

E4-2024-corrigé

1. Vérification d'une solive support de platelage.

Chargement

1.1. Charge de poids propre sur la solive.

Largeur de reprise des solives courantes : 0.40 m

Charge surfacique du platelage en bois : $q_{\text{surf,platelage}} = 0.050 \text{ m} * 5 \text{ kN/m}^3 = 0.25 \text{ kN/m}^2$

Poids propre de la solive : $6 \text{ kg/m} \approx 0.06 \text{ kN/m}$

$$q_{G,\text{solive}} = 0.25 * 0.40 + 0.06 = 0.16 \text{ kN/m}$$

1.2. Charge d'exploitation sur la solive.

Largeur de reprise des solives courantes : 0.40 m

Charge surfacique d'exploitation : $q_k = 2 + 120/(43+30) = 3.64 \text{ kN/m}^2$

$$q_{I,\text{solive}} = 3.64 * 0.40 = 1.46 \text{ kN/m}$$

Vérification ELU

1.3. ELU : charge sur solive.

Combinaison ELU : $1.35G + 1.5I$

$$q_{\text{ELU}} = 1.35*0.16 + 1.5*1.46 = 2.41 \text{ kN/m}$$

1.4. ELU : sollicitation en milieu de travée.

Portée de la solive : $43 \text{ m} / 16 \text{ travées} = 2.688 \text{ m}$

$$M_{y,\text{Ed}} = \frac{2.4 * 2.69^2}{8} = 2.17 \text{ kN.m}$$

A mi-travée $V_{z,\text{Ed}} = 0$

1.5. ELU : résistance de la solive.

IPE80 S275 → classe 1 en flexion

$$M_{c,y,\text{Rd}} = M_{pl,y,\text{Rd}} = \frac{23.2 * 10^{-6} * 275 * 10^3}{1} = 6.38 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,\text{Ed}}}{M_{c,\text{Rd}}} = \frac{2.17}{6.38} = 0.34 < 1 \rightarrow \text{section vérifiée à mi-travée}$$

Vérification ELS

1.6. ELS : flèche autorisée.

Portée de la solive : $43 \text{ m} / 16 \text{ travées} = 2.688 \text{ m}$

On considère le platelage bois comme un plancher.

$$w_3 = L / 300 = 2688 / 300 = 9.0 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = L / 200 = 2688 / 200 = 13.4 \text{ mm}$$

1.7. ELS : flèche élastique sous $q_{\text{ELS}} = G + I$

$$q_{\text{ELS}} = 0.16 + 1.46 = 1.62 \text{ kN/m}$$

La flèche f_{\max} est maximale au milieu de la portée

$$f_{\max} = \frac{5 \cdot 1.62 \cdot 2.69^4}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 80.1 \cdot 10^{-8}} = 0.007 \text{ m} = 7 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = 7 \text{ mm} < w_{\max} = 13.4 \text{ mm}$$

Pour vérifier la solive, il faut également vérifier w_3

$$f_3 = \frac{5 \cdot 1.46 \cdot 2.69^4}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 80.1 \cdot 10^{-8}} = 0.006 \text{ m} = 6 \text{ mm} < w_3 = 9.0 \text{ mm}$$

→ la solive est vérifiée à l'ELS

2. Vérification du treillis.

Stabilités

2.1. Stabilité horizontale du plancher.

La membrure inférieure de la poutre treillis est stabilisée dans le plan horizontal par la poutre au vent dans le plan du plancher.

Les éléments permettant cette stabilité sont :

- Les diagonales horizontales L40*40*4
- Les traverses RRW 160*160*6.3

2.2. Stabilité de la poutre treillis face au déversement.

Sous l'effet des charges verticales vers le bas, la membrure supérieure est comprimée et présente donc un risque de flambement.

Dans le plan de la poutre treillis, ce flambement est limité à la longueur entre 2 nœuds.

Or plan, le flambement est limité par les encastremets des montants sur les traverses (comme un portique inversé) engendrant des points de maintien non fixes (au sens des structures à nœuds fixes ou déplaçables). Mais l'évaluation de la longueur de flambement est très complexe à apprécier.

