

Chapitre 4

Assemblage par éléments filetés

Chapitre 4: Assemblage par éléments filetés

Les éléments filetés comptent parmi les organes les plus utilisés en construction des machines. Un filetage est obtenu par l'exécution d'une ou plusieurs rainures hélicoïdales sur la partie externe ou interne d'une pièce cylindrique. La partie pleine (saillie) restante entre deux rainures constitue un filet. Un système vis-écrou permet:

- d'assembler d'une manière démontable deux ou plusieurs pièces (fixation de la roue d'une voiture par exemple),
- de transmettre un mouvement (vis d'étau de serrage par exemple).

1. Généralités

L'utilisation des filetages consiste à assembler deux pièces à l'aide d'une saillie hélicoïdale. L'une des pièces à assembler est une tige cylindrique dont la surface latérale porte une saillie hélicoïdale. Cette pièce est dite vis. L'autre pièce présente un trou dont la surface latérale est ménagée d'une forme complémentaire à la saillie hélicoïdale de la tige. Cette pièce est dite écrou (fig 2.1).

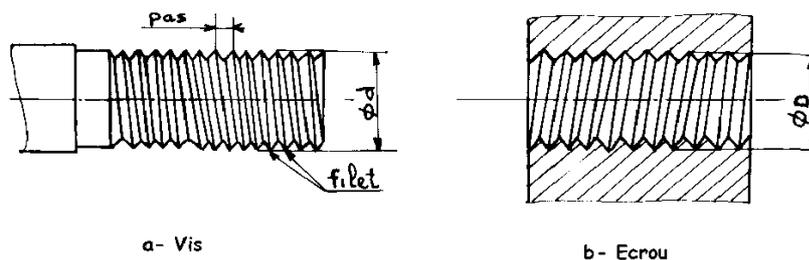


Figure 2.1: Présentation des pièces filetées.

L'assemblage s'effectue en faisant tourner la tige dans le trou, de telle manière que le mouvement de rotation engendre un mouvement de translation. Cette combinaison appelée mouvement hélicoïdal fait coïncider les filets des deux pièces.

1.1. Rappels sur l'hélice

L'hélice est une ligne tracée sur un cylindre dont la tangente en chacun de ces points fasse un angle constant α avec le plan perpendiculaire sur l'axe du cylindre (figure 2.2).

- Le pas de l'hélice est la longueur entre deux points consécutifs de l'hélice sur la même génératrice du cylindre sur lequel elle est tracée.
- L'angle α de l'hélice est tel que:

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi d} \tag{2.1}$$

Où α est l'angle d'inclinaison de l'hélice, P est le pas et d est le diamètre nominal du filetage.

- Si un point parcourant l'hélice monte à droite sur la partie vue de la courbe, l'hélice est dite à droite, sinon elle dite à gauche. Cette dernière est utilisée pour des cas particuliers. Elle est désignée par une saignée sur les arêtes de l'écrou.

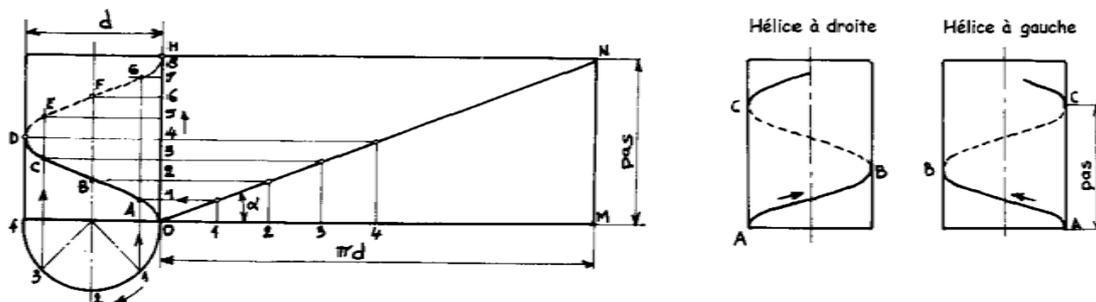


Figure 2.2: Hélice définissant le filetage.

1.2. Différents profils des filets

Les différentes formes des surfaces hélicoïdales constituant les filets sont normalisées. Pour chacune de ces normes, on associe une désignation différente. La figure 2.3 présente les importants profils.

