

---

## Statique du caisson LIGNATUR

**Pos.110.0. 001**

Réglement considéré

EN 1991, EN 1995

---

**Objet:** Exemple École  
**Élément de construction:** Plancher RDC  
**Description** -  
**No de projet:** 2021'0017

**Contenu:**

Page	Désignation
02	Hypothèse de charge
03-04	Section sélectionnée, paramètre
05-06	Verification à l'état limite ultime (ELU) et à l'état limite de service (ELS)
07-08	Section sélectionnée, paramètre en cas d'incendie
09-10	Verification à l'état limite ultime (ELU) en cas d'incendie

**Editeur du calcul statique:**

Lignatur AG  
Herisauerstrasse 30  
CH-9104 Waldstatt

**Responsable:**

Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer

**Date:**

2021-06-29

<b>Objet:</b>	Exemple École
<b>Élément de construction:</b>	Plancher RDC
<b>No de projet:</b>	2021'0017
<b>Responsable:</b>	Dipl. Baingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
<b>Date:</b>	2021-06-29

## Hypothèse de charge

**Pos.110.0. 001**

Réglement considéré EN 1991, EN 1995

### Actions permanentes

		0.00 kN/m <sup>2</sup>
Composition du plancher	Chape béton 60mm (22kN/m <sup>3</sup> * 0.060m)	1.32 kN/m <sup>2</sup>
Panneau d'isolation phonique	Trittschalldämmung Mineralfaser 40mm (s' ≤ 7 MN/m <sup>3</sup> )	0.04 kN/m <sup>2</sup>
Charge	Elastisch gebundene Schüttung 80mm (15kN/m <sup>3</sup> * 0.080m)	1.20 kN/m <sup>2</sup>
	-	0.00 kN/m <sup>2</sup>
Caisson multiple LIGNATUR - LFE t=40	g + 0.00	0.62 kN/m <sup>2</sup>
	-	0.00 kN/m <sup>2</sup>
	<b>g<sub>k</sub>=</b>	<b>3.18 kN/m<sup>2</sup></b>

### Actions variables

C1 - Espaces équipés de tables		3.00 kN/m <sup>2</sup>
Cloison de séparation légère (< 3 kN/m)		0.80 kN/m <sup>2</sup>
	<b>q<sub>k</sub>=</b>	<b>3.80 kN/m<sup>2</sup></b>

### Coefficients partiels de sécurité avec différentes situations de dimensionnement

Coefficient partiel de sécurité			
- actions permanentes		Y <sub>g</sub> =	1.35 ()
- actions permanentes	Situation exceptionnelle	Y <sub>g,A</sub> =	1.00 ()
- actions variables		Y <sub>q</sub> =	1.50 ()
Facteur pour la valeur de combinaison			
- rare		Ψ <sub>0</sub> =	0.70 ()
- fréquente		Ψ <sub>1</sub> =	0.70 ()
- quasi permanent		Ψ <sub>2</sub> =	0.60 ()
Facteur de déformation		k <sub>def</sub> =	0.60 ()

### L'état limite ultime (ELU)

Action permanente	Y <sub>g</sub> *g <sub>k</sub>	=	4.29 kN/m <sup>2</sup>
Action permanente + variable	Y <sub>g</sub> *g <sub>k</sub> +Y <sub>q</sub> *q <sub>k</sub>	=	9.99 kN/m <sup>2</sup>

### L'état limite ultime (ELU) en cas d'incendie

Action permanente + variable	Y <sub>g,A</sub> *g <sub>k</sub> +Ψ <sub>2</sub> *q <sub>k</sub>	=	5.46 kN/m <sup>2</sup>
------------------------------	--	---	------------------------

