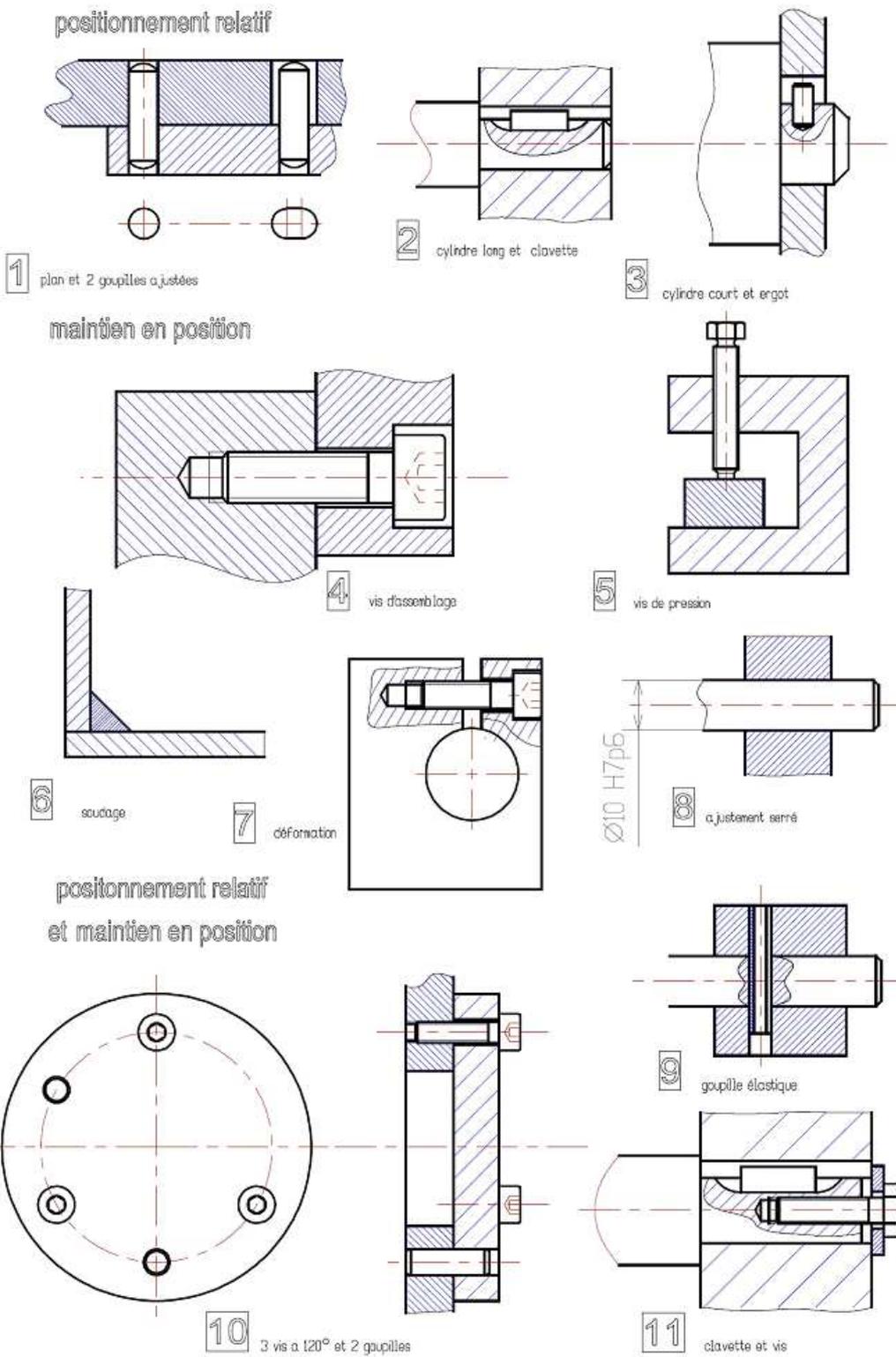


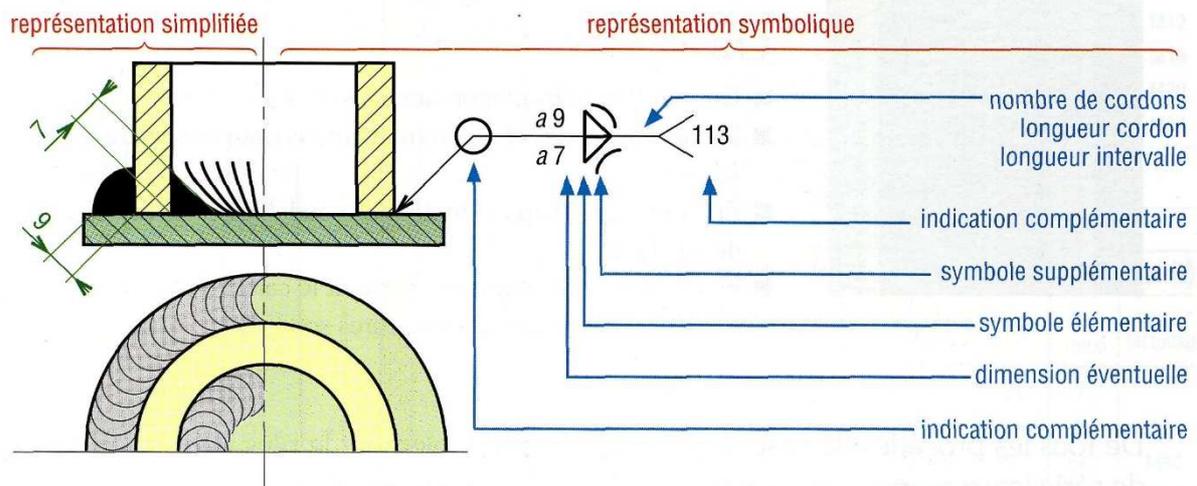
II.1 Solutions pour la réalisation des liaisons :



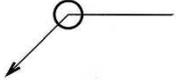
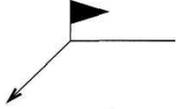
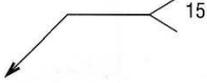
II.2 liaison complète par soudage :

Domaine d'application :

- Pièces simples en série