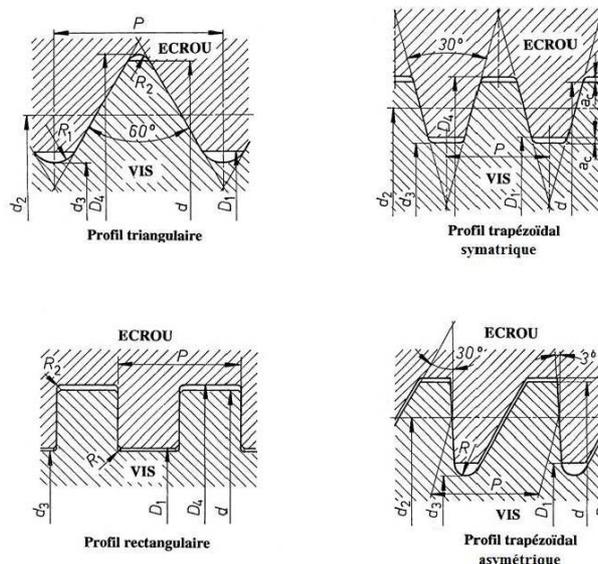


Figure 2.3: Importants profils de filetage.

On trouve ainsi que le profil métrique (triangulaire) est le plus couramment utilisé en pas normaux ou pas fins.

Il existe d'autres profils spéciaux tel que: le profil trapézoïdal symétrique utilisé pour la transmission des efforts importants, le profil trapézoïdal asymétrique destiné à supporter des poussées uni axiales, ou le profil rond utilisé pour supporter de grands efforts de traction. La forme arrondie des filets diminue considérablement le risque de cisaillement. Rappelant que le coût de ces profils est plus ou moins élevé par rapport au coût du profil métrique.

2. Organes de liaison filetés

La liaison de deux pièces ne peut être toujours possible pour des raisons d'encombrement, de fabrication ou de montage. Il est parfois obligatoire d'utiliser des organes filetés et leurs accessoires. Selon le mode d'emploi, ces organes sont classifiés dans les catégories suivantes:

2.1. Les vis

Une vis est composée d'une tige filetée sur une certaine longueur menée d'une tête de section plus grande dont le rôle est double; le vissage et le blocage. Selon le mode d'action, on trouve deux types de vis:

- Vis d'assemblage où la pression est exercée par la tête de la vis,
- Vis de pression où la pression exercée par l'extrémité.

a. Vis d'assemblage

Il sont utilisés pour réunir plusieurs pièces les unes sur les autres par pression mutuelle. En effet, la tige d'une vis doit passer librement dans les premières pièces à assembler et se visse uniquement dans la dernière (Fig 2.4).

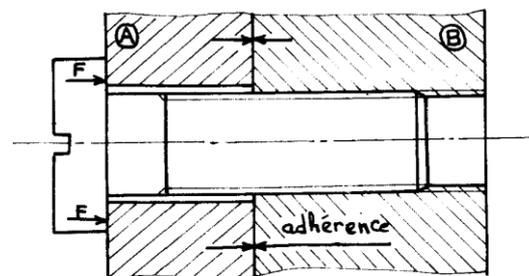
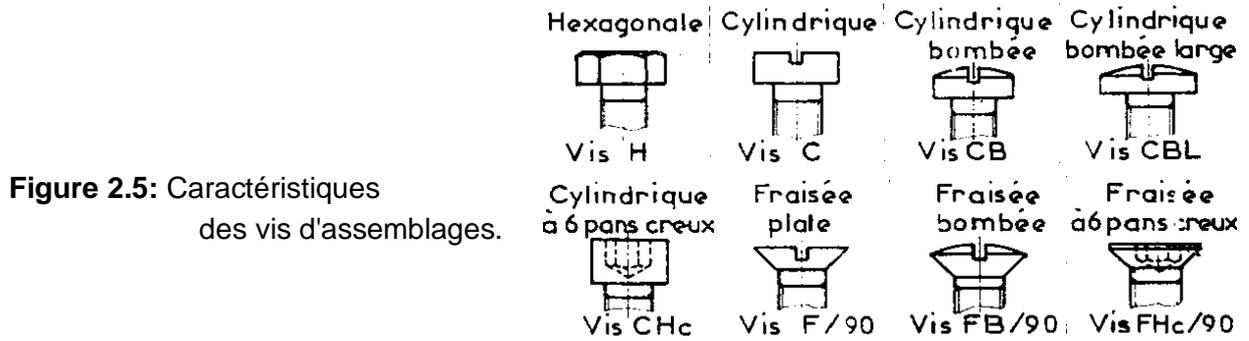


Figure 2.4: Emploi des vis d'assemblage.

Selon la forme de la tête, qui a un double rôle; la constitution d'une surface d'appui et la permission de manipulation (blocage) de la vis, on trouve plusieurs modèles (fig 2.5).



La figure 2.6 présente, à travers un exemple simple, les conditions fonctionnelles nécessaires pour l'emploi d'une vis d'assemblage.

