

# Essais d'assemblages à boulons ou rivets tirés

Autor(en): **Hébrant, F. / Massonnet, Ch.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **17 (1957)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-15756>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Essais d'assemblages à boulons ou rivets tirés<sup>1)</sup>

*Versuche an auf Zug beanspruchten Schrauben- oder Nietverbindungen*

*Tests on Assemblies with Stretched Bolts or Rivets*

F. HÉBRANT, Directeur technique de la C.E.C.M., L. DEMOL, Ingénieur à la C.E.C.M.,  
et CH. MASSONNET, Professeur à l'Université de Liège

L'on retrouve dans de nombreux assemblages des boulons ou rivets soumis à la fois à la traction et au cisaillement; l'incertitude de leur comportement sous cette double sollicitation d'une part et, d'autre part, l'intérêt que doit présenter le serrage initial, ont semblé suffisants pour justifier des essais sur de tels assemblages. Le programme arrêté a été le suivant:

- a) Etude sur des assemblages élémentaires à 1 ou 2 rivets.
- b) Etude sur des consoles de dimensions industrielles.
- c) Etude sur des nœuds de charpentes semi-rigides assemblés par boulons et cornières<sup>2)</sup>.

### I. Essais sur assemblages à 1 ou 2 rivets

Dans ces assemblages, représentés à la fig. 1, le rivet est soumis à la traction pure (type 1), au cisaillement (type 4) ou à une combinaison de ces deux sollicitations (types 2 et 3).

L'acier employé est de l'acier courant A 37, tandis que les caractéristiques mécaniques des rivets, mesurées sur éprouvettes de  $\varnothing = 6$  mm, sont les suivantes:

Limite élastique,  $R_e = 33,5$  kg/mm<sup>2</sup>. Allongement, sur  $8,16 \sqrt{S}$ ,  $A = 26\%$ .

Tension de rupture,  $R_r = 44,1$  kg/mm<sup>2</sup>. Striction,  $S = 70\%$ .

---

<sup>1)</sup> Condensé du rapport de la recherche sur la résistance comparée des assemblages à boulons ou à rivets tirés en sollicitation statique et en fatigue. Recherche subsidiée par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.) et exécutée par la Commission pour l'Etude de la Construction Métallique dans les Laboratoires de l'Association des Industriels de Belgique à Bruxelles.

<sup>2)</sup> Cette étude est actuellement en cours et il n'en sera donc pas fait mention dans le présent rapport.

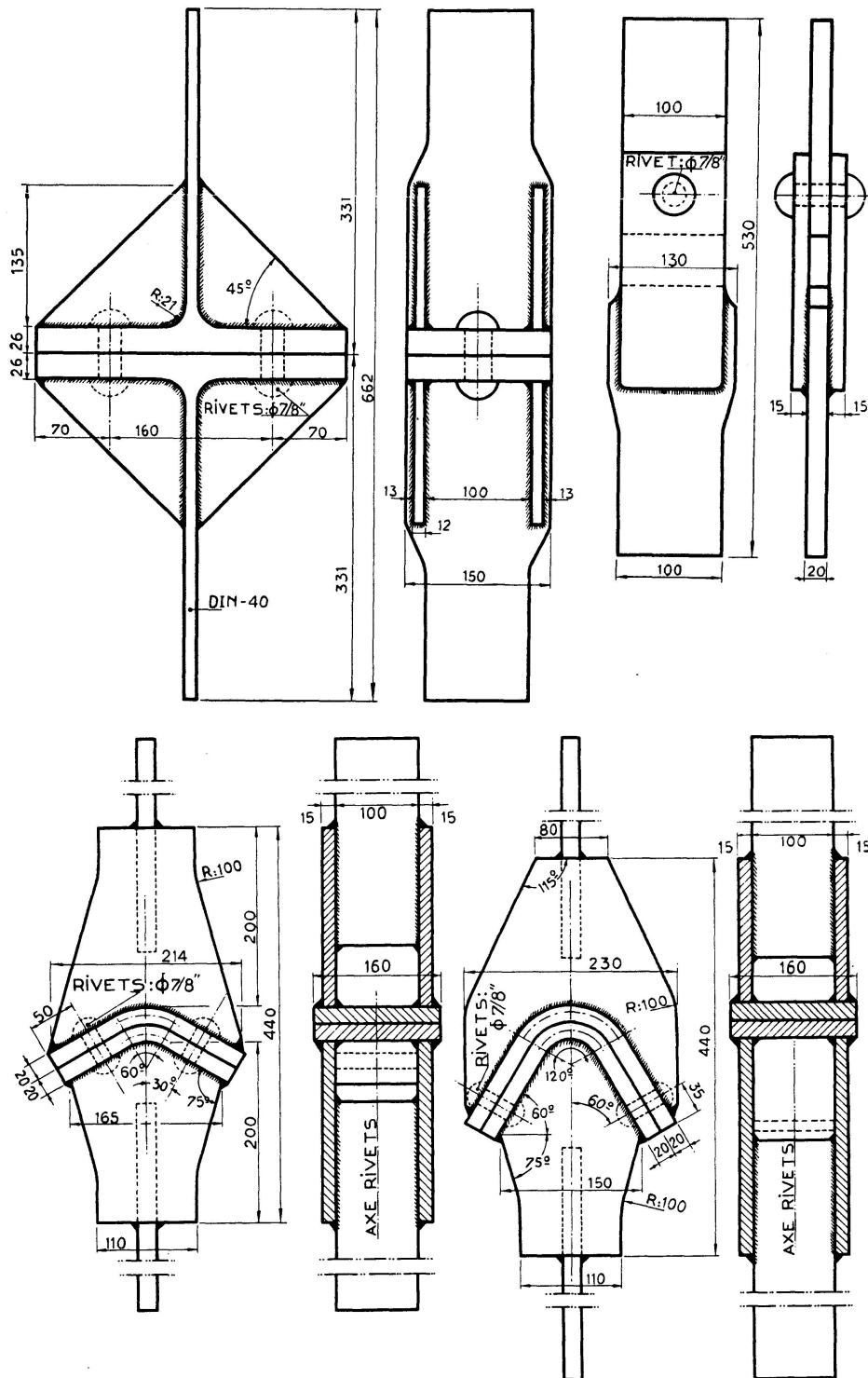


Fig. 1. Assemblages utilisés pour solliciter les rivets à traction plus cisaillement.

Dans le but de déterminer l'influence du mode de rivetage, on a procédé à des essais sur deux séries de pièces: les unes rivées à la main, les autres à la presse. Le comportement de ces éprouvettes a été étudié sous charges statiques et sous sollicitation de fatigue. Les allongements ont été mesurés par l'intermédiaire d'un palpeur équipé d'un comparateur au  $1/1000^{\text{e}}$  mm, qui permet de

relever la distance entre deux billes de  $\frac{1}{8}$ " serties aux extrémités des têtes dans l'axe du rivet (fig. 2).

### 1. Notations utilisées

- $\sigma_r$  Tension de rupture, c'est-à-dire rapport de la charge de rupture à la section droite du rivet, quelle que soit la direction de l'effort par rapport à l'axe du rivet (l'angle  $\alpha$  de ces deux directions est de 0, 30, 60 et 90° suivant le type 1, 2, 3 ou 4).
- $\sigma$  Tension normale de rupture.
- $\tau$  Tension tangentielle de rupture.
- $\sigma_{min}$  Tension minimum constante pendant l'essai de fatigue.
- $\sigma_{max}$  Tension maximum au moment de la rupture par fatigue.

