

Partie 1 : présentation de l'effet de levier

Partie 2 : présentation de l'essai de laboratoire

Partie 3 : Analyse des résultats expérimentaux

Conclusions

Annexes :

Annexe 1 : Analyse réglementaire selon l'EC3

Annexe 2 : Etudes numériques sur Robot

Présentation.

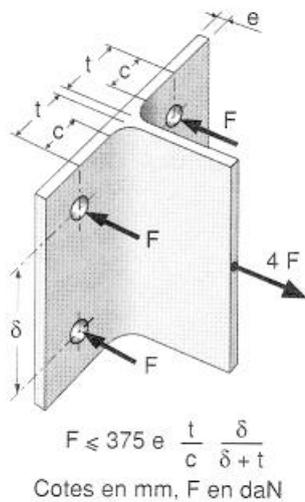


Figure1

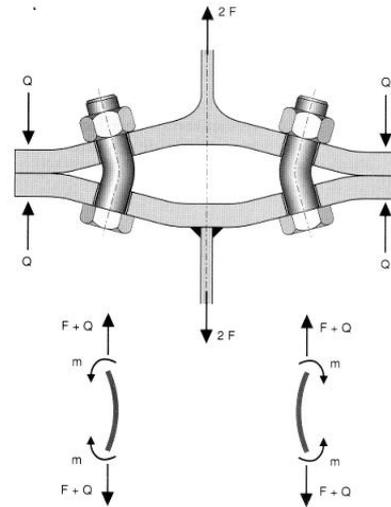


Figure2

(extrait de Formulaire de la Construction Métallique P Maitre ed. Le Moniteur)

Modélisation

171 essais ont été effectués au C.E.B.T.P. de 1955 à 1961, sur des assemblages du type de celui des figures 1 et 2. On a pu alors constater qu'à partir d'une certaine valeur des déformations, la platine exerce sur les boulons un effet de levier qui fait croître l'effort normal auquel ils sont soumis, plus vite que l'effort exercé sur l'assemblage. Tous les essais ont permis de constater que cette valeur était au moins égale à :

$$3750 e \left(\frac{t}{c} \frac{\delta}{\delta + t} \right) \text{ en Newtons}$$

C'est la valeur de vérification introduite en 4,03 des règles CM 66.

Dimensionnement

Pour dimensionner une attache de ce type il faut donc :

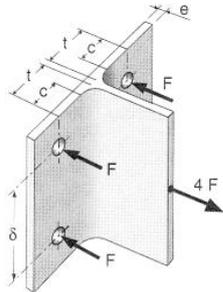
- Vérifier la condition de limitation de l'effort (CM 66 règle 4.03)
- Vérifier la pièce assemblée en traction (résistance des âmes)
- Vérifier la résistance des boulons

Essais sur machine de traction Testa U 20 Tonnes.

Données géométriques de l'assemblage

 Unités : mm ; mm² ; MPa

| Profils | | 4 boulons HM 14 8.8 | |
|---|-------|---|-------|
| 2 X ½ HEA 140 | | diamètre des boulons | 14.0 |
| largeur | 140.0 | diamètre des trous | 16.0 |
| épaisseur d'âme | 5.5 | écartement des files | 92.0 |
| épaisseur de semelle | 8.5 | pas d'implantation | 48.0 |
| rayon de congé | 12.0 | section filetée | 115.0 |
| longueur | 120.0 | | |
| contrainte de limite élastique σ_e (Mpa) | 235 | Contrainte caractéristique σ_{red} (Mpa) | 550 |



| | |
|-------|------|
| t | 43.3 |
| c | 31.3 |
| delta | 48.0 |
| e | 8.5 |

Calculs prévisionnels – charge de traction maxi. : N

- Limite de traction suivant le CM66 (effet de levier) :

$$N = 4 \times \left\{ 3750 e \left(\frac{t}{c} \frac{\delta}{\delta+t} \right) \right\} = 4 \times 23205 = 92820 \text{ N (9.3 Tonnes)}$$