### L'état limite de service (ELS)

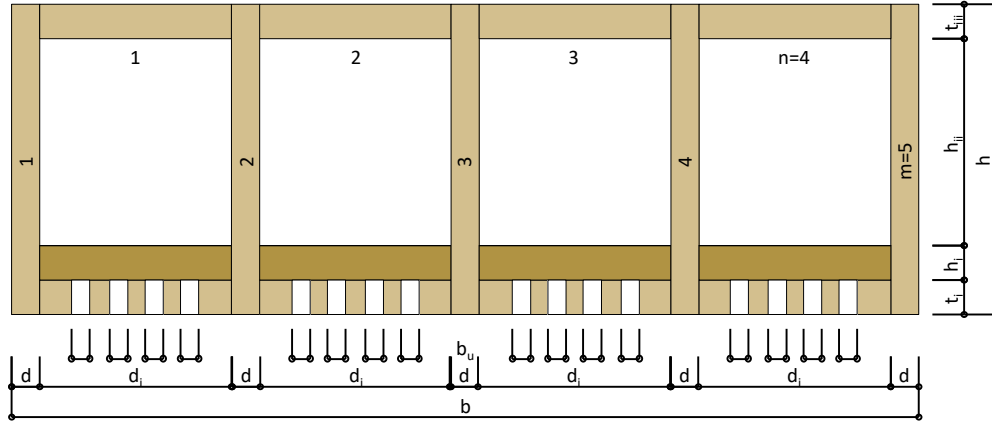
Action permanente + variable, inst	g <sub>k</sub> +q <sub>k</sub>	=	6.98 kN/m <sup>2</sup>
Action permanente + variable, fin	g <sub>k</sub> *(1+k <sub>def</sub> )+q <sub>k</sub> (1+Ψ <sub>2</sub> *k <sub>def</sub> )	=	10.25 kN/m <sup>2</sup>

Objet: Exemple École  
 Élément de construction: Plancher RDC  
 No de projet: 2021'0017  
 Responsable: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer  
 Date: 2021-06-29

**Caractéristiques de la section**

**Pos.110.0. 001**

Réglement considéré EN 1991, EN 1995



**Section**

Type de caisson	Caisson multiple LIGNATUR - LFE t=40	L40
Résistance au feu	REI60	REI60
Protection phonique	-	0
Isolation thermique	-	
Absorption	Acoustique type 3.1	3.1

**Paramètres**

Hauteur		h=	360 mm
Largeur		b=	1000 mm
Nombre d'âme		m=	5 ( )
Largeur de l'âme		d=	31 mm
Nombre de cavité	m-1	n=	4 ( )
Largeur de la cavité	(b-m*d)/n	d_i=	211 mm
Épaisseur lamelle supérieure		t_iii=	40 mm
Épaisseur lamelle intermédiaire		t_ii=	0 mm
Épaisseur lamelle inférieure		t_i=	40 mm
Ouverture pour le remplissage		b_o=	0 mm
Ø Ouverture pour le remplissage		b_o,w=	0 mm
Perforation acoustique type 3.1 dans la lamelle in n*4*20		b_u=	320 mm
Ø Perforation acoustique type 3.1 dans la lamelle n*4*20		b_u,w=	320 mm
Hauteur de la cavité	h-t_iii-t_ii-h_i-t_i	h_ii=	240 mm
Épaisseur de l'isolation acoustique		h_i=	40 mm

**Densité**

Bois d'épicéa		ρ <sub>Holz</sub> =	4.70 kN/m <sup>3</sup>
Isolation dans la cavité	Air=0kg/m3	ρ <sub>Isolation</sub> =	0.00 kN/m <sup>3</sup>
Isolation acoustique en fibre de bois	Air=0kg/m3	ρ <sub>Absorber</sub> =	1.10 kN/m <sup>3</sup>

## Surfaces de la section

Bois brut (poids propre)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i)$	$A_b =$	123400 mm <sup>2</sup>
Bois net (état limite ultime)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_o \cdot t_{iii} - b_u \cdot t_i$	$A_n =$	110'600 mm <sup>2</sup>
Bois Ø (état limite de service)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_{o,w} \cdot t_{iii} - b_{u,w} \cdot t_i$	$A_{\emptyset} =$	110'600 mm <sup>2</sup>
Cavité	$(b - m \cdot d) \cdot h_{ii}$	$A_K =$	202'800 mm <sup>2</sup>
Isolation acoustique	$(b - m \cdot d) \cdot h_i$	$A_A =$	33'800 mm <sup>2</sup>

## Poids propre

Caisson LIGNATUR	$(A_b \cdot \rho_{\text{Holz}} + A_K \cdot \rho_{\text{Isolation}} + A_A \cdot \rho_{\text{Absorber}}) / 1000^2 / b \cdot 1000$	$g =$	0.62 kN/m <sup>2</sup>
------------------	---	-------	------------------------

