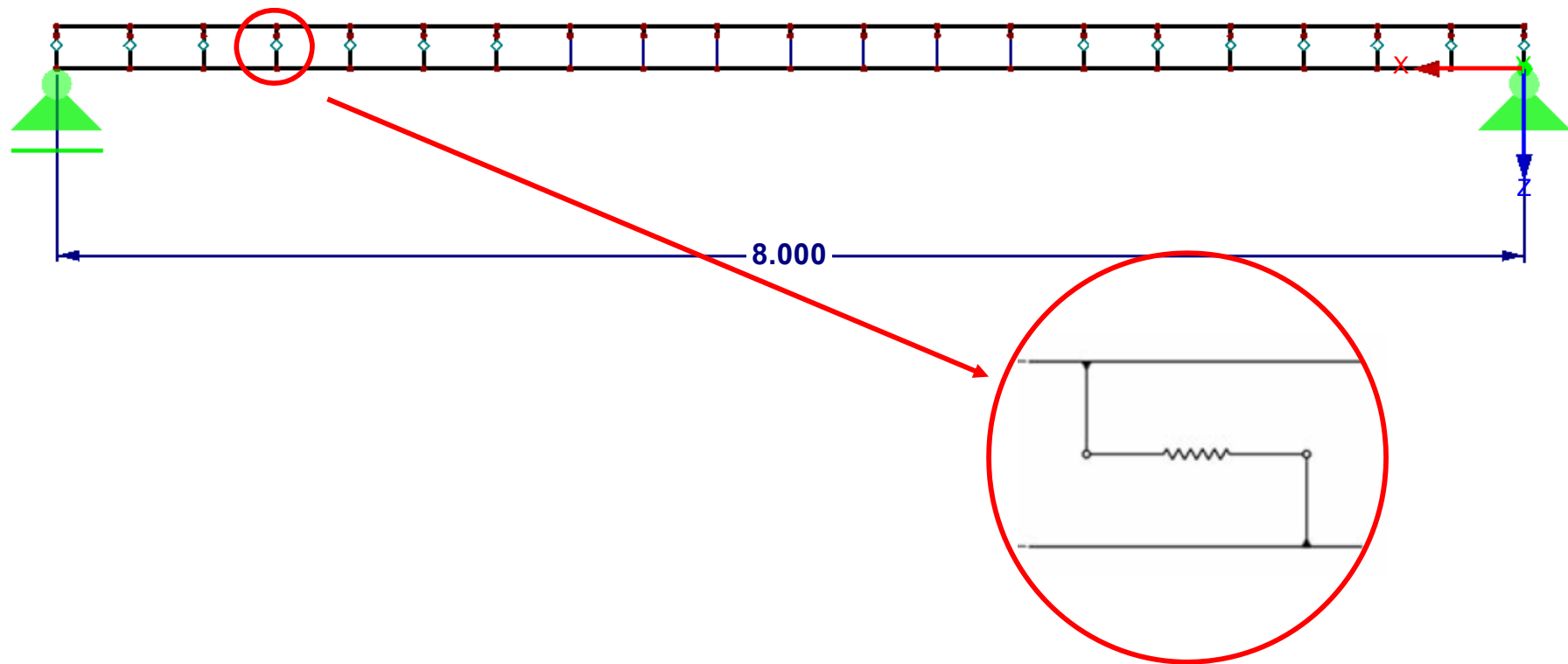
distance entre les connecteurs [mm]

distance entre les axes des couches [mm]

rigidité de l'assemblage [N/mm]

