

- Partie 1 - Boulons à serrage contrôlé Principe de fonctionnement
- Partie 2 - Modélisation des efforts dans les boulons selon la NF P 22-460
- Partie 3 - Dimensionnement d'une attache de type CG selon la NF P 22- 460
- Partie 4 - Programme de serrage selon les normes NF P 22-464 et 466
- Partie 5 - Essai mécanique jusqu'à la ruine

Annexes

Annexe 1 : extrait de la norme NF P 22-460

Annexe 2 : vérification réglementaire de l'assemblage à l'aide du logiciel Robot

Partie 1 - Boulons à serrage contrôlé Principe de fonctionnement –

Diffusion de l'effort de précontrainte dans un assemblage à boulon Haute Résistance (H.R.)

Loi de frottement. Le coefficient μ_f est fonction de l'état des surfaces en contact.

Précontrainte de serrage

$P_v = 0.8 \sigma_{eb} \cdot A_s = N_{adm}$
 A_s section de la partie filetée
 σ_{eb} résistance de l'acier du boulon
 HR 10.9 : $\sigma_{eb} = 900$ Mpa
 HR 8.8 : $\sigma_{eb} = 640$ Mpa

Pas de glissement sous charge d'ELU

$$Q_1 \leq Q_{adm}$$

classe 1 : $Q_{adm} = 1,1 \mu_f (P_v - N_1)$
 classe 2 : $Q_{adm} = \mu_f (P_v - N_1)$

Pas de décollement sous charge d'ELU

$$N_1 \leq N_{adm} = P_v$$

Pourquoi prescrire une limite de pression diamétrale dans la norme française, s'il n'y a pas de glissement dans l'assemblage (art. 6.5.1 NF P 22-460) ?

Commentaire : extrait d'un ouvrage de Pierre MAITRE, Ingénieur Principal à SOCOTEC et membre de la commission nationale de normalisation de la construction métallique.

« En France, le fonctionnement d'assemblages précontraints est attendu jusqu'à l'état limite ultime, ce qui justifie d'imposer un niveau élevé à la précontrainte des boulons (...). Par contre, dans d'autres pays de la Communauté Européenne (et aux USA), la précontrainte n'est considérée que comme une amélioration du fonctionnement de l'assemblage, essentiellement vis-à-vis des états limites de service, et le comportement attendu à l'état limite ultime reste finalement celui d'un assemblage par boulons ordinaire (glissement puis cisaillement lors du dépassement de chargement d'état limite de service vers l'état limite ultime). »

« ...même si la transmission des efforts s'effectue par frottement, donc sans contact direct entre la vis et les pièces assemblées, cette disposition permet d'établir un lien entre l'épaisseur de ces dernières et la taille des boulons, et par conséquent l'importance de la précontrainte. Une certaine cohérence doit en effet exister entre ces deux paramètres... »

Coefficients de frottement		
Etat de surface		μ
Calamine dure ne pouvant être enlevée par brossage		0
Décapage par meulage		0
Galvanisation à chaud (600g au m ²)		0,18
Peinture à la poudre de zinc avec liant de résine époxyde-polyamide		0,19
Peinture primaire au chromate et à l'oxyde de zinc		0,21
Calamine et rouille pouvant être enlevé- par brossage C.E.C.M.		0,3
Projection de zinc (épaisseur 50 microns) C.E.C.M.		0,3
Grenailage avec grenaille d'acier		0,32
Décapage au chalumeau		0,45
Grenailage avec grenaille de fonte dure C.E.C.M. Acier E 24		0,5
Sablage au sable de quartz. C.E.C.M. Acier E 24		0,5

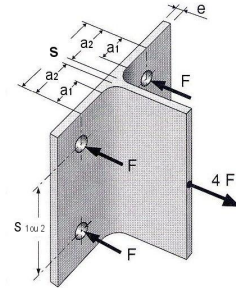
Partie 2 - Modélisation des efforts dans les boulons selon la NF P 22-460

Vérification introduite en 4,03 des règles CM 66 avec les notations du tableau 4, NF P 22-460 .

$$375 e \left(\frac{a_2}{a_1} \frac{s}{s + a_2} \right) \text{ en Kg ou daN}$$

$$3750 e \left(\frac{a_2}{a_1} \frac{s}{s + a_2} \right) \text{ en Newtons}$$

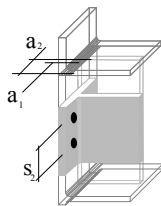
Cette formulation est directement applicable aux boulons centraux



Adaptation de la formule à l'étude des résistances locales dans un assemblage de type CG

Boulons centraux.

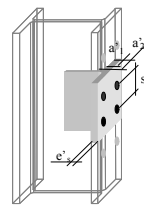
Coté poutre



On retrouve l'expression :

$$3750 e_s \left(\frac{a_2}{a_1} \frac{s_2}{s_2 + a_2} \right)$$

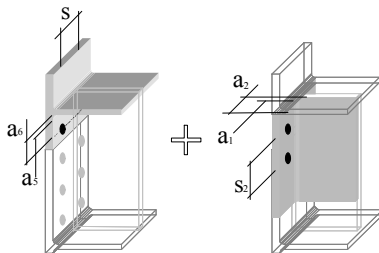
Coté poteau



On retrouve l'expression :

$$3750 e'_s \left(\frac{a'_2}{a'_1} \frac{s_2}{s_2 + a'_2} \right)$$

Boulons intérieurs



La platine est à cet endroit très fortement raidie. On peut additionner les résistances résultant de la proximité des éléments et même supprimer les termes réducteurs

$$\frac{s_2}{s_2 + a_2} \text{ et } \frac{s}{s + a_6}$$

. S'il n'y a pas de boulons extérieurs (cas des types C F ou C G), les essais font apparaître une rotation de platine autour de sa ligne de liaison avec la semelle de la poutre.

$$\text{Il vient alors : } 3750 e \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right)$$

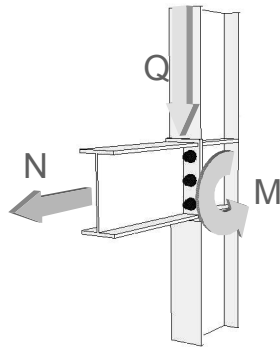
Moment résistant de l'assemblage.

