

Rivures

J.F. Debongnie

7 novembre 2012

Table des matières

1	Généralités	2
2	Pratique de la rivure	2
2.1	Types de rivets, et leur pose	2
2.2	Gamme des opérations d'exécution d'une rivure	5
3	Calcul des rivures	5
3.1	Section du rivet	5
3.2	Résistance des pièces assemblées	6
3.2.1	Section nette et coefficient d'utilisation de la tôle	6
3.2.2	Contrainte nominale de la tôle	8
3.2.3	Pince longitudinale et pince transversale	8
4	Vérification des rivets	9
4.1	Calcul à l'adhérence	9
4.2	Calcul au cisaillement et à la pression de contact	10
5	Rivets sollicités en traction	12

1 Généralités

Les rivures constituent des assemblages permanents. Selon leur destination, on distingue traditionnellement

- les *rivures de force*, que l'on rencontre dans les constructions métalliques en acier ou en métaux légers ;
- les *rivures de force et d'étanchéité*, en chaudronnerie ;
- les *rivures d'étanchéité*, dans les réservoirs, les cheminées en tôles, les tuyauteries sans surpression ;
- les *rivures de liaison des éléments de tôles* (aviation, automobile).

Dans beaucoup d'applications, les rivures ont été supplantées par la soudure. Une rivure demande en effet plus de travail, et les pièces soudées sont plus simples et moins chères. En outre, le façonnage des rivets à la bouterolle soumet l'ouïe des ouvriers à rude épreuve. Cependant, les rivures sont *très sûres* et d'un contrôle très facile (au son, quand on frappe l'assemblage). Par ailleurs, dans le cas des alliages légers, on préfère encore souvent la rivure qui permet d'éviter les conséquences de l'échauffement de soudage.

2 Pratique de la rivure

2.1 Types de rivets, et leur pose

Le rivet plein se présente avant pose comme une tige possédant une tête, la tige ayant une longueur suffisante pour pouvoir former la deuxième tête. Pour assembler des pièces d'acier dont la somme des épaisseurs est $\sum t$, la tige doit avoir une longueur $\sum t + f$, avec $f = (1,5 \text{ à } 1,7)d$ (fig. 1). Le diamètre d du

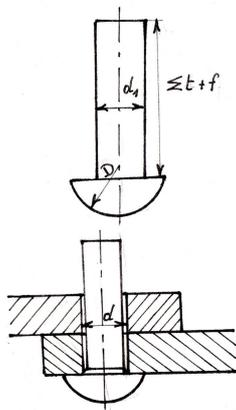


FIGURE 1 – Rivet avant pose

trou est supérieur au diamètre d_1 du rivet, pour faciliter la pose :

$$d \approx d_1 + 1\text{mm} \quad (d_1 \geq 10\text{mm})$$

Pour les métaux légers, on a

$$d \approx d_1 + 0,1\text{mm} \quad (d_1 \leq 10\text{mm})$$

$$d_1 + 0,2\text{mm} \quad (d_1 > 10\text{mm})$$

Il existe deux manières de poser les rivets : à chaud ou à froid.

1. Les rivets d'acier ayant un diamètre de 10mm et plus sont posés à *chaud*. On porte le rivet à la température du rouge clair ($\approx 900^{\circ}C$), on forme la tête à la bouterolle et on maintient celle-ci en place jusqu'à une température de l'ordre de $500^{\circ}C$ (fig 2). En se refroidissant, le rivet se contracte et