Chargement

2.3. Charge de poids propre sur une poutre treillis.

Poids total du poids propre supporté par le pont = 170 kN

Ce poids se divise équitablement entre les 2 poutres treillis soit 85 kN / poutre treillis

Longueur des poutres treillis = 43 m

Poids linéique $q_G = \frac{85}{43} = 1.98 \text{ kN/m} \sim 2 \text{ kN/m}$

2.4. Charge d'exploitation sur la poutre treillis.

$$\text{Largeur de reprise des poutres treillis} = \frac{\text{largeur utile}}{2} = \frac{2.80}{2} = 1.40 \text{ m}$$

$$q_1 = 1.40 * 3.64 = 5.10 \text{ kN/m}$$

2.5. Charge ELU sur la poutre treillis.

$$\text{Largeur de reprise d'un nœud de poutre treillis} = 43 \text{ m} / 16 \text{ travées} = 2.688 \text{ m}$$

Combinaison ELU 1.35G + 1.5I

$$F = (1.35*2 + 1.5*5.1)*2.688 = 27.82 \text{ kN} \approx 28 \text{ kN}$$

Sollicitation ELU

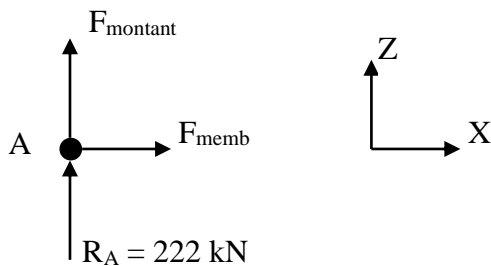
2.6. Réaction d'appui sur la poutre treillis.

$$\text{Réaction d'appui en A } R_A = \frac{(1.35*2 + 1.5*5.1)*43}{2} = 222.53 \approx 222 \text{ kN}$$

$$\text{Ou } R_A = \frac{14+15*28+14}{2} = 224 \text{ kN}$$

2.7. Sollicitation dans le montant le plus sollicité.

Méthode des nœuds au nœud A



$$\text{PFS : } \sum \vec{F}/X = 0 \rightarrow F_{\text{memb}} = 0$$

$$\sum \vec{F}/Z = 0 \rightarrow 222 + F_{\text{montant}} = 0 \rightarrow F_{\text{montant}} = -222 \text{ kN}$$

La membrure inférieure connectée au nœud A n'est pas sollicitée.

Le montant est comprimé avec un effort de 222 kN.

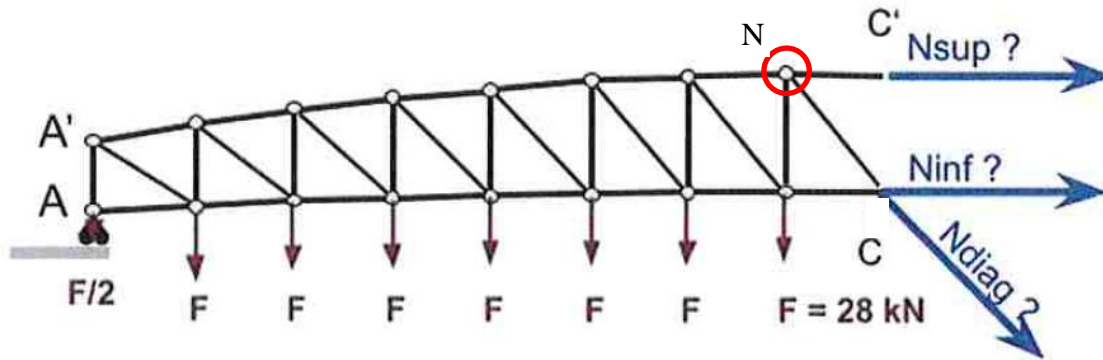
2.8. Sollicitation dans la partie du pont la plus sollicitée.