- Limite de traction dans l'âme du profil : $\frac{N}{A} \leq \sigma_e$

$$N = \sigma_e A_{\text{âme}} = 235 \times (120 \times 5.5) = 155100 \text{ N (15.5 Tonnes)}$$

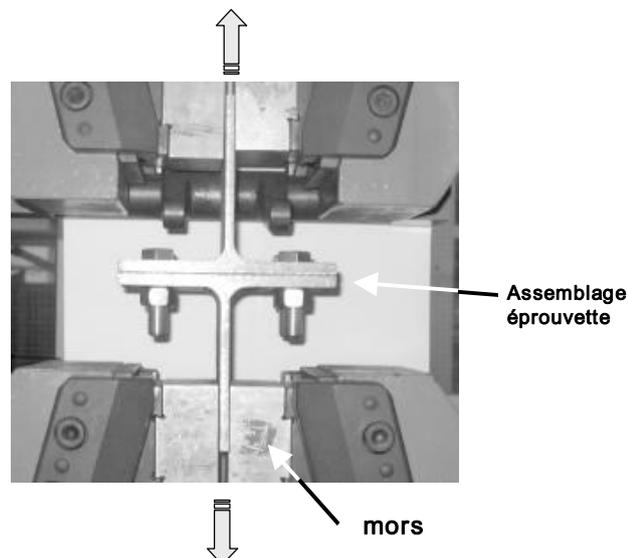
- Limite de traction dans les boulons : *NFP 22-430 Art. 6.3.1*

$$1.25 \frac{N_1}{A_s} \leq \sigma_{red}$$

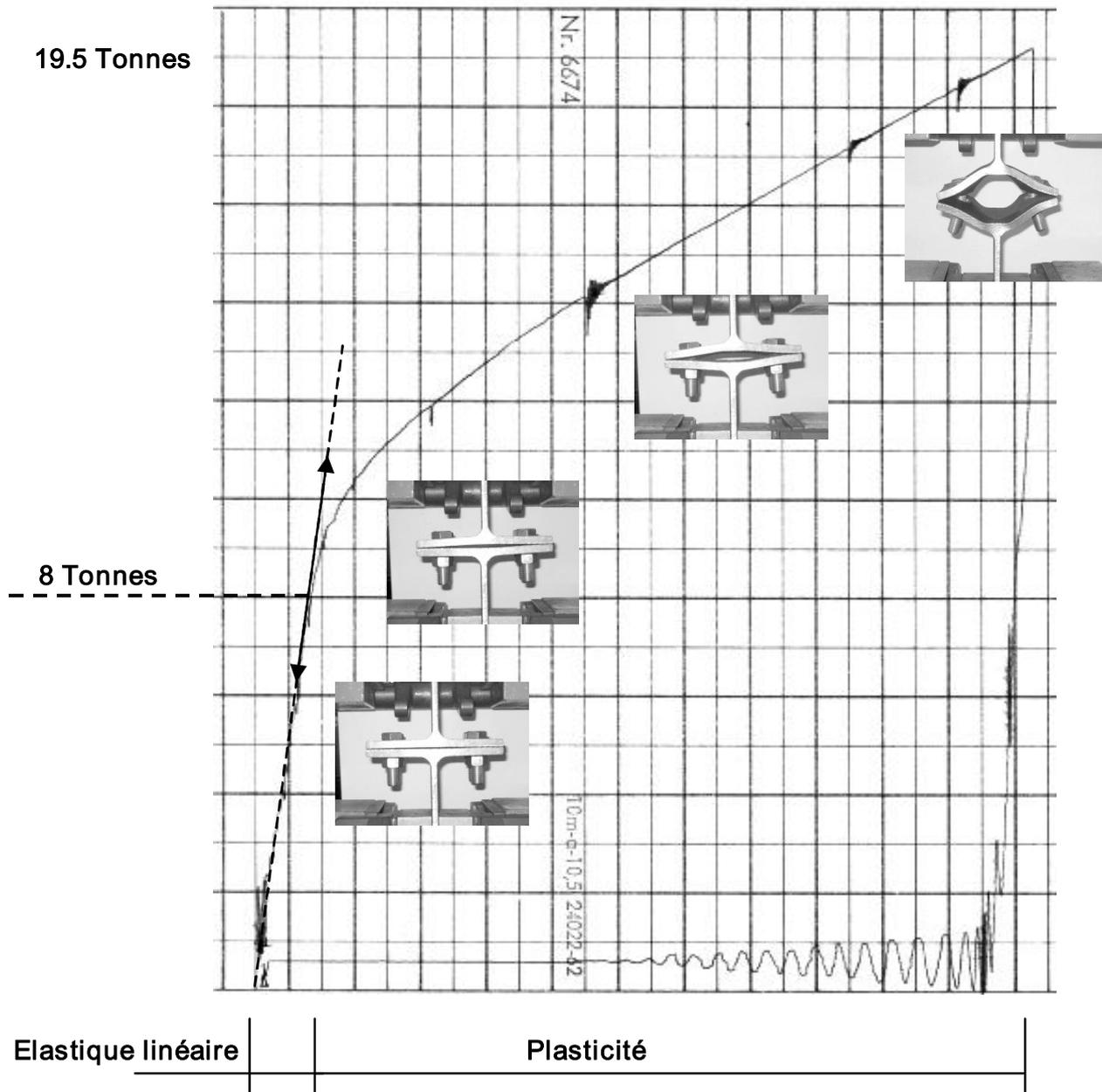
N_1 effort par boulon = $N / 4$
 σ_{red} contrainte caractéristique des boulons
 A_s aire de la section filetée