Md: diamètre nominal de la vis,
 L: longueur nominale de la vis,
 X: longueur filetée de la vis,
 ϕ : diamètre de la tête de la vis,
 H: épaisseur de la pièce A,
 T: diamètre du trou de passage de la vis,
 M: longueur taraudée de la pièce B,
 N: longueur percée de la pièce B

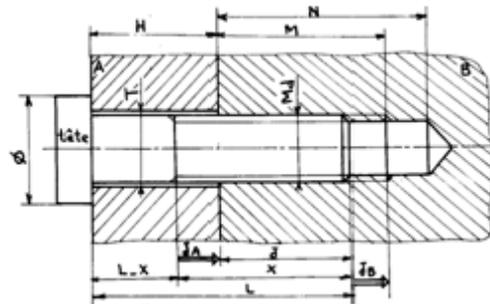


Figure 2.6: Conditions fonctionnelles d'emploi des vis d'assemblage.

Afin d'assurer la stabilité d'assemblage et d'éviter les montages impossible, deux conditions doivent être respectées:

- L'implantation J doit vérifier la condition; $J \geq d$, pour les métaux durs et $J \geq d$, pour les métaux tendres,
- Les jeux J_A et J_B doivent être positifs.

b. Vis de pression

Les vis de pression se diffèrent de celles d'assemblage par leurs longueurs totalement filetées et leurs extrémités. Elles sont utilisées dans les montages demandant peu de précision et un effort sur l'extrémité (fig 2.7).

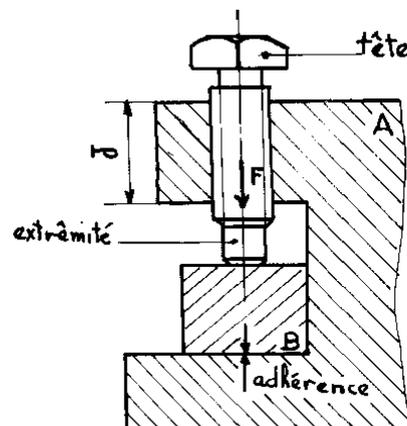


Figure 2.7: Emploi des vis de pression.

La tête d'une vis de pression ne doit pas servir en blocage. Par conséquent, ses dimensions sont réduites. Pour une utilisation correcte de ce type de vis, l'implantation J doit vérifier la condition; $J \geq d$, pour les métaux durs et $J \geq 1,5d$, pour les métaux tendres.

En plus à la forme de la tête, les vis de pressions sont caractérisées par la forme de l'extrémité. La figure 2.8 présente les formes de tête et d'extrémité rencontrées en construction mécanique.

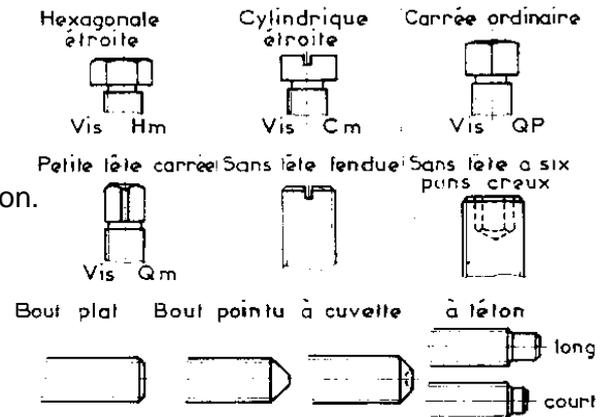


Figure 2.8: Caractéristiques des vis de pression.

Les vis d'assemblage peuvent être servir de vis d'arrêt ou de guidage. Ces applications sont surtout valables pour les petits mécanismes, faiblement sollicités.

2.2. Les écrous

Un écrou est une pièce taraudée menée d'un dispositif de manœuvre pour en permettre le serrage et le desserrage. Cet organe est un complément indispensable à une vis pour réaliser un assemblage par boulon.

Selon le type du dispositif de manœuvre, on trouve les écrous manœuvrés à la clé ou à la main. En effet, un écrou doit satisfaire deux fonctions:

- avoir une surface d'appui normale à l'axe du trou taraudé,
- avoir une forme qui permet sa manœuvre.

La figure 2.9 présente les écrous les plus utilisés en construction.