Calcul de l'angle de la diagonale et de l'entraxe des membrures :

$$\text{Entraxe des membrures} = 3.4 - 0.16 = 3.24 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{3.24}{2.69} \right) = 50.3^\circ$$

Méthode de Ritter : PFS au nœud N (en négligeant le cintrage de la membrure inférieure) :



$$\text{PFS : } \sum \vec{F}/X = 0 \rightarrow N_{\text{sup}} + N_{\text{inf}} + N_{\text{diag}} * \cos 50.3 = 0$$

$$\sum \vec{F}/Z = 0 \rightarrow +224 - 14 - 7 * 28 - N_{\text{diag}} * \sin 50.3 = 0 \rightarrow N_{\text{diag}} = 18.19 \text{ kN}$$

$$\sum \vec{M}/A = 0 \rightarrow +224 * 18.81 - 14 * 18.81 - 28 * 16.12 - 28 * 13.43 - 28 * 10.74 - 28 * 8.05 - 28 * 5.36 - 28 * 2.69 - N_{\text{inf}} * 3.24 \rightarrow N_{\text{inf}} = 731.85 \text{ kN}$$

$$N_{\text{sup}} = -731.85 - 18.19 * \cos 50.3 = -743.47 \text{ kN}$$

Résistance ELU de la membrure supérieure en C'

2.9. Résistance de la section comprimée.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{38.31 \cdot 10^{-4} \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 1053.53 \text{ kN} \approx 1054 \text{ kN}$$

2.10. Longueur critique de flambement.

En prenant le modèle de la figure 3, $L_{membrure} = 2.69 \text{ m}$

D'après le DT p6/11 pour une membrure en profil creux, $L_{cr} = 0.9 \cdot L_{membrure} = 2.42 \text{ m}$

2.11. Résistance de la barre comprimée.

EC3-1.1-§6.3.1

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.93 \frac{38.31 \cdot 10^{-4} \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 979.78 \text{ kN}$$

$$L_f = 2.42 \text{ m}$$

Tube carré, pas de direction privilégiée pour le calcul

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_f^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 1500 \cdot 10^{-8}}{2.42^2} = 5308.59 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{38.31 \cdot 10^{-4} \cdot 275 \cdot 10^3}{5308.59}} = 0.45 > 0.2$$

Courbe de f^{bt} : hypothèse tube fini à chaud \rightarrow courbe a $\rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi = 0.5 \cdot (1 + 0.21 \cdot (0.45 - 0.2) + 0.45^2) = 0.63$$

$$\chi = \frac{1}{0.63 + \sqrt{0.63^2 + 0.45^2}} = 0.93$$

$$N_{Ed} = 743.18 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{743.18}{979.78} = 0.76 < 1 \rightarrow \text{vérifié}$$

3. Dimensionnement du transport et du levage.

3.1. Poids de la structure acier.

DR1 : Document Réponse (à rendre même non traité et à agraffer dans la copie par les surveillants)

Poids de la structure principale du pont

ATTENTION : tous les calculs seront effectués à partir du modèle simplifié de la figure 6.

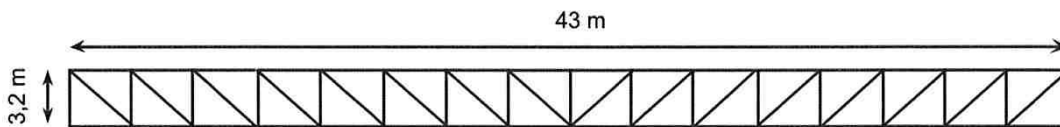


Fig. 6 : modèle simplifié droit à utiliser pour calculer le poids d'une poutre treillis : les membrures sont horizontales et les montants ont une hauteur constante de 3,2 m, cela conduit à majorer le poids du treillis et nous met par là même en sécurité pour le levage.

Remplir les seules cases contenant des pointillés dans les unités demandées.

Membrures et montants d'une poutre treillis (voir Fig.6)			
longueur membrures	$L_m = 2 \cdot 43$	86.00	m
longueur des montants	$L_n = 17 \cdot 3.2$	54.4	m
longueur totale	$L_1 = 86 + 54.4$	140.4	m
poids linéique	$G_1 = 0.31$	0.31	kN/m
poids membrure poutre treillis	$P_1 = 140.4 \cdot 0.31$	43.52	kN
Diagonales d'une poutre Treillis (voir Fig.6)			
longueur diagonale	$l_2 = \sqrt{3.2^2 + (43/16)^2}$	4.18	m
longueur totale	$L_2 = 16 \cdot 4.18$	66.88	m
poids linéique	$G_2 = 0.08$	0.08	kN/m
poids diagonales poutre treillis	$P_2 = 0.08 \cdot 66.88$	5.4	kN
Tablier (Solives + traverses + diagonales horizontales)			
poids tablier	$P_3 =$	72,3	kN
Structure Métallique COMPLÈTE			
Poids TOTAL	$P = 2 \cdot (P_1 + P_2) + P_3$	170.1	kN