### 2. Résultats des essais

Le tableau 1 ci-après donne les résultats obtenus avec les 4 types d'assemblage. Les essais de fatigue ont été exécutés en augmentant progressivement la tension maximum après chaque série de  $10^6$  pulsations.

### 3. Rappel du mécanisme des déformations

Avant d'entamer l'examen des résultats d'essais, il est intéressant de rappeler brièvement le mécanisme des déformations d'un boulon (ou rivet)

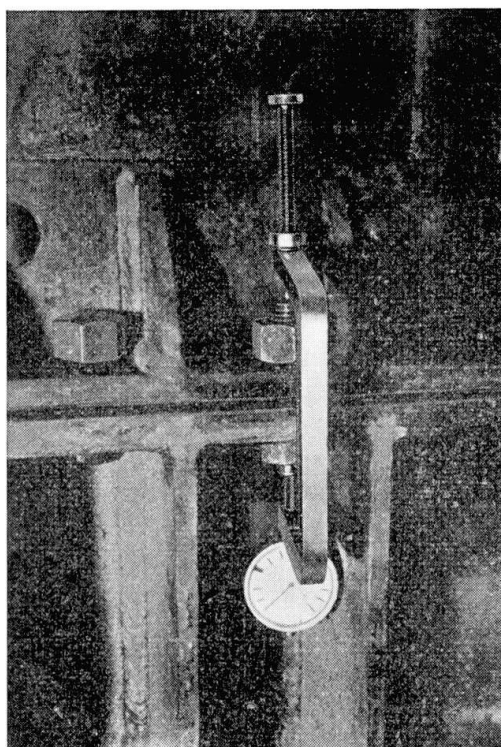
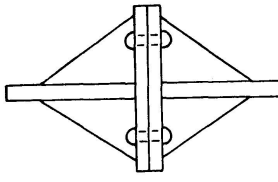
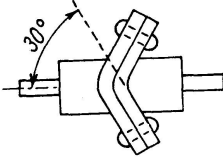
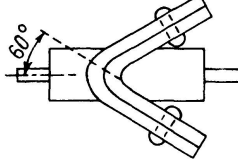
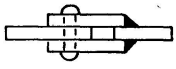


Fig. 2. Palpeur destiné à mesurer les allongements des rivets.



Tableaux I

Type d'éprouvette	Essai statique						Essai de fatigue					
	Rivetage à la main			Rivetage à la presse			Rivetage à la main			Rivetage à la presse		
	$\sigma_r$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma$ kg/mm <sup>2</sup>	$\tau$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma$ kg/mm <sup>2</sup>	$\tau$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{min}$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{max}$ kg/mm <sup>2</sup>	localisa- tion de la rupture	$\sigma_{min}$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{max}$ kg/mm <sup>2</sup>	localisa- tion de la rupture
 Type 1, traction pure	50	50	—	45,6	45,6	—	1,3	24,5	Rupture du plat	1,3	24,5	Rupture du plat
 Type 2, traction et cisaillemt.	42,6	36,8	21,3	—	—	—	1,3	11,6	Rupture d'un rivet	1,3	12,9	Rupture du plat
 Type 3, traction et cisaillemt.	36,6	18,3	31,6	37,8	18,9	32,7	—	—	—	1,3	12,9	Rupture d'un rivet
 Type 4, cisaillemt.	36,4	18,2	31,4	35,4	—	—	1,3	17,4	Rupture du plat	1,3	14,2	Rupture du plat
	36,1	—	36,1	35,4	—	35,4	7,1	24,5	Rupture du plat	7,1	24,5	Rupture du plat
	35,2	—	35,2	—	—	—	1,3	20,7	Rupture du plat	1,3	20,7	Rupture du plat

assemblant deux pièces qui tendent à se séparer sous un effort de traction (fig. 3).

a) Si le boulon n'est pas serré, il se déforme élastiquement suivant la loi de Hooke jusqu'à la charge  $P_0$  pour laquelle il entre en plasticité; les pièces assemblées sont décollées depuis le début.

b) Si le boulon est serré avec un effort  $P_1$ , les premiers allongements de  $0_1$  à  $E_1$  sont inférieurs à ceux que donnerait la loi de Hooke et le rapport  $\frac{\text{charge appliquée}}{\text{allongement}}$  (ou inclinaison de  $0_1 E_1$ ) dépend de la raideur de l'assemblage (nous entendons par raideur, une caractéristique dépendant des sections des pièces, de leur épaisseur et de leur coefficient d'élasticité).

A partir de  $E_1$ , les pièces sont absolument décollées et le boulon s'allonge élastiquement jusqu'en  $P_0$  où il se plastifie.

Le préserrage est  $P_1$ , tandis que l'allongement qui en résulte dans le boulon est  $0_0 0_1$ .

c) Si le boulon est serré plus énergiquement, le processus des déformations est similaire, le point  $E_2$ , à partir duquel la loi de Hooke est applicable étant reporté au-delà de  $E_1$ , tandis que la charge de plasticité  $P_0$  est la même. L'effort de préserrage est  $P_2$ , l'allongement y correspondant  $0_0 0_2$ .

Ces données théoriques ont été contrôlées à deux reprises:

1. Sur les assemblages du type 1, rivés selon deux procédés différents (fig. 4) où les diagrammes mettent bien en évidence l'influence du mode de rivetage sur le serrage initial des rivets.
2. Sur un assemblage du type 1 où, après rupture des rivets, ces derniers avaient été remplacés par des boulons à haute résistance auxquels on avait imposé différentes valeurs du serrage initial (fig. 5). Dans ce dernier cas,

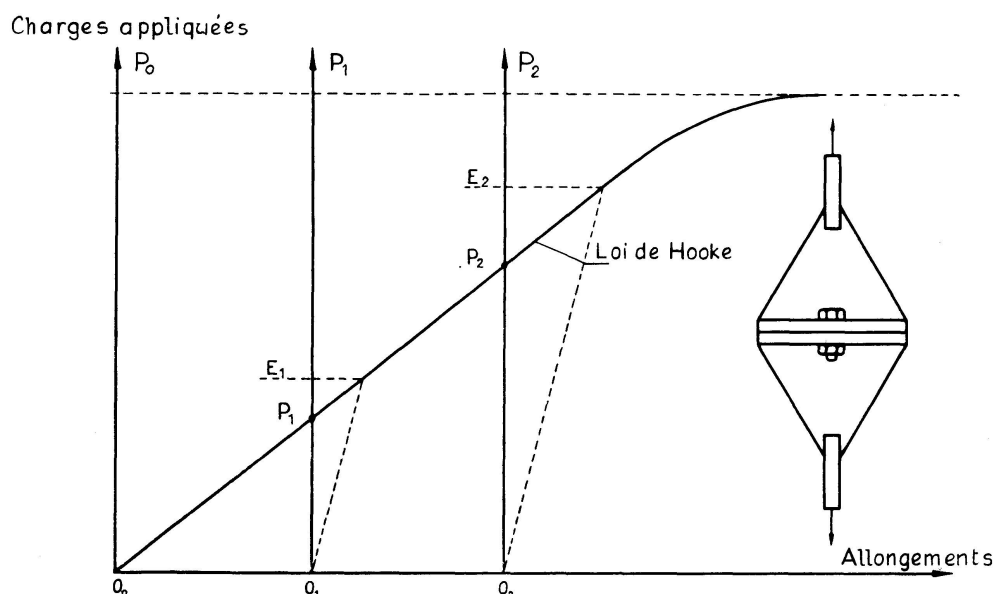


Fig. 3. Diagramme charges-allongements d'un assemblage à boulons tendus préserrés.