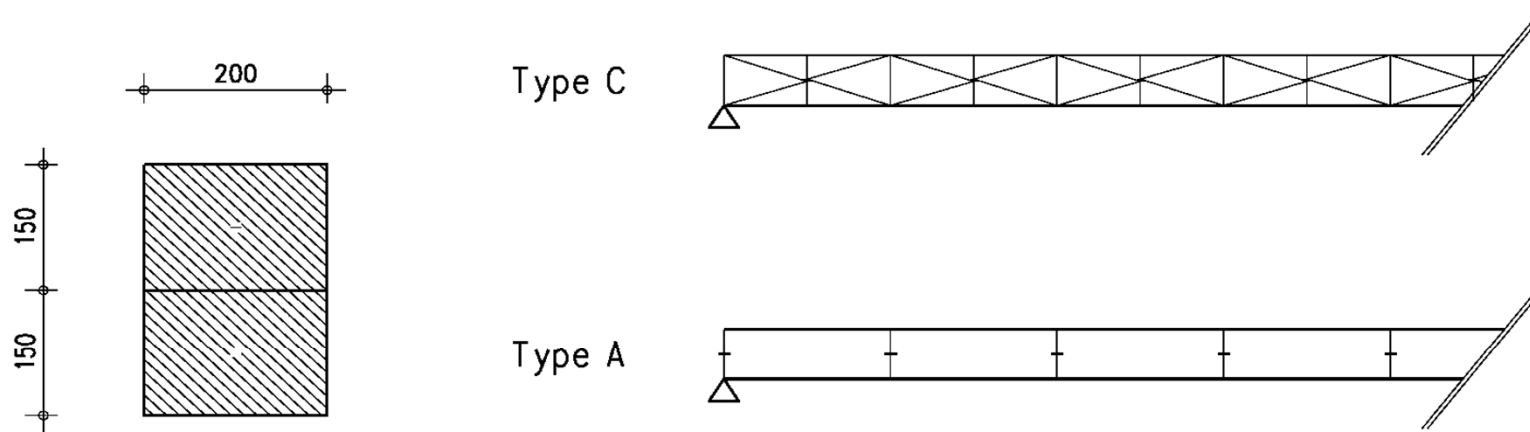
Méthode des poutres à treillis

- Variant A: porte à faux avec ressort

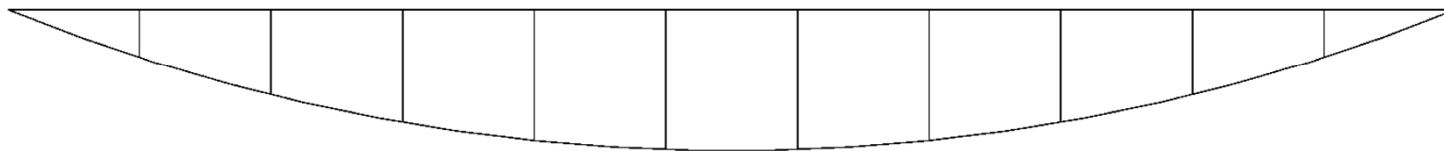


Méthode des poutres à treillis

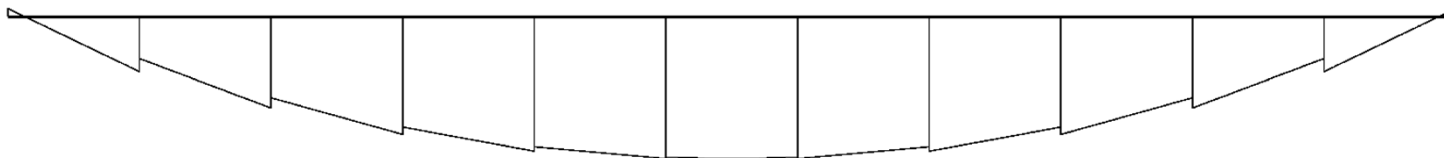
- Var A vs Var B: porte à faux avec ressort