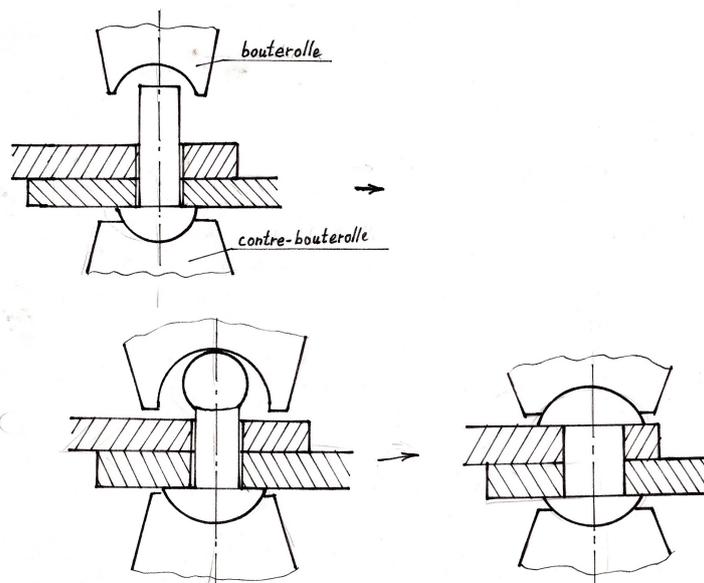


FIGURE 2 – Façonnage du rivet

provoque un *serrage* important des tôles. La contrainte du rivet avoisine, pour les qualités les plus tendres (acier : $R_m = 340MPa$), la limite élastique. Il en résulte que l'assemblage est capable de reprendre de grands efforts transversaux au rivet par *frottement*. ce fait peut être mis à profit dans les rivures d'étanchéité, ainsi qu'en fatigue (fig. 3).

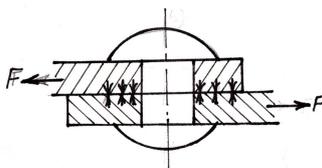


FIGURE 3 – Comportement du rivet monté à chaud

2. Les rivets d'acier de diamètre inférieur à 10mm, ainsi que les rivets de métaux légers et de cuivre sont montés à froid. Le serrage résiduel reste faible et on ne peut compter sur un effort de frottement important. La transmission de l'effort dans ces rivures se fait ici essentiellement par cisaillement du rivet et pression des tôles sur le manteau de sa tige (fig. 4).

Pour les applications où la tête ne peut dépasser de la tôle, on utilise des rivets à tête noyée, dont l'une des têtes est noyée dans une fraisure. La sécurité est

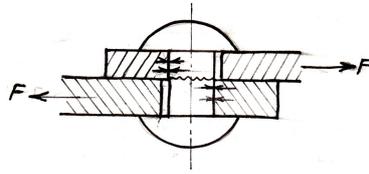


FIGURE 4 – Comportement du rivet monté à froid

moins grande et la main-d'œuvre est plus coûteuse (fig5).

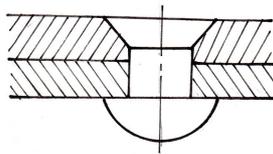


FIGURE 5 – Rivet à tête noyée

Les rivets creux (fig. 6) s'utilisent surtout en construction aéronautique, dans les appareils de précision, dans l'industrie légère ou encore, pour assembler des pièces de cuir. Lorsqu'un des côtés est inaccessible, on utilise le rivet borgne,

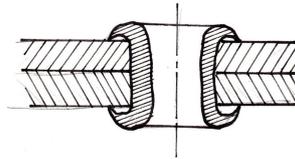


FIGURE 6 – Rivet creux

encore appelé rivet *POP*. Il s'agit d'un rivet creux dans lequel passe un mandrin épaulé. On introduit le rivet avec son mandrin dans le trou, puis on tire sur le mandrin en prenant appui sur la tête apparente du rivet. Le mandrin forme la seconde tête du rivet, puis casse (fig 7).



FIGURE 7 – Rivet borgne, encore appelé rivet POP

2.2 Gamme des opérations d'exécution d'une rivure

1. Il faut d'abord faire un *plan* de la rivure pour déterminer le nombre et la position des rivets.
2. *Traçage* : après avoir blanchi la tôle, on marque les axes avec une pointe d'acier dur. On marque alors les centres au pointeau.
3. *Perçage des trous*. Jadis, ce perçage se faisait par poinçonnage. Il en résultait un fort écrouissage qui rendait le trou fragile. Actuellement, les trous sont forés.
4. S'il y a lieu, *cintrage* des tôles.
5. *Pose* des rivets.
6. Pour les soudures d'étanchéité, on effectue un *rematage* (fig 8).