## Coordonnées Y du centre de gravité

Bois net	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_n$	$S_y =$	199 mm
Bois Ø	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_{\emptyset}$	$S_{y,\emptyset} =$	199 mm

## Moments d'inertie

Bois net	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_y =$	1'974'903'484 mm <sup>4</sup>
Bois Ø	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_{y,\emptyset} =$	1'974'903'484 mm <sup>4</sup>

## Moment résistant

Bois net	$I_y / s_y$	$W_y =$	9'948'275 mm <sup>3</sup>
----------	-------------	---------	---------------------------

## Rigidité en flexion

Bois Ø	$E_{0,mean} \cdot I_{y,\emptyset}$	$EI_{\emptyset} =$	21.724 * 10 <sup>12</sup> Nmm <sup>2</sup>
--------	------------------------------------	--------------------	--

## Moment statique de surface

Bois net $t_i + h_i + t_{ii} < s_y \leq h - t_{iii}$	$m \cdot d \cdot (h - s_y)^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)$	$S_y =$	6'803'064 mm <sup>3</sup>
---	---	---------	---------------------------

## Surface de cisaillement

Bois net	$m \cdot d \cdot I_y / S_y$	$A_w =$	44'996 mm <sup>2</sup>
----------	-----------------------------	---------	------------------------

## Propriétés caractéristiques

Classe de résistance				C24
Flexion	$f_{m,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{m,k} =$	24 N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,d} =$ 16.6 N/mm <sup>2</sup>
Traction axiale	$f_{t,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$ 20	$f_{t,0,k} =$	14 N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,0,d} =$ 9.7 N/mm <sup>2</sup>
Traction transversale	$f_{t,90,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{t,90,k} =$	0.4 N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,90,d} =$ 0.3 N/mm <sup>2</sup>
Compression axiale	$f_{c,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{c,0,k} =$	21 N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,0,d} =$ 14.5 N/mm <sup>2</sup>
Compression transversale	$f_{c,90,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{c,90,k} =$	2.5 N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,90,d} =$ 1.7 N/mm <sup>2</sup>
Cisaillement	$f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$	$f_{v,k} =$	2.0 N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,d} =$ 1.4 N/mm <sup>2</sup>
Module d'élasticité axial			$E_{0,mean} =$	11'000 N/mm <sup>2</sup>
Facteur de modification			$k_{mod} =$	0.9 ()
Coefficient partiel de sécurité			$\gamma_m =$	1.3 ()

Objet: Exemple École  
 Élément de construction: Plancher RDC  
 No de projet: 2021'0017  
 Responsable: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer  
 Date: 2021-06-29

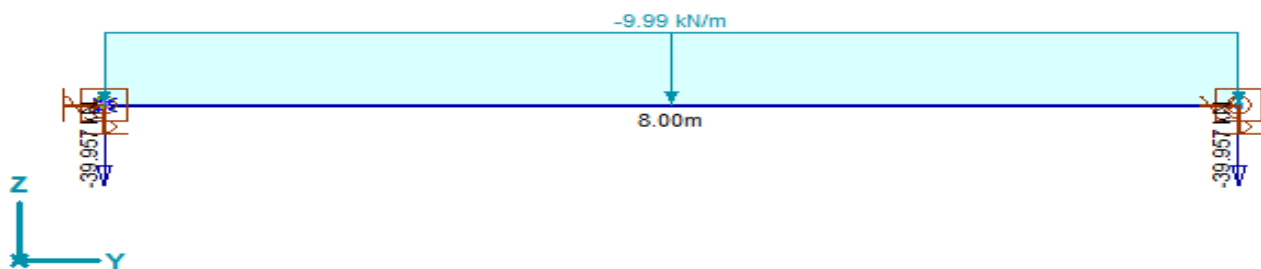
## État limite ultime (ELU), état limite de service (ELS) Pos.110.0. 001

Règlement considéré EN 1991, EN 1995

Calcul avec AxisVM

Systeme statique dans l'état limite ultime (ELU)