M-2 type C



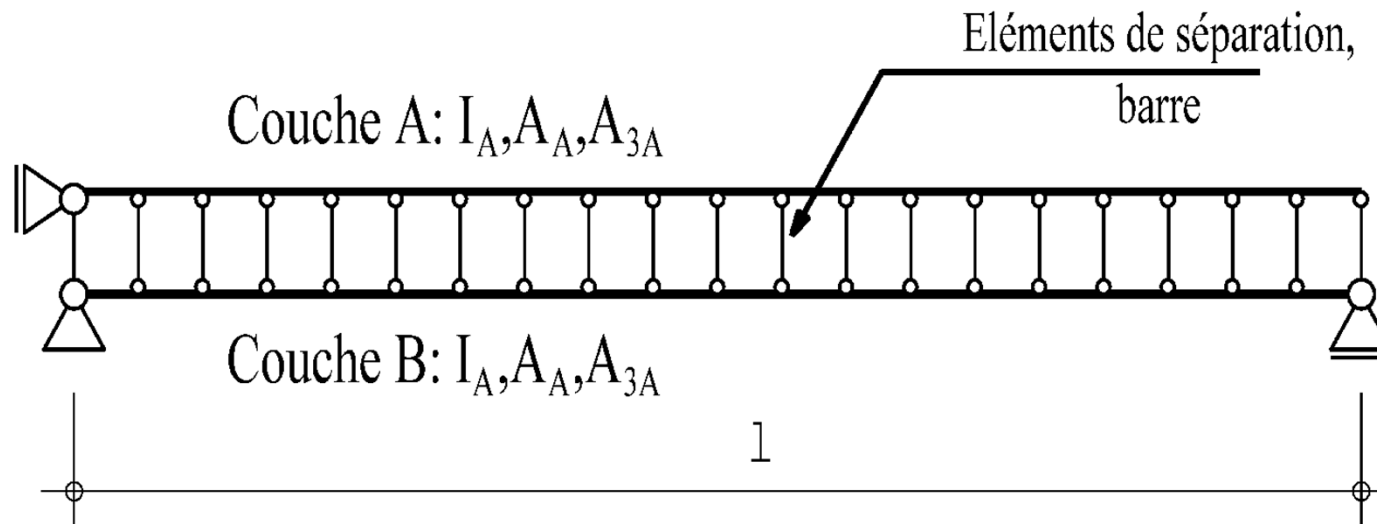
M-2 type A



Analogie à l'effort tranchant

Méthode de l'analogie à l'effort tranchant

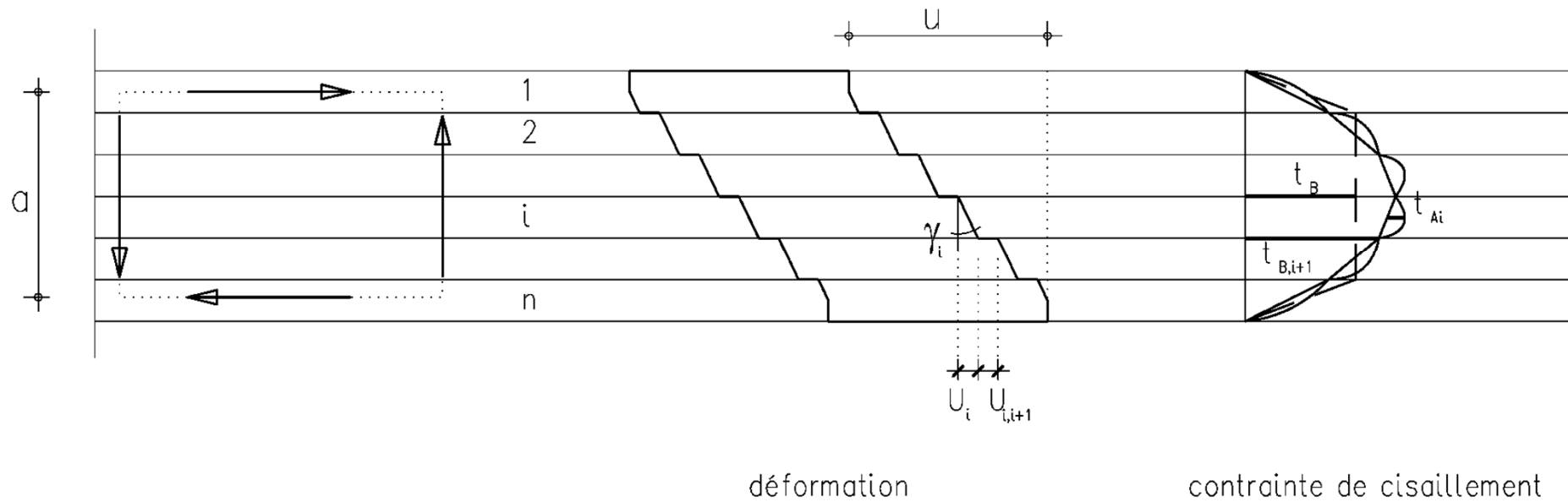
- Partie A Inertie propre
- Partie B Inertie de translation