Il prend en compte pour chaque boulon, la valeur limite de résistance locale de la platine.

Toutefois, on limite cette valeur :

- soit à la traction admissible par le boulon Pv (80 % du produit de sa limite d'élasticité par sa section résistante)
- soit à la moitié de la traction admissible par la longueur d'âme attachée par un couple de boulons centraux
 - coté poutre : $0,5 \sigma_e e_a s_2$
 - coté poteau : $0,5 \sigma_e e'_a s_2$
- soit à la résistance locale de l'autre plaque sur laquelle est fixée la platine (par exemple la semelle d'un poteau).

Partie 3 - Dimensionnement d'une attache de type CG selon la NF P 22-460.



PORTEUR	h'	b'	t'w	tf	r'	A cm ²
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12.0	33.4
PORTE	h	b	tw	tf	r	A cm ²
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12.0	33.4
Boulons	Nb de files	Nb de boulons par file	axe	écart	Position du 1 ^{ier} boulon	Platine
M 16 HR 8.8	2	3	70	60	40	240x120x14
Coeff. de frottement	Raidisseurs	Soudures				
0.2	ep. 7mm	0.7 x ep. mini assemblée				
EFFORTS						
M (daNm)=	3600	N (daN)=	0.0	Q (daN)=	7500.0	

Avant propos : les efforts à prendre en compte pour l'application de cette norme résultent :

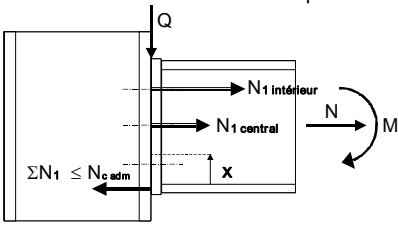
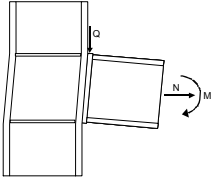
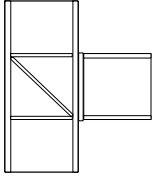
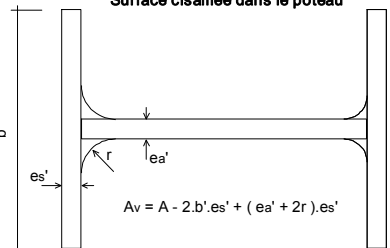
- en classe 1, du chapitre de la norme DTU NF P 22-701 « règles de calcul des constructions en acier »
- en classe 2, du chapitre du Titre V fascicule 61 du Ministère de l'équipement : « Conception et calcul des ponts et construction métalliques en acier ».

Nous nous placerons par la suite, dans le cas d'une affaire courante de classe 1.

Procédure

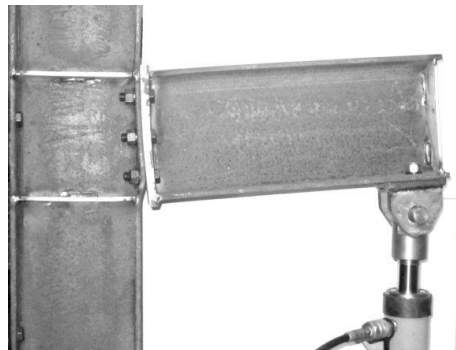
Articles	Critères	Vérfications
9.1	Application de charges statiques ou, quasi-statiques	Système de charge: par palier (essais)
	Poutre portée : laminé en I ou PRS tolérance SOCOTEC : h profil ≤ 600 mm sans boulons extérieurs 800 mm h profil ≤ 1000 mm avec boulons extérieurs 1200 mm	h _{porté} = 220 ≤ 600 mm
	Effort normal sur poutre portée (comportant la platine) ±N ≤ INF de : <ul style="list-style-type: none"> • 15 % de la valeur maxi de compression : 0.15 A σ_e • 15 % de la somme des valeur de précontrainte des boulons : 0.15 n P_v 	N = 0 ≤ 0.15 A σ _e = 117735 N 0.15 n P _v = 72345,6 N
	L'effort normal N ≤ 0.05 A σ _e alors on néglige N dans les calculs Sinon on en tient compte	N = 0 ≤ 0.05 A σ _e ; N négligé
	La planéité de la platine est suffisante : δ ≤ b _p / 100 	δ = 0.8 mm ≤ b _p / 100 = 1.2 mm
9.2.1.1	Entraxe des boulons s ≤ 15 e _{mini}	s = 70 mm ≤ 15 e _{mini} = 138 mm
9.2.1.3	Pièce raidie : voir formule des boulons intérieurs	
9.2.1.4	Epaisseur de platine ≤ 2 diamètre des boulons	e = 14 mm ≤ 2 d = 32 mm
9.2.2.1	Condition de non glissement : $Q_1 = Q/n_{boulons} \leq$	Classe 1 Q _{adm} = 1.1 P _v μ _f Classe 2 Q _{adm} = P _v μ _f Q ₁ = 1250 daN ≤ Q _{adm} = 1768 daN

