

POTENCE POUR LA SIGNALISATION AUTOROUTIERE

1 OBJECTIF

Etablir un dossier complet de justification de dimensionnement statique d'une structure (conditions de résistance dans les zones courantes) et de ses liaisons structurales (soudures et boulons). Faire une analyse comparative de comportement de plusieurs types d'assemblages pour justifier leur choix dans la phase de conception de cette structure.

2 MISE EN SITUATION

Certains panneaux signalétiques autoroutiers sont associés à des structures métalliques du type potence démontable (cf. figure 1). Elles sont constituées de deux profilés tubulaires assemblés par l'intermédiaire de deux platines boulonnées, chaque platine étant soudée sur son profilé respectif.

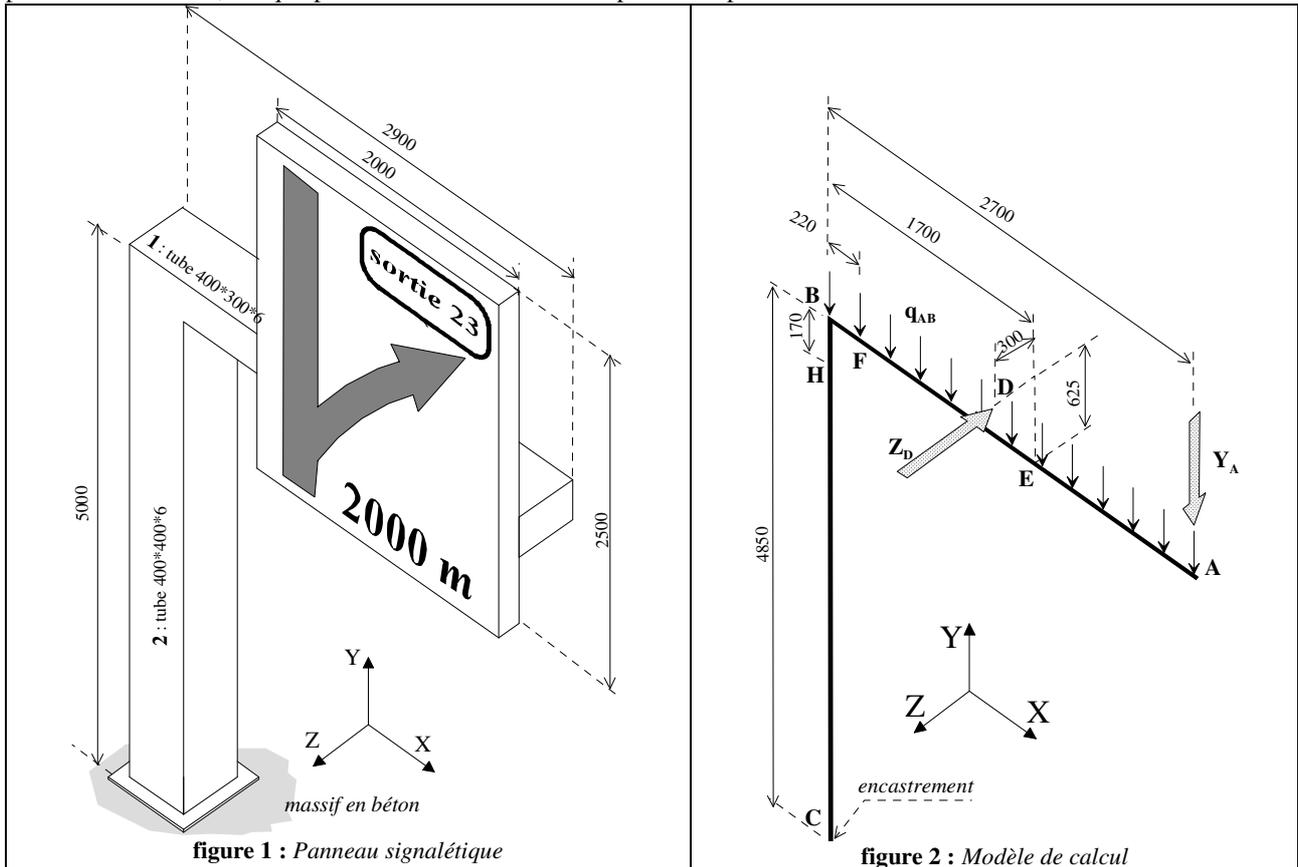


figure 1 : Panneau signalétique

figure 2 : Modèle de calcul

On rencontre généralement trois dispositions constructives pour assembler ces deux profilés (cf. figure 3 et les détails des liaisons en coupe suivant le sens d'observation V).

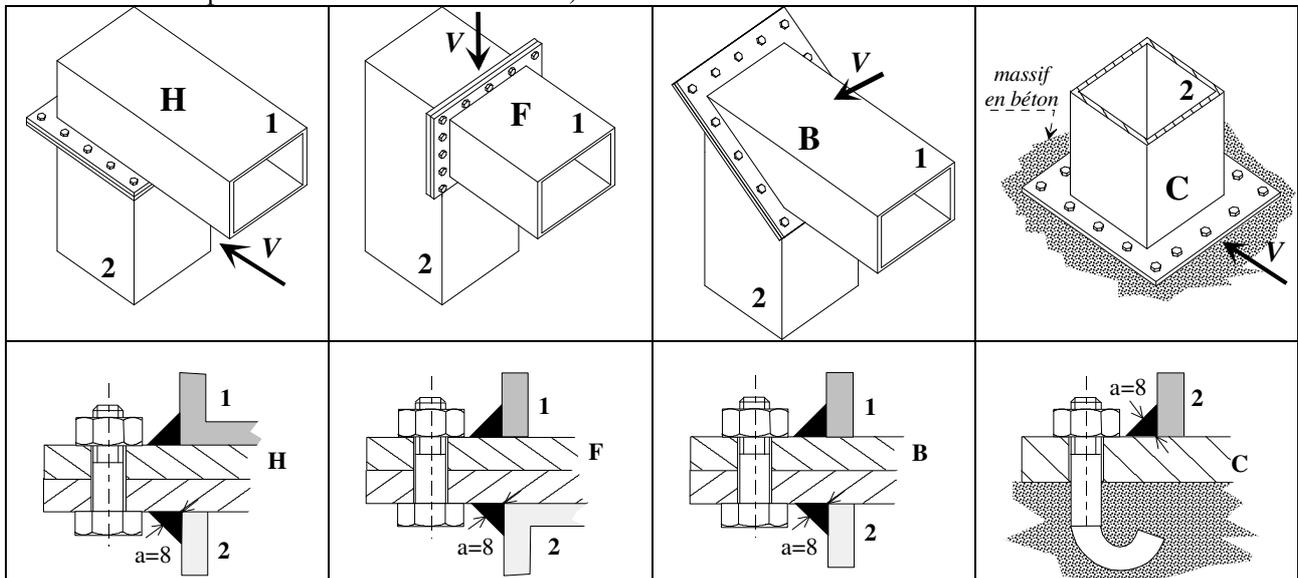


figure 3 : Dispositions constructives utilisées pour la liaison (1-2) et la liaison (2 – massif en béton)

3 DONNEES

3.1 Modèle de calcul (cf. figure 2) :

- application de la théorie des poutres
- modèle élaboré à partir du tracé des lignes moyennes des deux profilés
- repère global R(XYZ) et repères locaux $r(xyz)$ imposés, attention à leur différentes implantations

3.2 Matériau des profilés et des platines

- alliage d'aluminium : 5086 (A-G6), $E = 74000 \text{ MPa}$, $R_e = 230 \text{ MPa}$, $R_r = 310 \text{ MPa}$, $R_{rg} = 0.5 R_r$

Pour ce type de structure, l'utilisation des alliages d'aluminium à la place des aciers permet d'assurer une meilleure tenue à la fatigue ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion.

3.3 Dimensions transversales des profilés tubulaires

- profilé 1 : $400 \times 300 \times 6$ (positionné à "plat")
- profilé 2 : $400 \times 400 \times 6$

3.4 Liaisons structurales

3.4.1 Boulons

Pour l'assemblage boulonné entre les deux profilés (1 et 2) : 13 boulons M16, classe de qualité 5-8 (matériau acier galvanisé avec $R_e = 400 \text{ MPa}$, $R_r = 500 \text{ MPa}$ et $R_{rg} = 0.5 R_r$). Section du noyau : 157 mm^2 . On peut remarquer que les dispositions constructives retenues ne permettent pas de mettre des boulons sur toute la périphérie des platines.

Pour l'assemblage boulonné entre le profilé (2) et le massif en béton : 16 boulons d'ancrage J M20, classe de qualité 5-8 (matériau acier galvanisé avec $R_e = 400 \text{ MPa}$, $R_r = 500 \text{ MPa}$ et $R_{rg} = 0.5 R_r$). Section du noyau : 245 mm^2 .

3.4.2 Cordons de soudure

On fait l'hypothèse que le métal d'apport des cordons a une limite élastique équivalente à $0.8 R_e$ du métal de base des composants à souder. Largeur de gorge moyenne : 8 mm.

3.5 Conditions aux limites (cf. figure 2) :

3.5.1 Liaisons :

- assemblage boulonné entre potence et massif en béton : modèle encastrement
- assemblage boulonné entre les deux profilés : modèle encastrement

3.5.2 Chargements :

- actions horizontales du vent sur le panneau de signalisation (son action sur les profilés son action est ici négligée) de densité surfacique $p = 1500 \text{ N/m}^2$ (résultante de ces actions au centre géométrique D du panneau signalétique notée : Z_D)

- poids d'un opérateur à l'extrémité libre A de la potence : $Y_A = -1200 \text{ N}$

- actions verticales uniformément réparties du poids de la neige sur AB (le point milieu sera noté : Q) de densité surfacique $q_{AB} = 820 \text{ N/m}^2$ (charge linéaire uniformément répartie notée : q)

- poids propres des profilés et du panneau signalétique négligés

4 CALCULS

Un canevas de travail est proposé pour que toutes les étapes permettant de parvenir aux objectifs initiaux soient franchies avec le plus de rigueur possible. Compte tenu du caractère répétitif des calculs et de leur mise en forme pour l'exploitation des résultats, il est nécessaire d'utiliser une feuille de calcul du tableur EXCEL. Les démonstrations et les calculs annexes qui ne peuvent pas apparaître dans les espaces réservés sur ce document seront récapitulés et référencés dans une annexe.