Poutre à 1 travée



Longueur de la portée S1

$l_{s1} = 8'000$  mm

Diagramme des moments

Moment maximal

$M_{y,d} = 79.9$  kNm

Contrainte de flexion maximale

$$M_{y,d} \cdot 1000000 / (I_y \cdot (h - s_y)) / 1000 \cdot b$$

$\sigma_{o,d} = 6.5$  N/mm<sup>2</sup>

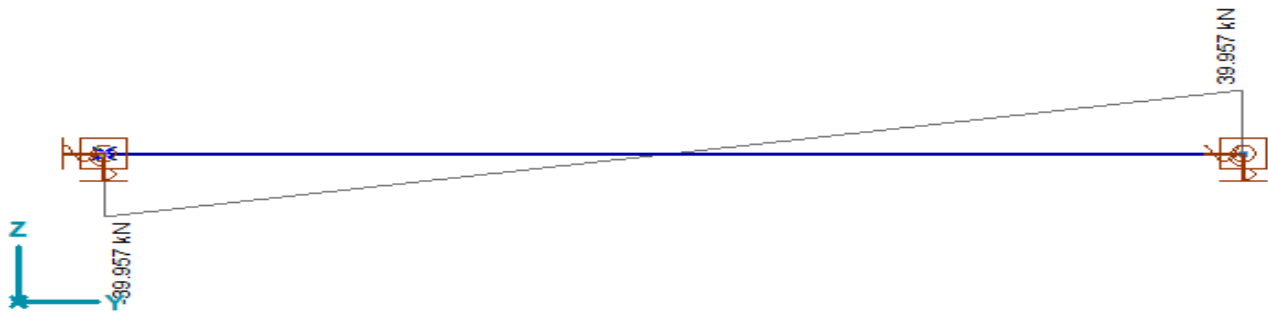
$$M_{y,d} \cdot 1000000 / (I_y \cdot s_y) / 1000 \cdot b$$