9.2.2.2.1	Dimension de la zone comprimée sur le profil du porté : <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: right;"> $x = e_s \sqrt{\frac{b}{e_a}}$ $h' = h - e_s$ A = aire de la section </p> </div>	X = 39.7 mm																							
9.2.2.2.2 Tableau 3 Surfaces de compression P 373	Effort admissible de compression de la semelle du porté sur la semelle du porteur Si $N \leq 0.05 A \sigma_e$ $N_{c adm} = - A_c \sigma_e$ Si $N > 0.05 A \sigma_e$ $N_{c adm} = - A_c \sigma_e + \frac{N \cdot A_c(\text{porteur})}{A}$	Assemblage de type CG poutre / poteau - Tableau 3 $A_{c \text{ poutre}} = e_s [b + \sqrt{(b \cdot e_a)}] = 1246 \text{ mm}^2$ $A_c = \text{INF} (A_{c \text{ poutre}} ; A_{c \text{ poteau}})$ $A_{c \text{ poteau}} = e'_a [e_s + 2e + 5k] + e \cdot b = 1614 \text{ mm}^2$ $A_c = A_{c \text{ poutre}}$ $k = e'_s + r$ ($e_s = t_f$; $e'_s = t'_f$; $e_a = t_w$) Alors : $N_{c adm} = 29281 \text{ daN}$																							
P 374	Calcul des dimensions a_i et a'_i utiles (en mm) <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Poutre Type C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Poteau Type G</p> </div> </div>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">poutre</th> <th style="width: 15%;">poteau</th> <th style="width: 15%;">Ecart des files</th> <th style="width: 15%;">platine</th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$e_s = t_f$</td> <td>$e'_s = t'_f$</td> <td rowspan="2">s = 60 mm</td> <td rowspan="2">e = épaisseur</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$e_a = t_w$</td> <td>$e'_a = t'_w$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$a_1 = 21.2$</td> <td>$a_5 = 21.7$</td> <td>$a'_1 = 15.1$</td> <td>$a'_5 = 25$</td> <td>$s_2 = 70$</td> </tr> <tr> <td>$a_2 = 27.1$</td> <td>$a_6 = 30.8$</td> <td>$a'_2 = 27.1$</td> <td>$a'_6 = 31.9$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	poutre	poteau	Ecart des files	platine		$e_s = t_f$	$e'_s = t'_f$	s = 60 mm	e = épaisseur		$e_a = t_w$	$e'_a = t'_w$		$a_1 = 21.2$	$a_5 = 21.7$	$a'_1 = 15.1$	$a'_5 = 25$	$s_2 = 70$	$a_2 = 27.1$	$a_6 = 30.8$	$a'_2 = 27.1$	$a'_6 = 31.9$	
poutre	poteau	Ecart des files	platine																						
$e_s = t_f$	$e'_s = t'_f$	s = 60 mm	e = épaisseur																						
$e_a = t_w$	$e'_a = t'_w$																								
$a_1 = 21.2$	$a_5 = 21.7$	$a'_1 = 15.1$	$a'_5 = 25$	$s_2 = 70$																					
$a_2 = 27.1$	$a_6 = 30.8$	$a'_2 = 27.1$	$a'_6 = 31.9$																						
9.2.2.2.3 tableau 4	Effort admissible au niveau de chaque boulon (en daN). Ce calcul permet de déterminer la limite maximale de l'effort transmissible par chaque type de boulon (intérieurs, extérieurs et centraux), suivant des critères de : <div style="margin-top: 10px;"> <p>non décollement local (dans la zone de serrage du boulon)</p> <p>déformation des éléments assemblés (levier)</p> <p>limite de contrainte dans l'âme des profils</p> <p>sur âme poutre $0.5 \sigma_e e_a s_2$</p> <p>sur âme poteau $0.5 \sigma_e e'_a s_2$</p> </div>	Assemblage de type CG poutre / poteau <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Intérieurs</th> <th style="width: 50%;">Centraux</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038.4 \text{ daN}$ </td> <td> Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038 \text{ daN}$ </td> </tr> <tr> <td> Déformation (levier) de platine $N_1 \leq 3750 \cdot e \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right)$ $N_1 \leq 10422 \text{ daN}$ </td> <td> Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e'_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right) \cdot N_1$ $\leq 4472 \text{ daN}$ </td> </tr> <tr> <td> Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right)$ $N_1 \leq 8404 \text{ daN}$ </td> <td> limite de contrainte dans l'âme des profils coté poutre : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$ coté poteau : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$ </td> </tr> <tr> <td> Limite retenue : valeur mini Non décollement $N_1 \text{ intérieur} = 8038 \text{ daN}$ </td> <td> Limite retenue : valeur mini Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \text{ central} = 4472 \text{ daN}$ </td> </tr> </tbody> </table>	Intérieurs	Centraux	Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038.4 \text{ daN}$	Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038 \text{ daN}$	Déformation (levier) de platine $N_1 \leq 3750 \cdot e \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right)$ $N_1 \leq 10422 \text{ daN}$	Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e'_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right) \cdot N_1$ $\leq 4472 \text{ daN}$	Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right)$ $N_1 \leq 8404 \text{ daN}$	limite de contrainte dans l'âme des profils coté poutre : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$ coté poteau : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$	Limite retenue : valeur mini Non décollement $N_1 \text{ intérieur} = 8038 \text{ daN}$	Limite retenue : valeur mini Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \text{ central} = 4472 \text{ daN}$													
Intérieurs	Centraux																								
Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038.4 \text{ daN}$	Non décollement $N_1 \leq P_v$ $N_1 \leq 8038 \text{ daN}$																								
Déformation (levier) de platine $N_1 \leq 3750 \cdot e \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right)$ $N_1 \leq 10422 \text{ daN}$	Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e'_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right) \cdot N_1$ $\leq 4472 \text{ daN}$																								
Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \leq 3750 \cdot e_s \cdot \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2a'_5} \right)$ $N_1 \leq 8404 \text{ daN}$	limite de contrainte dans l'âme des profils coté poutre : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$ coté poteau : $N_1 \leq 4852 \text{ daN}$																								
Limite retenue : valeur mini Non décollement $N_1 \text{ intérieur} = 8038 \text{ daN}$	Limite retenue : valeur mini Déformation (levier) de semelle de poteau $N_1 \text{ central} = 4472 \text{ daN}$																								