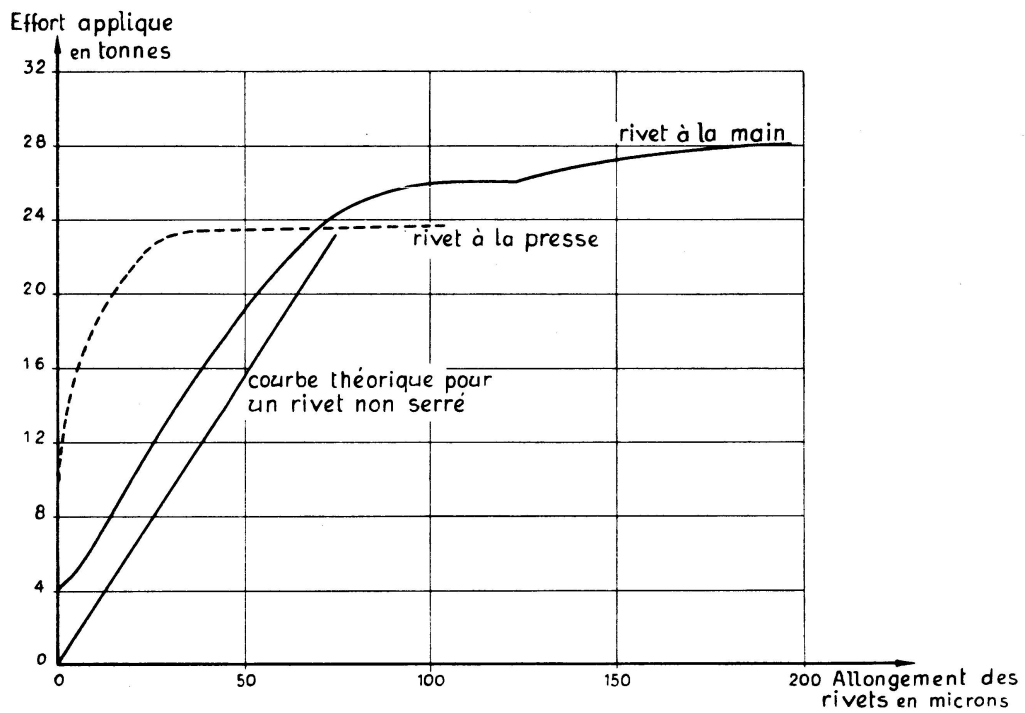


Fig. 4. Diagrammes efforts-allongements obtenus sur des rivets.

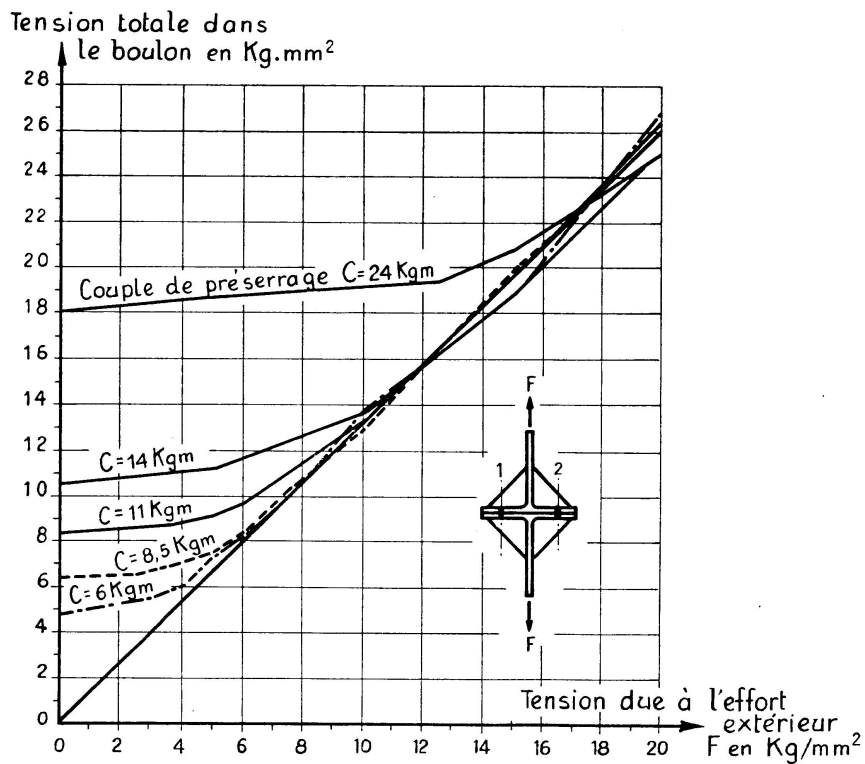


Fig. 5. Tensions dans le boulon en fonction du préserrage et l'effort extérieur.

la mesure de l'allongement se faisait grâce à des jauges ohmiques collées sur deux faces opposées du corps du boulon, préalablement rabotées, la moyenne des lectures donnant la déformation de traction pure (fig. 6).

#### 4. Conclusions

En se reportant maintenant à l'examen du tableau des résultats, on peut énoncer les conclusions suivantes:

##### *Essais statiques*

1. L'influence du mode de rivetage n'est pas claire pour les types d'assemblages 2, 3 et 4. Pour le type 1 (traction pure), on constate que la tension de rupture et la limite élastique (voir fig. 4) sont supérieures dans le cas des rivets posés à la main, quoique le serrage initial soit moins énergique dans ce cas.

2. La dispersion entre les essais de pièces identiques est très faible (voir pièces rivées à la main).

3. Les valeurs moyennes de  $\sigma$  et  $\tau$  à la rupture pour les pièces rivées à la main sont données de façon très satisfaisante et avec sécurité par la loi

$$\sqrt{\sigma^2 + 1,5\tau^2} = R_r$$

où  $R_r$  est la tension de rupture par traction de l'acier à rivets, mesurée sur une éprouvette tirée de ces rivets (fig. 7).

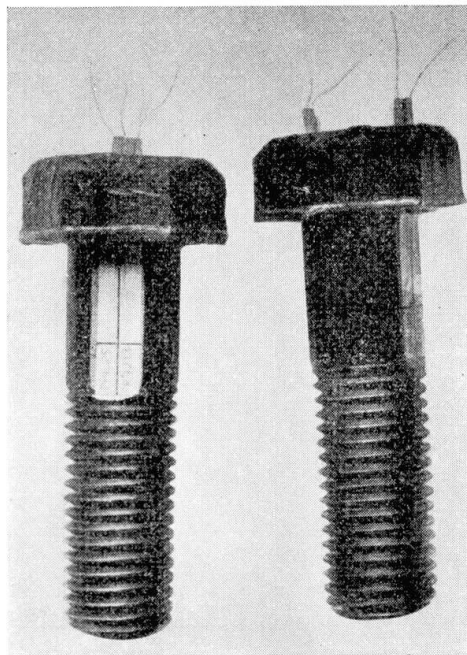


Fig. 6. Boulon muni de jauges ohmiques.

*Essais de fatigue*

1. Pour les assemblages des types 1 et 4, on ne possède qu'une valeur minimum de la limite de fatigue, la rupture étant chaque fois survenue dans le plat, qui avait cependant été très largement dimensionné; ce fait met en évidence l'influence du préserrage qui a permis d'atteindre dans les rivets des limites de fatigue certainement supérieures à 20,7 kg/mm<sup>2</sup>.