- Pièces complexe à l'unité
- Prototypes

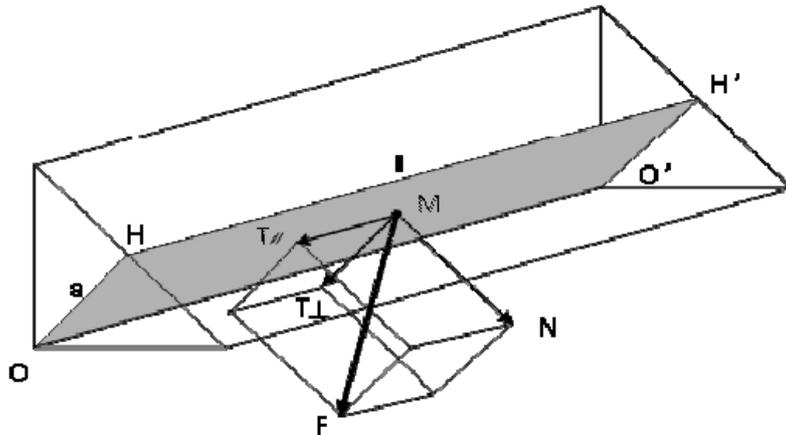


Soudure en demi-U (ou en J)		
Reprise à l'envers		
Soudure d'angle		
Soudure en bouchon (ou en entaille)		
Soudure par points		
Soudure en ligne continue avec recouvrement		

Indications complémentaires			
Signification	soudure périphérique	soudure faite au chantier	procédé de soudage