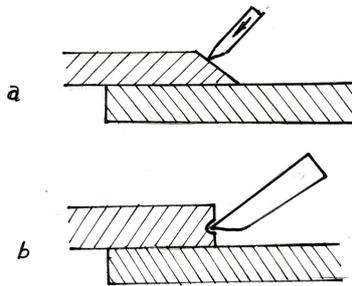


FIGURE 8 – Matage classique (a) et matage anglais (b)

- Le *matage classique* consistait à chanfreiner les tôles, puis à en presser le biseau avec un *matoir*, sorte de burin émoussé.
- La *matage anglais*, plus rapide, consiste à faire une rainure à l'extrémité de la tôle à l'aide d'un burin monté sur marteau pneumatique. On peut alors mater la partie inférieure de la rainure. L'avantage est la disparition de l'opération de chanfreinage.
- Les têtes de rivets sont également matées, sauf pour les très faibles épaisseurs, pour lesquelles on utilise des *jointes*.

3 Calcul des rivures

3.1 Section du rivet

Lorsque le modelage du rivet est parfait, *le trou est entièrement rempli*. cependant, cette condition ne peut être vérifiée que si le rivet n'est pas trop long. Un rivet trop long peut en effet flamber lors du façonnage, ce qui rend le remplissage impossible (fig 9). C'est pourquoi il convient de respecter la règle [1, 4]

$$\sum t \leq 4d \quad (1)$$

C'est une règle de bonne pratique. Si elle n'est pas respectée, il y a lieu de majorer la section du rivet [1].

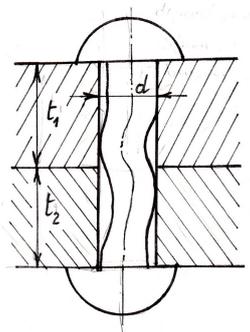


FIGURE 9 – Flambage d'un rivet trop long

3.2 Résistance des pièces assemblées

3.2.1 Section nette et coefficient d'utilisation de la tôle

Les trous de rivets affaiblissent les tôles. Sans tenir compte de l'inévitable concentration de contrainte (qui ne joue pas un rôle fondamental en statique), on définit la *section nette* en soustrayant à la section brute la somme des diamètres de rivets. Le *coefficient d'utilisation* ρ est par définition le rapport entre la contrainte qui existerait en l'absence de trous et la contrainte nominale calculée dans la section nette. pour une simple rangée de n rivets (fig. 10), on a donc

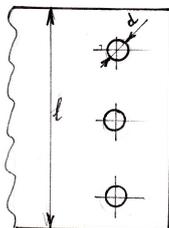


FIGURE 10 – Notion de section nette

$$\rho = \frac{A_n}{Ab} = \frac{(\ell - nd)t}{\ell t}$$

S'il y a plusieurs rangées de rivets, le problème est plus complexe. Considérons une rivure à double couvre-joint et trois rangées de rivets, la rangée extérieure étant incomplète (fig11). On admet dans les calculs que chaque rivet reprend une charge égale. Il faut alors suivre la progression de l'effort. Dans la zone délimitée sur la figure, le nombre de rivets qui se partagent l'effort F est donné par $(3 + 4 \times \frac{1}{2}) = 5$. L'effort par rivet est donc ici $F/5$. On peut donc établir le tableau suivant pur les tôles assemblées :

Section	effort	section nette	contrainte nominale
I	F	$(a - d)t$	$\frac{F}{(a-d)t}$
II	$\frac{4}{5}F$	$(a - 2d)t$	$\frac{4}{5} \frac{F}{(a-2d)t}$
III	$\frac{2}{5}F$	$(a - 2d)t$	$\frac{2}{5} \frac{F}{(a-2d)t}$