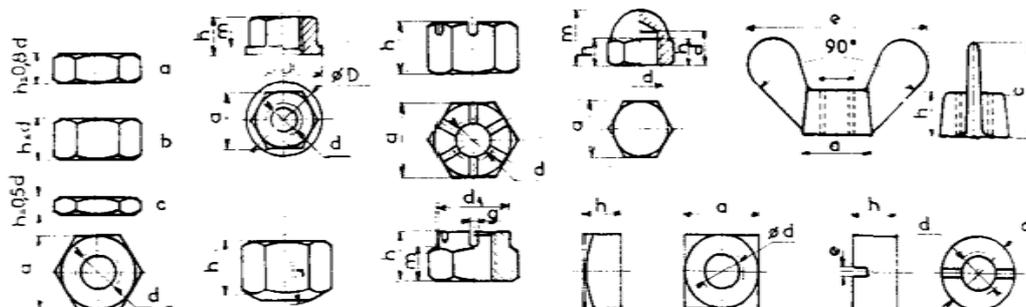


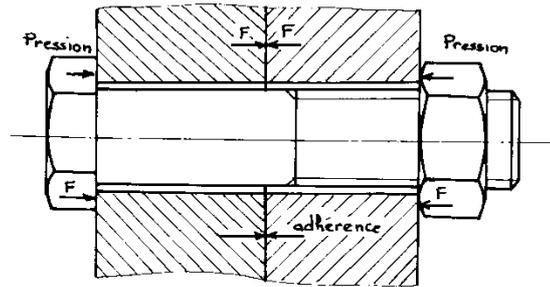
Figure 2.9: Caractéristiques des écrous.

Désignation: Toute comme les vis, les écrous désignés par le mot Ecrou suivi du symbole puis désignation du filetage.

2.3. Les boulons

Un boulon est composé d'une vis et d'un écrou (Fig 2.10). L'hors d'emploi, on peut utiliser tout types de vis avec un écrou *H*. Les pièces assemblées sont simplement percées de trous lisses. On obtient ainsi un assemblage économique de plusieurs pièces par pression.

Figure 2.10: Assemblage par boulon.



Dans les cas de serrage fort, la tête de la vis doit être immobilisée. L'immobilisation s'effectue parfois à l'aide d'un ergot rapporté ou venu directement par la forme de la tête.

La figure 2.11 présente les techniques les plus fréquemment utilisées en construction mécanique.

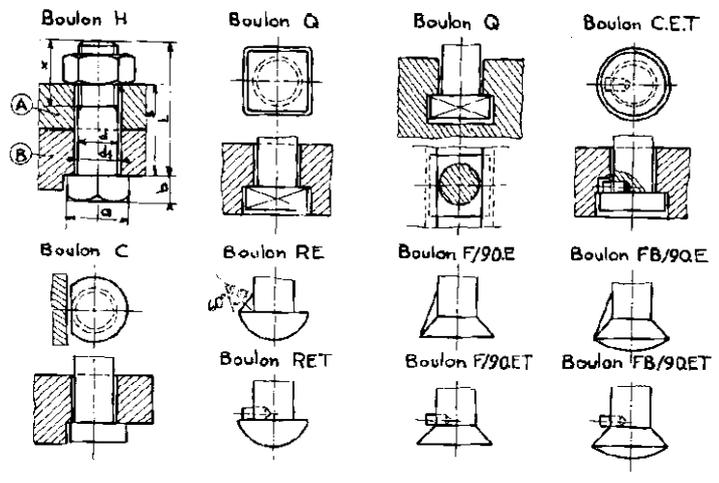
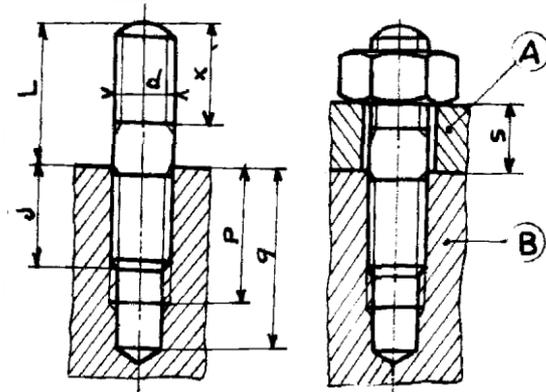


Figure 2.11: Blocage des boulons.

2.4. Les goujons

Un goujon est tige filetée sur deux extrémités. Les deux filetages doivent être séparés par une partie lisse. Afin d'assembler deux pièces à l'aide de cet organe, on doit implanter l'une des extrémités dans la première pièce et passer le reste librement dans la deuxième. Le blocage est effectué à l'aide d'un écrou (Fig 2.12).

Figure 2.12: Assemblage par goujon.



Les goujons remplacent les boulons lorsque l'une des pièces à assembler est peu résistante ou lorsqu'elle est très épaisse.

2.5. Freinage des éléments filetés

La fonction du freinage est de s'opposer au desserrage des vis et des écrous soumis aux chocs, vibrations, différences de températures ... etc.

La réalisation de cette fonction peut être atteinte par adhérence (phénomène de frottement) ou par obstacle. La figure 2.13 présente les différentes techniques rencontrées en construction.