3.2. Colisage et transport de la structure acier.

Scénario 1 : gabarit $L=43\text{m}$, $l=3.46\text{m}$, $h=3.4\text{m}$, poids=200kN → convoi exceptionnel de 3^{ème} catégorie

Scénario 2 : gabarit $L=43/7=6.15\text{m}$; $l=3.46\text{m}$, $h=3.4\text{m}$, poids=200/7=28.6kN → convoi exceptionnel de 2^{ème} catégorie à cause de la largeur comprise entre 3 et 4m.

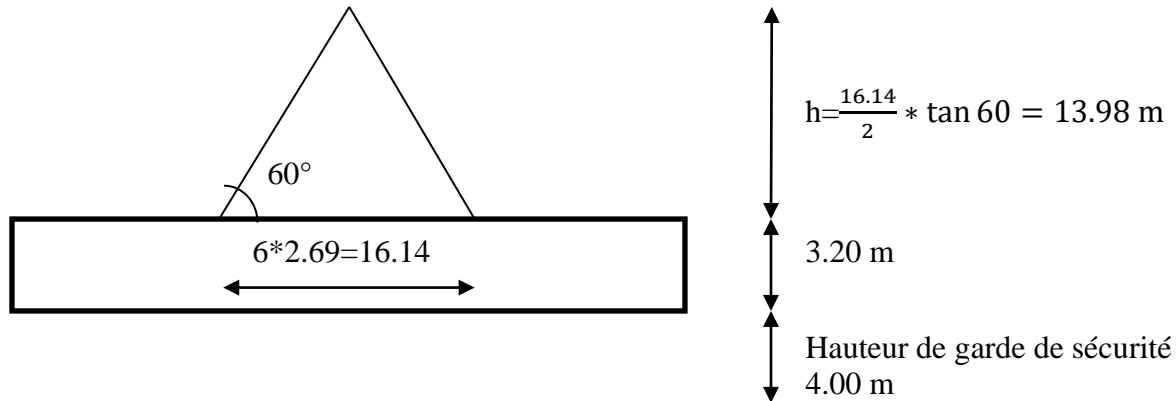
3.3. Choix des élingues pour un poids majoré de 200 kN.

Chaîne à 4 brins → $\beta=30^\circ < 45^\circ \rightarrow 200\text{kN} \approx 20 \text{ tonnes} \rightarrow$ élingues de 16 mm de grade 100 (capacité 21 tonnes)