$\sigma_{u,d} = 8.0$  N/mm<sup>2</sup>

$$\text{MAX}(\sigma_{o,d}; \sigma_{u,d}) / f_{m,d}$$

**0.48 ≤ 1**

## Diagramme des efforts tranchants



Effort tranchant maximale

Contrainte de cisaillement maximale

$$V_{z,d} \cdot 1000 / A_w / 1000 \cdot b$$

$$\tau_d / f_{v,d}$$

$V_{z,d} =$

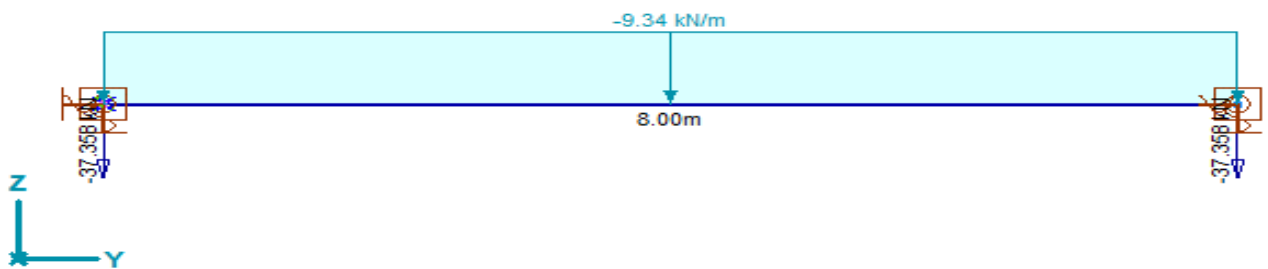
$\tau_d =$

40.0 kN

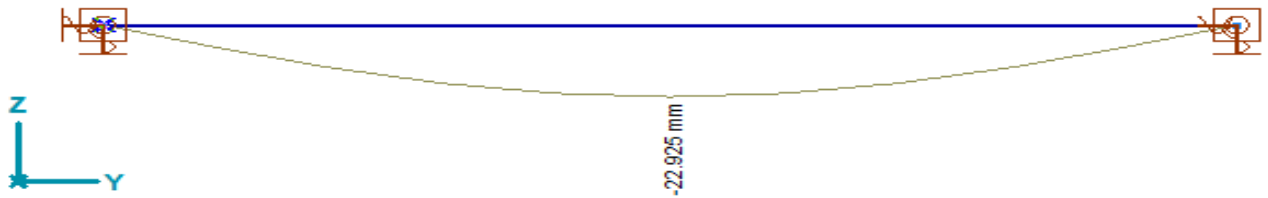
0.9 N/mm<sup>2</sup>

0.64 ≤ 1

## Système structural dans l'état limite de servicee pour la charge fréquente



## Diagramme de flexion



Flèches maximales

$W_{z,inst,S1} =$

$W_{z,fin,S1} =$

$I_{S1} / W_{z,inst,S1}$

$I_{S1} / W_{z,fin,S1}$

17.1 mm

467 ≥ 400

25.2 mm

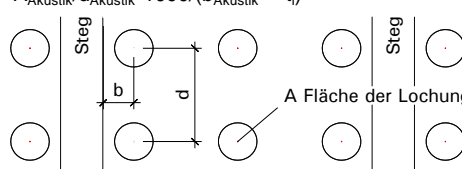
318 ≥ 300

**Objet:** Exemple École  
**Élément de construction:** Plancher RDC  
**No de projet:** 2021'0017  
**Responsable:** Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer  
**Date:** 2021-06-29

## Caractéristiques de la section en cas d'incendie Pos.110.0. 001

Règlement considéré EN 1991, EN 1995  
 ETA-11/0137 pour les caissons LIGNATUR

### Profondeur de carbonisation effective def en cas d'incendie

Durée de l'influence incendie		$t =$	60 min.
- durée de carbonisation dans la lamelle $t_i$	$t_i/\beta_1 \leq t$	$t_1 =$	46 min.
- durée de carb. dans l'isolation acoustique $h_i$	$h_i/\beta_2 \leq t - t_1$	$t_2 =$	14 min.
- durée de carbonisation dans la lamelle $t_{ii}$	$t_{ii}/\beta_3 \leq t - t_1 - t_2$	$t_3 =$	0 min.
- durée de carb. dans l'isolation thermique $h_{ii}$	$h_{ii}/\beta_4 \leq t - t_1 - t_2 - t_3$	$t_4 =$	0 min.
Vitesse de carbonisation dans la lamelle $t_i$	Acoustique $0.22 \cdot k + 0.72$	$\beta_1 =$	0.86 mm/min.
Facteur (rapport IBK No 283 ETH Zurich)	$A_{Akustik}/d_{Akustik} \cdot 1000 / (b_{Akustik}^{1.5} \cdot t_i)$	$k =$	0.65 ( )
Surface des perçages ou rainures		$A_{Akustik} =$	314 mm <sup>2</sup>
Distance entre perçages ou entre rainures		$d_{Akustik} =$	40 mm
Distance entre perçages ou rainures et l'âme		$b_{Akustik} =$	45 mm
Vitesse de carb. dans l'isolation acoustique $h_i$	$0.9 \cdot (450/\rho_{Absorber})^{1/2}$	$\beta_2 =$	1.82 mm/min.
Vitesse de carbonisation dans la lamelle $t_{ii}$		$\beta_3 =$	0.00 mm/min.
Vitesse de carb. dans l'isolation thermique $h_{ii}$		$\beta_4 =$	0.00 mm/min.
Couche carbonisée	$t_1 \cdot \beta_1 + t_2 \cdot \beta_2 + t_3 \cdot \beta_3 + t_4 \cdot \beta_4$	$d_{char} =$	65 mm
Prise en compte de l'affaiblissement de la résistance		$d_{red} =$	7 mm
Profondeur de carbonisation effective	$d_{char} + d_{red}$	$d_{ef} =$	72 mm

### Paramètres en cas d'incendie

Hauteur	$h - d_{ef}$	$h_{fi} =$	288 mm
Largeur	$b$	$b_{fi} =$	1'000 mm
Nombre d'âme	$m$	$m_{fi} =$	5 ( )
Largeur de l'âme	$d$	$d_{fi} =$	31 mm
Nombre de cavité	$n - 1$	$n_{fi} =$	4 ( )
Largeur de la cavité	$(b_{fi} - m_{fi} \cdot d_{fi}) / n_{fi}$	$d_{i,fi} =$	211 mm
Épaisseur lamelle supérieure	$t_{iii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} + t_{iii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{iii,fi} =$	40 mm
Épaisseur lamelle intermédiaire	$t_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{ii,fi} =$	0 mm
Épaisseur lamelle inférieure	$t_i - d_{ef} \geq 0$	$t_{i,fi} =$	0 mm
Ouverture pour le remplissage	$b_o$	$b_{o,fi} =$	0 mm
Perforation acoustique type 3.1 dans la lamelle in $b_u$		$b_{u,fi} =$	320 mm
Hauteur de la cavité	$h_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$h_{ii,fi} =$	240 mm
Épaisseur de l'isolation acoustique	$h_i \geq t_i + h_i - d_{ef} \geq 0$	$h_{i,fi} =$	8 mm