2. La localisation de la rupture dans un plat d'ancrage n'a pas permis de différencier les deux modes de rivetage du point de vue de la résistance à la fatigue. Il semble cependant que le rivetage à la presse, provoquant un serrage

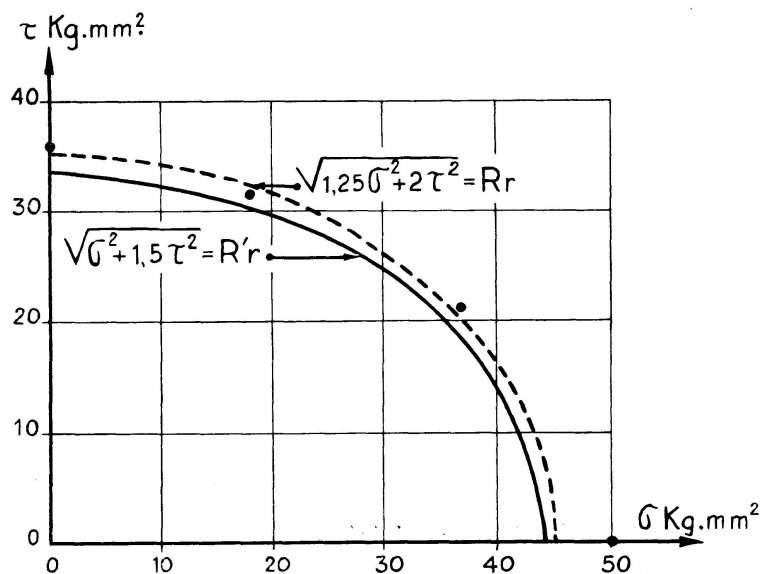


Fig. 7. Courbe d'interaction entre les tensions normale et tangentielle de rupture dans des rivets soumis à un essai statique.

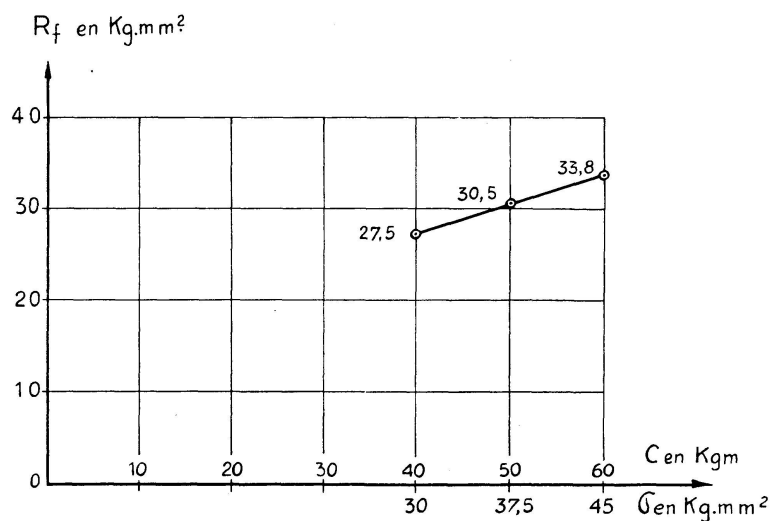


Fig. 8. Variation de la limite de fatigue d'un boulon tendu avec l'effort de préserrage.

plus énergique (voir fig. 4), doit assurer un meilleur comportement de l'assemblage à la fatigue.

3. Pour les assemblages avec rivets à la fois tendus et cisailés (types 2 et 3), la limite de fatigue est de l'ordre de 13,0 kg/mm<sup>2</sup>; la rupture a eu lieu dans le plat d'attache lorsque la pièce se comportait de façon parfaitement symétrique sous charge pulsatoire; elle est survenue dans un rivet lorsque, suite à une légère dissymétrie de l'assemblage, l'un des rivets était plus sollicité que l'autre.

4. Ajoutons enfin, pour illustrer l'importance du préserrage, que des essais effectués dans la suite sur un assemblage de principe similaire au type 1, mais avec un seul boulon à haute résistance placé axialement, ont donné comme limite de fatigue les valeurs suivantes selon le serrage initial (fig. 8).

Limite de fatigue aux efforts répétés  
en kg/mm<sup>2</sup> dans le corps du boulon.

Couple de serrage en kgm. Tension  
dans le corps du boulon en kg/mm<sup>2</sup>.

## II. Essais sur consoles

Les essais ont eu lieu sur deux séries de consoles de dimensions identiques; seule, la présence ou l'absence de raidisseurs dans les cornières d'attache et dans les traverses différenciait les deux types; la liaison de ces pièces a été réalisée par rivets, boulons ordinaires ou boulons à haute résistance (fig. 9).

Le dispositif d'essai est illustré à la fig. 10; la charge extérieure est appliquée à 0,50 m du plan d'assemblage de la traverse et de la console.

L'acier utilisé est de l'acier ordinaire de construction A 37; les caractéristiques mécaniques des rivets, boulons ordinaires et boulons à haute résistance sont reprises au tableau ci-dessous; il est à remarquer que, pour ces derniers, elles répondent aux prescriptions de la norme A. S. T. M. 325.

	$R_e$ = limite d'élasticité (kg/mm <sup>2</sup> )	$R_r$ = tension de rupture (kg/mm <sup>2</sup> )	$A$ = Allonge- ment sur base 8,16 $\sqrt{S}$ (en %)	$S$ = Striction (en %)
Rivets	33,5	44,1	26,0	70,0
Boulons ordinaires	37,4	45,2	26,3	52,7
Boulons à haute résistance	75,6	87,2	16,6	59,7

On s'est efforcé, tant dans les essais statiques que sous sollicitations de fatigue, de dégager l'influence du préserrage; à cet effet, dans les consoles boulonnées, on a donné à ce serrage initial diverses valeurs, qui étaient contrôlées, soit par les indications des extensomètres ohmiques collés sur le boulon, soit par la valeur du couple de serrage exercé par la clé. La clé utilisée, construite par le Laboratoire de Résistance des Matériaux de l'Université de Liège



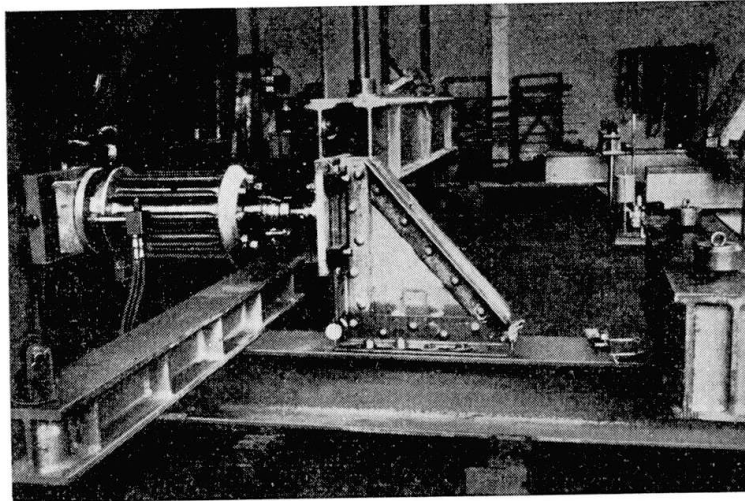


Fig. 10. Ensemble du dispositif d'essai.

est munie de deux tensomètres ohmiques et donne la valeur de ce couple par lecture directe au pont de Wheatstone.

### 1. Essais statiques

Il a été fabriqué 3 pièces d'essai de chaque type; l'une a été utilisée pour un essai statique, les deux autres étant sollicitées par fatigue.

Si, pour les consoles rivées, l'essai a été mené d'emblée jusqu'à la ruine, il a semblé intéressant, pour les consoles boulonnées, de fractionner l'étude en diverses phases représentant chacune un serrage initial différent des boulons, avant de mettre définitivement l'assemblage hors service.