Support de cours : extraits de l'ouvrage "Dimensionnement des structures" D. GAY et J. GAMBELIN éditions Hermes. (voir §5 Annexes)

4.1 Etude statique préliminaire

4.1.1 Système isolé

- potence sans panneau indicateur

4.1.2 Bilan des actions mécaniques appliquées sur le système isolé et leur modèle

4.1.3 Application du principe fondamental de la statique

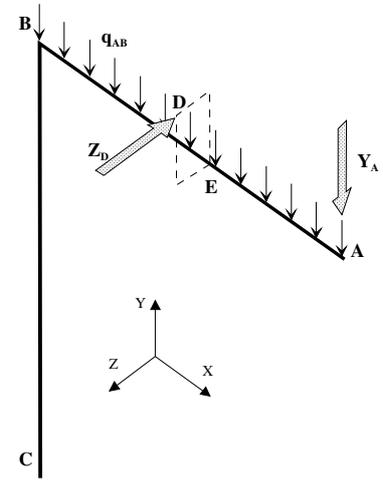
○ torseur des efforts transmissibles en C :

$$\{\mathcal{F}_{\text{béton/AC}}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_C = X_C \vec{X} + Y_C \vec{Y} + Z_C \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_C = L_C \vec{X} + M_C \vec{Y} + N_C \vec{Z} \end{array} \right\}_{C,R}$$

⇓

X_C		L_C	
Y_C		M_C	
Z_C		N_C	

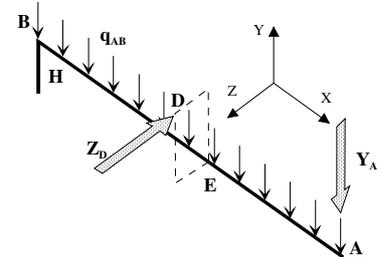
Mettre en place la représentation vectorielle de ce torseur transmissible sur le modèle de calcul ci-contre.



4.2 Détermination des éléments de réduction des torseurs des efforts transmissibles

Mettre en place la représentation vectorielle de ces torseurs transmissibles sur les modèles de calcul ci-dessous

4.2.1 de la partie CH sur la partie AH au point H :

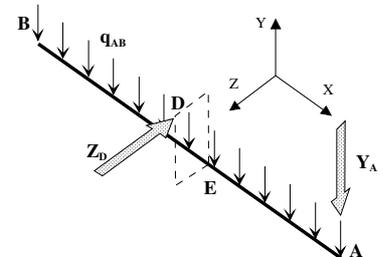


○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext/AH}}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_H = X_H \vec{X} + Y_H \vec{Y} + Z_H \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_H = L_H \vec{X} + M_H \vec{Y} + N_H \vec{Z} \end{array} \right\}_{H,R} \Rightarrow$$

X_H		L_H	
Y_H		M_H	
Z_H		N_H	

4.2.2 de la partie CB sur la partie AB au point B :

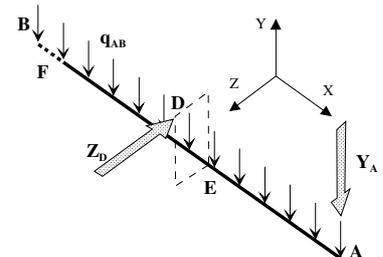


○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext/AB}}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_B = X_B \vec{X} + Y_B \vec{Y} + Z_B \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_B = L_B \vec{X} + M_B \vec{Y} + N_B \vec{Z} \end{array} \right\}_{B,R} \Rightarrow$$

X_B		L_B	
Y_B		M_B	
Z_B		N_B	

4.2.3 de la partie CF sur la partie AF au point F :



○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext/AF}}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_F = X_F \vec{X} + Y_F \vec{Y} + Z_F \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_F = L_F \vec{X} + M_F \vec{Y} + N_F \vec{Z} \end{array} \right\}_{F,R} \Rightarrow$$

X_F		L_F	
Y_F		M_F	
Z_F		N_F	

4.3 Vérification de la tenue des profilés aux sollicitations simples

On se place dans un cas défavorable où les zones analysées ne sont pas rigidifiées par les platines de liaison, c'est-à-dire où les sections considérées correspondent aux sections droites C et F des deux profilés.

Justifier le choix de ces deux sections droites :

Pour ces deux sections droites déterminer et tracer la représentation vectorielle des projections des éléments de réduction du torseur des efforts de cohésion dans le repère local $r(xyz)$ associé. En déduire le type de sollicitations simples. Tracer la représentation vectorielle et déterminer les contraintes engendrées par chaque sollicitation ainsi que les contraintes résultantes maximales. Calculer la contrainte normale équivalente selon le critère de Von Mises pour les poutres. Vérifier la condition de résistance (prendre le cas le plus pénalisant et préciser le point de la section où ces calculs sont effectués).

4.3.1 Section droite en C

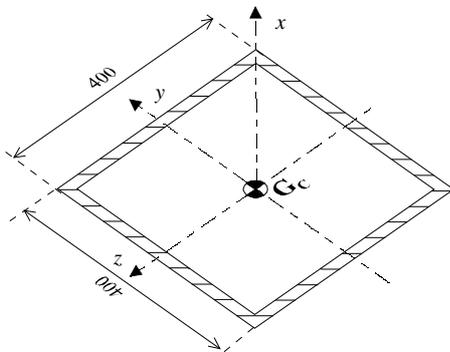
Caractéristiques géométriques transversales du profilé (2) :

	aire	section réduites		Cte. torsion	moments quadratiques		modules de flexion	
	S	Sr _y	Sr _z	J	I _y	I _z	I _z /y	I _y /z
unités								

○ torseur de cohésion en C' (C' très proche de C)

$$\{Coh_{AC'/C'C}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{AC'/C'C} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \mathcal{M}_{C(AC'/C'C)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{C',r} \Rightarrow$$

N		M _x	
T _y		Mf _y	
T _z		Mf _z	



- sollicitations :
Compression, cisaillement, torsion/x, flexion /y, flexion /z
- contraintes :

○ représenter l'allure de la répartition des vecteurs contraintes pour chaque sollicitation sur cette section

contraintes dues à N	contraintes dues à T _y	contraintes dues à T _z
contraintes dues à M _x	contraintes dues à Mf _y	contraintes dues à Mf _z

○ contraintes résultantes :

○ contrainte normale équivalente :

○ condition de résistance :

4.3.2 Section droite en F

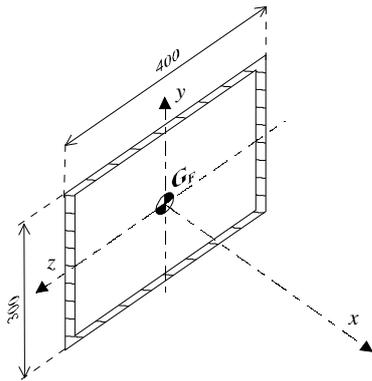
Caractéristiques géométriques transversales du profilé (1) :

	aire	section réduites		Cte. torsion	moments quadratiques		modules de flexion	
	S	S _{r_y}	S _{r_z}	J	I _y	I _z	I _z /y	I _y /z
unités								

○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AF/FC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{F(AF/FC)} = M_x \vec{x} + M_f_y \vec{y} + M_f_z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r} \Rightarrow$$

N		M _x	
T _y		M _{f_y}	
T _z		M _{f_z}	



○ sollicitations :

○ contraintes :

○ représenter l'allure de la répartition des vecteurs contraintes pour chaque sollicitation sur cette section

contraintes dues à N	contraintes dues à T _y	contraintes dues à T _z
contraintes dues à M _x	contraintes dues à M _{f_y}	contraintes dues à M _{f_z}

○ contraintes résultantes :

○ contrainte normale équivalente :

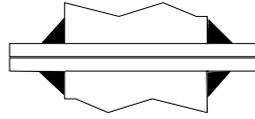
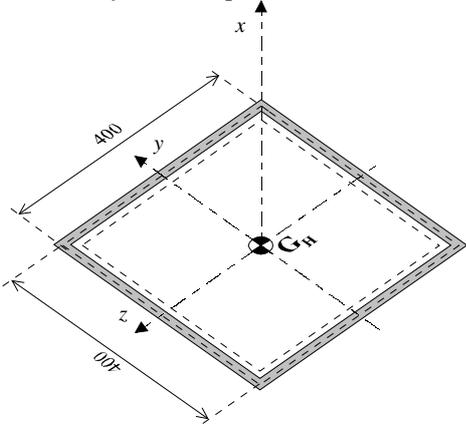
○ condition de résistance :

4.4 Vérification des cordons de soudure entre une platine et un profilé

4.4.1 Torseurs des efforts de cohésion dans les jonctions équivalentes

Pour chaque jonction soudée équivalente écrire et tracer la représentation vectorielle des projections des éléments de réduction du torseur efforts de cohésion dans le repère local $r(xyz)$ associé. Compte tenu du repère local affecté à chaque jonction équivalente, ombrer la partie isolée de la structure sur la silhouette de chaque liaison soudée.