### Surface de la section en cas d'incendie

Bois net (état limite ultime)  $b_{fi} * h_{fi} - (n_{fi} * d_{i,fi}) * (h_{ii,fi} + h_{i,fi}) - b_{o,fi} * t_{iii,fi} - b_{u,fi} * t_{i,fi}$   $A_{n,fi} = 78'462 \text{ mm}^2$

### Coordonnées Y du centre de gravité en cas d'incendie

Bois net  $(m_{fi} * d_{fi} * h_{fi}^2 / 2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi}^2 / 2 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi} * (t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} / 2) + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - t_{iii,fi} / 2)) / A_{n,fi}$   $S_{y,fi} = 198 \text{ mm}$

### Moment d'inertie en cas d'incendie

Bois net  $m_{fi} * d_{fi}^3 / 12 + m_{fi} * d_{fi} * h_{fi} * (h_{fi} / 2 - s_{y,fi})^2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi}^3 / 12 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{u,fi}) * t_{i,fi} * (s_{y,fi} - t_{i,fi} / 2)^2 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi}^3 / 12 + n_{fi} * d_{i,fi} * t_{ii,fi} * (s_{y,fi} - t_{i,fi} - h_{i,fi} - t_{ii,fi} / 2)^2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi}^3 / 12 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)^2$   $I_{y,fi} = 609'685'643 \text{ mm}^4$

### Moment statique de surface en cas d'incendie

Bois net  $t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} < s_{y,fi} \leq h_{fi} - t_{iii,fi}$   $m_{fi} * d_{fi} * (h_{fi} - s_{y,fi})^2 / 2 + (n_{fi} * d_{i,fi} - b_{o,fi}) * t_{iii,fi} * (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)$   $S_{y,fi} = 3'023'564 \text{ mm}^3$   
 $S_{y,fi} = 3'023'564 \text{ mm}^3$

### Surface de cisaillement en cas d'incendie

Bois net  $m_{fi} * d_{fi} * I_{y,fi} / S_{y,fi}$   $A_{w,fi} = 31'255 \text{ mm}^2$

### Propriétés caractéristiques en cas d'incendie

Classe de résistance			C24
Flexion	$f_{m,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{m,d,fi} =$	30.0 N/mm <sup>2</sup>
Traction axiale	$f_{t,0,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{t,0,d,fi} =$	17.5 N/mm <sup>2</sup>
Compression axiale	$f_{c,0,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{c,0,d,fi} =$	26.3 N/mm <sup>2</sup>
Cisaillement	$f_{v,k} * k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{v,d,fi} =$	2.5 N/mm <sup>2</sup>
Facteur pour la détermination du 20ème percentile		$k_{fi} =$	1.25 ()
Coefficient partiel de sécurité		$\gamma_{m,fi} =$	1.0 ()



Objet: Exemple École  
 Élément de construction: Plancher RDC  
 No de projet: 2021'0017  
 Responsable: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer  
 Date: 2021-06-29

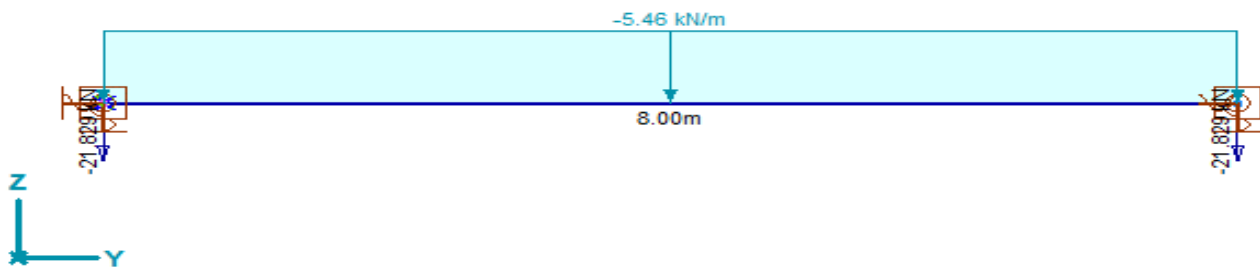
## État limite ultime (ELU) en cas d'incendie