Les tensions de préserrage adoptées ont été successivement de 0, 25, 40, 55 et 70% de la limite élastique dans le *noyau* du boulon; il a été impossible d'aller au-delà de ces valeurs, car une flexion parasitaire inévitable du boulon ajoutée à cette traction amène presque en plasticité les fibres extrêmes où sont collées les tensomètres ohmiques et compromet ainsi l'exactitude des mesures de tensions que l'on peut en déduire.

#### a) Mesures des tensions dans les boulons

Nous donnons, à titre d'exemple, deux diagrammes relatifs aux tensions dans les boulons:

Fig. 11: Tension totale dans les premier et deuxième boulons (les plus sollicités) en fonction du serrage initial et de l'effort extérieur pour les consoles raidies.

Fig. 12: Tension dans les différents boulons due à l'effort extérieur; pour avoir la tension totale, il y aurait donc lieu d'y ajouter la tension de préserrage constante pour tous les boulons de cette console raidie.



L'examen de l'ensemble des diagrammes se rapportant aux divers types étudiés a conduit aux constatations principales suivantes:

1. Les deux premiers boulons sont, de loin, les plus sollicités.
2. La tension due à l'effort extérieur ( $\sigma$  ext.) diminue lorsque la tension de préserrage ( $\sigma$  prés.) augmente (du moins pour les boulons 1, 2 et 3); cependant, la tension totale ( $\sigma$  ext. +  $\sigma$  prés.) augmente avec le préserrage.
3. Par comparaison avec le premier boulon, le second est trop sollicité; ce fait résulte probablement de sa position plus proche de l'axe longitudinal de la console due à la disposition en quinconce adoptée.
4. La présence de raidisseurs dans les cornières d'attache et dans la colonne réduit les tensions dans les premiers boulons.

### Consoles avec raidisseurs

#### Résultat des tensomètres ohmiques; boulons ordinaires

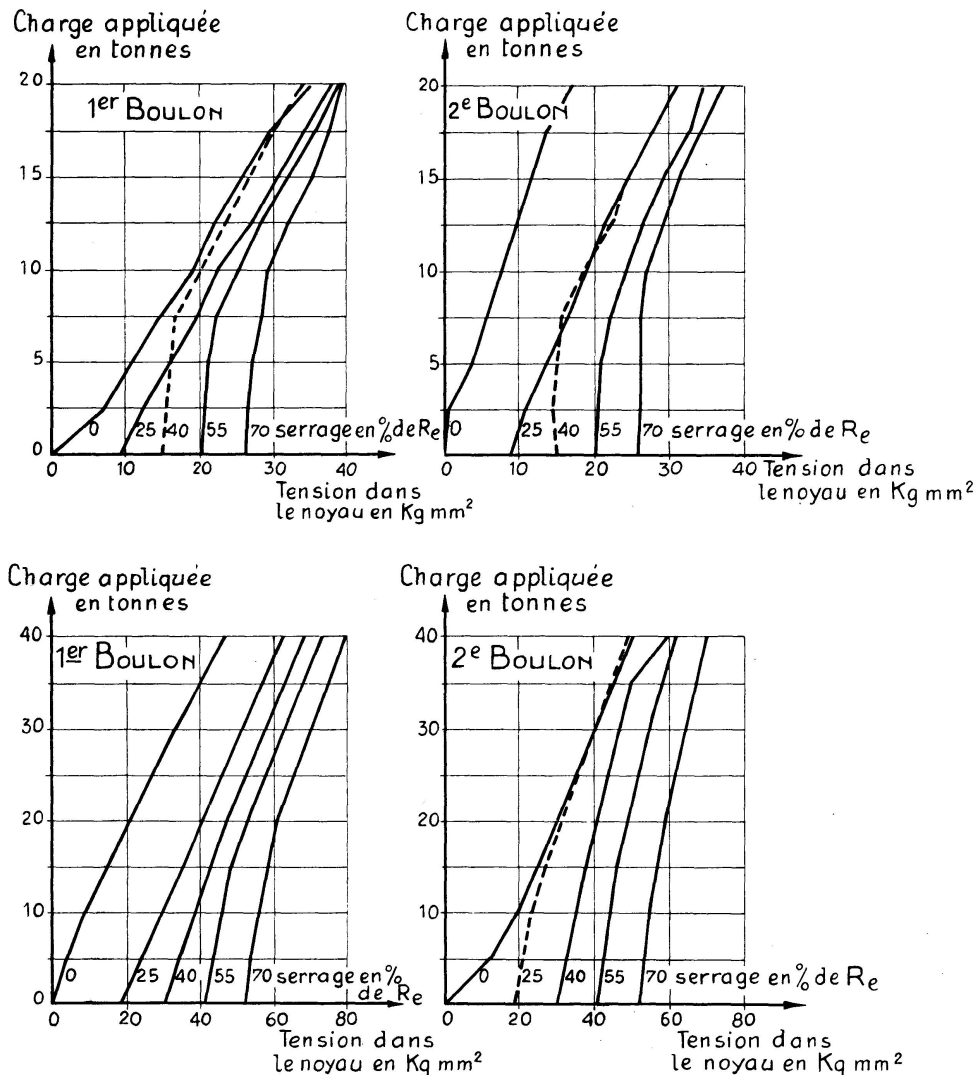


Fig. 11. Tension totale dans les premier et deuxième boulons en fonction du serrage initial et de l'effort extérieur pour les consoles raidies.

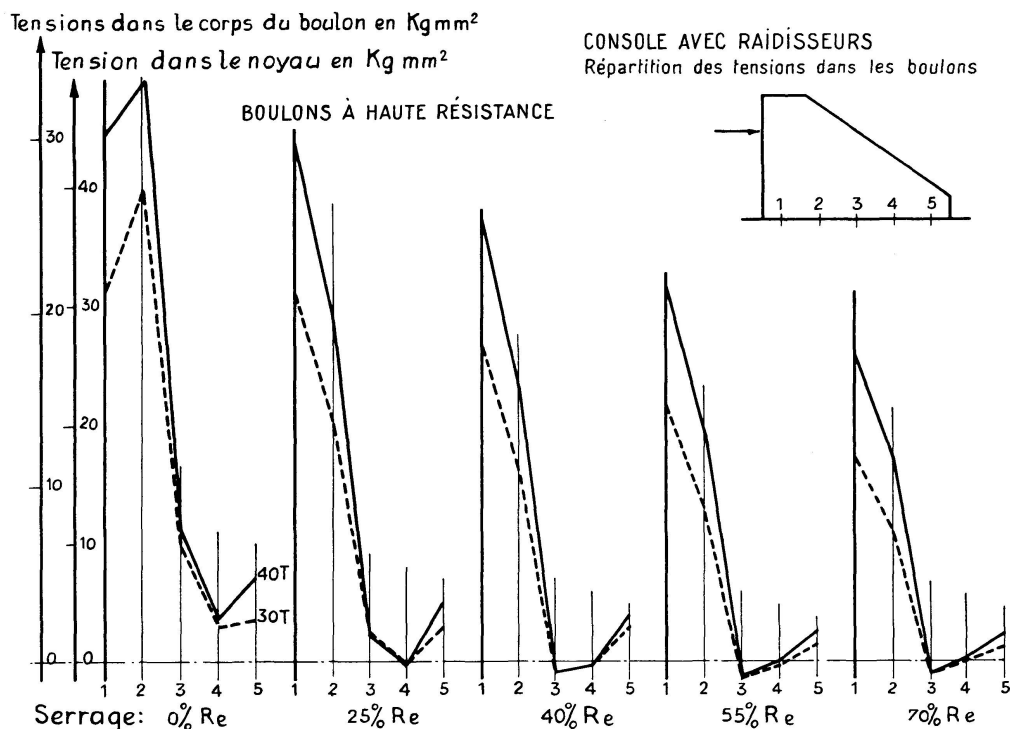


Fig. 12. Tensions dans les différents boulons due à l'effort extérieur.