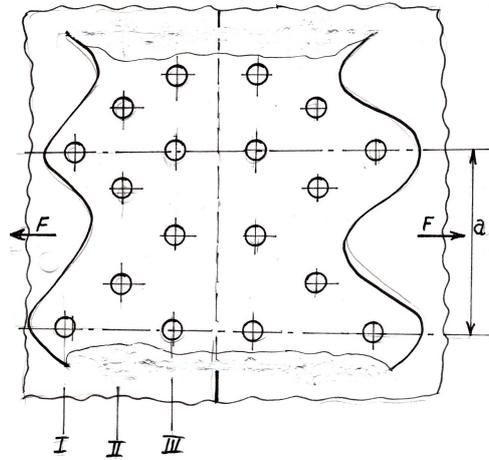


FIGURE 11 – Rivure à double couvre-joint à trois rangées de rivets, la première étant incomplète

La section dangereuse sera la section I si

$$\frac{1}{a-d} \geq \frac{4}{5(a-2d)}$$

soit si

$$5a - 10d \geq 4a - ad$$

ce qui donne

$$a \geq 6d$$

ce qui est généralement le cas. On a alors

$$\rho = \frac{a-d}{a} = 1 - \frac{d}{a}$$

Posant, par exemple, $a = 7d$, on obtient un coefficient d'utilisation

$$\rho = \frac{6}{7} = 0,86$$

Remarque On notera que si la première rangée avait été *complète*, on aurait eu en tout 6 rivets, ce qui aurait mené au tableau suivant :

Section	effort	section nette	contrainte nominale
I	F	$(a-2d)t$	$\frac{F}{(a-2d)t}$
II	$\frac{4}{6}F$	$(a-2d)t$	$\frac{4}{6} \frac{F}{(a-2d)t}$
III	$\frac{2}{6}F$	$(a-2d)t$	$\frac{2}{6} \frac{F}{(a-2d)t}$

La contrainte dans la rangée I aurait alors été égale à 1,5 fois celle de la rangée II. C'est ce qui justifie la première rangée incomplète.

Revenant au cas de la rivure à première rangée incomplète, le couvre-joint peut être découpé en sinusoïde sur son bord, ce qui réduit sa section brute de moitié, mais à cet endroit les couvre-joints ne reprennent encore qu'un cinquième de la charge. Cette forme du bord est préférable pour l'efficacité du matage dans le cas de rivures devant assurer l'étanchéité.

3.2.2 Contrainte nominale de la tôle

On définit naturellement la contrainte nominale de la tôle par

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{\rho A} \quad (2)$$

ce qui mène à la sécurité

$$s = \frac{(\sigma_{lim})_{tôle}}{\sigma_{nom}} \quad (3)$$

Pour une sollicitation statique, $\sigma_{lim} = R_e$ et une sécurité normale sera de l'ordre de 1,25 à 1,5.

3.2.3 Pince longitudinale et pince transversale

D'autre part, il convient de ménager une *pince longitudinale* e suffisante pour éviter la déchirure du métal (fig. 12). Des accidents se sont produits du fait de

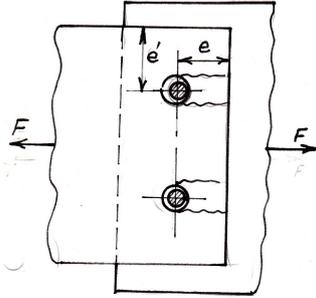


FIGURE 12 – Pince longitudinale e et pince transversale e'

la négligence de cette condition [1], qui ne doit donc pas être perdue de vue. Ce type de ruine se faisant par cisaillement technologique, on utilise la contrainte nominale

$$\tau = \frac{F}{2zet} \quad (4)$$

où z est le nombre de rivets correspondant à la charge F . En admettant une limite de cisaillement technologique $\tau_{lim} = 0,8Re$, et une sécurité de 1,25, on obtient la condition

$$e \geq 0,78 \frac{F}{tRe}$$

que les règles CM66 arrondissent à

$$e \geq 0,8 \frac{F}{tRe}$$

En outre, les mêmes règles fixent une second condition :

$$e \geq 1,5d$$

ce qui donne finalement

$$e \geq \max \left(1,5d \quad , \quad 0,8 \frac{F}{tRe} \right) \quad (5)$$

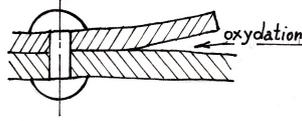


FIGURE 13 – Bâillement d'une tôle rivée trop près de son bord et oxydation consécutive.