4.4.1.1 jonction équivalente en H

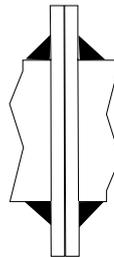
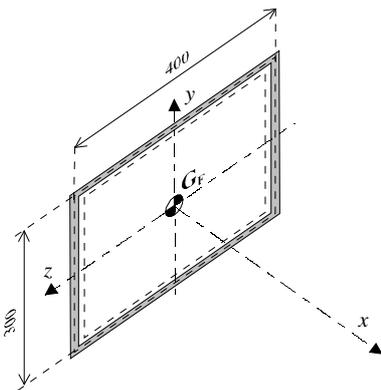


○ torseur de cohésion en H :

$$\{Coh_{AH/HC}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AH/HC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{H(AH/HC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{H,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.4.1.2 jonction équivalente en F

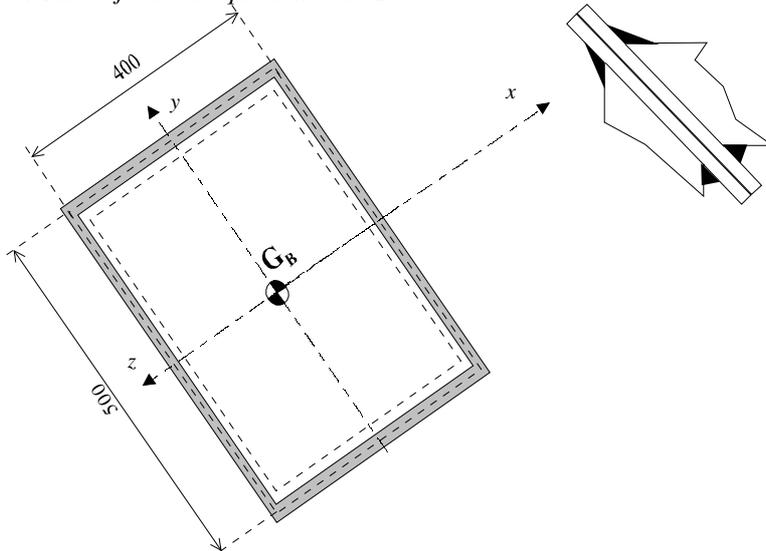


○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AF/FC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{F(AF/FC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.4.1.3 jonction équivalente en B



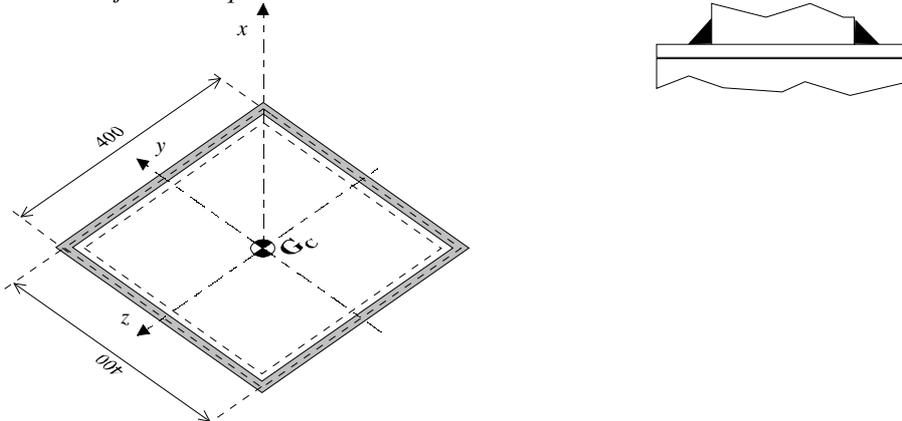
Remarque : les cordons de soudure sur la partie inférieure et sur la partie supérieure de la jonction soudée ne respectent pas les dimensions de la section de gorge initialement prévue. Le calcul sera donc surdimensionné pour l'un et sous dimensionné pour l'autre.

○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AB/BC}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AB/BC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{B(AB/BC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{B,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.4.1.4 jonction équivalente en C



○ torseur de cohésion en C :

$$\{Coh_{AC/béton}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AC/béton} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{C(AC/béton)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{C,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.4.2 Caractéristiques géométriques des jonctions équivalentes

caractéristiques	unités	jonction équivalente en H	jonction équivalente en B	jonction équivalente en F	jonction équivalente en C
aire S					
moment quadratique I_y					
moment quadratique I_z					
moment polaire I_0					
y_i pour contrainte max					
z_i pour contrainte max					

4.4.3 Contraintes sur chaque cordon de soudure équivalent

Unité :

4.4.3.1 de la jonction équivalente en H

n°	contraintes dues aux sollicitations simples sur les lignes moyennes						contraintes résultantes lignes moy.			contraintes dans les sections de gorge			
	σ_N	$\tau_{xy} \tau_y$	$\tau_{xz} \tau_z$	$\tau_{xy} \mathcal{M}_x$	$\tau_{xz} \mathcal{M}_x$	σ_{Mfy}	σ_{Mfz}	σ_x	τ_{xy}	τ_{xz}	σ_n	τ_ℓ	τ_t
1													
2													
3													
4													

Critère de tenue du cordon n° le plus sollicité :

4.4.3.2 de la jonction équivalente en B

n°	contraintes dues aux sollicitations simples sur les lignes moyennes des cordons						contraintes résultantes lignes moy.			contraintes dans les sections de gorge			
	σ_N	$\tau_{xy} \tau_y$	$\tau_{xz} \tau_z$	$\tau_{xy} \mathcal{M}_x$	$\tau_{xz} \mathcal{M}_x$	σ_{Mfy}	σ_{Mfz}	σ_x	τ_{xy}	τ_{xz}	σ_n	τ_ℓ	τ_t
1													
2													
3													
4													

Critère de tenue du cordon n° le plus sollicité :

4.4.3.3 de la jonction équivalente en F

n°	contraintes dues aux sollicitations simples sur les lignes moyennes des cordons						contraintes résultantes lignes moy.			contraintes dans les sections de gorge			
	σ_N	$\tau_{xy} \tau_y$	$\tau_{xz} \tau_z$	$\tau_{xy} \mathcal{M}_x$	$\tau_{xz} \mathcal{M}_x$	σ_{Mfy}	σ_{Mfz}	σ_x	τ_{xy}	τ_{xz}	σ_n	τ_ℓ	τ_t
1													
2													
3													
4													

Critère de tenue du cordon n° le plus sollicité :

4.4.3.4 de la jonction équivalente en C

n°	contraintes dues aux sollicitations simples sur les lignes moyennes des cordons						contraintes résultantes lignes moy.			contraintes dans les sections de gorge			
	σ_N	$\tau_{xy} \tau_y$	$\tau_{xz} \tau_z$	$\tau_{xy} \mathcal{M}_x$	$\tau_{xz} \mathcal{M}_x$	σ_{Mfy}	σ_{Mfz}	σ_x	τ_{xy}	τ_{xz}	σ_n	τ_ℓ	τ_t
1													
2													
3													
4													

Critère de tenue du cordon n° le plus sollicité :

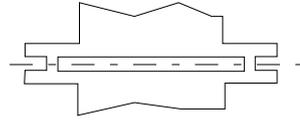
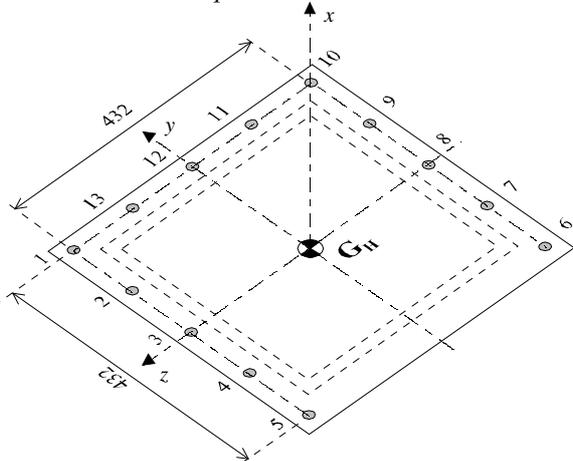
4.5 Vérification des assemblages boulonnés

Hypothèses à formuler :

4.5.1 Torseurs des efforts de cohésion dans des sections équivalentes

Pour chaque section équivalente écrire et tracer la représentation vectorielle des projections des éléments de réduction du torseur efforts de cohésion dans le repère local $r(xyz)$ associé. Compte tenu du repère local affecté à chaque section équivalente, ombrer la partie isolée de la structure sur la silhouette de chaque liaison boulonnée.

4.5.1.1 section équivalente en H

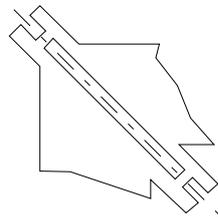
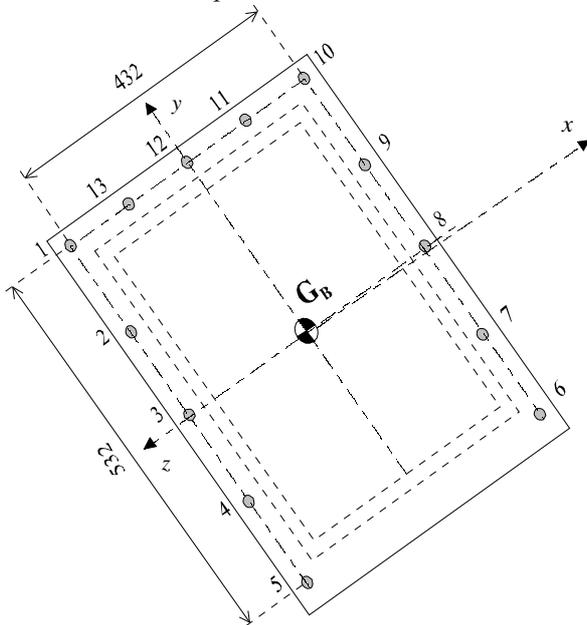