5. On ne peut conclure à l'existence d'un point de rotation bien défini; celui-ci semble se déplacer suivant le serrage et l'effort extérieur.

b) *Résistance des consoles à la rupture*

L'essai a été poussé jusqu'à la ruine pour la plus grande valeur du serrage initial des boulons, soit 70% de  $R_e$  dans le noyau. Il semble d'ailleurs que le serrage ne doit avoir qu'une influence minime sur la charge de ruine statique de la pièce et on le suppose nul dans les méthodes habituellement utilisées pour le calcul des consoles, à savoir:

- a) Méthode basée sur l'existence du point de rotation à l'extrémité inférieure de la console et sur une répartition linéaire des efforts dans les différents boulons à partir de ce point.
- b) Méthode analogue à celle employée dans le calcul du béton armé où l'on recherche la position de la fibre neutre en traçant les funiculaires relatifs aux forces de traction (suivant les axes des premiers boulons) et aux forces de compression (section de la console aux environs des derniers boulons).

Les deux méthodes ont été appliquées au calcul de la résistance à la rupture des consoles étudiées; il convient de noter que:

1. On ne tient pas compte de la raideur des pièces; la charge de rupture théorique est donc la même pour les pièces raidies ou non raidies.
2. On suppose que les ruptures surviendront lorsque l'on aura atteint dans le rivet ou le boulon la tension de rupture mesurée sur éprouvette.

Tableau 2

Types de consoles	Charge de rupture statique expérimentale $P_{ex}$ t	Charge de rupture théorique calculée par la méthode 1 et basée sur		Charge de rupture théorique calculée par la méthode 2 et basée sur		Comparaison des charges théoriques et expérimentales			
		$\Omega$ noyau $P_{1n}$ t	$\Omega$ corps $P_{1c}$ t	$\Omega$ noyau $P_{2n}$ t	$\Omega$ corps $P_{2c}$ t	$\frac{P_{ex}}{P_{1n}}$ %	$\frac{P_{ex}}{P_{1c}}$ %	$\frac{P_{ex}}{P_{2n}}$ %	$\frac{P_{ex}}{P_{2c}}$ %
Rivets	non raidie	82,0				122		141	
	raidie	83,0	67,0	58,0		124		143	
Boulons ordinaires	non raidie	62,5				130	91,3	145	105
	raidie	52,5	48,0	43,0	59,4	110	76,5	122	88,5
Boulons à haute résistance	non raidie	98,0				106	74,0	118	85,5
	raidie	100,0	92,5	82,8	114,5	108	75,5	120	87,5

3. Le calcul pour les pièces boulonnées peut se faire, soit à partir de la section du corps de boulon, soit à partir de la section du noyau.

Les charges théoriques calculées suivant ces principes, ainsi que leur comparaison avec les charges de rupture expérimentales, sont consignées au tableau 2.

L'examen de ce tableau permet de déduire les constatations principales suivantes (en faisant abstraction du résultat relatif à la console raidie à boulons ordinaires, qui semble être une anomalie):

1. Statiquement, la résistance à la rupture des consoles raidies est légèrement supérieure à celle des consoles non raidies.
2. Pour les pièces boulonnées, les calculs doivent s'effectuer en se basant sur la section du noyau; c'est ce qui résulte de la comparaison entre pièces assemblées par boulons ordinaires et rivets (propriétés mécaniques semblables) où l'on retrouve une bonne homogénéité entre les résultats, quelle que soit la formule adoptée, si l'on se base sur la section du noyau du boulon.
3. Le rapport des charges de rupture expérimentales des consoles assemblées par boulons à haute résistance et boulons ordinaires est inférieur au rapport des tensions de rupture des deux nuances d'acier. On constate donc qu'il faut tenir compte, outre des tensions de rupture, de la capacité de déformation en régime plastique qui, très grande dans le cas d'acier doux, permet le soulagement des premier et deuxième boulons au détriment du troisième et suivants.
4. Les deux formules donnent des charges de ruine théoriques trop petites, surtout dans le cas d'emploi d'acier doux (en se basant sur la section du noyau).
5. L'influence du cisaillement des rivets ou boulons ne s'est manifesté d'aucune façon dans les essais.

*c) Recherche d'une méthode de calcul*

La méthode de calcul est subordonnée à la connaissance de

- la position de la résultante des forces de compression,
- la position du point de rotation,
- la loi de répartition des tensions dans les boulons.

Position de la résultante des forces de compression:

Elle est déterminée par les équations de la statique du système ci-dessous (fig. 13).

L'équation d'équilibre de translation verticale donne

$$R = \Sigma (f + f_i).$$

L'équation d'équilibre de rotation autour du boulon 4 donne

$$P h - e R - \Sigma l_i (f + f_i) = 0.$$

Dans ces deux formules,

$P$  est l'effort extérieur.

$f$  = la force de serrage.

$f_i$  = la force supplémentaire de traction dans le boulon due à l'effort extérieur.

Ces  $f$  et  $f_i$  peuvent être déterminés à partir de lectures aux tensomètres ohmiques.

Les valeurs de  $e$  par rapport au 4<sup>e</sup> boulon ont été recherchées pour des

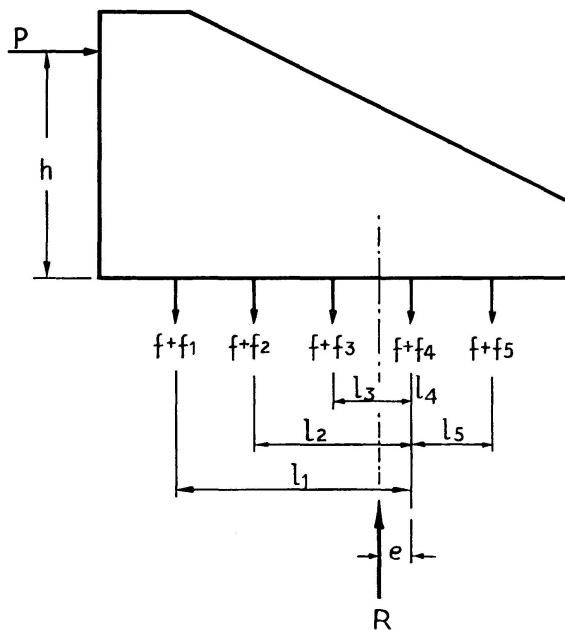


Fig. 13. Forces agissant sur une console.