Principaux procédés de soudage NF EN 4063, ISO 4063 (« 1998 ») – Détails NF EN 14610	
1 – Électrique à l'arc	4 – Par pression
101 – Avec électrode fusible 11 – Électrode fusible sans protection gazeuse 111 – Électrodes enrobées 114 – Avec fil fourré protecteur 12 – Sous flux solide 13 – Protection gazeuse et électrode fusible 131 – Protection gazeuse MIG 135 – Protection gazeuse MAG 136 – MAG avec fil fourré 137 – MIG avec fil fourré 14 – Protection gazeuse et électrode réfractaire 141 – TIG 142 – TAG 15 – Soudage au plasma 151 – Plasma-MIG 152 – Plasma avec poudre	41 – Par ultrasons 42 – Par friction 43 – Par forgeage 44 – Par haute énergie mécanique 441 – Par explosion 45 – Par diffusion 47 – Aux gaz par pression 48 – À froid avec pression
	5 – Par faisceau
	51 – Par faisceau d'électrons 511 – Sous vide 512 – Atmosphère 52 – Par laser 521 – Avec laser solide 522 – Avec laser à gaz
2 – Par résistance	7 – Procédés divers
21 – Par points 22 – À la molette 23 – Par bossages 24 – Par étincelage 25 – En bout par résistance pure 29 – Autre procédés 291 – Soudage par résistance HF	71 – Aluminothermique 72 – Sous laitier 73 – Électrogaz 74 – Par induction 75 – Par rayonnement lumineux 753 – Par infrarouge 77 – Avec percussion 78 – Soudage des goujons
3 – Aux gaz	9 – Brasage
31 – Soudage oxygaz 311 – Oxyacétylène 312 – Oxypropane 313 – Oxydrique 32 – Soudage aérogaz (ancienne norme)	91 – Brasage fort 94 – Brasage tendre 97 – Soudobrasage 971 – Soudobrasage aux gaz 972 – Soudobrasage à l'arc

Calculs de résistance d'un cordon de soudure d'angle avec sollicitation orientée :



On considère que l'effort F exercé par les pièces assemblées est réduit au centre du cordon modélisé par un prisme de section triangulaire. La sollicitation est alors maximale dans le plan OHH'O' et on fait une hypothèse de répartition uniforme de contrainte dans la surface $l \cdot a$

L'équilibre statique donne : $\vec{F} = \vec{N} + \vec{T}_{//} + \vec{T}_{\perp}$

$$\sigma = \frac{N}{l \cdot a} ; \quad \tau_{//} = \frac{T_{//}}{l \cdot a} ; \quad \tau_{\perp} = \frac{T_{\perp}}{l \cdot a}$$

Normes de calcul des soudures

Les normes reprennent la démarche utilisée précédemment. Le critère général est

$$k \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \sigma_e$$

$$\sigma_{\perp} \leq \sigma_e$$

- $k = 1/\alpha$ est le coefficient de sécurité ; α est un coefficient de qualité

avec, quelle que soit l'épaisseur du produit,

$k = 0,7$ pour les nuances E 24, E 24W, TS E 24, TU E 24,

$k = 0,8$ pour les nuances E 26, TS E 26, TU E 26,

$k = 0,85$ pour les nuances E 30, E 375 D, E 335 D, TS E 30, TU E 30, TS E 30B,

$k = 1,0$ pour les nuances E 36, E 36W, E 355, E 355 D, E 375, E 390 D, E 420, E 430 D, E 445 D, E 460, E 490 D.

Dans le cas où l'assemblage est constitué d'aciers de nuances différentes, la limite d'élasticité à retenir pour l'application de la formule est celle de la nuance la plus faible.

Dans les normes récentes, citons

Eurocode 3 (1993)