○ torseur de cohésion en H :

$$\{Coh_{AH/HC}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{AH/HC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \mathcal{M}_{H(AH/HC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{H,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.5.1.2 section équivalente en B

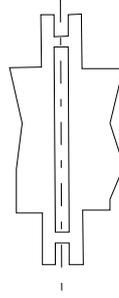
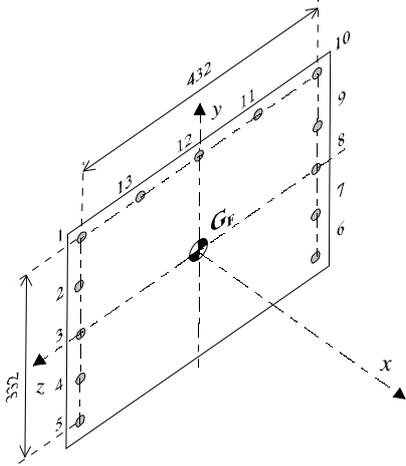


○ torseur de cohésion en B :

$$\{Coh_{AB/BC}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{AB/BC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \mathcal{M}_{B(AB/BC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{B,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		Mf_y	
T_z		Mf_z	

4.5.1.3 section équivalente en F

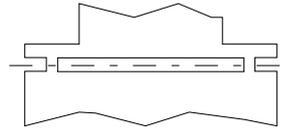
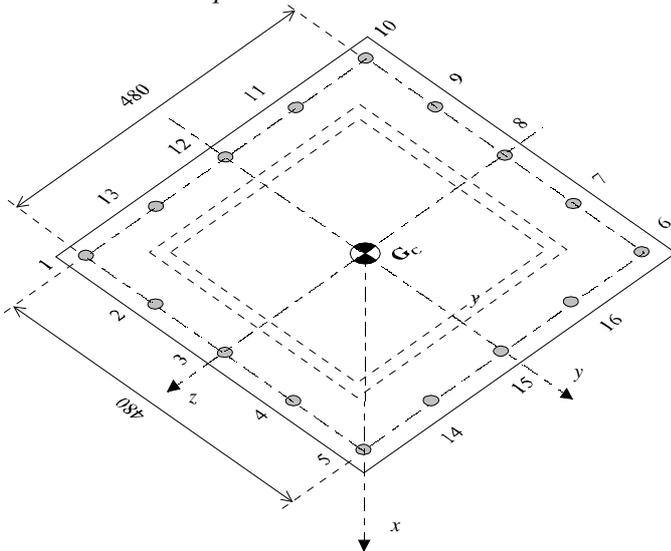


○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AF/FC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{F(AF/FC)} = M_x \vec{x} + M_f y \vec{y} + M_f z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		$M_f y$	
T_z		$M_f z$	

4.5.1.4 section équivalente en C



○ torseur de cohésion en C :

$$\{Coh_{AC/béton}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AC/béton} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{C(AC/béton)} = M_x \vec{x} + M_f y \vec{y} + M_f z \vec{z} \end{array} \right\}_{C,r} \Rightarrow$$

N		M_x	
T_y		$M_f y$	
T_z		$M_f z$	

4.5.2 Caractéristiques géométriques de chaque section équivalente

Prendre le cas le plus pénalisant pour les sections des boulons : la section du noyau

caractéristiques	unité	jonction équivalente en H	jonction équivalente en B	jonction équivalente en F	jonction équivalente en C
aire S					
$\sum y_i^2$					
$\sum z_i^2$					
$\sum (y_i^2 + z_i^2)$					

4.5.3 Coordonnées locales de chaque fixation

Unité :

n°	jonction équivalente en H		jonction équivalente en B		jonction équivalente en F		jonction équivalente en C	
	y_i	z_i	y_i	z_i	y_i	z_i	y_i	z_i
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

4.5.4 Efforts sur les sections de chaque fixation

Unité :

n°	- dans la section équivalente en H :				- dans la section équivalente en B :				- dans la section équivalente en F :				- dans la section équivalente en C :				
	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	

4.5.5 Contraintes réglementaires sur les sections de chaque fixation

Unité :

n°	- dans la section équivalente en H :			- dans la section équivalente en B :			- dans la section équivalente en F :			- dans la section équivalente en C :		
	σ_i	τ_i	critère résist.									
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												

4.6 Conclusions

○ A l'issue des calculs identifier la disposition constructive la plus adaptée à la liaison entre les deux profilés 1 et 2

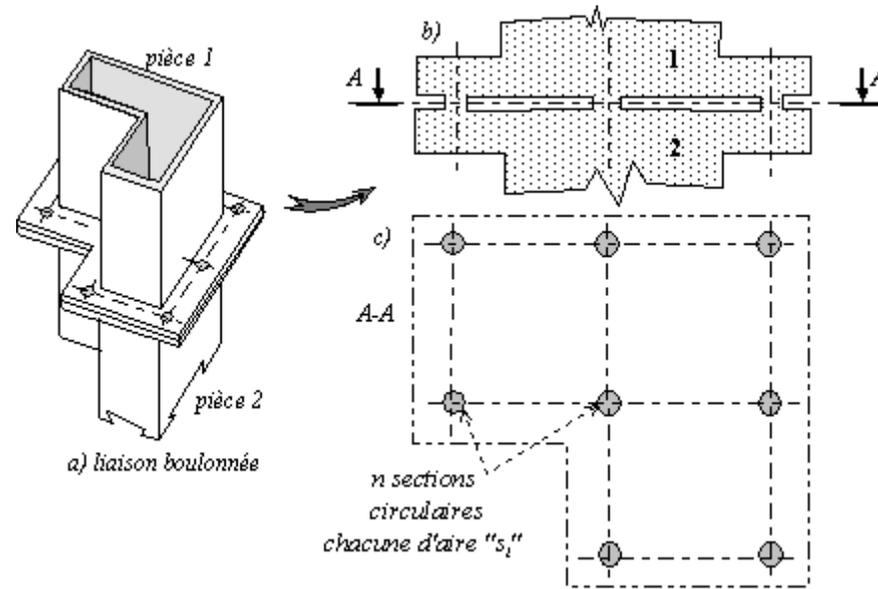
○ Indiquer tous les critères (autre que le dimensionnement) permettant de retenir une solution d'assemblage entre les deux profilés 1 et 2 :

○ Conclusion sur le comportement général de la structure, aménagements éventuels à réaliser pour la conception :

5 ANNEXES

extraits de l'ouvrage "Dimensionnement des structures" D. GAY et J. GAMBELIN éditions Hermès

ASSEMBLAGES BOULONNES



Modélisation de l'interface boulonnée

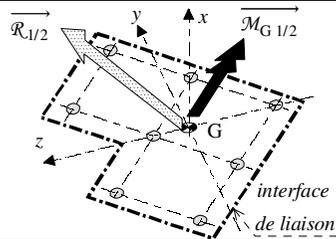
liaison boulonnée de deux pièces 1 et 2

estimation des sollicitations sur "n" fixations de centre (i) et de section "s"

données relatives à la jonction boulonnée équivalente

$$G \text{ centre géométrique des "n" sections : } \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n z_i = 0 ;$$

$$\vec{y} \text{ et } \vec{z} \text{ axes quadratiques principaux : } \sum_{i=1}^n y_i \times z_i = 0 \text{ et } I_y = s \times \sum_{i=1}^n z_i^2 ; I_z = s \times \sum_{i=1}^n y_i^2 ; I_0 = I_y + I_z$$



torseur des efforts de cohésion transmissibles
(connu; c'est une donnée)

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_{1/2} = \mathcal{N} \vec{x} + \mathcal{T}_y \vec{y} + \mathcal{T}_z \vec{z} \\ \vec{\mathcal{M}}_{G1/2} = \mathcal{M}_x \vec{x} + \mathcal{M}_y \vec{y} + \mathcal{M}_z \vec{z} \end{array} \right\}_G$$

contraintes au centre (i) d'une section de fixation

♦ *contrainte normale* : $\sigma_{xi} = \frac{\mathcal{N}}{n \times s} + \frac{\mathcal{M}_y}{I_y} \times z_i - \frac{\mathcal{M}_z}{I_z} \times y_i$

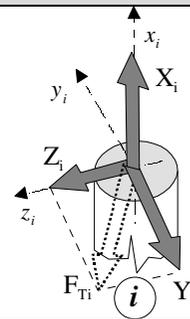
♦ *contraintes tangentielles* : $\tau_{xyi} = \frac{\mathcal{T}_y}{n \times s} - \frac{\mathcal{M}_x}{I_0} \times z_i$; $\tau_{xzi} = \frac{\mathcal{T}_z}{n \times s} + \frac{\mathcal{M}_x}{I_0} \times y_i$

effort correspondant sur la section de la fixation n° i

♦ *composante de l'effort normal* : $X_i = \frac{\mathcal{N}}{n} + \mathcal{M}_y \times \frac{z_i}{\sum_{i=1}^n z_i^2} - \mathcal{M}_z \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2}$

♦ *composantes de l'effort tangentiel* : $Y_i = \frac{\mathcal{T}_y}{n} - \mathcal{M}_x \times \frac{z_i}{\sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2)}$; $Z_i = \frac{\mathcal{T}_z}{n} + \mathcal{M}_x \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2)}$

♦ *effort tangentiel total* : $F_{Ti} = \sqrt{Y_i^2 + Z_i^2}$



cas d'un serrage négligé

contraintes réglementaires dans la tige n°i

contrainte normale :

$$\sigma_i = \frac{X_i}{s_0}$$

(s₀: section de la tige à fond de filet)

contrainte tangentielle :

$$\tau_i = \frac{F_{Ti}}{s \text{ (ou } s_0)}$$

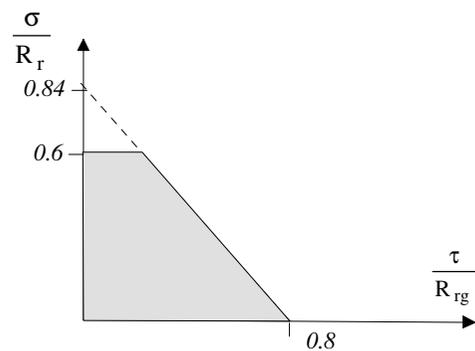
(s ou s₀ : section de la tige à l'interface des pièces assemblées)

critère de résistance (selon Eurocode)