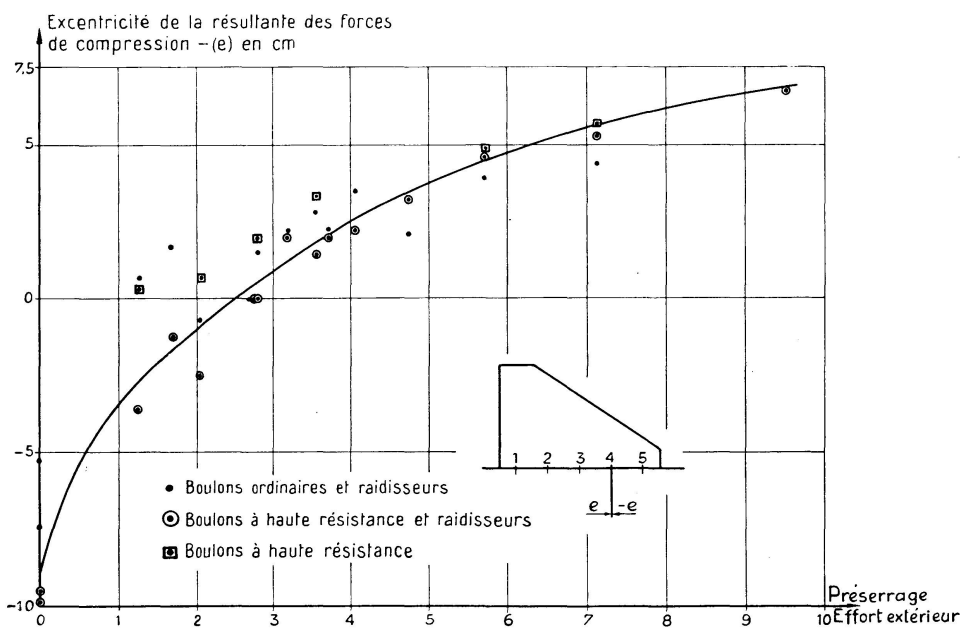


Fig. 14. Variation de l'excentricité de la résultante des forces de compression en fonction du rapport préserrage sur effort extérieur.

charges extérieures voisines des charges de service pour les différents types étudiés et les différents serrages; elles sont reportées au diagramme de la fig. 14 en fonction du rapport  $\frac{\text{préserrage}}{\text{effort extérieur}}$ . On constate que la position de  $R$  varie assez fortement suivant la valeur de ce rapport.

Connaissant la position de cette résultante, on pourrait calculer la console en supposant, par exemple, que le point de rotation coïncide avec cette résultante et que la répartition des tensions dans les boulons est linéaire à partir de ce point.

Il y aurait cependant lieu de tenir compte d'une tension admissible dans le boulon croissante avec le serrage initial, car, ainsi qu'on l'a vu précédemment, la tension du boulon, pour un même effort extérieur, augmente avec le préserrage alors que la charge de ruine doit être indépendante de ce dernier. Les considérations précédentes montrent qu'il est difficile de trouver une méthode générale et qu'il y aurait lieu d'exécuter des essais pour différents types de consoles comportant un nombre varié de boulons ou rivets.

## 2. Essais de fatigue

Les essais ont eu lieu à la cadence de 250 pulsations/minute entre un minimum fixé à une tonne et un maximum relevé en principe de une tonne après chaque million de pulsations; les résultats sont consignés aux tableaux 3, 4 et 5.

On a d'autre part reporté à la fig. 15 les tensions minima et maxima régnant dans le premier boulon à haute résistance des consoles raidies; les valeurs de ces tensions ont été déduites des essais statiques, avec extrapolation pour les serrages initiaux importants.

Tableau 3. Essais de fatigue sur consoles rivées

	Pièces d'origine	Pièces réparées <sup>3)</sup>
Consoles avec raidisseurs	a) 1 t—12,5 t: 1 000 000 1 t—13,5 t: 158 000 1 t—15,0 t: 84 000 b) 1 t—12,5 t: 147 000	
Consoles sans raidisseurs	a) 1 t—15 t: 31 500 b) 1 t—12,5 t: 95 600	a) 1 t—11 t: 112 000 b) 1 t—9 t: 53 000 c) 1 t—8 t: 1 000 000 9 t: 1 000 000 10 t: 1 000 000 11 t: 748 000

<sup>3)</sup> Pièces d'origine ayant déjà servi à un essai de fatigue et dont les rivets cassés ont été remplacés (rivetage à la main).

Tableau 4. Essais de fatigue sur consoles assemblées par boulons ordinaires

Valeur du préserrage	Couple = 14,4 kgm $\sigma$ noyau: 16 kg/mm <sup>2</sup> 43% <i>Re</i>	Couple = 23 kgm $\sigma$ noyau: 25,2 kg/mm <sup>2</sup> 67% <i>Re</i>	Couple = 30 kgm $\sigma$ noyau: 33 kg/mm <sup>2</sup> 88% <i>Re</i>	Couple = 40 kgm $\sigma$ noyau: 37,4 kg/mm <sup>2</sup> 100% <i>Re</i>
Consoles avec raidisseurs	a) 1 t—13 t: 240 000 b) 1 t—12 t: 495 000	a) 1 t—13 t: 1 000 000 <sup>4)</sup> 1 t—14 t: 1 000 000 <sup>4)</sup> 1 t—15 t: 115 000 <sup>4)</sup> b) 1 t—13 t: 33 000 <sup>4)</sup> c) 1 t—13 t: 212 000 <sup>4)</sup>	a) 1 t—16 t: 316 000 b) 1 t—15 t: 750 000 c) 1 t—14 t: 1 000 000 15 t: 1 000 000 16 t: 1 000 000 17 t: 170 000 d) 1 t—14 t: 1 000 000 1 t—15 t: 378 000	a) 1 t—14 t: 1 000 000 1 t—15 t: 1 000 000 1 t—16 t: 1 000 000 1 t—17 t: 1 000 000 1 t—18 t: 1 000 000 1 t—19 t: 275 000 b) 1 t—13 t: 790 000 <sup>4)</sup>
Consoles sans raidisseurs			a) 1 t—15 t: 137 400 b) 1 t—14 t: 1 000 000 1 t—15 t: 1 000 000 1 t—16 t: 398 000 c) 1 t—15 t: 1 000 000 1 t—16 t: 69 000	a) 1 t—18 t: 48 500 b) 1 t—18 t: 21 800 c) 1 t—17 t: 29 600 d) 1 t—16 t: 41 000 e) 1 t—15 t: 63 000 f) 1 t—14 t: 194 000

<sup>4)</sup> Essais effectués avec une deuxième série de boulons, dont les caractéristiques mécaniques étaient semblables à celles des premiers boulons utilisés.

Tableau 5. Essais de fatigue sur consoles assemblées par boulons à haute résistance

Valeur du préserrage	Couple = 30 kgm $\sigma$ noyau: 33 kg/mm <sup>2</sup> 44% <i>Re</i>	Couple = 60 kgm $\sigma$ noyau: 66 kg/mm <sup>2</sup> 88% <i>Re</i>	Couple = 83 kgm $\sigma$ noyau: 75,6 kg/mm <sup>2</sup> 100% <i>Re</i>
Consoles avec raidisseurs	a) 1 t — 16 t: 1 000 000 1 t — 17 t: 150 000	a) 1 t — 20 t: 320 000 b) 1 t — 20 t: 1 000 000 1 t — 21 t: 1 000 000 1 t — 22 t: 1 000 000 1 t — 23 t: 1 000 000 1 t — 24 t: 1 000 000 1 t — 25 t: 1 000 000 1 t — 26 t: 1 000 000 1 t — 27 t: 329 000 c) 1 t — 25 t: 782 000 d) 1 t — 25 t: 1 000 000 1 t — 26 t: 540 000 aile fissurée e) 1 t — 25 t: 777 000 rivet de cornière âme cassé f) 1 t — 25 t: 356 000 idem	a) 1 t — 25 t: 1 000 000 1 t — 26 t: 800 000 1 t — 27 t: 150 000 aile fissurée
Consoles sans raidisseurs	De multiples essais ont été effectués sous diverses tensions de préserrage; tous ont donné lieu à une rupture rapide des boulons (maximum 75 000 pulsations)		