Cependant, il ne faut pas exagérer la pince longitudinale, pour éviter l'oxydation par bâillement (fig.13). De bonnes valeurs sont

$$e \leq \begin{cases} 4d & \text{(pièce pincée entre deux autres)} \\ 2,5d & \text{(autres cas)} \end{cases} \quad (6)$$

Pour la pince transversale e' , prendre

$$e' \approx \frac{e}{2} \quad (7)$$

4 Vérification des rivets

On utilise généralement des rivets légèrement plus doux que les matériaux à assembler. Le principe est qu'une ruine de la rivure est moins grave qu'une ruine des pièces assemblées.

4.1 Calcul à l'adhérence

Lorsque les rivets sont montés à *chaud*, ils se contractent en se refroidissant, ce qui provoque un fort serrage des pièces assemblées. Des essais ont montré que la contrainte dans le rivet dépasse toujours 70% de sa limite élastique et, pour des rivets tendres, avoisine celle-ci [1, 2, 3, 6]. il en résulte que l'assemblage peut reprendre un effort important par frottement des pièces l'une sur l'autre. Si σ est la contrainte dans le rivet, cet effort vaut

$$F = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sigma$$

où μ est le coefficient de frottement. Pour des conditions favorables (tôles d'acier doux nettoyées au chalumeau), on peut compter sur un coefficient de frottement $\mu = 0,45$. Notant alors $\xi = \mu\sigma$, on peut compter sur une valeur

$$\xi_{lim} = 0,7\mu Re(\text{rivet}) \quad (8)$$

Dès lors, si l'on dimensionne la rivure à l'adhérence, la sécurité d'une rivure à z rivets et n surfaces de frottement (fig. 14) soumise à une force F sera donnée par

$$s = \frac{zn \frac{\pi d^2}{4} \xi_{lim}}{F} \quad (9)$$

Comme en cas de glissement, il existe encore une réserve de résistance par cisaillement, la sécurité pourra être très limitée (jusqu'à $s=1$).

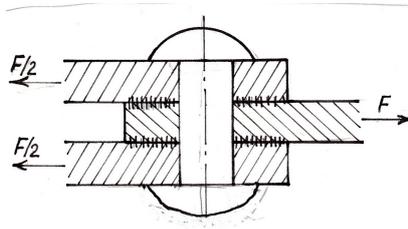


FIGURE 14 – Deux surfaces de frottement

Ce mode de raisonnement s'impose pour les constructions où se posent des problèmes d'étanchéité (chaudronnerie). On considère également qu'il constitue une base raisonnable du calcul à la fatigue, car l'adhérence évite le contact direct entre les tôles et les rivets. Cependant, ce calcul ne s'applique ni aux rivets d'acier de petites dimensions, ni aux rivets non ferreux, qui se posent à froid.

4.2 Calcul au cisaillement et à la pression de contact

Pour des charges dépassant la limite de glissement (et pour les rivets posés à froid, quelle que soit la charge), l'effort passe par le contact entre le rivet et les pièces assemblées. Il importe plus que jamais que le rivet remplisse bien son trou si l'on veut éviter l'arrachement de sa tête (fig. 15)

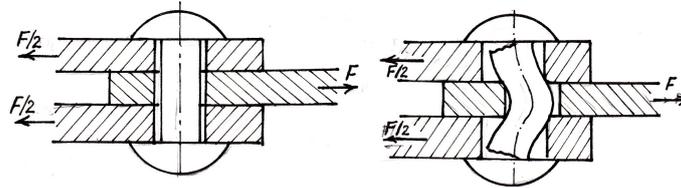


FIGURE 15 – Rivet posé à froid : il faut que le rivet soit bien ajusté au trou, sous peine d'arrachement de sa tête.