Méthode de l'analogie à l'effort tranchant

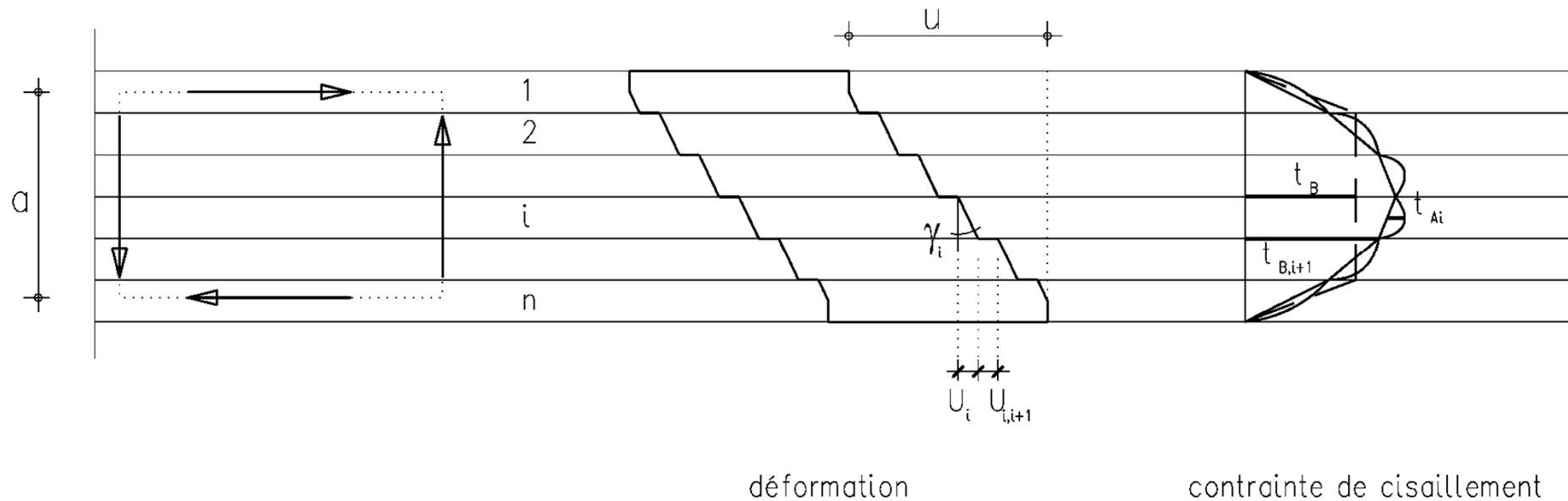
- Hypothèse de base
 - 1. Dans un premier temps, la contrainte de cisaillement est admise constante à travers toutes les couches de la section, exceptée dans les deux couches extérieures
 - 2. Suite au calcul de la déformation totale, la contrainte de cisaillement est, corrigée par une approximation parabolique

Méthode de l'analogie à l'effort



$$\gamma = \frac{u}{a} = \frac{1}{a} \cdot \left[\sum u_{i,i+1} + \sum u_i \right] = \frac{1}{a} \cdot \left\{ \sum_1^{n-1} \frac{t}{G_i} + \frac{1}{2} \cdot \frac{t \cdot d_1}{G_1 \cdot b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{t \cdot d_i}{G_i} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d_n}{G_n \cdot b_n} \right\}$$

Méthode de l'analogie à l'effort



$$u = \frac{t \cdot a^2}{S} = \left\{ \sum_1^{n-1} \frac{1}{C_i} + \frac{d_1}{2 \cdot G_1 \cdot b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_i} + \frac{d_n}{2 \cdot G_n \cdot b_1} \right\}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{a^2} \cdot \left\{ \sum_1^{n-1} \frac{1}{C_i} + \frac{d_1}{2 \cdot G_1 \cdot b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_i \cdot b_i} + \frac{d_n}{2 \cdot G_n \cdot b_n} \right\}$$

Méthode de l'analogie à l'effort tranchant

- Avec

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{1}{G} \cdot \frac{Q}{A_3} = \frac{t \cdot a}{S}$$