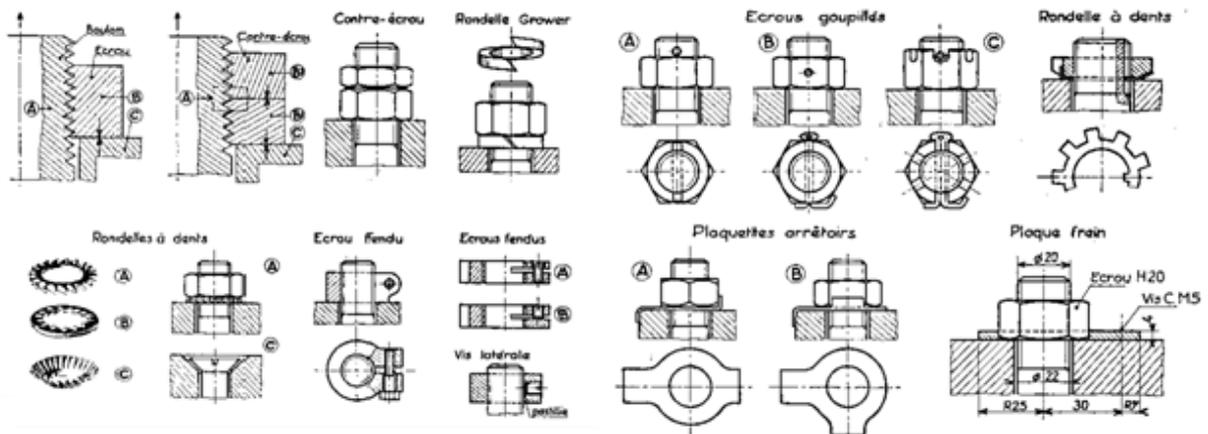


Figure 2.13: Freinage par adhérence.

3. Calcul des éléments filetés

Dans les montages filetés, le serrage est obtenu par le coincement de deux surfaces hélicoïdales. Si on remplace la trajectoire tracée par l'hélice par une ligne droite (projection), on trouve que ce coincement est très similaire à celui de deux surfaces planes inclinées.

Si l'état des surfaces en contact est convenable, la condition de stabilité de l'assemblage est exprimée par:

$$\frac{P}{nd} < 0.05 \quad (2.2)$$

D'où:

$$P < \frac{d}{6.4} \quad (2.3)$$

Cette condition est la plus respectée dans les normes de filetages.

3.1. Dimensionnement des éléments filetés

Considérons un assemblage par visage de deux pièces (Fig 2.14). Le serrage est assuré par la force F . Cette force a une action d'un coté sur la tige de la vis et d'autre coté sur les filets.

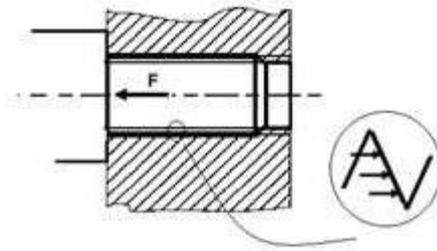


Figure 2.14: Efforts de serrage.

On trouve ainsi que la vis subit deux sollicitations:

- Une sollicitation d'extension dans la tige, de contrainte (daN/mm^2):

$$a = \frac{F}{S} \quad (2.4)$$

Où S est la section du noyau de la tige.

- Une sollicitation de cisaillement de filets, de contrainte (daN/mm^2):

$$v = \frac{F}{NS_f} \quad (2.5)$$

Où N est le nombre de filets en prises et S_f est la section cisailée d'un filet.

Pour que la vis puisse résister, les efforts maximaux d'extension et de cisaillement doivent être inférieurs ou égaux à une valeur pratique. En introduisant un coefficient de sécurité, on peut écrire:

$$a_{Nas} \leq R_e / FS \quad \text{et} \quad v_{Nas} \leq R_{pg} / FS \quad (2.6)$$

Où R_e est la limite élastique et R_{pg} est la résistance à la rupture par glissement.

a. Calcul du diamètre

La section du noyau d'une tige filetée est souvent exprimée par la relation suivante: $S = \frac{nd^2}{k}$

où k est le coefficient de concentration de contraintes, égale à 2.5 pour les filetages.