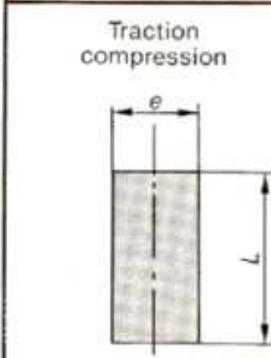
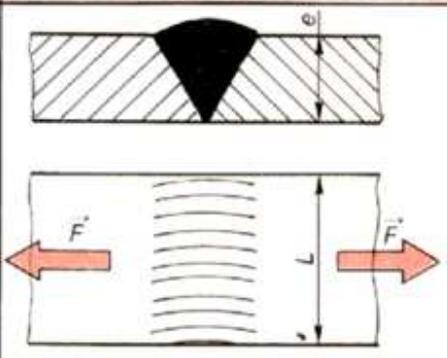
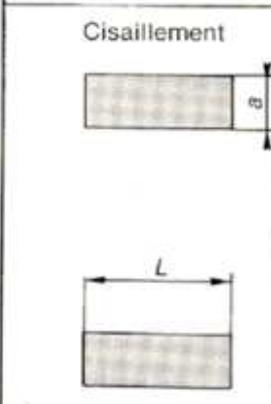
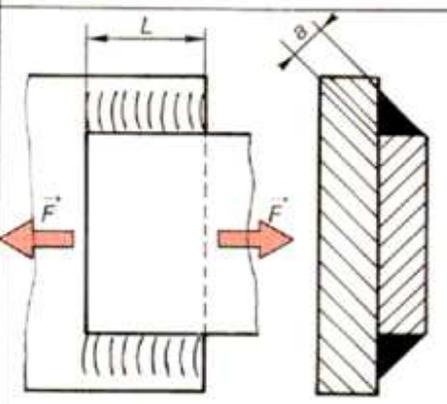
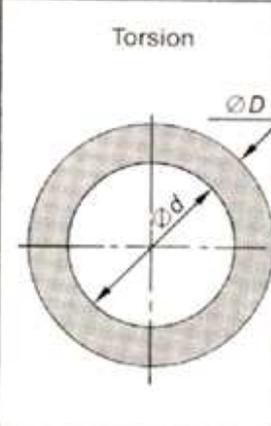
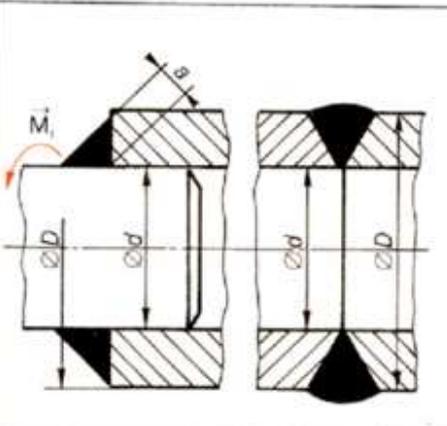
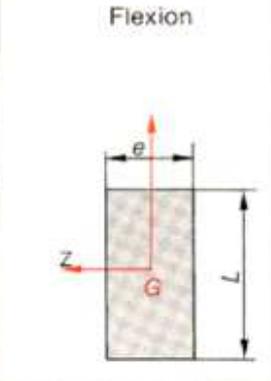
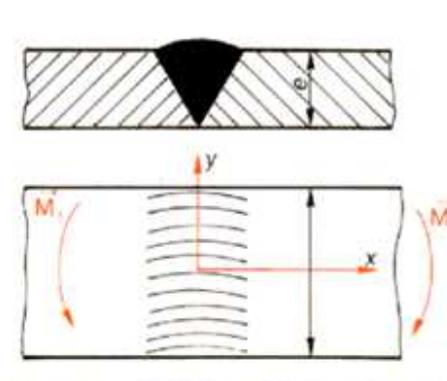
$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_w \times \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{et } \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right.$$

avec

- β_w : facteur de corrélation allant de 0,7 à 1,8 ;
- f_u : résistance ultime de l'acier R_m ;
- γ_{M2} : coefficient partiel de sécurité de résistance à la rupture des sections transversales en traction, valant 1,25 [EN 1993-1-1:2005]

Coefficients selon la nuance d'acier			
Nuance	f_u (R_m) (MPa)	β_w	γ_{M2}
S235 (E24)	360	0,8	1,25
S275 (E28)	430	0,85	1,30
S355 (E36)	510	0,9	1,35

Calcul pour les sollicitations simples :