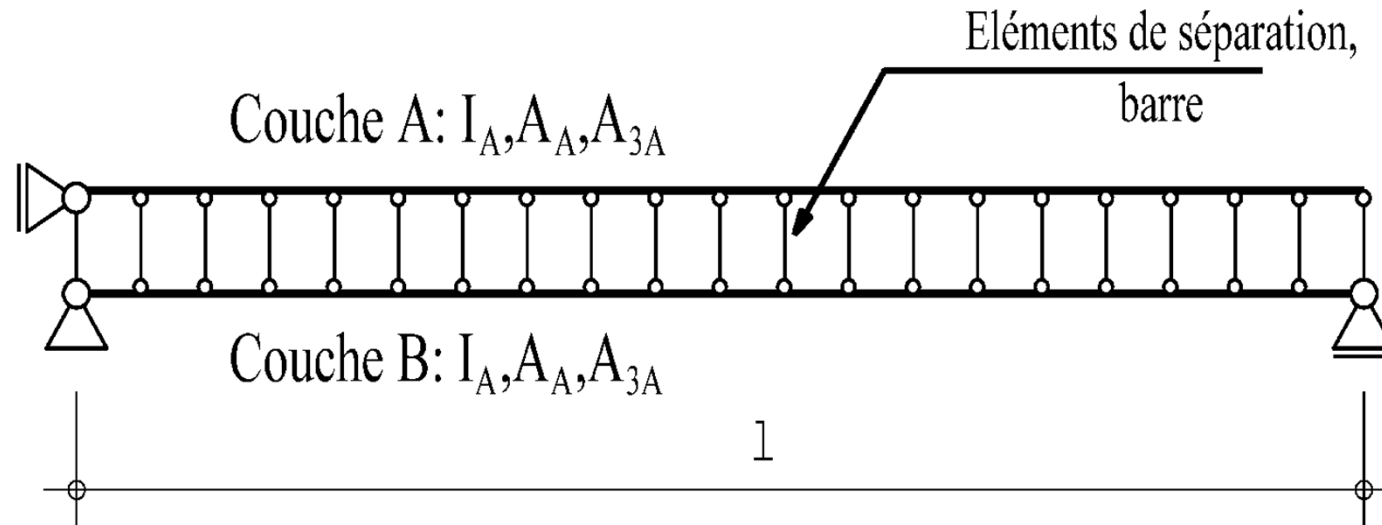
- Nous avons

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{a^2} \cdot \left\{ \sum_1^{n-1} \frac{1}{C_i} + \frac{d_1}{2 \cdot G_1 \cdot b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_i \cdot b_i} + \frac{d_n}{2 \cdot G_n \cdot b_n} \right\}$$

Avec

n	nombre de couches
C_i	rigidité de l'assemblage entre la couche i et i+1
d_i	épaisseur de la couche i
G_i	module de glissement de la couche i
b_i	largeur de la couche i
S	rigidité équivalente de la section à l'effort tranchant = $A_3 G$

Méthode de l'analogie à l'effort tranchant



D'où, les propriétés mécaniques de la couche A

$$B_A = E_a \cdot I_a = \sum E_i \cdot \frac{d_i^3}{12} \cdot b_i \quad ; \quad S = \infty$$

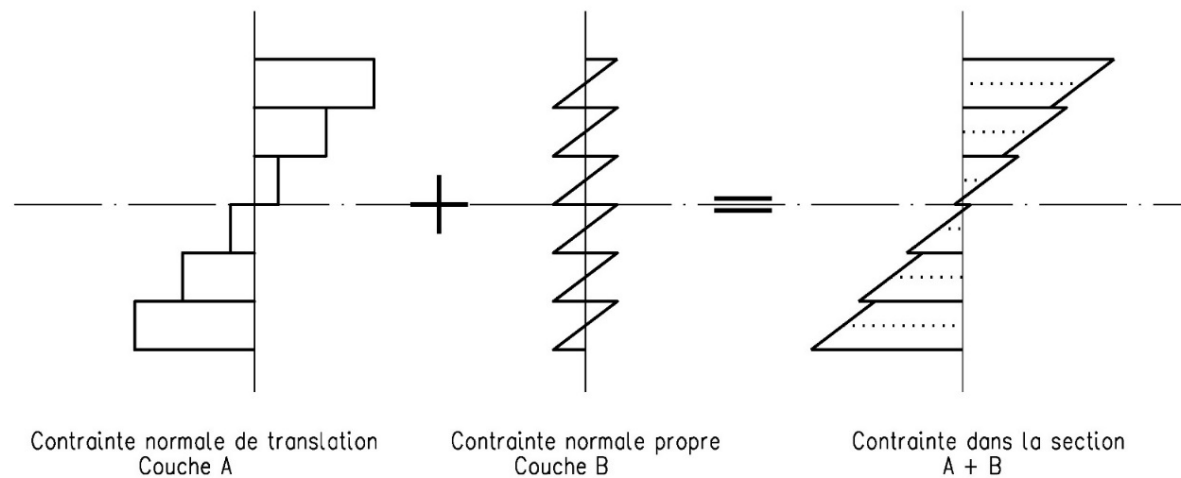
Les propriétés mécaniques de la couche B

$$B_B = E_b \cdot I_b = \sum E_i \cdot d_i \cdot b_i \cdot z_i^2 \quad ; \quad S = \text{selon Eq. 2.23}$$

Méthode de l'analogie à l'effort tranchant

51

■ Les contraintes normales



$$\sigma_{Axi} = \frac{M_A}{B_A} \cdot E_i \cdot \frac{d_i}{2}$$

$$\sigma_{Bxi} = \frac{M_B}{B_B} \cdot E_i \cdot z_i$$

Avec :