$$N = 4 \times (A_s \sigma_e / 1.25) = 4 \times 115 \times 550 / 1.25 = 202400 \text{ N (20.2 Tonnes)}$$

Montage



Observations / Mesures.



Conclusion

Le calcul prévisionnel s'avère correct. La séparation des surfaces en contact est devenue sensible aux environs de 8 tonnes. C'est à ce niveau de sollicitation que la ruine de cette attache a débuté par plastification des semelles à la jonction des congés de raccordement.

La grande déformation de l'ensemble, sans rupture, donne une idée de la capacité d'adaptation plastique d'un acier de construction.

On peut constater la bonne ténacité des boulons qui en dépit d'une grande déformation de flexion sous traction, n'ont pas rompus.

Annexe 1

II/ Calcul aux Eurocodes 3

Modes de ruine d'un tronçon en T

Mode 1

Mécanisme complet dans la semelle

4 charnières plastiques

$$M_{pl} = Qn$$

$$M_{pl} = -Q(m+n) + (F_t/2 + Q)m$$

$$F_t = \frac{4 M_{pl}}{m}$$

Mode 2

Mécanisme partiel dans la semelle et atteinte de la capacité en traction des boulons

2 charnières plastiques

$$Q = \sum B_t/2 - F_t/2$$

$$M_{pl} = -Q(m+n) + \sum B_t/2 \times m$$

$$F_t = \frac{2 M_{pl} + n \sum B_t}{m+n}$$

Mode 3

Atteinte de la capacité en traction des boulons

$$F_t = \sum B_t$$

a $l_{eff} = p$

b $l_{eff} = 4m + 1,25e$

c $l_{eff} = 2\pi m$

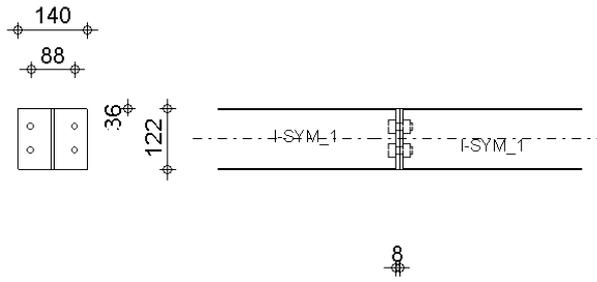
$0,8r$

$0,8a\sqrt{2}$

Longueurs efficaces affectables à un rang de boulons en fonction des dispositions géométriques de l'assemblage