Sollicitation	Exemple	Calcul de la contrainte
<p>Traction compression</p> 		$\sigma = \frac{F}{e.L}$ <p>σ = contrainte en N/mm², F = force appliquée en N, e = hauteur du cordon en mm, L = longueur du cordon en mm.</p>
<p>Cisaillement</p> 		$\tau = \frac{F}{a.L}$ <p>τ = contrainte en N/mm², F = force appliquée en N, a = épaisseur du cordon en mm, L = longueur du cordon en mm.</p>
<p>Torsion</p> 		$\tau = \frac{M_t}{W_t}$ <p>τ = contrainte en N/mm², M_t = moment de torsion en mm.N, W_t = module de torsion en mm³.</p> $W_t = \frac{I_o}{\nu} \quad I_o = \frac{\pi\pi}{32} (D^4 - d^4) \quad \nu = D/2$
<p>Flexion</p> 		$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}$ <p>σ_x = contrainte en N/mm², M_x = moment de la flexion en mm.N, W_x = module de flexion en mm³.</p> $W_x = \frac{I_{o_x}}{\nu} \quad I_{o_x} = \frac{e.L^3}{12} \quad \nu = \frac{L}{2}$

II.3 liaison complète par rivets :

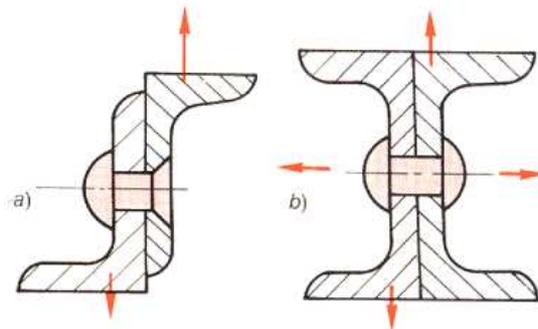
Le diamètre d'un rivet dépend de l'épaisseur e de la tôle la plus épaisse à assemblée. Il est donné par l'expression suivante :

$$d = \frac{45.e}{15+e}$$

Montage :

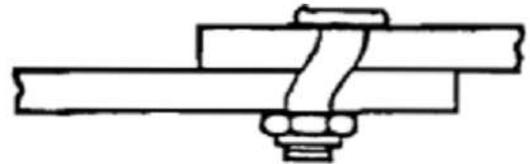
Posés à froid : ils travaillent au cisaillement (a)

Posés à chaud : ils travaillent au cisaillement et traction (b)



Rupture en cisaillement du rivet :

$$\tau = \frac{F}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq \frac{\tau_{lim}}{k}$$



N : nombre de rivets

K : coefficient de sécurité

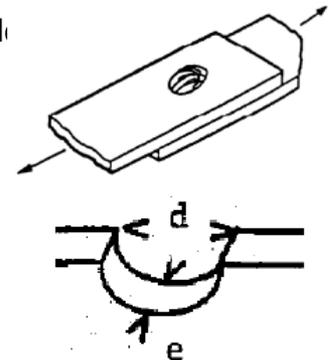
$$\tau_{lim} = 0,8R_m$$

Matage de la tôle

Critère de résistance : Pression de matage < Pression admissible

$$\frac{F}{d.e} \leq \sigma_{mat_adm}$$

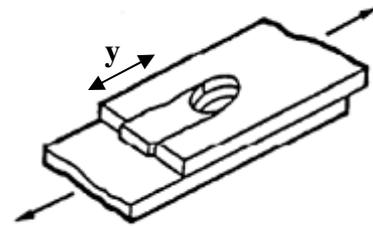
En l'absence de σ_{mat_adm} on peut utiliser $\sigma_{mat_adm} = 1,5R_m$



Résistance en traction de la tôle :

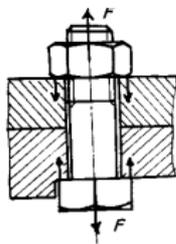
$$\frac{F}{2 \cdot y \cdot e} \leq \tau_{adm_tôle} = 0,6 R_{m_tôle}$$

y: distance au bord

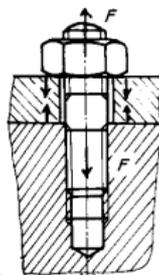


II.4 liaison complète démontable par éléments filetés :

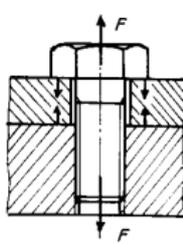
Réalisé soit par :



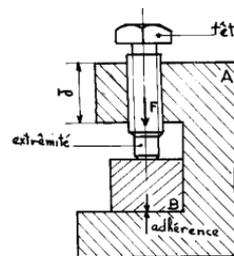
Des boulons



Des goujons



Des vis



Des vis de pression

Ces éléments comprennent :