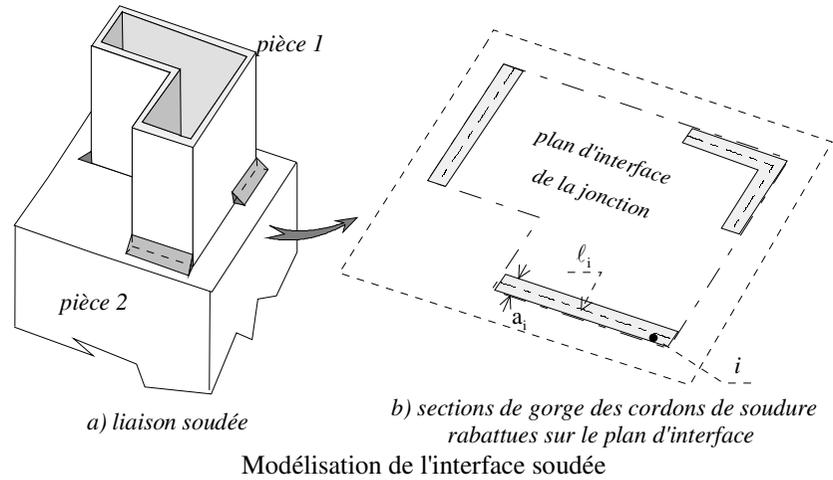
si $\sigma_i > 0$ (traction) $\frac{\sigma_i}{R_r} \leq 0.6$

$$\frac{\sigma_i}{0.84 \times R_r} + \frac{\tau_i}{0.8 \times R_{rg}} \leq 1$$

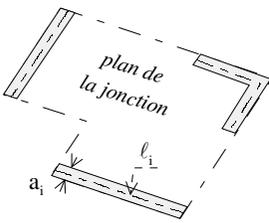
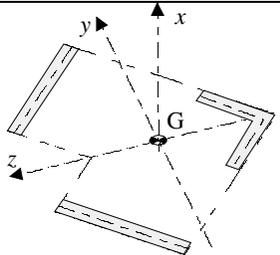
(σ_i, τ_i) doit se trouver à l'intérieur du domaine délimité :



ASSEMBLAGES MECANOSOUDES



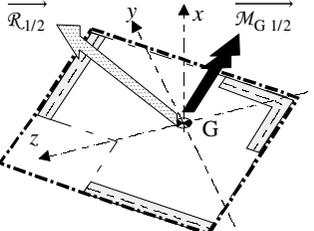
liaison soudée
<p>un cordon de soudure est réduit à sa section de gorge; celle-ci est rabattue sur le plan de la jonction :</p>
<p>une liaison soudée (entre deux pièces 1 et 2) est réduite à une jonction équivalente</p>

- G est le centre géométrique : $\int_S y dS = 0$; $\int_S z dS = 0$

- \vec{y} et \vec{z} sont les axes quadratiques principaux :

$\int_S yz dS = 0$; $I_y = \int_S z^2 dS$; $I_z = \int_S y^2 dS$; $I_0 = I_y + I_z$



torseur des efforts de cohésion transmissibles (connu; c'est une donnée)

$$\left. \begin{aligned} \vec{\mathcal{R}}_{1/2} &= \mathcal{N} \vec{x} + \mathcal{T}_y \vec{y} + \mathcal{T}_z \vec{z} \\ \vec{\mathcal{M}}_{G 1/2} &= \mathcal{M}_x \vec{x} + \mathcal{M}_y \vec{y} + \mathcal{M}_z \vec{z} \end{aligned} \right\}_G$$

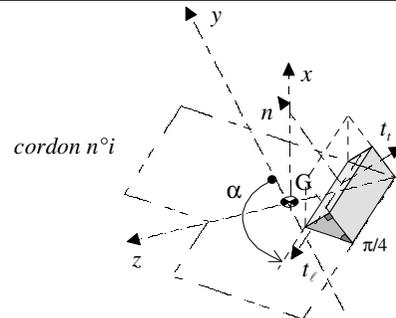
contraintes sur la ligne moyenne des cordons

$$\sigma_x = \frac{N}{S} + \frac{Mf_y}{I_y} \times z - \frac{Mf_z}{I_z} \times y$$

$$\tau_{xy} = \frac{T_y}{S} - \frac{M_x}{I_0} \times z$$

$$\tau_{xz} = \frac{T_z}{S} + \frac{M_x}{I_0} \times y$$

contraintes réglementaires dans un cordon



$$\begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_\ell \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & s & -c \\ 0 & c\sqrt{2} & s\sqrt{2} \\ 1 & -s & c \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

avec $\alpha = (\vec{t}_\ell, \vec{y})$, $s = \sin \alpha$; $c = \cos \alpha$

critère de tenue du cordon

$$\sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_\ell^2 + \tau_t^2)} \leq \frac{R_r \text{ cordon}}{C_s} \text{ avec } 1 \leq C_s \leq 1.2$$

ELEMENTS DE CORRECTION

412-

Bilan des am sur potence

Action de l'opérateur Z_A

Action du vent sur panneau $Z_D = -1500 \times 2 \times 2,5 = -7500$

Action neige sur AB $Y_{AB} = -820 \times 2,7 \times 0,4 = -885,6$ (ou $-820 \times 2,9 \times 0,4 = -951,2$)

$$\text{Action du sol sur la potence } \{F_{\text{béton/AC}}\}_C = \begin{cases} \vec{R}_C = X_C \vec{X} + Y_C \vec{Y} + Z_C \vec{Z} \\ \vec{M}_C = L_C \vec{X} + M_C \vec{Y} + N_C \vec{Z} \end{cases}_{C,R}$$

→ 6 équations de projections pour déterminer les 6 inconnues algébriques

PSF (N et N.m)

$$\sum \overrightarrow{(F_{\text{ext}})} = \vec{A} + \vec{D} + \vec{C} + \vec{N}_{AB} = \vec{0} \qquad \sum \overrightarrow{\mathcal{M}(F_{\text{ext}})/C} = \vec{CA} \wedge \vec{A} + \vec{CD} \wedge \vec{D} + \vec{CG}_{AB} \wedge \vec{N}_{AB} + \vec{M}_C = \vec{0}$$

$$\begin{bmatrix} \vec{X} & \vec{Y} & \vec{Z} \\ 2,7 & 0,485 & 0 \\ 0 & -1200 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{X} & \vec{Y} & \vec{Z} \\ 1,7 & 5,475 & 0,3 \\ 0 & 0 & -7500 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{X} & \vec{Y} & \vec{Z} \\ 1,35 & 4,85 & 0 \\ 0 & -885,6 & 0 \end{bmatrix} + L_C \vec{X} + M_C \vec{Y} + N_C \vec{Z} = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{forces} \\ / X : X_C = 0 \\ / Y : Y_A + Y_{AB} + Y_C = 0 \\ / Z : Z_C + Z_D = 0 \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{moments} \\ / X : -41064,5 + L_C = 0 \\ / Y : 12750 + M_C = 0 \\ / Z : -3240 - 1195,56 + N_C = 0 \end{array}$$

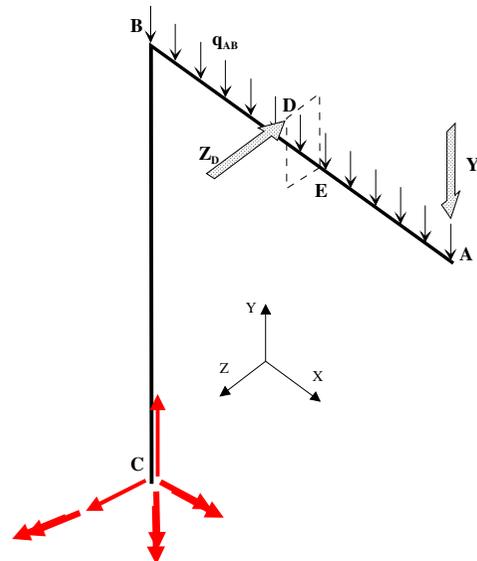
○ torseur des efforts transmissibles en C :

$$\{F_{\text{béton/AC}}\}_C = \begin{cases} \vec{R}_C = X_C \vec{X} + Y_C \vec{Y} + Z_C \vec{Z} \\ \vec{M}_C = L_C \vec{X} + M_C \vec{Y} + N_C \vec{Z} \end{cases}_{C,R}$$

⇓

X_C	0	L_C	41062,5
Y_C	2085,6	M_C	-12750
Z_C	7500	N_C	4435,5 (ou 4524)

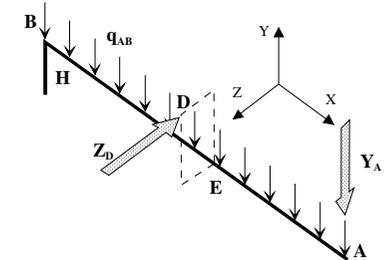
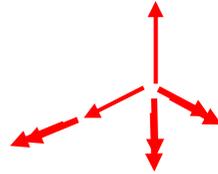
Mettre en place la représentation vectorielle de ce torseur transmissible sur le modèle de calcul ci-contre.