| HEA 140 | boulon | | |
|---------------|----------|------------|-------|
| h | 133.0 | d | 14.0 |
| b | 140.0 | dtr | 16.0 |
| tw | 5.5 | écart | 92.0 |
| tf | 8.5 | pas | 48.0 |
| r | 12.0 | As | 115.0 |
| L | 120.0 | sigmared | 410.0 |
| delta | 48.0 | t | 43.3 |
| e | 8.5 | c | 31.3 |
| | F en N | total en T | |
| cm66 | 23205.7 | 9.3 | |
| boulons | 37720.0 | 15.1 | |
| traction âme | 15510.0 | 15.5 | |
| Mode 1 | | | |
| ms | 1083.8 | | |
| Mpl Nmm | 509362.5 | Ft (T) | |
| Ft (N) | 60548.3 | Ft (N) | 6.1 |
| Mode 2 | | | |
| Ft (N) | 83979.1 | Ft (T) | 8.4 |
| Mode 3 | | | |
| Ft (N) | 150880.0 | Ft (T) | 15.1 |

Annexe 2 : Etudes numériques. Plastification par effet de levier



ROBOT - ASSEMBLAGES

Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre - NF P 22-430

Unités: mm, kN, kN*m, MPa, Deg

DONNEES

| | Poutre 1: | | Poutre 2: | |
|----------|-----------|---------|-----------|---------|
| Barre N° | : | 1 | : | 2 |
| Profilé | : | I-SYM_1 | : | I-SYM_1 |
| | | h = 122 | | h = 122 |
| | | b = 6 | | b = 6 |
| | | es = 1 | | es = 1 |
| | | ea = 6 | | ea = 6 |
| Matériau | : | ACIER | : | ACIER |
| fe | : | 235.00 | : | 235.00 |
| Angle | : | -180.0 | : | -0.0 |

BOULONS :

| | | | |
|------------|---------|-------------------|-------|
| Diamètre | = 14 | Classe | = 8.8 |
| Fb | = 50.60 | | |
| Nombre | = 2 | | |
| Ecartement | = 93 | Niveau 1er boulon | = 36 |
| Entraxe | = 50 | | |

Platine :

| | | | |
|-----------|-------|---------|----------|
| Epaisseur | = 9 | Hauteur | = 122 |
| Largeur | = 140 | Re | = 235.00 |

Soudures :

| | | | | | |
|-----|-----|---------|-----|------------|-----|
| Ame | = 7 | Semelle | = 7 | Raidisseur | = 5 |
|-----|-----|---------|-----|------------|-----|

RESULTATS

EFFORTS

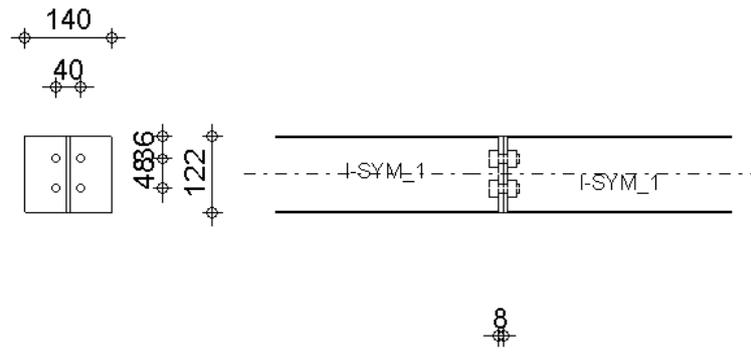
| | |
|------------------|---------|
| Moment | = 0.00 |
| Effort tranchant | = 0.00 |
| Effort axial | = 95.00 |