1. On vérifie d'abord le rivet au cisaillement technologique

$$\tau = \frac{F}{zn \frac{\pi d^2}{4}} \leq \frac{\tau_{lim}}{s} \quad (10)$$

On admet généralement la limite

$$\tau_{lim} = 0,8\sigma_{lim} \quad (11)$$

2. D'autre part, il faut éviter que la pression de contact entre les pièces assemblées et le rivet ne soient trop importantes. Cette pression, supposée uniformément répartie sur la demi-circonférence du rivet (fig. 16), vaut

$$p = \frac{F_{rivet}}{dt} \quad (12)$$

Cependant, dans les rivures simplement cisillées, la répartition des pressions est très inégale (fig17). Cet effet s'atténue très nettement pour des

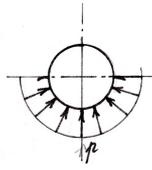


FIGURE 16 – Pression de contact

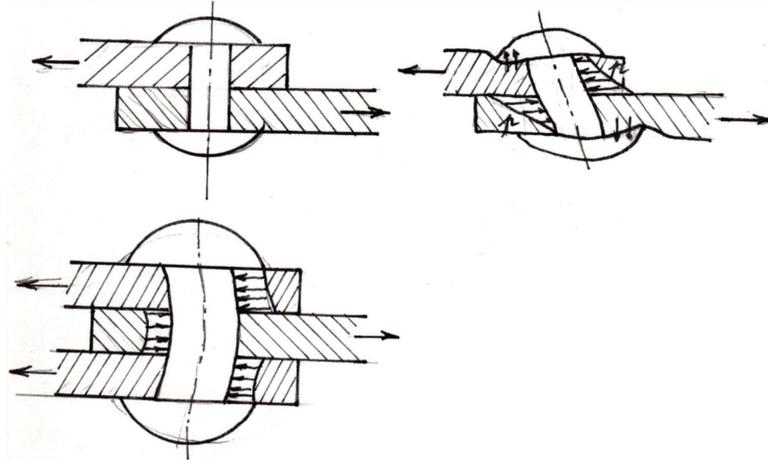


FIGURE 17 – Répartition des pressions de contact

rivures multiplesment cisillées. On définit donc un *coefficient β_r de répartition des pressions* :

$$\begin{aligned} \beta_r &= 1,11 \quad (\text{rivure simplement cisillée}) \\ &= 1 \quad (\text{rivure multiplesment cisillée}) \end{aligned} \quad (13)$$

La condition à vérifier est alors

$$\beta_r p \leq \frac{p_{lim}}{s} \quad (14)$$

D'une manière assez générale, la limite de pression est

$$p_{lim} = 2\sigma_{lim} \quad (15)$$

Si l'on dimensionne à la limite élastique, cette valeur de p_{lim} met à l'abri de déformations plastiques appréciables. S'il s'agit, par exemple, de river un support de pièce mécanique, il faudra obtenir une sécurité normale. Mais dans les assemblages du génie civil, qui ne demandent pas un dimensionnement précis, on peut descendre jusqu'à 0,6 fois la sécurité habituelle.

Dans les assemblages courants, la condition sur la pression diamétrale ne joue que rarement un rôle. Considérons par exemple un assemblage à double couvre-joint, figure 18. La pression ne sera dimensionnante que si

$$2p_{lim}dt_{min} \leq 2\frac{\pi d^2}{4}\tau_{lim}$$

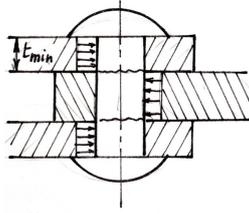


FIGURE 18 – Comparaison entre la pression de contact et la résistance au cisaillement

soit

$$\frac{d}{t_{lim}} \geq \frac{4 p_{lim}}{\pi \tau_{lim}} = \frac{4}{\pi} \frac{2Re}{0,8Re} \approx 3$$