	<p>Vérification de la zone comprimée</p> 	<p>La somme des efforts capables au niveau de chaque boulons est inférieure à l'effort de compression admissible</p> <p>2 files . (1xN_{1 intérieur}+1xN_{1 central})</p> <p>soit 25020 daN ≤ N_{c adm} = 29281 daN</p>
<p>9.6</p>	<p>Vérification de l'âme du porteur au cisaillement</p> <p>Première approche</p>	
	<p>(d'après Y. LESCOUARCH' Ingénieur Conseil)</p> <p>La résultante C des contraintes de compression est située, selon la norme, au droit de la face intérieure de la semelle comprimée de la poutre. L'effort de cisaillement maximum, dans la partie d'âme du poteau qui nous intéresse, est obtenu en faisant la somme des efforts de traction apportés par les boulons sous le chargement donné.</p> 	<p>L'âme du poteau ayant une section A_v = 1590 mm² , la contrainte de cisaillement est égale à : $\tau = 250200 / 1590 = 157$ Mpa</p> <p>Elle dépasse la contrainte admissible, qui est de 0,65 x $\sigma_e = 153$ Mpa selon les règles CM 66 et de 0,58 x $\sigma_e = 136$ Mpa selon l'Additif 80. Il est nécessaire de renforcer l'âme en soudant soit un plat additionnel sur l'âme, soit un raidisseur disposé en diagonale. Les raidisseurs horizontaux, situés dans le prolongement des semelles de la poutre, n'apportent aucun renforcement de l'âme vis-à-vis de ces contraintes de cisaillement.</p> 
	<p>Calcul du moment résistant</p>	<p>d1 = 170.8 > x compression d2 = 100.8 > x compression d3 = < x compression</p> <p>M_{res} = 2 files(d₁.N_{1 intérieur} + d₂.N_{1 central}) = 36476 Nm</p>
	<p>Vérification du Moment résistant</p> <p><i>Nota: le terme N . h'(b.es/A) correspond à la contribution de l'effort normal dans la semelle tendue associé au bras de levier h'. Cet effort est proportionnel au rapport des section de la semelle et de la section totale du profil (hypothèse de distribution de N dans les composants de section)</i></p>	<p>M_{res} ≥ M + N . h'(b.es /A)</p> <p>36476 ≥ 36000 Nm</p> <p>(la limite de performance est atteinte)</p>
<p>9.6</p>	<p>Vérification de l'âme du porteur au cisaillement</p> <p>Dernière approche de CTICM en Octobre 1997</p>	
<p>Cisaillement de l'âme du poteau (voir recommandation du CTICM oct.97)</p> <p>N_{v poteau} = 0.47 A_v σ_e=17573.3 daN</p>	<p>Surface cisailée :</p> <p>A_{v poteau} = 1591.06 mm²</p> <p>Ou</p> <p>A_v = 15.9 cm²</p> <p>dans l'OTUA</p>	<p>Surface cisailée dans le poteau</p>  <p>Av = A - 2.b'.es' + (ea' + 2r).es'</p>

NF P 22-464 4.6.2	Plan de serrage L' assemblage est symétrique à deux files de boulons	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 5px;">+ 5</td> <td style="padding: 5px;">+ 6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">+ 4</td> <td style="padding: 5px;">+ 1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">+ 3</td> <td style="padding: 5px;">+ 2</td> </tr> </table>	+ 5	+ 6	+ 4	+ 1	+ 3	+ 2
+ 5	+ 6							
+ 4	+ 1							
+ 3	+ 2							
NFP22-466 6.1	Méthode de serrage	A couple contrôlé Couple d'accostage (préserrage art. 7.3) $C_p = 0.40 \text{ k d P} / 10^3 = 0.40 \text{ k d } \sigma_{eb} A_s / 10^3 = 90 \text{ Nm}$ Couple pose définitif $C_s = 0.88 \text{ k d P} / 10^3 = 0.88 \text{ k d } \sigma_{eb} A_s / 10^3 = 198 \text{ Nm}$ Rem. : $C_s < \text{couple fournisseur (203 Nm)}$						
8.4.3	Méthode de contrôle	Par desserrage / resserrage Couple de contrôle : $C_c = 0.96 C_s = 190 \text{ Nm}$						

III / Résultats visuels d'un essai au delà de la limite conventionnelle d'ELU.



Rappel des résultats prévisionnels pour les boulons intérieurs

Non décollement
 $N_1 \leq 8038.4 \text{ daN}$

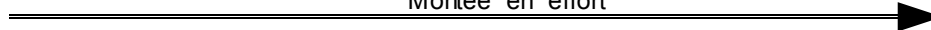
≤

Déformation (levier) de semelle de poteau
 $N_1 \leq 8404 \text{ daN}$

≤

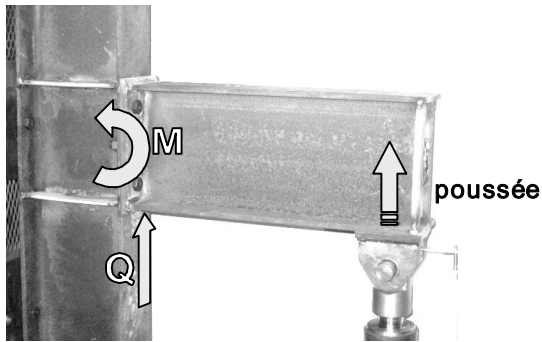
Déformation (levier) de platine
 $N_1 \leq 10422 \text{ daN}$