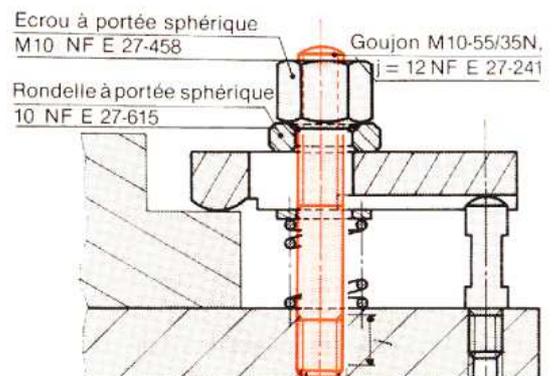
- une extrémité fileté pénétrant dans la pièce support (vis ou goujon) ou dans un écrou (boulon) sans atteindre la fin du filetage,
- une partie cylindrique (qui peut être aussi fileté) formant le corps passant, avec jeu diamétral, au travers de la pièce à lier,
- une tête (vis, boulons) ou écrou (goujon) permettant la manœuvre (serrage) sous laquelle il est indispensable de placer une rondelle (répartition d'efforts ou freinage).

Montage par goujon : Bride d'ablocage

Fileté aux deux extrémités : implantation *j* et montage de l'écrou. Le goujon doit être monté forcé dans le support.

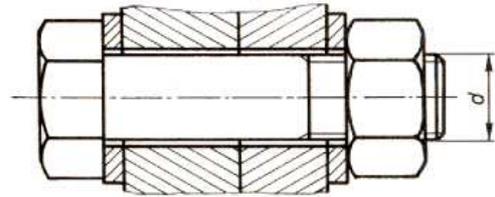
Désignation d'un goujon :

- le terme goujon
- le symbole du filetage
- le diamètre nominal *d* du filetage
- la longueur libre *l* de la tige
- la longueur fileté *x*
- le symbole de finition du goujon
- la longueur d'implantation
- la référence à la norme NF E 27-241

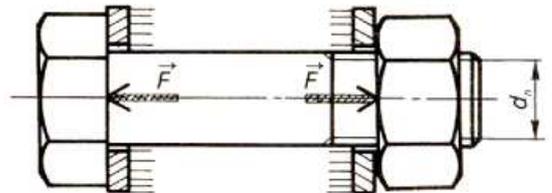


II.2.2 Calcul des vis et des boulons :

Soit un montage de serrage par boulons (Fig.). Par l'intermédiaire des rondelles, vis et écrou sont en contact avec les pièces à serrer. A partir de cette position, on agit sur l'écrou à l'aide d'une clé, et l'effort F à fournir à l'extrémité de celle-ci va en augmentant jusqu'à la phase finale de serrage désiré.



Ensemble vis, écrou, rondelles isolé
 Les forces appliquées sont les actions de contact des pièces serrées, sur la tête de la vis et sur l'écrou (par l'intermédiaire des rondelles), parallèles à l'axe de la vis. Leurs résultantes, de valeur commune F , font apparaître :
 — Une sollicitation d'extension dans la tige de la vis, de contrainte σ : en daN/mm²



$$\sigma = \frac{F}{S_n} \leq R_p$$

$$R_p = \frac{R_e}{s} = \text{résistance pratique de la vis à l'extension}$$

— Une sollicitation de cisaillement au droit de l'encastrement des filets de la vis sur le cylindre du noyau de contrainte :

$$\tau = \frac{F}{\pi d_n \cdot p_h \cdot n} \leq R_{p_g}$$

Condition de no
 arrachement de:
 filets (daN/mm²)

F : effort de traction axial
 S_n : section du noyau vis
 σ : contr. de traction vis
 k : coef. concentr. contr.
 R_e : limite élastique vis
 s : coef. sécurité (2 à 5)
 τ : contr. de cisaillement
 d_n : diamètre noyau vis
 p_h : pas de l'hélicoïde

n : nombre de filets
 R_g : contrainte cisail.
 p : pression sur vis/écrou
 d_s : élément de surface
 f : coef. frottement/filets
 p : distance de d_s à l'axe
 r_{m1} : r moyen de contact
 r_{m2} : r moyen des filets
 α : angle de l'hélice vis