Pos.110.0. 001

Règlement considéré: EN 1991, EN 1995  
 ETA-11/0137 pour les caissons LIGNATUR

Calcul avec AxisVM

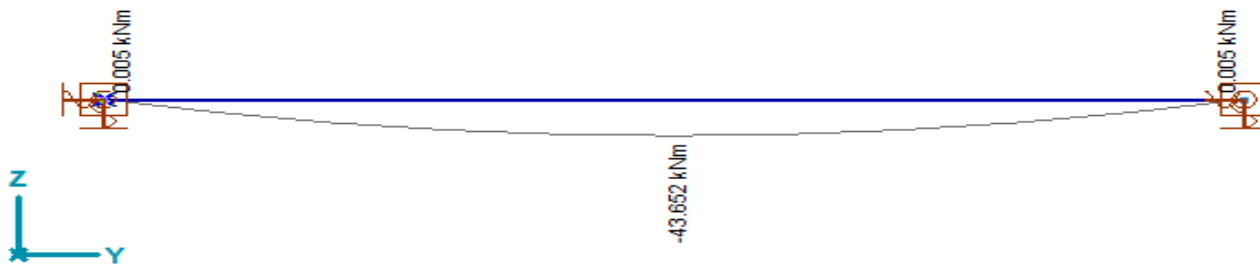
### Système statique dans l'état limite ultime (ELU) en cas d'incendie



Longueur de la portée S1

$l_{s1} = 8'000$  mm

### Diagramme des moments en cas d'incendie



Moment maximal

$M_{y,d,fi} = 43.7$  kNm

Contrainte de flexion maximale

$$M_{y,d,fi} \cdot 1000000 / (I_{y,fi} / (h_{fi} - s_{y,fi})) / 1000 \cdot b_{fi}$$

$\sigma_{o,d,fi} = 6.5$  N/mm<sup>2</sup>

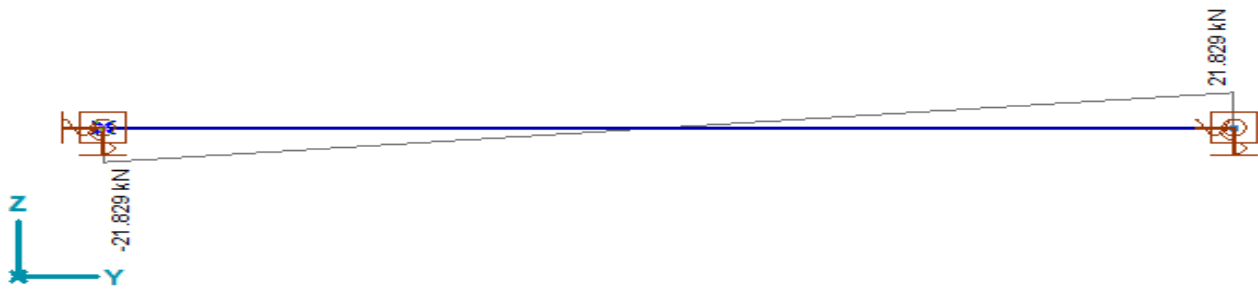
$$M_{y,d,fi} \cdot 1000000 / (I_{y,fi} / s_{y,fi}) / 1000 \cdot b_{fi}$$

$\sigma_{u,d,fi} = 14.1$  N/mm<sup>2</sup>

$$\text{MAX}(\sigma_{o,d,fi}, \sigma_{u,d,fi}) / f_{m,d,fi}$$

**0.47 ≤ 1**

## Diagramme des efforts tranchants en cas d'incendie



Effort tranchant maximale

Contrainte de cisaillement maximale

$$V_{z,d,fi} \cdot 1000 / A_{w,fi} / 1000 \cdot b_{fi}$$

$$\tau_{d,fi} / f_{v,d,fi}$$

$V_{z,d,fi} =$

$\tau_{d,fi} =$

21.8 kN

0.7 N/mm<sup>2</sup>

0.28 ≤ 1