Or, on n'utilise jamais d'aussi gros rivets, car ils pourraient reprendre la charge tout en étant très distants les uns des autres. Les tôles auraient alors la possibilité de bâiller (fig 19) ce qui est préjudiciable à l'étanchéité, à la tenue à la corrosion

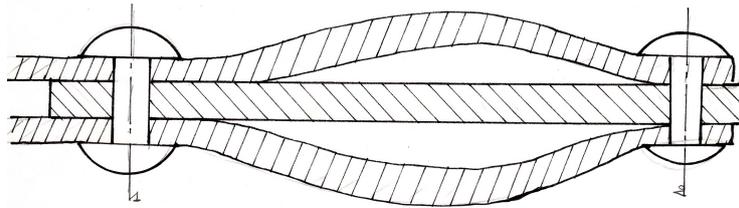


FIGURE 19 – Bâillement de pièces liées par des rivets trop écartés

et même à la répartition des efforts. Pour fixer les idées, voici des formules empiriques en usage en Allemagne [5] :

$$\frac{d}{mm} \approx \sqrt{50 \frac{t_{min}}{mm}} - 2 \quad (\text{acier}) \quad (16)$$

$$d \approx 2t_{min} \quad (\text{alliages légers}) \quad (17)$$

5 Rivets sollicités en traction

La traction est une sollicitation dangereuse pour les rivets. En l'absence de précautions spéciales, une traction excentrée risque d'arracher les têtes (fig20).

Il faut donc raidir à l'aide de voiles les pièces portant les rivets. Dans ces conditions, le rivet peut reprendre par extension une charge égale à sa limite élastique. Si le rivet est posé à froid, c'est évident. Si le rivet est posé à chaud, il se comporte comme un boulon précontraint, et la plus grande partie de la charge est en fait reprise par détente des tôles. On a donc

$$\sigma_{lim} = Re, \quad \tau_{lim} = 0,8Re$$

et la formule classique

$$\frac{1}{s^2} = \frac{\sigma^2}{\sigma_{lim}^2} + \frac{\tau^2}{\tau_{lim}^2}$$

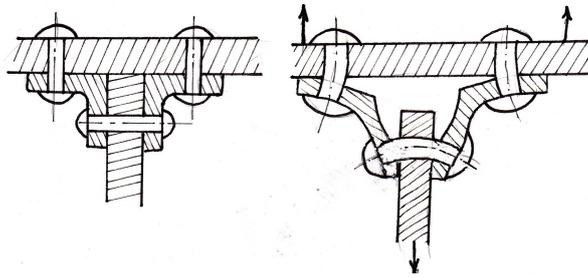


FIGURE 20 – Rivets en traction, avec cornières : risque d'arrachement des têtes de rivets

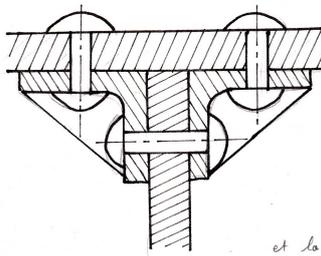


FIGURE 21 – On améliore sensiblement les choses en raidissant les cornières par des voiles

est d'application avec les limites ci-dessus [1, 3].

Références

- [1] *Règles de calcul des constructions en acier (règles CM66)* – Paris, 1979.
- [2] C. MASSONNET – *Résistance des matériaux*, second éd., Sciences et Lettres, Liège, 1967.
- [3] —, *Éléments de statique des constructions*, vol. 2. Constructions métalliques, AEES, Liège, 1970.
- [4] G. NIEMANN – *Maschinenelemente*, 2. éd., Springer, Berlin, 1975.
- [5] H. ROLOFF et W. MATEK – *Maschinenelemente*, 7. éd., Vieweg, Braunschweig, 1976.
- [6] W. WILSON et W. OLIVIER – « Tension tests of rivets », *Univ. Illinois Eng. Exp. Sta. Bull* **210**.