Montée en effort

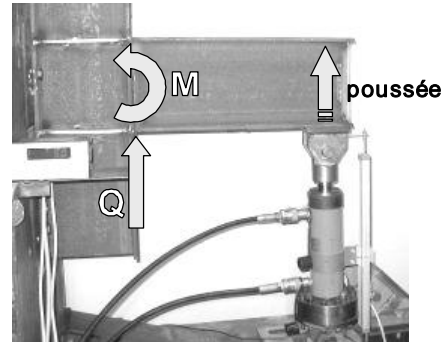


Partie 5 - Essai mécanique jusqu'à la ruine

Montages



boulonné

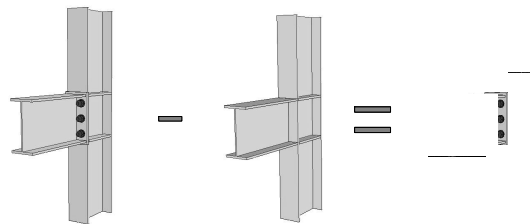


soudé

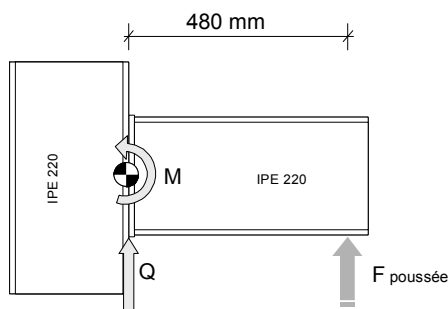
L'utilisation de deux montages similaires, l'un soudé et l'autre boulonné, a pour objectif de pouvoir faire une série de mesures différentielles. Le montage soudé donnera une réponse (moment appliqué / rotation au centre de la liaison) fonction :

- de la raideur des éléments (poutre et poteau)
- des déformations du banc d'essais
- des déformations du système d'attache du poteau sur le banc.

La comparaison avec un système identique mais comportant un assemblage boulonné par platine d'extrémité, permettra d'extraire la réponse spécifique de l'ensemble semelle du porteur, platine, boulons et section assemblée du porté.



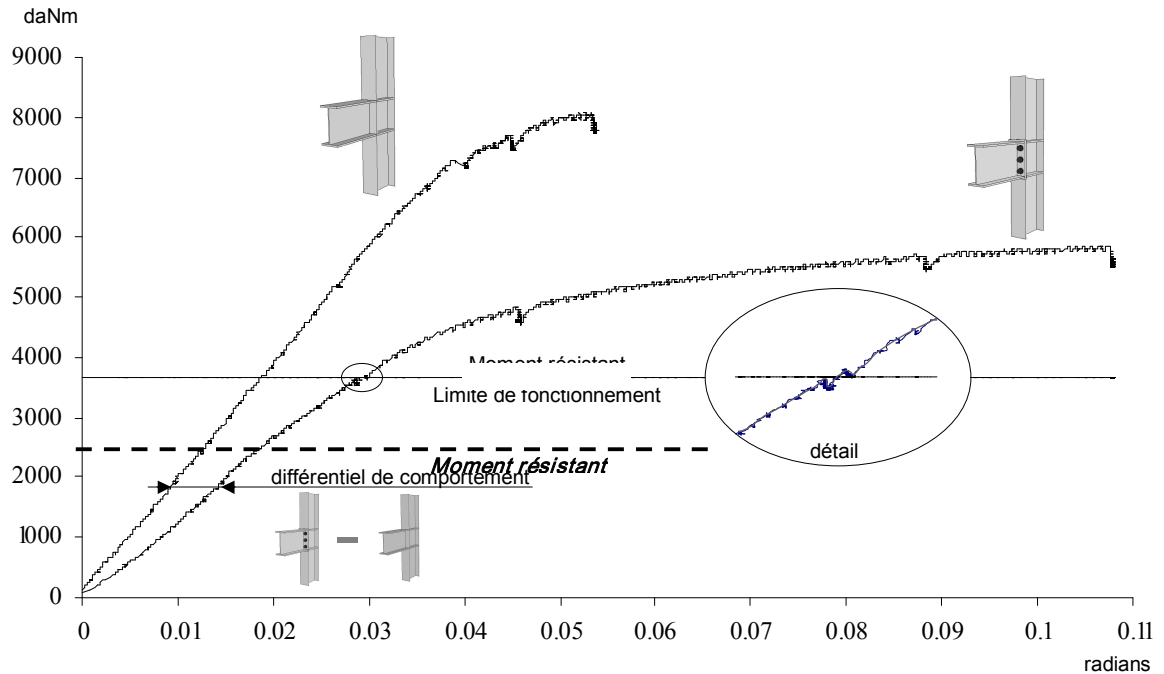
Charge limite pour atteindre le moment résistant