M_A

moment de flexion dans la couche A

M_B

moment de flexion dans la couche B

Méthode de l'analogie à l'effort tranchant

$$t_B = \frac{Q_B}{a}$$

■ Le flux de cisaillement

$$t_{Ai} = \frac{Q_A}{B_A} \cdot E_i \cdot \frac{d_i^3}{12} \cdot b_i \cdot \frac{1,5}{d_i}$$

Avec :

t_{Ai} flux de cisaillement [N/mm]

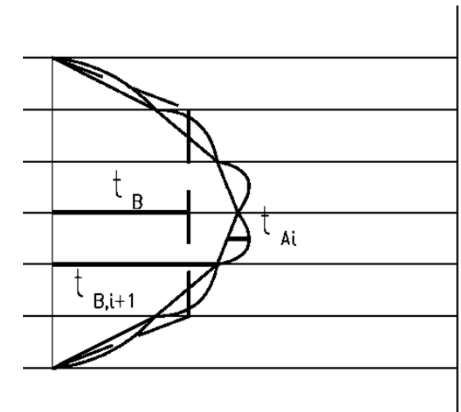
Q_A effort tranchant dans la couche A [N]

$$t_{B(i,i+1)} = \frac{Q_B}{B_B} \cdot \sum_{i+1}^n E_i \cdot z_i \cdot d_i \cdot b_i$$

Avec :

$t_{B(i,i+1)}$ flux de cisaillement entre la couche i et i+1 [N/mm]

Q_B effort tranchant de la couche B [N]



Comparaison

$$\begin{aligned} b &= 140 \text{ mm} & h &= 27 \text{ mm} \\ e_{eff} &= 150 \text{ mm} & l &= 4.0 \text{ m} \end{aligned} \quad (2.40)$$

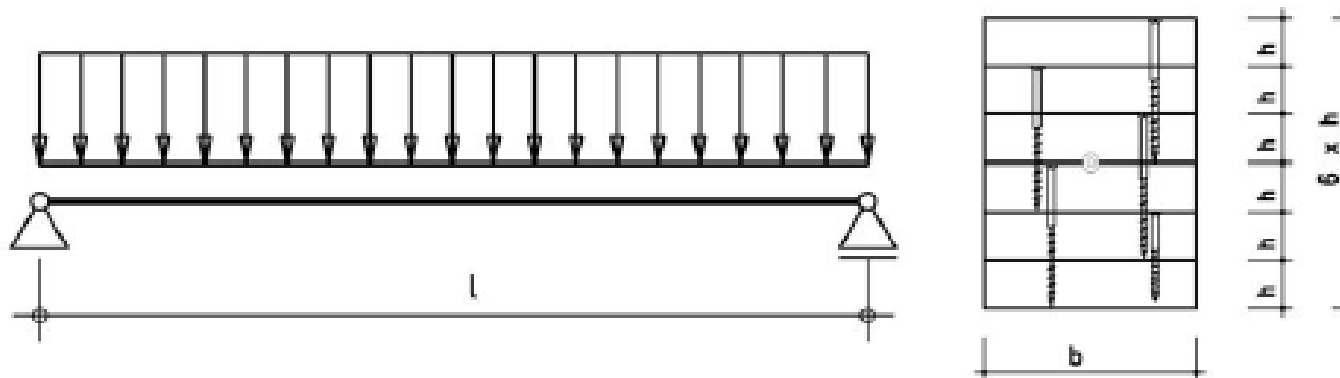


Figure 2.12 : Poutre sur deux appuis

Les propriétés du bois massif C24 sont les suivantes:

$$\begin{aligned} E &= 11'000 \text{ N/mm}^2 \\ G &= 550 \text{ N/mm}^2 \\ \rho &= 350 \text{ kg/m}^3 \end{aligned} \quad (2.41)$$

Comparaison

Déformation (mm)

Méthode- γ	Analogie	Poutre à treillis			Krawczyk
		Type A	Type B	Type C	
96.3	95.4	93.1	96.9	96.0	95.1

Max 96.9	Min 93.1	Diff 4.1%
-------------	-------------	--------------

Contrainte de flexion (N/mm²)

Méthode- γ	Analogie	Poutre à treillis			Krawczyk
		Type A	Type B	Type C	
10.6	9.6	10.4	10.5	10.4	10.2