Détermination des éléments de réduction des torseurs des efforts transmissibles

Mettre en place la représentation vectorielle de ces torseurs transmissibles sur les modèles de calcul ci-dessous de la partie CH sur la partie AH au point H :

$$L_H = -(4,68 \times 7500) + 41062,5 = 5962,5 =$$



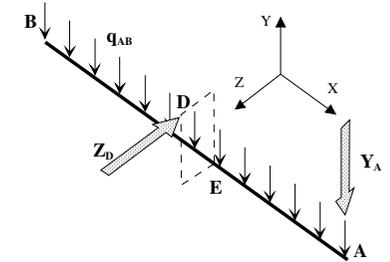
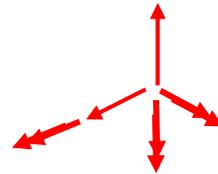
○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext/AH}}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_H = X_H \vec{X} + Y_H \vec{Y} + Z_H \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_H = L_H \vec{X} + M_H \vec{Y} + N_H \vec{Z} \end{array} \right\}_{H, R} \Leftrightarrow$$

X_H	0	L_H	5962,5
Y_H	2085,6	M_H	-12750
Z_H	7500	N_H	4435,5

de la partie CB sur la partie AB au point B :

$$L_B = (-0,170 \times 7500) + 5962,5 = 4687,5$$



○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext/AB}}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_B = X_B \vec{X} + Y_B \vec{Y} + Z_B \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_B = L_B \vec{X} + M_B \vec{Y} + N_B \vec{Z} \end{array} \right\}_{B, R} \Leftrightarrow$$

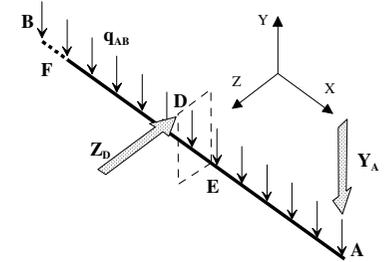
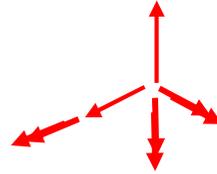
X_B	0	L_B	4687,5
Y_B	2085,6	M_B	-12750
Z_B	7500	N_B	4435,5

de la partie CF sur la partie AF au point F :

$$M_F = 0,22 \times 7500 - 12750$$

$$N_F = -0,22 \times 2085,6 + 4435,5 + \left(\frac{0,22}{2} \times 72,16\right)$$

$$Y_{BF} = -820 \times 0,22 \times 0,4 = 72,16$$



○ torseur des efforts transmissibles :

$$\{\mathcal{F}_{\text{ext}/AF}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_F = X_F \vec{X} + Y_F \vec{Y} + Z_F \vec{Z} \\ \vec{\mathcal{M}}_F = L_F \vec{X} + M_F \vec{Y} + N_F \vec{Z} \end{array} \right\}_{F,R} \Leftrightarrow$$

XF	0	LF	4687,5
YF	2013,6 (=2085,6-72,16)	MF	-11100
ZF	7500	NF	3984,5

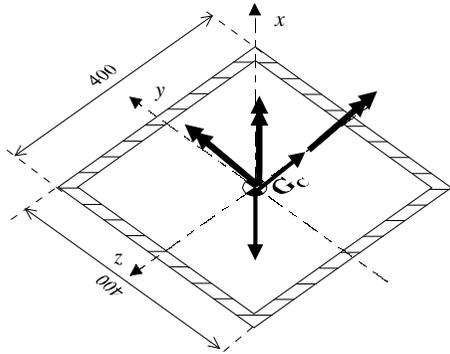
431-
section droite C

	aire	section réduites		Cte. torsion	moments quadratiques		modules de flexion	
	S	S _{r_y}	S _{r_z}	J	I _y	I _z	I _{z/y}	I _{y/z}
unités	mm ²	mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³
	9456	4656	4656	366977904	244708672	244708672	1242000	1242000

○ torseur de cohésion en C' (C' très proche de C)

$$\{\text{Coh}_{AC'/C'C}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathcal{R}}_{AC'/C'C} = \mathcal{N} \vec{x} + \mathcal{T}_y \vec{y} + \mathcal{T}_z \vec{z} \\ \vec{\mathcal{M}}_{C(A C'/C'C)} = \mathcal{M}_x \vec{x} + \mathcal{M}_y \vec{y} + \mathcal{M}_z \vec{z} \end{array} \right\}_{C',r} \Leftrightarrow$$

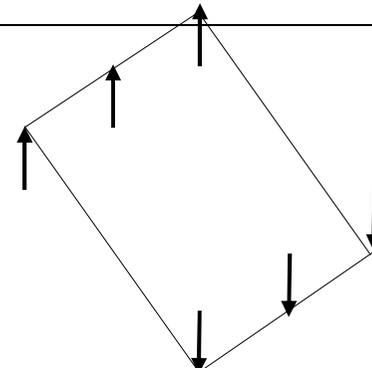
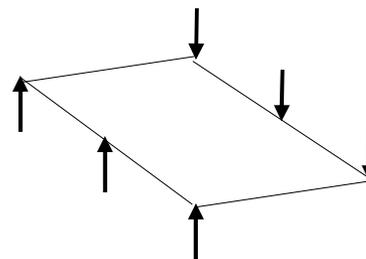
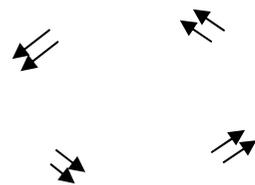
\mathcal{N}	-2086	\mathcal{M}_x	12750
\mathcal{T}_y	0	\mathcal{M}_y	41063
\mathcal{T}_z	-7500	\mathcal{M}_z	-4436

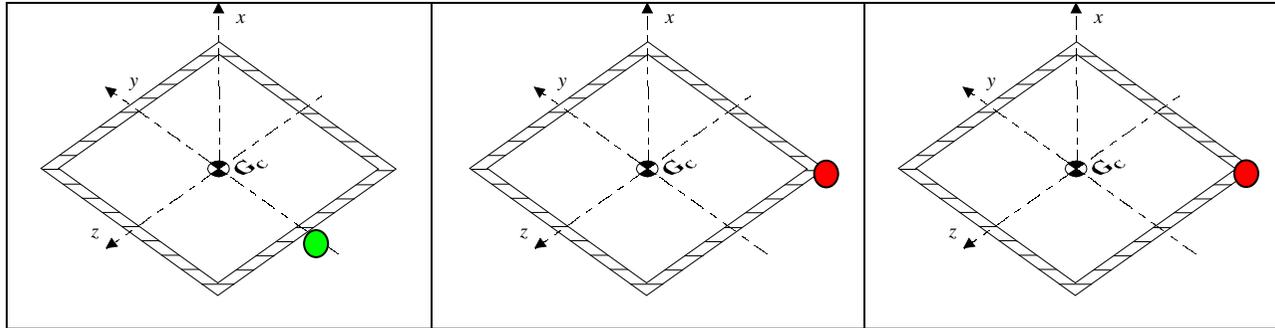


- sollicitations :
Compression, cisaillement, torsion/x, flexion /y, flexion /z
- contraintes :

○ représenter l'allure de la répartition des vecteurs contraintes pour chaque sollicitation sur cette section

contraintes dues à \mathcal{N}	contraintes dues à \mathcal{T}_y	contraintes dues à \mathcal{T}_z
contraintes dues à \mathcal{M}_x	contraintes dues à \mathcal{M}_y	contraintes dues à \mathcal{M}_z





○ contraintes résultantes :

$$\text{Contrainte normale : } \sigma_x = \sigma_x + \sigma_x + \sigma_x = \frac{N}{S} + \frac{Mf_y}{I_y} \times z - \frac{Mf_z}{I_z} \times y$$

$$\text{Maxi en contrainte normale de compression point P } \bullet : \sigma_{xP} = \frac{-2086}{9456} + \frac{41063000 \times (-200)}{244708672} - \frac{-4436000 \times (-200)}{244708672} = -0,22 - 33,5 - 3,62 = -37,34 \text{MPa}$$

En traction $\sigma_{xP} = -0,22 + 33,5 + 3,62 = +36,9 \text{MPa}$ (en point Q par ex)

Maxi en contrainte tangentielle point Q \bullet (portées suivant Z) :

$$\tau_{xzQ} = \tau_{xzT_z} + \tau_{xzM_t} = \frac{T_z}{S_{ame}} + \frac{M_x}{2 \times e \times A} = -\frac{7500}{4656} - \frac{12750000}{2 \times 6 \times 155236} = -1,6 - 6,85 = -8,45 \text{MPa}$$

○ contrainte normale équivalente :

$$\sigma_{eqVM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{36,9^2 + 3 \times 8,45^2} = 39 \text{MPa}$$

○ condition de résistance :

OK

432-

Section droite en F

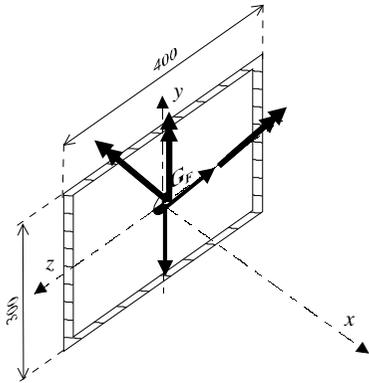
Caractéristiques géométriques transversales du profilé (1) :

	aire	section réduites		Cte. torsion	moments quadratiques		modules de flexion	
	S	S _y	S _z	J	I _y	I _z	I _{y/z}	I _{y/z}
unités								
	8256	3456	4656	234034516	198134272	127625472	1006000	868000

○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AF/FC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{F(AF/FC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r} \Rightarrow$$

N	0	M _x	-4687,5
T _y	-2013,5	Mf _y	11100
T _z	-7500	Mf _z	63984,5



- sollicitations :
Cisaillement /y et /z, torsion /x flexion /y et /z
- contraintes :
 T_y engendre des contraintes de cisaillement τ_{xy}
Etc..