3.4. Flèche horizontale de la grue.

D'après le plan chantier la flèche horizontale minimale est de 31.1 m

3.5. Hauteur du crochet de grue.

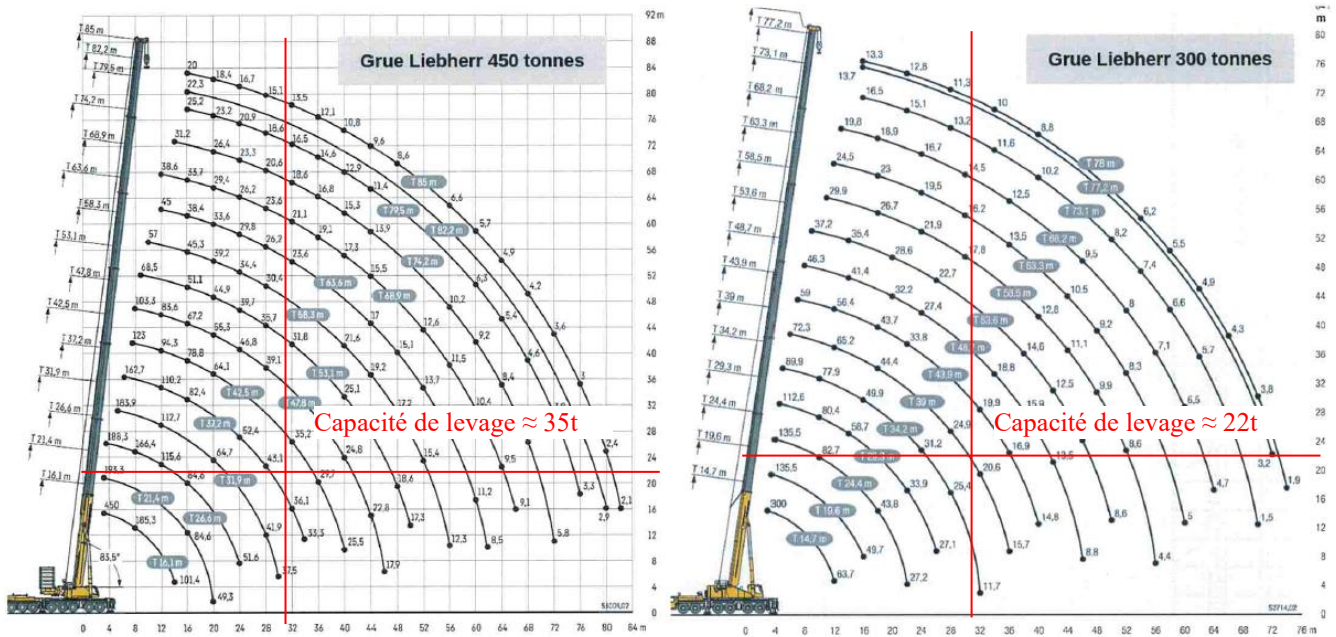


Hauteur du crochet de grue = $14 + 3.2 + 4 = 21.2 \text{ m}$

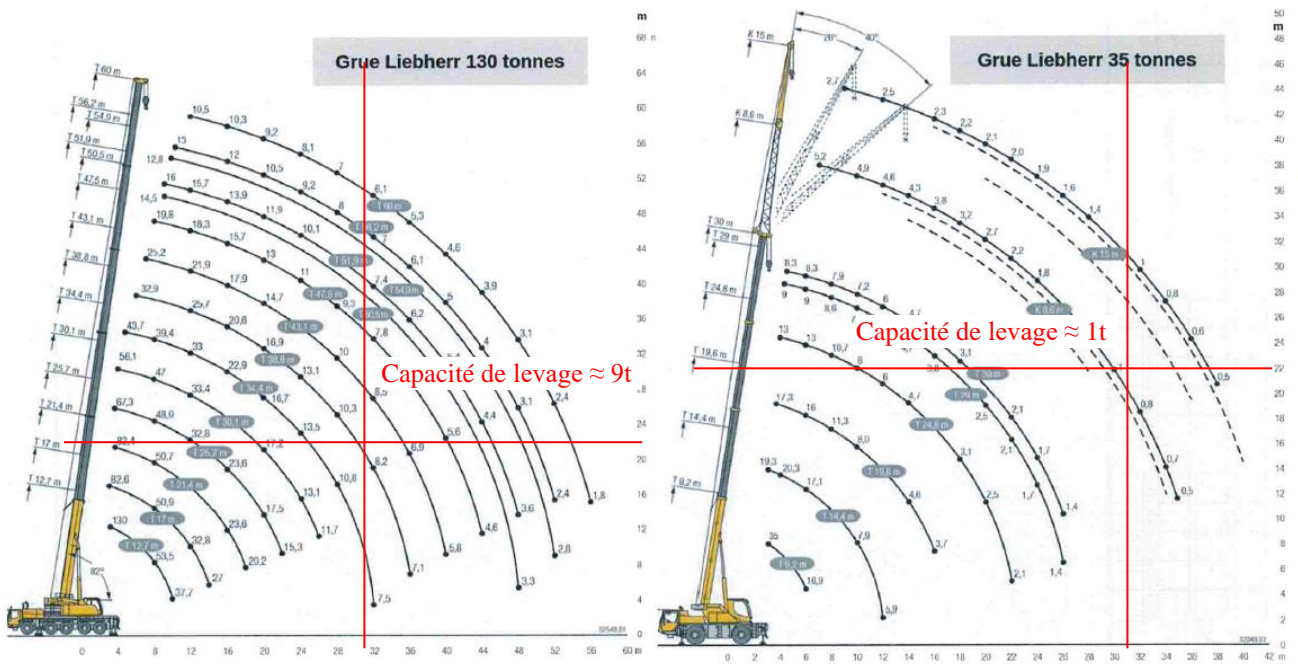
3.6. Choix d'une grue.