Couple de serrage :

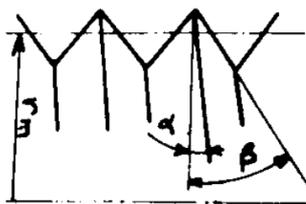
Le préserrage présente les avantages suivants :

- il empêche le boulon de se desserrer;
- il empêche les membrures de se séparer;
- il diminue la charge de fatigue.

Le couple de serrage est souvent exprimé par la somme du couple C_1 dû aux efforts de frottement entre les filets et C_2 dû aux efforts de frottement entre les pièces assemblées.

On peut donc écrire :

$$C_S = C_1 + C_2$$



β : demi-angle de sommet des filets,
 α : angle d'inclinaison de l'hélice,
 r_m : rayon moyen du filetage.

Spécification pour un filet métrique

$$C_1 = Fr_m \tan(\alpha + \varphi_1)$$

Où φ_1 est l'angle de frottement entre filets, donné par: $\tan \varphi_1 = \mu_1 / \cos \beta = \mu'_1$.

Puisque α et φ_1 sont des petits angles, on peut écrire: $\tan(\alpha + \varphi_1) = \alpha + \varphi_1$.

On a aussi: $\tan \alpha = \alpha = P/\pi d$ et $r_m = d/2$.

D'où:

$$C_1 = F\left(\frac{P}{2\pi} + \frac{d}{2}\mu'_1\right)$$

Le couple C_2 peut être exprimé par la relation:

$$C_2 = FR_m \tan \varphi_2$$

Où φ_2 est l'angle de frottement, $\tan \varphi_2 = \mu_2$.

D'où:

$$C_2 = FR_m \mu_2$$

R_m est le rayon moyen de la surface de frottement. La valeur de ce paramètre d'un cas à un autre. La figure 2.17 présente les cas de montage possibles avec la valeur de R_m .

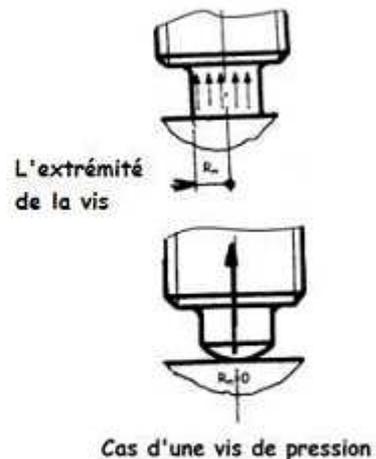
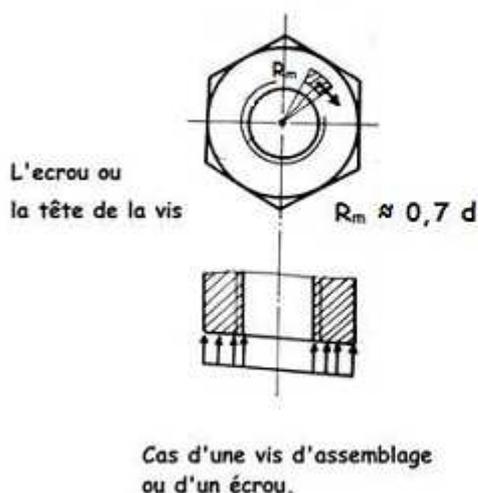


Figure 2.17: Rayon moyen de frottement dans les assemblages filetés.

$$C_s = F\left(\frac{P}{2\pi} + \frac{d}{2}\mu'_1 + R_m\mu_2\right)$$

On trouve ainsi que cette expression est la somme de trois couples:

- $F\frac{P}{2\pi}$: couple nécessaire pour la mise en tension de l'élément de serrage utilisé,
- $F\frac{d}{2}\mu'_1$: couple nécessaire pour vaincre les frottements entre les filets,
- $FR_m\mu_2$: couple nécessaire les frottements entre l'éléments de serrage et les pièces à assemblées.