En remplaçant S dans l'expression de la résistance à l'extension, on trouve que:

$$\frac{F.k}{n.d^2} \leq \frac{R_e}{FS} \quad (2.7)$$

D'après cette condition d'inégalité, on peut déduire le diamètre nominal de la tige filetée, soit:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{F.k.FS}{n.R_e}} \quad (2.8)$$

D'où la valeur minimale du diamètre soit donnée par:

$$d_{Ni} = \sqrt[3]{\frac{F.k.FS}{n.R_e}} \quad (2.9)$$

b. Calcul de l'implantation

Sachant que la section cisailée d'un filet est donnée par: $S_f = n.d.P$, l'expression de la résistance aux cisaillements peut être donnée par:

$$\frac{F}{N.n.d.P} \leq \frac{R_g}{FS} \quad (2.10)$$

D'où

$$N \geq \frac{F.FS}{n.d.P.R_g} \quad (2.11)$$

D'après cette inégalité, le nombre minimal de filets en prise est donné par:

$$N_{Ni} = \frac{F.FS}{n.d.P.R_g} \quad (2.12)$$

Sachant que l'implantation J de la tige filetée est égale au produit du nombre de filets en prise et du pas, sa valeur peut être déduite par l'expression suivante:

$$J_{Ni} = \frac{F.FS}{n.d.R_{pg}} \quad (2.13)$$

Exemple 1:

Vérifier la résistance à l'extension de la tige d'une vis M 12 fabriquée d'un matériau dont $R_e = 240$ MPa et boquée à une force 18000 N. Sachant que cette vis est visée dans un matériau dont $R_{pg} = 40$ MPa, déterminer l'implantation minimale ($FS = 2$).

Résistance à l'extension:

$$a = \frac{F.k}{n.d^2} = \frac{18000.2,5}{n.12^2} = 99,47 \text{ MPa} < \frac{R_e}{FS} = \frac{240}{2} = 120 \text{ MPa}; \text{ la tige de la vis peut alors résister.}$$

Implantation minimale:

$$J_{Ni} = \frac{F.FS}{n.d.R_{pg}} = \frac{18000.2}{n.12.40} = 23,8 \text{ NN}$$

3.2. Serrage et desserrage

L'assemblage à l'aide des éléments filetés nécessite généralement un couple de serrage appliqué sur l'écrou ou la tête de la vis. Le couple résistant est dû aux actions de contact entre les filets, ainsi qu'entre les pièces serrées; sur la tête de la vis et sur l'écrou ou sur l'extrémité de la vis dans le cas d'une vis de pression.

La figure 2.15 présente quelques exemples sur les actions de serrage. C_s représente le couple de serrage et F est la force de blocage entre les pièces assemblées.

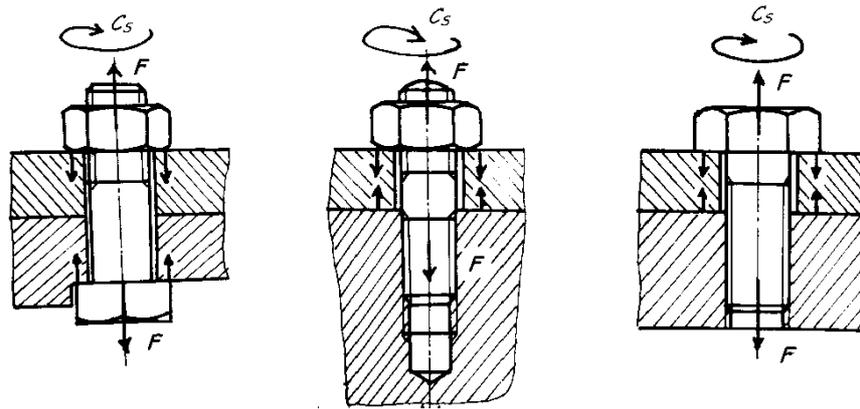


Figure 2.15: Actions de serrage dans les assemblages filetés.

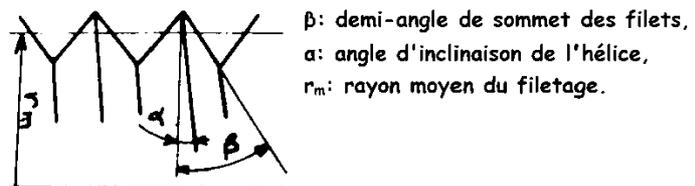
a. Calcul de couple de serrage

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:

$$C_s = C_1 + C_2 \tag{2.14}$$

Figure 2.16: spécification des filets métriques.



A partir des spécifications des filets, présentées dans la figure 2.16, le couple C_1 est exprimé par la relation suivante:

$$C_1 = Fr_N \tan(\alpha + \varphi_1) \tag{2.15}$$

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:

$$C_1 = F \left(\frac{P}{2n} + \frac{d}{2} \mu_1 \right) \quad (2.16)$$

Le couple C_2 peut être exprimé par la relation:

$$C_2 = FR_N \tan \varphi_2 \quad (2.17)$$

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

D'où:

$$C_2 = FR_N \mu_2 \quad (2.18)$$

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 .

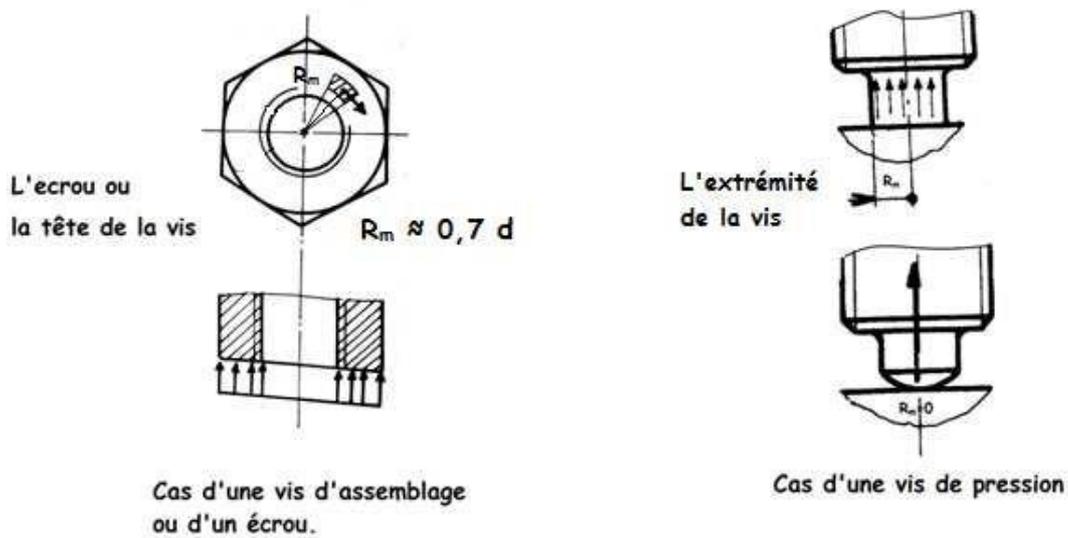


Figure 2.17: Rayon moyen de frottement dans les assemblages filetés.

A partir des relations 2.16 et 2.18, le couple de serrage, dans le cas général, est exprimé par:

$$C_c = F \left(\frac{P}{2n} + \frac{d}{2} \mu_1 + R \mu_2 \right) \quad (2.19)$$

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

- $F \frac{P}{2n}$: 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,

- $FR_N\mu_2$: couple nécessaire les frottements entre l'éléments de serrage et les pièces à assemblées.

Dans le cas d'une vis de pression à extrémité ronde, la surface de contact entre l'élément de serrage et la pièce à bloquée est présentée par un point (fig 2.17). En effet, le rayon moyen de la surface de frottement est nul et le troisième terme de l'expression 2.19 sera, par conséquent, négligé.

b. Calcul de couple de desserrage

Dans le cas de desserrage d'un assemblage fileté, on suppose que les efforts de frottement entre l'éléments d'assemblage et les pièces assemblées ne se produisent pas à cause de perte instantané de contact entre ces éléments. Par conséquent le couple nécessaire au desserrage C_d est exprimé uniquement à l'aide du couple dû au frottements entre les filets.

Sachant que ces derniers changent de sens dans le cas de desserrage, on peut écrire:

$$C_d = Fr_N \tan(W_1 - \alpha) \quad (2.20)$$

De la même manière, on trouve:

$$C_d = F \left(\frac{d_u}{2} \mu_1 - \frac{P}{2n} \right) \quad (2.21)$$

Exemple 2:

Déterminer le couple de serrage et de desserrage d'une vis d'assemblage M 10 x 1,5 en admettant que toutes les surfaces de contact sont acier-acier ($\mu = 0,14$).

On a:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu \quad \text{et} \quad \mu_1' = \frac{\mu_1}{\cos 30} = \frac{0,14}{0,86} = 0,16$$

$$R_N = 0,7 d = 0,7 \times 10 = 7 \text{ NN}$$

Couple de serrage:

$$C_c = F \left(\frac{P}{2n} + \frac{d}{2} \mu_1' + R_N \mu_2 \right) = F \left(\frac{1,5}{2n} + \frac{10}{2} \times 0,16 + 7 \times 0,14 \right) = 2,01F$$

Couple de desserrage:

$$C_d = F \left(\frac{d_u}{2} \mu_1 - \frac{P}{2n} \right) = F \left(\frac{10}{2} \times 0,16 - \frac{1,5}{2n} \right) = 0,56F$$

c. Calcul du rendement

Le rendement est le rapport du travail (déplacement de la vis avec effort F) sur le travail fourni (rotation de la vis avec un couple soit de serrage C_s ou de desserrage C_d).

Dans le cas de serrage:

$$\eta = \frac{F \cdot P}{C_c \cdot 2n} \quad (2.22)$$

Chapitre 7:

Assemblages non démontables

Chapitre 7: Assemblages non démontables

Une liaison permanente (non démontable) permet d'assembler des pièces en éliminant tout problème lié à la mise en position. Associé à cet avantage, un inconvénient très important, c'est l'impossibilité de démontage. En effet, et pour la neutralisation de cette liaison, il est nécessaire de détériorer l'une des pièces assemblées ou l'élément d'assemblage. Par conséquent, l'utilisation de cette solution constructive est classée parmi les derniers choix.

1. Assemblage par frettage

Le frettage (emmanchement forcé) consiste à faire adhérer un moyeu sur un arbre par la pression provenant d'une interférence.

Le diamètre effective de l'alésage doit être inférieur à celui de l'arbre. En effet, il est réservé aux assemblages par pénétration cylindrique sans complément genre de clavette ou goupille.

1.1. Procédé de frettage

Les surfaces de liaison sont cylindres (arbre-moyeu) de même diamètre nominal. Le blocage est obtenu par le choix d'un ajustement de telle qu'il existe toujours un serrage dans l'assemblage capable de transmettre un couple. Les aciers par lesquels sont réalisés les arbres et les moyeux doivent avoir une limite élastique supérieur à 400 MPa.

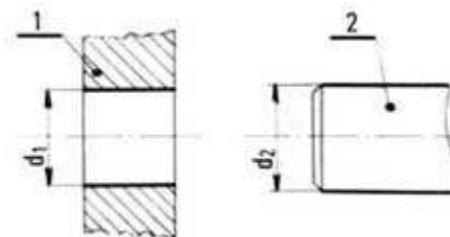
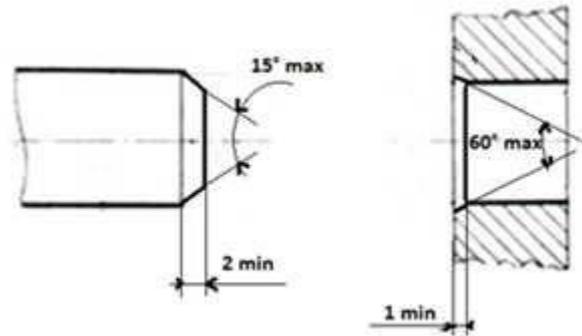


Figure 5.1: Montage par emmanchement forcé.

Le diamètre extérieur D du moyeu ne doit en aucune section être inférieur à $1,5 d$; diamètre intérieur du moyeu.

Avant montage, les surfaces de contact doivent avoir une rugosité; $0,2 < Ra < 0,8 \mu\text{m}$. Ainsi, l'arbre et moyeu doivent subir une préparation spéciale. La figure 5.2 représente les dimensions normalisées des chanfreins.

Figure 5.2: Préparation de l'arbre et du moyeu.



Selon la valeur maximale de serrage, il existe deux procédés de montage:

- 1) A la presse: la difficulté de mise en place n'impose pas que l'ménagement des extrémités de l'arbre et l'alésage (Fig 5.2) mais parfois la lubrification des pièces avant le montage. Ce procédé présente une méthodologie simple avec l'inconvénient d'un risque de grippage et une variation de serrage après montage. Par conséquent, les calculs de détermination des efforts axiaux et des couples ne s'appliquent pas pour ce cas.
- 2) Par dilatation de l'alésage ou (et) contraction de l'arbre: En chauffant le moyeu, on peut dilater son alésage. Ainsi, le refroidissement de l'arbre peut contracter son diamètre. L'un de ces opérations ou les deux associées permet de produire un jeu avant le montage, ce qui facilite l'assemblage. Le serrage apparaît lorsque l'ensemble est revenu à la même température.

1.2. Calcul des températures d'échauffement et (ou) de refroidissement

Pour obtenir, avant le montage, un jeu j (mm), il faut chauffer le moyeu à une température θ_c (°C) ou refroidir l'arbre à une température θ_r telles que:

$$\theta_c = \theta_0 + \frac{c+j}{\alpha \cdot d} \quad \text{et} \quad \theta_r = \theta_0 - \frac{c+j}{\alpha \cdot d} \quad (5.1)$$

Où θ_0 : température ambiante (°C), α : coefficient de dilatation linéaire (mm / mm.°C),
 s : serrage désiré (mm), d : diamètre nominale (mm).

1.3. Calcul de la pression de contact

D'après les lois fondamentales de l'RDM, la pression de contact qui s'établit entre l'arbre et le moyeu est donnée par l'expression suivante:

$$e = \frac{E \cdot c}{2d} \quad (5.2)$$

Où E est le module d'Young (MPa).