○ représenter l'allure de la répartition des vecteurs contraintes pour chaque sollicitation sur cette section

contraintes dues à N	contraintes dues à T_y	contraintes dues à T_z
contraintes dues à M_x	contraintes dues à M_f_y	contraintes dues à M_f_z

Contrainte normale : $\sigma_x = \sigma_x + \sigma_x = \frac{Mf_y}{I_y} \times z - \frac{Mf_z}{I_z} \times y$

Maxi en contrainte normale de compression point P ● : $\sigma_{xP} = \frac{11100000 \times (197)}{198134272} - \frac{-3984500 \times (147)}{127625472} = 11,036 + 4,6 = 15,656 \text{MPa}$

Maxi en contrainte tangentielle

$\tau_{xyT_y} = \frac{T_y}{S_{ame}} = -\frac{2013,5}{3456} = -0,58 \text{MPa}$; $\tau_{xzT_z} = \frac{T_z}{S_{ame}} = -\frac{7500}{4656} = -1,6 \text{MPa}$; $\tau_{M_x} = \frac{M_x}{2 \times e \times A} = \frac{4687500}{2 \times 6 \times (400 - 6) \times (300 - 6)} = 3,37 \text{MPa}$

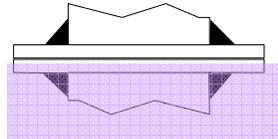
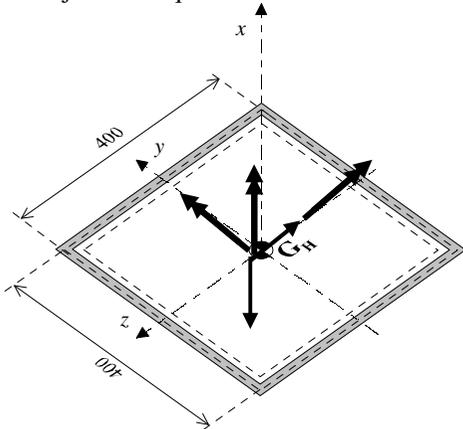
$\tau_{xz \max} = -1,6 - 3,37 = -4,9 \text{MPa}$ et $\tau_{xy \max} = -0,58 - 3,37 = -3,95 \text{MPa}$

○ contrainte normale équivalente :

Cas le plus pénalisant $\sigma_{eqVM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{15,6^2 + 3 \times 4,9^2} = 17,76 \text{MPa}$

○ condition de résistance :OK

4411-jonction équivalente en H



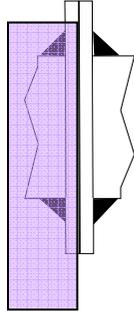
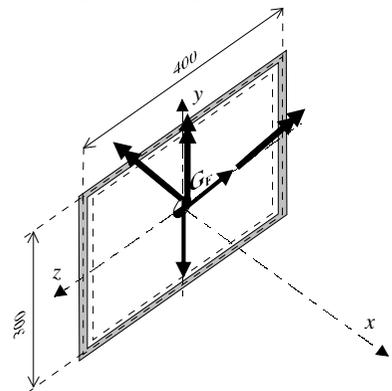
○ torseur de cohésion en H :

N	-2085,6	M_x	+12750
T_y	0	M_f	5962,5

$$\{Coh_{AH/HC}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AH/HC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{H(AH/HC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{H,r \Leftrightarrow}$$

Tz	-7500	Mfz	-4435,5
------	-------	-------	---------

4412- jonction équivalente en F

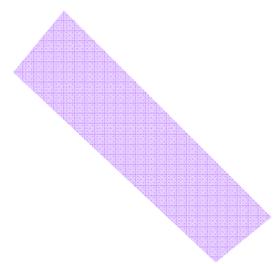


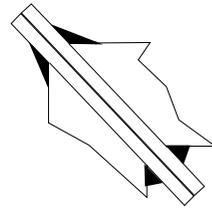
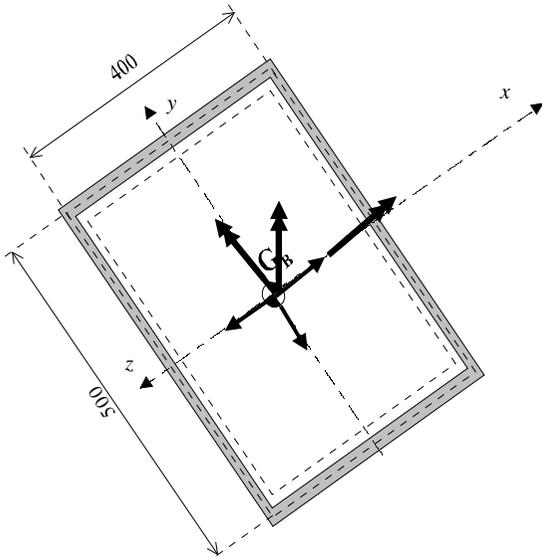
○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AF/FC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{F(AF/FC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r \Leftrightarrow}$$

N	0	Mx	-4435,5
Ty	-2085,6	Mfy	11100
Tz	-7500	Mfz	-3984,5

4413-jonction équivalente en B





Remarque : les cordons de soudure sur la partie inférieure et sur la partie supérieure de la jonction soudée ne respectent pas les dimensions de la section de gorge initialement prévue. Le calcul sera donc surdimensionné pour l'un et sous dimensionné pour l'autre.

POUR MATRICE DE PASSAGE

$$\tan \theta = \frac{400}{300} \Rightarrow \theta = 53,13^\circ$$

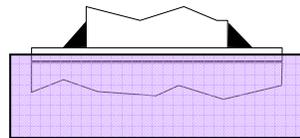
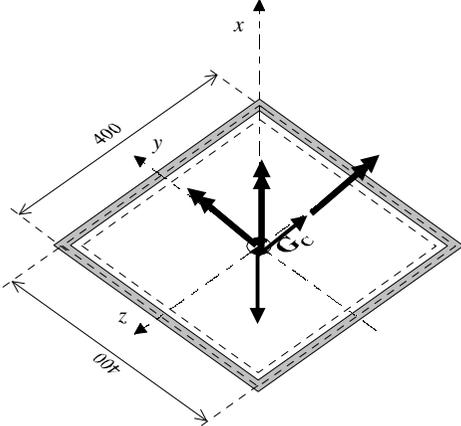
$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6 & 0,8 \\ -0,8 & 0,6 \end{bmatrix}$$

○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AB/BC}\}_B = \left. \begin{cases} \vec{R}_{AB/BC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{B(AB/BC)} = M_x \vec{x} + Mf_y \vec{y} + Mf_z \vec{z} \end{cases} \right\}_{B,r} \Rightarrow$$

N	-1668,48	M_x	7387,5
T_y	-1252,56	Mf_y	11400
T_z	-7500	Mf_z	-4435,5

4414-jonction équivalente en C



○ torseur de cohésion en C :

N	-2085,6	M_x	12750
-----	---------	-------	-------

$\{Coh_{AC/béton}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AC/béton} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{C(AC/béton)} = M_x \vec{x} + M_f y \vec{y} + M_f z \vec{z} \end{array} \right\}_{C,r \Leftrightarrow}$	T_y	0	$M_f y$	41062,5
	T_z	-7500	$M_f z$	-4435,5

442- Caractéristiques géométriques des jonctions équivalentes

caractéristiques	unités	jonction équivalente en H	jonction équivalente en B	jonction équivalente en F	jonction équivalente en C
aire S		12800	11100	11200	12800
moment quadratique I_y		331469867	405478400	277461333	341469867
moment quadratique I_z		331469867	566828800	180110933	341469867
moment polaire I_0		682939733	972307200	457572266	682939733
y_i pour contrainte max		200	250	150	200
z_i pour contrainte max		200	200	200	200

461-Contraintes sur chaque cordon de soudure équivalent

Unité :

4611-de la jonction équivalente en H

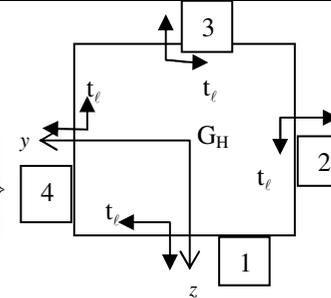
n°	$\alpha(t_i, y)$	contraintes dues aux sollicitations simples sur les lignes moyennes						contraintes résultantes lignes moy.			contraintes dans les sections de gorge			
		σ_N	$\tau_{xy T_y}$	$\tau_{xz T_z}$	$\tau_{xy M_x}$	$\tau_{xz M_x}$	$\sigma_{M_f y}$	$\sigma_{M_f z}$	σ_x	τ_{xy}	τ_{xz}	σ_n	τ_ℓ	τ_t
1	0°	-0,163		-0,586	-3,733	±3,733	3,49	0	5,92	-3,733	-4,32	7,2	-3,733	1,13
2	90°	-0,163		-0,586	±3,733	-3,733	0	2,598	5,92	±3,733	-4,32	6,82	±3,733	6,82
3	180°	-0,163		-0,586	+3,733	±3,733	-3,49	0	-6,25	+3,733	-4,32	-7,46	+3,733	-1,37
4	270°	-0,163		-0,586	±3,733	+3,733	0	-2,598	-6,25	±3,733	+3,14	-7,05	±3,733	-7,05

$$\begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & s & -c \\ 0 & c\sqrt{2} & s\sqrt{2} \\ 1 & -s & c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

$$\text{Ex cordon n°4 } \alpha=270^\circ : \begin{Bmatrix} -7,05 \\ -3,73 \\ -1,78 \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -6,25 \\ +3,73 \\ +3,14 \end{Bmatrix} \text{ OU } \begin{Bmatrix} -1,78 \\ +3,73 \\ -7,05 \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -6,25 \\ -3,73 \\ +3,14 \end{Bmatrix}$$