$$F_{\text{limite}} = M_{\text{res}} / 0.48 = 6020 \text{ daN}$$

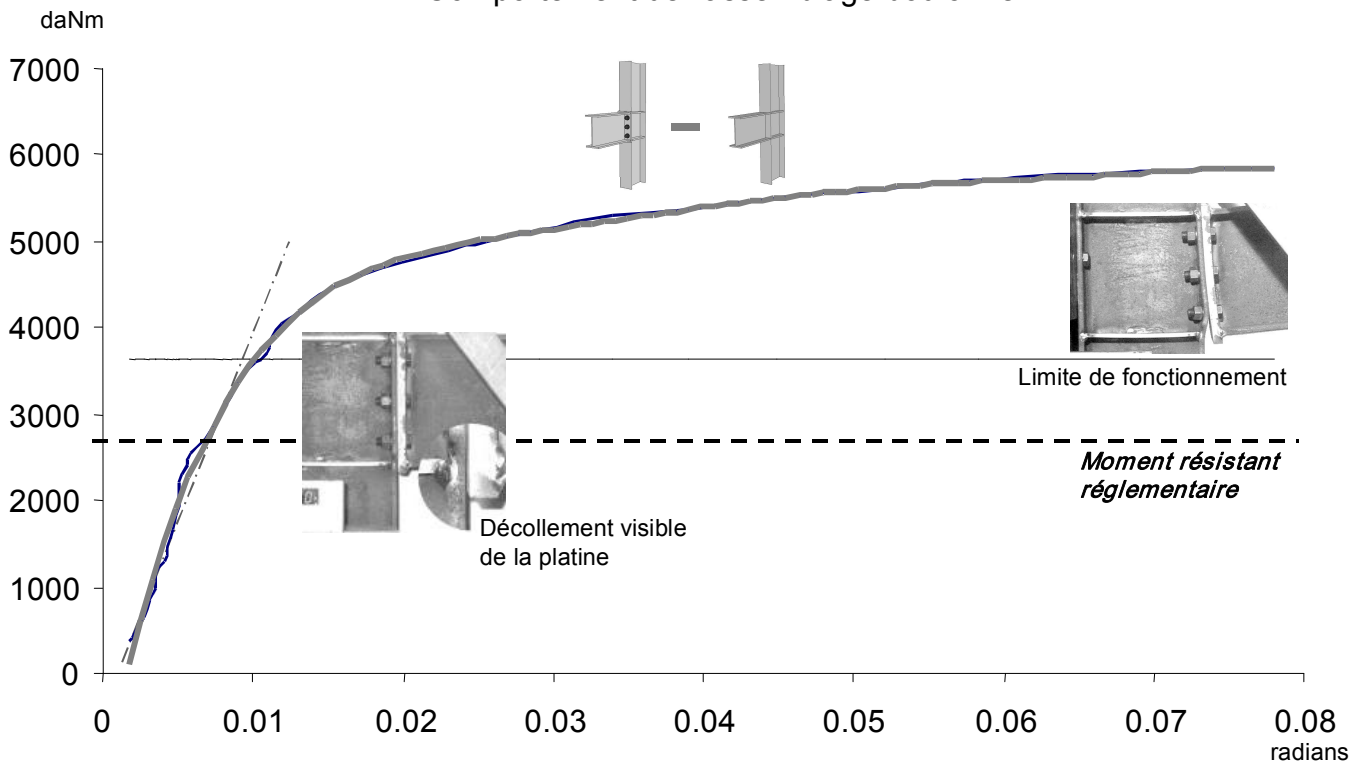
Mesures : courbes moment / rotation

Signaux bruts



- Bien que le signal brut soit parasité, on peut distinguer une zone d'instabilité (détail) pour l'assemblage boulonné au passage de la valeur du moment résistant. Il est possible qu'elle corresponde au glissement de la platine (voir conditions de glissement).
- On notera la différence (brute) des raideurs globales de l'assemblage soudé avec son homologue boulonné.

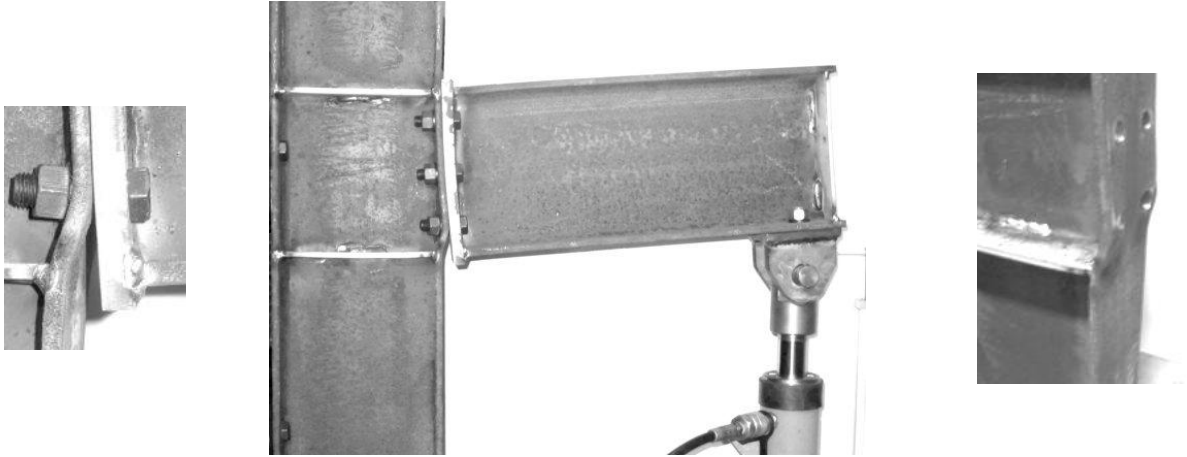
Comportement de l'assemblage boulonné



Ce graphe a été obtenu en opérant la différence des déplacements (rotation globale) pour chaque valeur de moment. Il donne le comportement de l'assemblage boulonné par comparaison à celui de l'assemblage soudé.

- La courbe en surimpression est un lissage par une fonction polynomiale.

- On peut observer que la première partie (en deçà du moment résistant) n'est pas parfaitement linéaire. L'analyse des signaux bruts montre que ce défaut de linéarité incombe principalement à l'assemblage boulonné.
- Il serait nécessaire d'effectuer plusieurs cycles de chargement déchargement jusqu'à la limite normalisée du Moment résistant, afin d'identifier les phénomènes mécaniques ou les dérives éventuelles de la chaîne d'acquisition responsables de ce résultat.
- L'allure générale de cette fonction est à comparer à la courbe obtenue pour caractériser l'effet de levier dans un assemblage boulonné tendu. Les similitudes nous conduisent à penser que, tel que le prévoyait le calcul, cet effet dans la semelle du porteur est dominant, au moins dans la première partie du mécanisme de ruine.