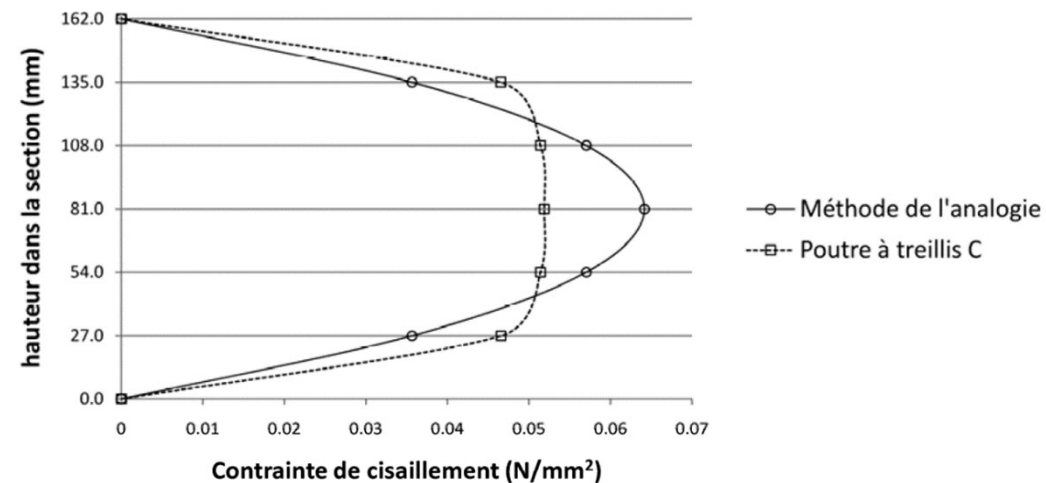
Max 10.6	Min 9.6	Diff 11.4%
-------------	------------	---------------

Comparaison

Sollicitation maximale des vis (N)

Méthode- γ	Analogie	Poutre à treillis			Krawczyk
		Type A	Type B	Type C	
1'309	1'348	1'020	1'079	1'090	1'077

Max 1347.5	Min 1020.0	Diff 32.1%
---------------	---------------	---------------

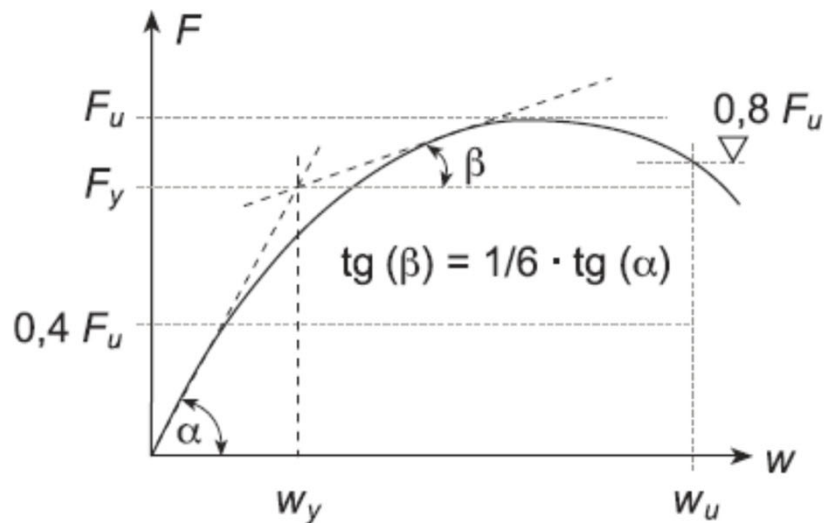


Rigidité de l'assemblage

Rigidité de l'assemblage

■ Comportement de l'assemblage (§ 6.1.2)

Figure 26: Définition de la rigidité et de la ductilité



$$\text{Indice de ductilité } D_s = \frac{w_u}{w_y} \quad (83)$$

$$\text{Module de glissement } K_{ser} = \frac{F_y}{w_y} \quad (84)$$

Rigidité de l'assemblage

- Vérification de la sécurité structurale: K_u
- Vérification de l'aptitude au service: K_{ser}

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

Rigidité de l'assemblage

- Pour les broches
- K_{ser} (§ 6.2.1.4)

Tableau 21: Module de glissement K_{ser} par broche et par section cisailée, classe d'humidité 1

Angle effort - fibres	Bois - Bois	Acier - Bois
II aux fibres $K_{ser,0}$	$3 \rho_k^{0,5} d^{1,7}$	$6 \rho_k^{0,5} d^{1,7}$
⊥ aux fibres $K_{ser,90}$	$1,5 \rho_k^{0,5} d^{1,7}$	$3 \rho_k^{0,5} d^{1,7}$

Rigidité de l'assemblage

- Pour les clous non-prépercé
- K_{ser} (§ 6.4.2.1.5)