Efforts par boulon [9.2.2.2.3]

di : position du boulon
Ft : effort transféré par la platine de l'élément aboutissant
Fa : effort transféré par l'âme de l'élément aboutissant
Fs : effort transféré par la soudure
Fp : effort transféré par l'aile du porteur
Fb : effort transféré par le boulon
Fi : effort sollicitant réel

| Boulon N° | di | Ft | Fa | Fs | Fp | Fb | Fi | % |
|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 1 | 85 | 67.22 | 0.00 | 99.70 | 67.22 | 50.60 | >= 23.75 | 100.00 |
| 2 | 35 | 23.37 | 35.25 | 83.09 | 23.37 | 50.60 | < 23.75 ⊗ | 100.00 |

Ruine par plastification de l'âme



ROBOT - ASSEMBLAGES

Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre - NF P 22-430

Unités: mm, kN, kN*m, MPa, Deg

DONNEES

| | Poutre 1: | Poutre 2: |
|----------|-----------|-----------|
| Barre N° | : 1 | 2 |
| Profilé | : I-SYM_1 | I-SYM_1 |
| h | =122 | h =122 |
| b | =6 | b =6 |
| es | =1 | es =1 |
| ea | =6 | ea =6 |
| Matériau | : ACIER | ACIER |
| fe | : 235.00 | 235.00 |
| Angle | : -180.0 | -0.0 |

BOULONS :

| | | | |
|------------|---------|-------------------|-------|
| Diamètre | = 14 | Classe | = 8.8 |
| Fb | = 50.60 | | |
| Nombre | = 2 | | |
| Ecartement | = 40 | Niveau 1er boulon | = 36 |
| Entraxe | = 48 | | |

Platine :

| | | | |
|-----------|-------|---------|----------|
| Epaisseur | = 8 | Hauteur | = 122 |
| Largeur | = 140 | Re | = 235.00 |

Soudures :

| | | | | | |
|-----|-----|---------|-----|------------|-----|
| Ame | = 5 | Semelle | = 5 | Raidisseur | = 5 |
|-----|-----|---------|-----|------------|-----|