Assemblage par platine d'extrémité et boulons à serrage contrôlé

ANNEXES

ANNEXE 1 – Extraits de la norme NFP 22-460

Tableau 4

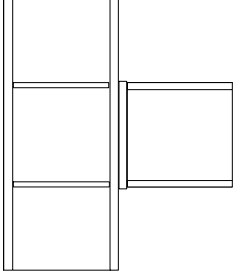
TYPE	Boulons extérieurs	Boulons intérieurs	Boulons centraux
	C F	$N_1 \leq P_V$ $N_1 \leq 3750 e \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_5}{2 a_5} \right)$ $N_1 \leq 3750 e'_S \left(\frac{a'_2}{a'_1} \times \frac{s_2}{s_2 + a'_2} \right)$ $N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e'_a \cdot s_2$	$N_1 \leq P_V$ $N_1 \leq 3750 e \left(\frac{a_2}{a_1} \times \frac{s_2}{s_2 + a_2} \right)$ $N_1 \leq 3750 e'_S \left(\frac{a'_2}{a'_1} \times \frac{s_2}{s_2 + a'_2} \right)$
	C G	$N_1 \leq P_V$ $N_1 \leq 3750 e \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2 a_6} \right)$ $N_1 \leq 3750 e'_S \left(\frac{a'_2}{a'_1} + \frac{a'_6}{2 a'_6} \right)$	$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e_a \cdot s_2$ $N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e'_a \cdot s_2$

TABEAU 3 – SURFACE DE COMPRESSION

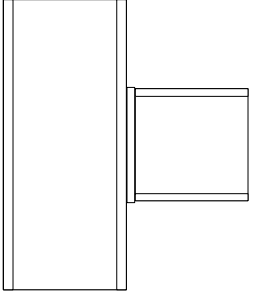
Types d'assemblages	A _c Poutre	A _c Poteau
	$e_s \left[b + \sqrt{b \cdot e_a} \right]$	$e'_a \left[e_s + 2e + 5k \right]$ $k = e'_s + r$
		$e'_a \left[e_s + 2e + 5k \right] + e_r \cdot b'$ $k = e'_s + r$

Essais complémentaires – Comparatif des assemblages avec et sans raidisseurs

Assemblage avec raidisseurs de type CG - Poussée critique 6000 daN			
Tableau 4 NF P 22-460 type CG			
boulons intérieurs	boulons centraux	zone comp.x	= 39.7 mm
daN	daN	Mres. daNm	≥ M
8038.4	8038.4	2893.6	≥ 2880.0
10422.9	4829.5	Q1 daN	Qadm daN
8404.5	4472.5	1250.0	< 1607.7
	4852.8		mm ²
	4852.8	Ac poutre	= 1246.4
<hr/>	<hr/>	Ac poteau	= 1614.88
8038.4	4472.5	Σ Ni	= 20549
		Ncadm	= -29290



Assemblage sans raidisseur de type CF - Poussée critique 4900 daN			
Tableau 4 NF P 22-460 type CF			
boulons intérieurs	boulons centraux	zone comp.x	= 39.7 mm
daN	daN	Mres. daNm	≥ M
8038.4	8038.4	2394.5	≥ 2352.0
10422.9	4829.5	Q1 daN	Qadm daN
4472.5	4472.5	833.3	< 1607.7
48527.5	4852.8		mm ²
	4852.8	Ac poutre	= 1246.4
<hr/>	<hr/>	Ac poteau	= 844.88
4472.5	4472.5	Σ Ni	= 13418
		Ncadm	= -19855



Comparatif

L'absence de raidisseurs diminue de 20% la capacité résistante de l'assemblage (moment résistant)

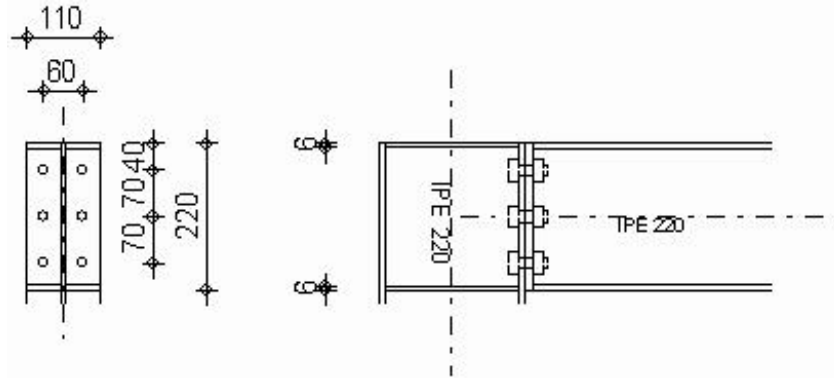
La surface de compression coté poteau est divisée par 2.

On peut prévoir une ruine par effet de levier, simultanément au niveau des boulons intérieurs et centraux.

$$INF\{N1\} = 3750 e'_s \left(\frac{a'_2}{a'_1} \frac{s_2}{s_2 + a'_2} \right) = 4472.5 \text{ daN dans les deux cas}$$

Constat expérimental :

ANNEXE 2 : vérification réglementaire à l'aide de Robot selon la norme NF P 22 460



ROBOT – ASSEMBLAGES avec raidisseurs de poteau



Assemblage N° : 1
Noeud N° : 7

Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau - NF P 22-460

Unités: mm, kN, kN*m, MPa, Deg

DONNEES

	Poteau :		Poutre :	
Barre N°	:	1	:	2
Profilé	:	IPE 220	:	IPE 220
Matériau	:	ACIER	:	ACIER
fe	:	235.00	:	235.00
Angle	:	-90.0	:	0.0

BOULONS :			
Diamètre	=	16	Classe = HR 8.8
Fb	=	80.38	
Nombre	=	3	
Ecartement	=	60	Niveau 1er boulon = 40
Entraxe	=	70;70	

Platine :	Epaisseur	=	14	Hauteur	=	220
	Largeur	=	110	Re	=	235.00
Raidisseur poteau :	Supérieur	=	6	Inférieur	=	6
Raidisseur supérieur :	Epaisseur	=	0	Hauteur	=	0
Soudures :	Ame	=	5	Semelle	=	5
				Longueur	=	0
				Raidisseur	=	5