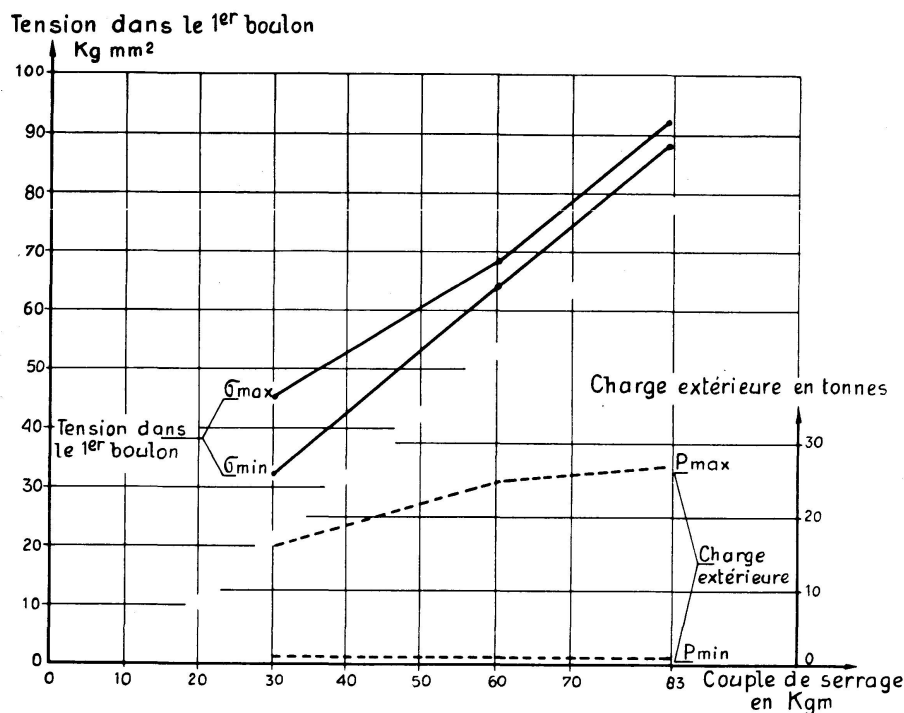


Fig. 15. Tension minima et maxima régnant dans le premier boulon à haute résistance des consoles raidies, en fonction du couple de serrage initial.

### Conclusions des essais de fatigue

1. La résistance à la fatigue de l'assemblage étudié dépend essentiellement de l'intensité du serrage initial des boulons. La résistance augmente avec l'intensité du préserrage et est maximum quand la tension de préserrage atteint la limite élastique des boulons. Le gain de résistance obtenu dans ces conditions par rapport à l'assemblage rivé vaut environ : cinquante pour cent dans le cas de boulons ordinaires ; cent pour cent dans le cas de boulons à haute résistance.
2. Le comportement des consoles raidies est nettement meilleur que celui des pièces dépourvues de raidisseurs ; il semble que, dans ces dernières, la flexion de la cornière d'attache provoque une sollicitation de flexion parasite dans le boulon qui en amène la ruine prématurée.
3. En ce qui concerne les consoles rivées, il est difficile de conclure, étant donné la dispersion des résultats. On remarquera cependant, par comparaison avec les pièces assemblées par boulons ordinaires (acier de même qualité), que la moindre résistance à la fatigue est due à un préserrage insuffisant des rivets. Les limites de fatigue obtenues confirment les chiffres déduits d'essais sur petits assemblages des types 2 et 3, avec cisaillement et traction simultanés.

\* \* \*

Dans l'ensemble, il faut surtout retenir de ces essais exécutés sur des assemblages d'importance et de types divers, le rôle primordial joué par le serrage initial des organes de liaison, rivets ou boulons.

*Sous sollicitation statique:* le préserrage permet de maintenir en contact les pièces assemblées ou du moins réduit leur écartement.

*Sous sollicitation répétée:* en réduisant l'amplitude de la tension variable dans le boulon ou rivet, il en augmente considérablement la résistance à la fatigue.

### Résumé

Les essais avaient pour buts de préciser les règles de dimensionnement des assemblages rivés où les rivets sont soumis à la fois à traction et cisaillement, ainsi que de comparer les résistances statiques et par fatigue d'assemblages de ce type comportant des rivets, des boulons ordinaires ou des boulons à haute résistance plus ou moins préserrés.

Des essais sur rivets isolés soumis à traction et cisaillement simultanés ont permis d'établir un critère de rupture statique de la forme

$$\sqrt{\sigma^2 + 1,5 \tau^2} = R_p.$$

Les essais proprement dits ont eu lieu sur des consoles triangulaires fixées sur une colonne et soumise à une force parallèle au plan de l'assemblage. Leurs conclusions principales sont les suivantes:

1. Les deux méthodes classiques de dimensionnement de ces assemblages donnent des résultats sûrs, à condition de baser les calculs sur la section des boulons à fond de filets.
2. L'emploi de boulons à haute résistance préserrés permet de gagner vis-à-vis de l'assemblage rivé:
  - a) vingt pour cent sur la résistance statique de l'assemblage;
  - b) jusqu'à cent pour cent sur sa résistance à la fatigue; ce dernier gain augmente avec l'intensité du préserrage et est maximum quand la tension de préserrage atteint la limite élastique des boulons.

### Zusammenfassung

Die Versuche wurden zur Verbesserung der Bemessungsvorschriften für Nietverbindungen mit gleichzeitig auf Zug und Schub beanspruchten Nieten durchgeführt. Ferner wurden die statische und die Ermüdungsfestigkeit dieser Verbindungen für Nieten, gewöhnliche Schrauben oder mehr oder weniger vorgespannte hochfeste Schrauben verglichen.

Die Versuche an einzelnen, gleichzeitig Zug- und Schubspannungen unterworfenen Nieten erlaubten die folgende statische Bruchhypothese aufzustellen:

$$\sqrt{\sigma^2 + 1,5 \tau^2} = R_r.$$

Die eigentlichen Versuche wurden an dreieckigen, an einer Säule befestigten Konsolen, welche einer zur Verbindungsebene parallelen Kraft unterworfen wurden, durchgeführt. Die wichtigsten Schlußfolgerungen sind die folgenden:

1. Die beiden klassischen Berechnungsmethoden dieser Verbindungen geben sichere Resultate unter der Voraussetzung, daß der Berechnung die Kernquerschnitte der Schrauben zu Grunde gelegt werden.
2. Die Verwendung von vorgespannten hochfesten Schrauben bietet den Nietverbindungen gegenüber die folgenden Vorteile:
  - a) Um 20% erhöhte statische Festigkeit der Verbindung.
  - b) Bis um 100% erhöhte Ermüdungsfestigkeit, wobei die Erhöhung von der Stärke der Vorspannung abhängt und maximal wird, wenn die Vorspannung die Elastizitätsgrenze der Schrauben erreicht.

### Summary

The purpose of the tests was to define precise rules for dimensioning riveted assemblies in which the rivets are subjected both to tensile and shear forces and also to compare the static and fatigue strengths of assemblies of this type comprising rivets, ordinary bolts or high-strength bolts more or less pre-stretched.

Tests on single rivets subjected simultaneously to tensile and shear forces enables a criterion of static rupture to be established in the form

$$\sqrt{\sigma^2 + 1,5 \tau^2} = R_r.$$

The actual tests were carried out on triangular brackets fixed to a column and subjected to a force acting parallel to the plane of the assembly. The chief conclusions drawn from the tests are as follows:

1. The two conventional methods for dimensioning these assemblies give reliable results, provided the calculations are based on the cross-section of the bolts at the bottom of the threads.
2. The use of pre-stretched high-strength bolts makes it possible, as compared with a riveted assembly, to gain:
  - a) Twenty per cent on the static strength of the assembly.
  - b) Up to one hundred per cent on its fatigue strength; the last-mentioned gain increases with the extent of the prestretching and is a maximum when the prestretching tension reaches the elastic limit of the bolts.