RESULTATS

EFFORTS

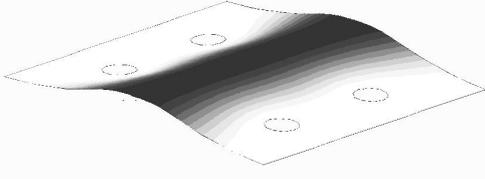
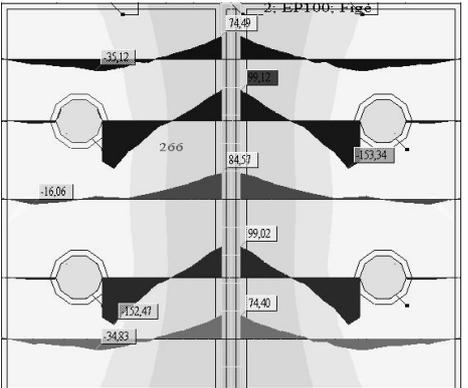
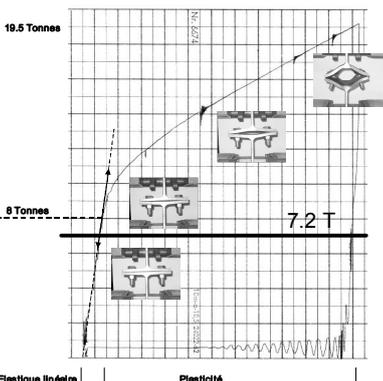
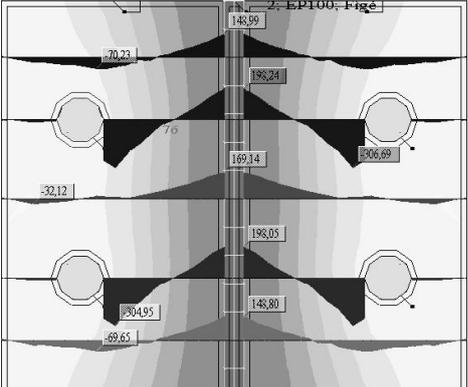
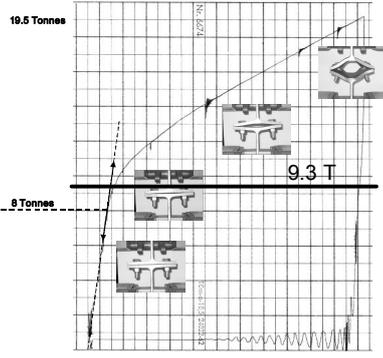
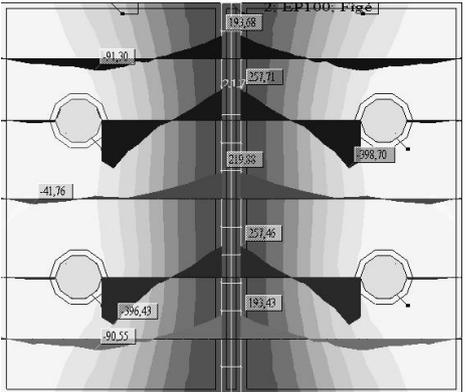
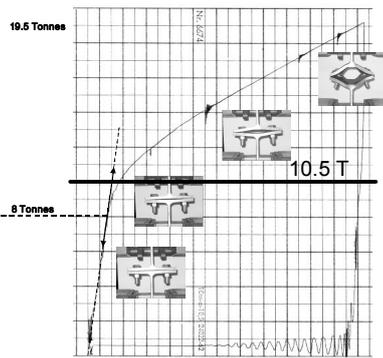
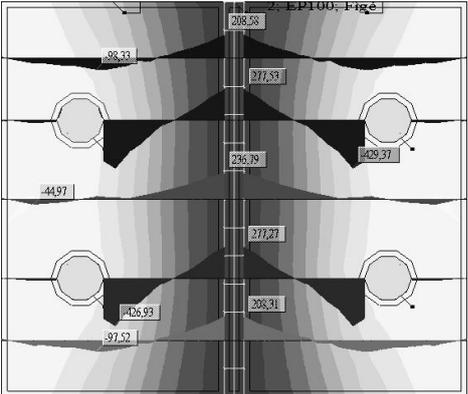
| | |
|------------------|----------|
| Moment | = 0.00 |
| Effort tranchant | = 0.00 |
| Effort axial | = 140.00 |

Efforts par boulon [9.2.2.2.3]

- di* : position du boulon
- Ft* : effort transféré par la platine de l'élément aboutissant
- Fa* : effort transféré par l'âme de l'élément aboutissant
- Fs* : effort transféré par la soudure
- Fp* : effort transféré par l'aile du porteur
- Fb* : effort transféré par le boulon
- Fi* : effort sollicitant réel

| Boulon N° | di | Ft | Fa | Fs | Fp | Fb | Fi | % |
|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|----------|--------|
| 1 | 83 | 69.91 | 0.00 | 72.40 | 69.91 | 50.60 | >= 35.00 | 100.00 |
| 2 | 35 | 37.93 | 33.84 | 56.97 | 37.93 | 50.60 | < 35.00 | 100.00 |

Modèle numérique éléments finis :

| Force appliquée | Commentaires | Répartition de contraintes normales |
|---|---|--|
| <p>$F = 3600 \text{ daN}$</p> |  <p>Allure de la déformation de plaque</p> |  |
| <p>$F = 7200 \text{ daN}$</p> |  <p>Elastique linéaire Plasticité</p> |  |
| <p>$F = 9300 \text{ daN}$</p> | <p>Les premières zones plastifiées apparaissent au voisinage de l'âme.</p>  <p>Elastique linéaire Plasticité</p> |  |
| <p>$F = 10500 \text{ daN}$</p> | <p>Une charnière plastique apparaît le long de l'âme</p>  <p>Elastique linéaire Plasticité</p> |  |