Distance 31m, hauteur du crochet 22m, masse à lever 20t

DR2 – 1/2 : Document Réponse (à rendre même non traité et à agraffer dans la copie par les surveillants)



DR2 – 2/2 : Document Réponse (à rendre même non traité et à agraffer dans la copie par les surveillants)



On choisira la grue Liebherr 300 tonnes

4. Vérification d'une attache de membrure tendue.

4.1. Vérification des pas et pinces.

Acier exposé aux intempéries :

$$e_1 = 45 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 26 = 31.2 \text{ mm} \\ < 4 \cdot 14 + 40 = 96 \text{ mm}$$

$$e_2 = 45 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 26 = 31.2 \text{ mm} \\ < 4 \cdot 14 + 40 = 96 \text{ mm}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 2.2 \cdot 26 = 57.2 \text{ mm} \\ < \min(14t ; 200) = \min(14 \cdot 14 ; 200) = 196 \text{ mm}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 2.4 \cdot 26 = 62.4 \text{ mm} \\ < \min(14t ; 200) = \min(14 \cdot 14 ; 200) = 196 \text{ mm}$$

4.2. Sollicitation pour un plat en section nette.

$$F_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{745}{2} = 372.50 \text{ kN}$$

4.3. Plat en section brute.

$$A = 14 \cdot (45 + 70 + 45) = 2240 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2240 \cdot 10^{-6} \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 616.00 \text{ kN} > F_{Ed} = 372.50 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié en section brute}$$

4.4. Plat en section nette.

$$A_{net} = 2240 - 2 \cdot 14 \cdot 26 = 1512 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 1512 \cdot 10^{-6} \cdot 430 \cdot 10^3}{1.25} = 468.11 \text{ kN} > F_{Ed} = 372.50 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié en section nette}$$

Vérification ELU des boulons de l'attache étudiée

4.5. Boulons cisailés.

Il y a 4 plans de cisaillement par boulon et 4 boulons soit 16 plans de cisaillement au total.

$$F_{v,Ed} = \frac{745}{16} = 46.56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 10^3 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1.25} = 135.55 \text{ kN}$$

$\alpha_v = 0.6 \rightarrow$ classe 8.8 + plan de cisaillement passe par la partie fileté

$$F_{v,Ed} = 46.56 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 135.55 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

4.6. Pression diamétrale.

Sur l'ensemble des 2 plats de la chape, il y a 8 zones de contact.

$$F_{v,Ed} = \frac{745}{8} = 93.13 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.07 \cdot 0.58 \cdot 430 \cdot 10^3 \cdot 0.024 \cdot 0.014}{1.25} = 138.77 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left[2.8 \cdot \frac{45}{26} - 1.7; 1.4 \cdot \frac{70}{26} - 1.7; 2.5\right] = 2.07$$

$$\alpha_b = \min\left[\frac{45}{3 \cdot 26}; \frac{70}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4}; \frac{800}{430}; 1\right] = 0.58$$

$$F_{v,Ed} = 93.13 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 138.77 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

4.7. Vérification de la soudure.

$$l_{\text{eff}} = 160 - 2 \cdot 16 = 128 \text{ mm}$$

$$A_w = 16 \cdot 128 \cdot 2 = 4096 \text{ mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = \frac{4096 \cdot 10^{-6} \cdot 430 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 0.85 \cdot 1.25} = 1172.15 \text{ kN} > N_{Ed} = 745 \text{ kN}$$

4.8. Variante.

Pour limiter les jeux on peut :

- Réaliser l'attache par platine d'about avec des boulons travaillant à la traction
- Utiliser des boulons précontraints

4.9. Variante avec boulons précontraints.

Les surfaces adhérentes doivent être le plus rugueuses possibles.

Il faut soit :

- Que les surfaces soient grenillées puis ce qui reste apparent après montage sera peint sur place.
- Que la peinture soit au silicate alcali-zinc appliquée sur surface grenillée.