Critère de tenue du cordon n° 4 le plus sollicité (on prend les valeurs les plus pénalisantes)

$$\sigma_{eqVM} = \sqrt{7,05^2 + 3(3,73^2 + 7,05^2)} = 15,5 \text{ MPa}$$



47-Vérification des assemblages boulonnés

Hypothèses à formuler :

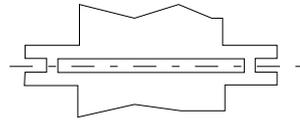
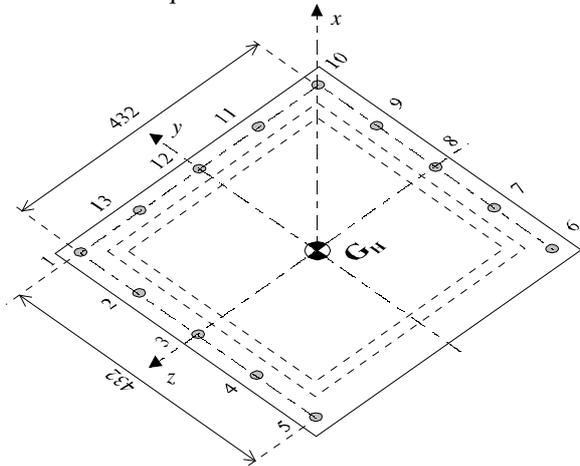
Boulons ajustés non serrés, non contact des platines

Les boulons travaillent en traction ou en cisaillement (compression aucun intérêt car en réalité ce sont les platines qui reprennent les sollicitations de compression)

471-Torseurs des efforts de cohésion dans des sections équivalentes

Pour chaque section équivalente écrire et tracer la représentation vectorielle des projections des éléments de réduction du torseur efforts de cohésion dans le repère local $r(xyz)$ associé. Compte tenu du repère local affecté à chaque section équivalente, ombrer la partie isolée de la structure sur la silhouette de chaque liaison boulonnée.

4711-section équivalente en H

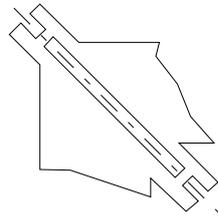
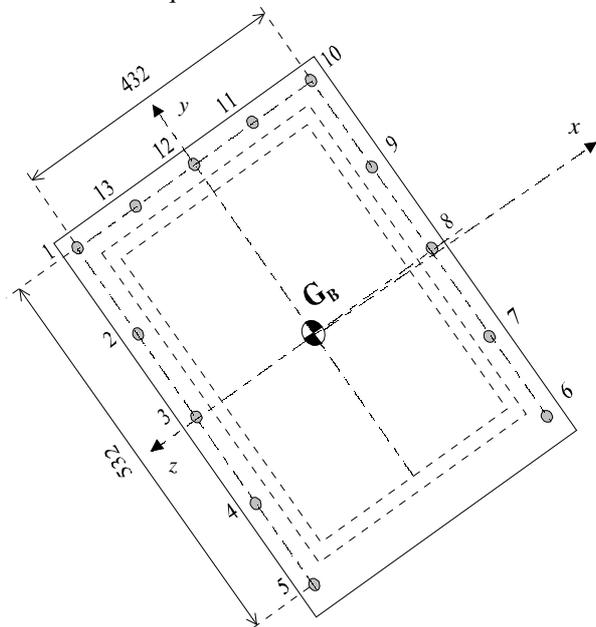


○ torseur de cohésion en H :

$$\{Coh_{AH/HC}\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AH/HC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{H(AH/HC)} = M_x \vec{x} + M_f_y \vec{y} + M_f_z \vec{z} \end{array} \right\}_{H,r} \Rightarrow$$

N	-2085,6	M_x	+12750
T_y	0	M_f_y	5962,5
T_z	-7500	M_f_z	-4435,5

4712-section équivalente en B

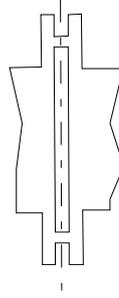
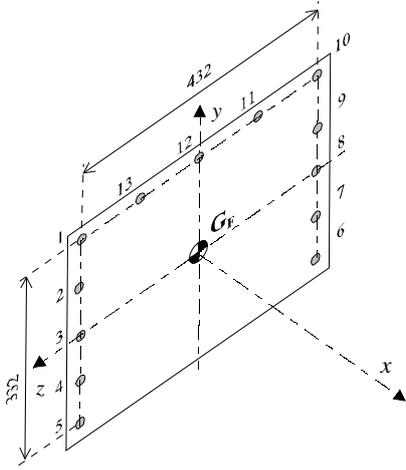


○ torseur de cohésion en B :

$$\{Coh_{AB/BC}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{AB/BC} = N \vec{x} + T_y \vec{y} + T_z \vec{z} \\ \vec{M}_{B(AB/BC)} = M_x \vec{x} + M_f_y \vec{y} + M_f_z \vec{z} \end{array} \right\}_{B,r} \Rightarrow$$

N	-1668,48	M_x	7387,5
T_y	-1252,56	M_f_y	11400
T_z	-7500	M_f_z	-4435,5

4713-section équivalente en F

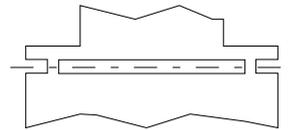
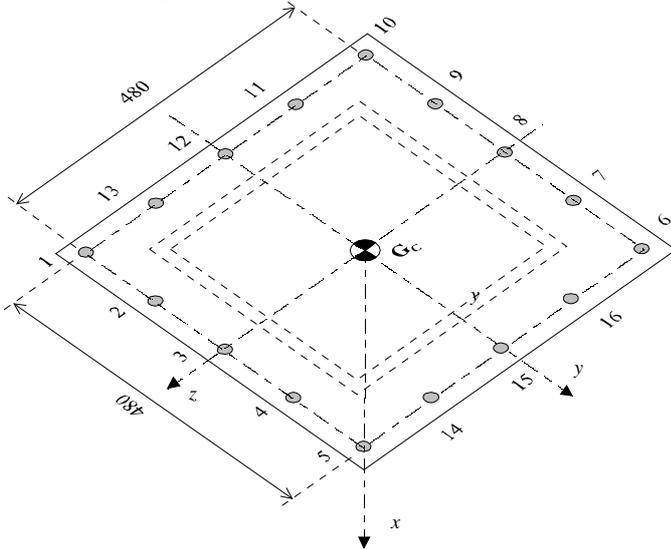


○ torseur de cohésion en F :

$$\{Coh_{AF/FC}\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{AF/FC} = \mathcal{N} \vec{x} + \mathcal{T}_y \vec{y} + \mathcal{T}_z \vec{z} \\ \mathcal{M}_{F(AF/FC)} = \mathcal{M}_x \vec{x} + \mathcal{M}_y \vec{y} + \mathcal{M}_z \vec{z} \end{array} \right\}_{F,r} \Rightarrow$$

\mathcal{N}	0	\mathcal{M}_x	-4435,5
\mathcal{T}_y	-2085,6	\mathcal{M}_y	11100
\mathcal{T}_z	-7500	\mathcal{M}_z	-3984,5

4714-section équivalente en C



Attention repère local différent de celui de la jonction soudée en section C

○ torseur de cohésion en C :

$$\{Coh_{AC/béton}\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R}_{AC/béton} = \mathcal{N} \vec{x} + \mathcal{T}_y \vec{y} + \mathcal{T}_z \vec{z} \\ \mathcal{M}_{C(AC/béton)} = \mathcal{M}_x \vec{x} + \mathcal{M}_y \vec{y} + \mathcal{M}_z \vec{z} \end{array} \right\}_{C,r} \Rightarrow$$

\mathcal{N}	-2085,6	\mathcal{M}_x	12750
\mathcal{T}_y	0	\mathcal{M}_y	41062,5
\mathcal{T}_z	+7500	\mathcal{M}_z	4435,5

472-Caractéristiques géométriques de chaque section équivalente

Prendre le cas le plus pénalisant pour les sections des boulons : la section du noyau

caractéristiques	unité	jonction équivalente en H	jonction équivalente en B	jonction équivalente en F	jonction équivalente en C
aire S					
$\sum y_i^2$					
$\sum z_i^2$					
$\sum (y_i^2 + z_i^2)$					

Résultats excel fait par un étudiant

Etude des contraintes sur les boulons en B

n° des boulons	coordonnées des boulons en mm			N	Ty	Tz	Mx	Mfy	Mfz
	X	Y	Z						
1	0	266	216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
2	0	133	216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
3	0	0	216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
4	0	-133	216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
5	0	-266	216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
6	0	-266	-216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
7	0	-133	-216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
8	0	0	-216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
9	0	133	-216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
10	0	266	-216	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
11	0	266	-108	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
12	0	266	0	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12
13	0	266	108	-3042	-3042	-7500	-11402	24660	-4524.12

σ_N	X_N	$\tau_{xy Ty}$	Y_{Ty}	τ_{xz}	Z_{Tz}
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92
-1.49	-234.00	-1.49	-234.00	-3.67	-576.92

S_boulon	201.06 mm ²
S_sifon	157 mm ²
I _o	165781952 mm ⁴
I _y	76912416 mm ⁴
I _z	88869536 mm ⁴
n	13 boulons

unités N, Ty et Tz en N
Mx, Mfy et Mfz en Nm
contraintes en Mpa

474-Efforts sur les sections de chaque fixation

Unité :

n°	- dans la section équivalente en H :				- dans la section équivalente en B :				- dans la section équivalente en F :				- dans la section équivalente en C :				
	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	X _i	Y _i	Z _i	F _T	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	

475-Contraintes réglementaires sur les sections de chaque fixation

Unité :

n°	- dans la section équivalente en H :			- dans la section équivalente en B :			- dans la section équivalente en F :			- dans la section équivalente en C :		
	σ_i	τ_i	critère résist.									
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

16												
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