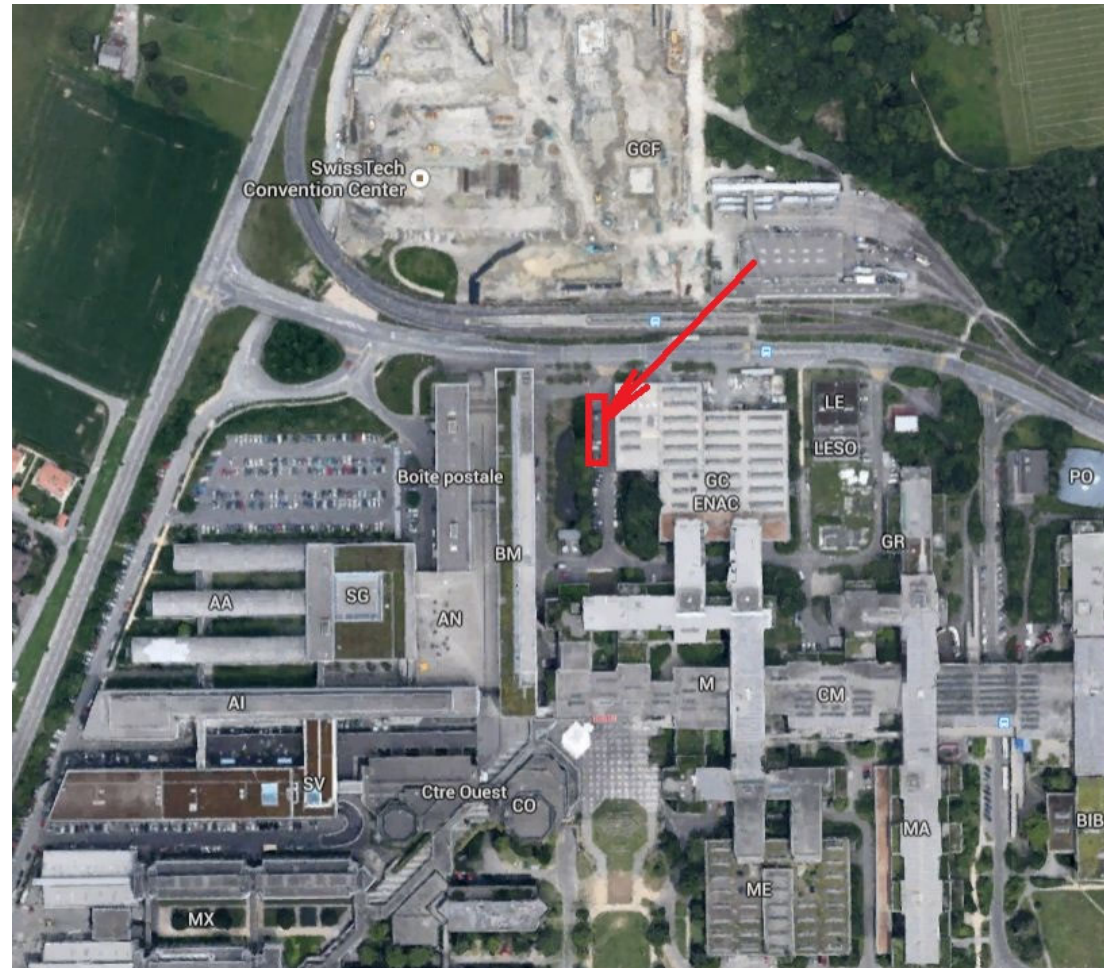
Tableau 25: Module de glissement K_{ser} par clou et par section cisailée, assemblage sans préperçage, classe d'humidité 1 (cf. chiffre 3.2.1.2)

Angle effort / fibres	Bois - bois	Acier - bois – Assemblage avec des clous striés ou torsadés
aux fibres $K_{ser,0}$	$60 d^{1,7}$	$120 d^{1,7}$
⊥ aux fibres $K_{ser,90}$	$30 d^{1,7}$	$60 d^{1,7}$

Excursion

- Date à définir
- Rendez-vous au chemin du barrage
en face de l'arrêt du TSOL 12h00
- Départ pour Orges 12h05
- Arrivée à Orges 12h35
- Visite sur place
- Départ de Orges 14h00
- Retour à l'EPFL 14h30
- Visite de la scierie Zahnd ???

Bus en face du TSOL



JPF-Ducret à Orges

-> Ferwood SA

63