RESULTATS

EFFORTS

Cas 1: "EXPL1"

Moment = -28.80
Effort tranchant = 60.00
Effort axial = 0.00

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 admissible

Boulon N°	di	Ft	Fa	Fs	Fp	Fb		Fi	%
1	171	105.15	0.00	139.88	83.79	80.38	->	80.38	100.00
2	101	51.27	48.53	83.09	44.73	80.38	->	44.73	16.37

Moment Résultant Total

$$[9.2.2.2] \quad M_{tot} = 2 \cdot \sum (F_i \cdot d_i) = 28.93$$

Effort total dans la semelle comprimée

$$[9.2.2.2] \quad F_{tot} = 2 \cdot \sum F_i = 175.41$$

Zone comprimée x

$$[9.2.2.2] \quad x = e_s \cdot \sqrt{(b / e_a)} = 40$$

Effort tranchant

$$[9.2.2.1] \quad 10.00 < 26.53 \quad \text{vérifié}$$

Effort axial

$$[9.1] \quad |0.00| < 72.35 \quad \text{vérifié} \quad 0.15 \cdot n \cdot F_b$$

La méthode de calcul est applicable

Moment

$$[9.2.2.2.1] \quad 28.80 < 28.93 \quad \text{vérifié}$$

Compression réduite de la semelle

$$[9.2.2.2.2] \quad 174.07 < 292.90 \quad \text{vérifié}$$

Compression de l'âme du poteau

$$[9.2.2.2.2] \quad 174.07 < 353.65 \quad \text{vérifié}$$

Cisaillement de l'âme du poteau

$$Q = \sum F_i \cdot (M - \sum M_k \{ k < i \}) / M_i \quad Q_{adm} = 0.47 \cdot A_v \cdot \sigma_a$$

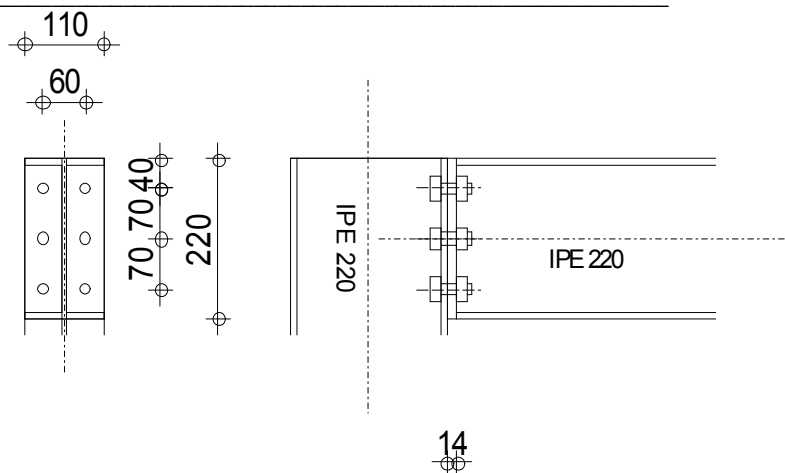
$$174.07 < 175.41 \quad \text{vérifié}$$

Remarques :

- Pince du boulon trop faible.

Ratio : 1.00

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme



ROBOT – ASSEMBLAGES sans raidisseurs de poteau



Assemblage N° : 1
Noeud N° : 7

Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau - NF P 22-460

Unités: mm, kN, kN*m, MPa, Deg

DONNEES

		Poteau :			Poutre :
Barre N°	:	1			2
Profilé	:	IPE 220			IPE 220
Matériau	:	ACIER			ACIER
fe	:	235.00			235.00
Angle	:	-90.0			0.0
BOULONS :					
Diamètre	=	16	Classe	=	HR 8.8
Fb	=	80.38			
Nombre	=	3			
Ecartement	=	60	Niveau 1er boulon	=	40
Entraxe	=	70;70			
Platine :		Epaisseur = 14		Hauteur = 220	
		Largeur = 110		Re = 235.00	
Soudures :		Ame = 5		Semelle = 5	Raidisseur = 5

RESULTATS

EFFORTS

Cas 1: "EXPL1"

Moment = -23.52
Effort tranchant = 49.00
Effort axial = -0.00

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 admissible

Boulon N°	di	Ft	Fa	Fs	Fp	Fb		Fi	%
1	171	105.15	48.53	139.88	44.73	80.38	->	44.73	100.00
2	101	51.27	48.53	83.09	44.73	80.38	->	44.73	96.10

Moment Résultant Total

[9.2.2.2] $M_{tot} = 2 \cdot \sum (F_i \cdot d_i)$ = 23.94

Effort total dans la semelle comprimée

[9.2.2.2] $F_{tot} = 2 \cdot \sum F_i$ = 175.41

Zone comprimée x

[9.2.2.2] $x = e_s \cdot \sqrt{(b / e_a)}$ = 40

Effort tranchant

[9.2.2.1] 8.17 < 26.53 vérifié

Effort axial

N 0.15*n*Fb



Assemblage par platine d'extrémité et boulons à serrage contrôlé

[9.1]	$ -0.00 $	<	72.35	vérifié
Moment	La méthode de calcul est applicable			
[9.2.2.2.1]	23.52	<	23.94	vérifié
Compression réduite de la semelle				
[9.2.2.2.2]	171.21	<	292.90	vérifié
Compression de l'âme du poteau				
[9.2.2.2.2]	171.21	<	198.55	vérifié
Cisaillement de l'âme du poteau	$Q = \sum F_i * (M - \sum M_k \{k < i\}) / M_i$			$Q_{adm} = 0.47 * A_v * \sigma$
	171.21	<	175.41	vérifié

Remarques :

- *Pince du boulon trop faible.*

Ratio : 0.98

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme