

8

Les assemblages réalisant une liaison encastrement

Du point de vue du modèle cinématique, une liaison encastrement n'autorise aucun degré de liberté entre deux pièces constitutives d'un mécanisme. On désigne les solutions techniques qui réalisent cette liaison sous le terme « d'assemblages ». Le langage courant utilise aussi (bien que de façon inadaptée) les termes de « liaison complète » ou de « liaison encastrement » pour désigner la solution technique. La figure 8.1 précise la schématisation normalisée de cette liaison.

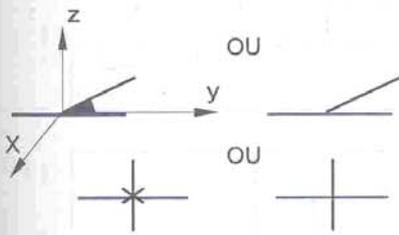
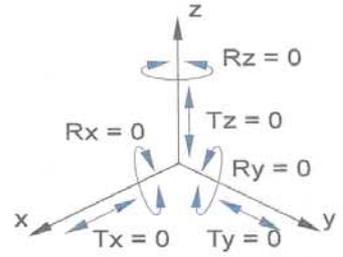
Représentations symboliques en projection orthogonale	Représentation symbolique en perspective	Mouvements relatifs autorisés
		

Figure 8.1 : Schématisation de la liaison encastrement.

8.1. L'expression fonctionnelle du besoin

L'expression fonctionnelle du besoin à satisfaire par un assemblage repose sur :

- l'énoncé des fonctions à assurer ;
- la caractérisation de chacune de ces fonctions.

8.1.1. Fonctions à assurer

On se propose d'appuyer l'analyse des fonctions que doit assurer un assemblage par l'étude d'un porte-pièce modulaire Posilok (Doga SA).

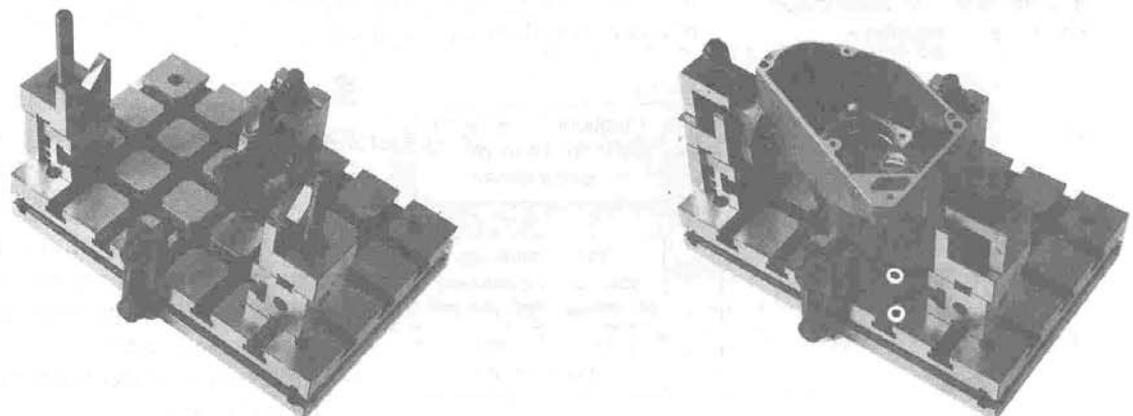
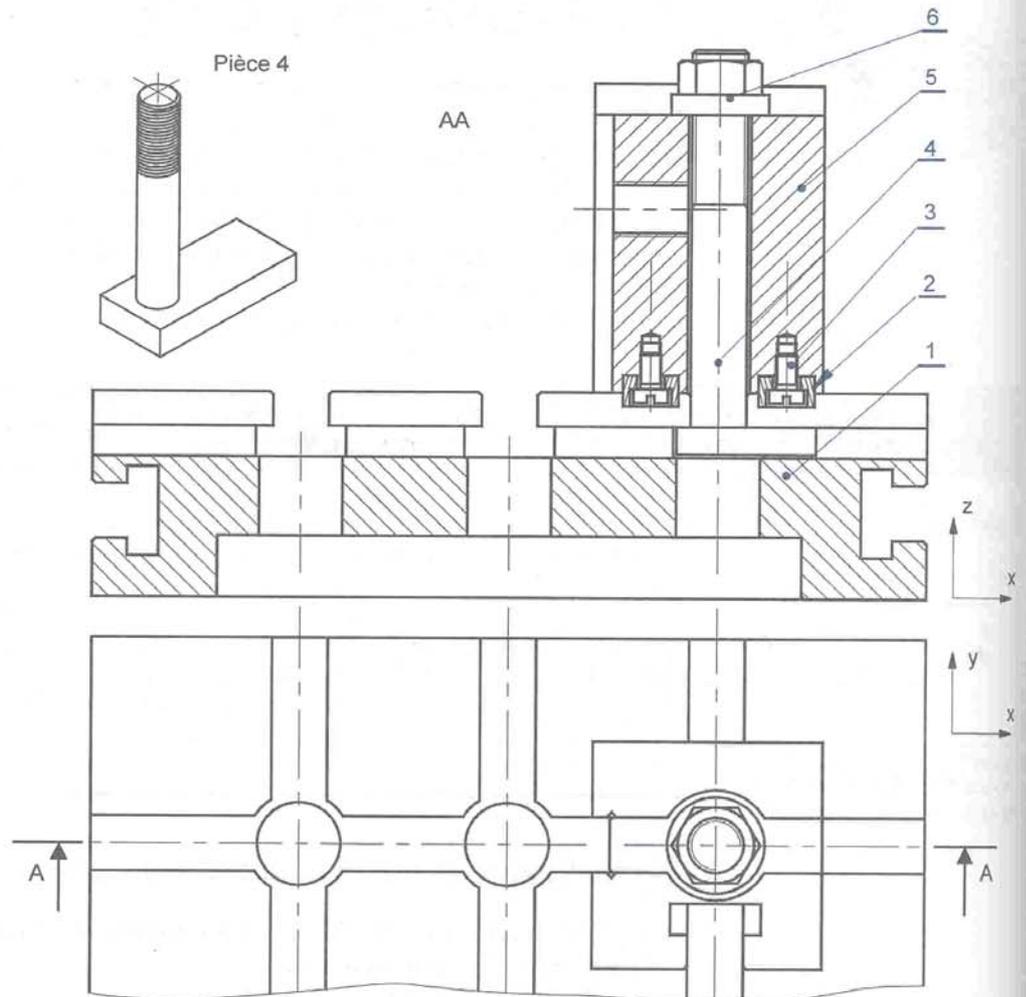


Figure 8.2 : Photographies du porte-pièce seul et de l'ensemble pièce à usiner/porte-pièce.

Un extrait du dessin d'ensemble d'un porte-pièce (figure 8.3) décrit l'assemblage d'une plaque intermédiaire 5 et d'une embase carrée 1. La plaque repérée 5, munie de deux lardons repérés 2, est en appui plan sur l'embase 1. Les deux lardons se logent dans une rainure en té de l'embase. La pièce 4, munie d'une tête rectangulaire logée dans la même rainure, traverse la plaque 5. L'extrémité filetée de la pièce 4 permet de recevoir un écrou 6.

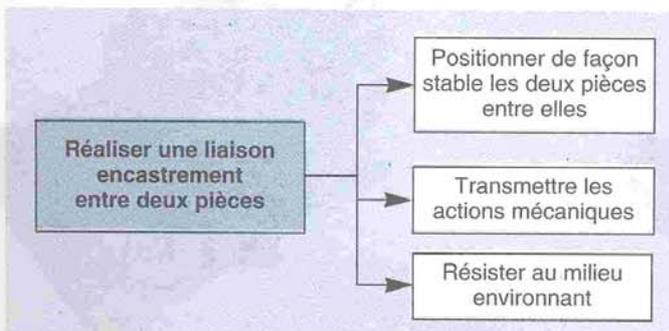
Figure 8.3 : Réalisation d'une liaison encastrement.



Pour réaliser une liaison encastrement entre deux pièces d'un mécanisme, une solution constructive doit assurer, en phase « utilisation », les fonctions suivantes (figure 8.4) :

- positionner de façon stable les deux pièces entre elles ;
- transmettre les actions mécaniques ;
- résister au milieu environnant.

Figure 8.4 : Description fonctionnelle d'un assemblage en phase « utilisation ».



Remarque : Les fonctions « Positionner » et « Transmettre » traduisent la nécessité d'interdire tout mouvement relatif entre les deux pièces au cours de la phase utilisation.

En plus de ces fonctions, les solutions constructives associées doivent parfois, selon le type de mécanisme dans lequel elles sont implantées, satisfaire les fonctions contraintes suivantes :

- être d'un encombrement minimal ;
- être esthétiques.

◆ **Fonction « Positionner de façon stable les deux pièces entre elles »**

Quels que soient les procédés de réalisation utilisés, il est impossible de fabriquer des surfaces géométriquement parfaites. Dans l'exemple choisi, le défaut de planéité des surfaces en contact et le jeu qui existe entre les surfaces complétant le positionnement ont pour conséquence un écart entre la position attendue de l'assemblage et la position réellement obtenue.

Les caractéristiques géométriques de la valeur maximale de cet écart permettent d'apprécier la précision du positionnement obtenu par l'assemblage.

■ **Exemple :** Figure 8.3, la position relative de l'ensemble formé par la plaque **5** et les lardons **2** par rapport à la base **1** résulte du mode de suppression des six degrés de liberté par l'assemblage.

Le contact entre les deux pièces suivant un appui plan supprime les degrés de liberté T_z , R_x et R_y .

Le contact entre les deux lardons et la base **1** suivant une surface plane (d'étendue réduite) perpendiculaire à l'appui plan précédent supprime les deux degrés de liberté T_y et R_z .

L'effort de serrage dû à l'écrou **6** et la vis **4** crée un phénomène d'adhérence au niveau de l'appui plan qui supprime le degré de liberté T_x .

L'étude d'un assemblage conduit généralement à distinguer la mise en position des deux pièces et leur maintien dans la position choisie.

Mise en position des deux pièces. Elle résulte de la relation de contact qui s'établit entre les surfaces des deux pièces.

■ **Exemple :** Figure 8.3, la mise en position des deux pièces résulte du contact suivant deux groupes de surfaces planes (dont les étendues sont différentes).

Ces surfaces (qui correspondent, du point de vue cinématique, à une liaison appui plan et à une liaison linéaire rectiligne) suppriment cinq degrés de liberté et ne laissent subsister que la possibilité d'une translation T_x suivant l'axe des rainures.

Maintien en position stable des deux pièces. Il résulte généralement de l'action d'organes de serrage.

■ **Exemple :** Figure 8.3, le maintien en position est assuré par l'écrou **6** et la vis **4** dont l'action supprime le degré de liberté T_x par adhérence au niveau de l'appui plan principal et interdit la séparation des pièces suivant T_z dans le sens des z positifs.

◆ **Fonction « Transmettre les efforts »**

La transmission des efforts dans un mécanisme s'effectue par l'intermédiaire des surfaces de contact entre pièces liées.

La connaissance des caractéristiques des actions mécaniques à transmettre et de l'organe d'assemblage entre les deux pièces qui font l'objet d'une liaison encastrement permet de déterminer la nature, la position et l'étendue des surfaces de contact entre ces deux pièces.

■ **Exemple :** Figure 8.3, la transmission des efforts entre la plaque **5** et la base **1** est obtenue par l'intermédiaire de deux appuis plans et d'un organe de serrage constitué par l'écrou **6**.

◆ **Fonction « Résister au milieu environnant »**

Selon le type de mécanisme dans lequel doit être implantée la liaison encastrement, la solution constructive associée peut être confrontée à des milieux corrosifs. La nature du milieu environnant influe alors sur le choix des matériaux constitutifs des pièces (voir chapitre 12).

■ **Exemple :** Si l'on reprend l'exemple précédent, les pièces sont en acier au nickel-chrome trempé et cémenté, ce qui garantit une bonne résistance à l'oxydation.

8.1.2. Indicateurs de qualité d'un assemblage

Le choix d'une solution constructive associée à une liaison encastrement se fonde sur les indicateurs principaux suivants :

- degré de précision de la mise en position ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ;
- stabilité ;
- déformabilité ;
- répétabilité ;
- fiabilité ;
- maintenabilité ;
- encombrement ;
- esthétique ;
- coût.

8.1.3. Forme générale du cahier des charges fonctionnel d'un assemblage

On peut décrire le cahier des charges que doit satisfaire un assemblage dans sa phase « utilisation » sous la forme générale du tableau de la figure 8.5.

Fonctions	Caractéristiques des fonctions		
	Critères d'appréciation	Niveau	Flexibilité
Positionner de façon stable les deux pièces entre elles	Précision de la mise en position entre les deux pièces Stabilité de la mise en position entre les deux pièces, etc.	La forme et la valeur associées à chacune des caractéristiques dépendent du type de mise en position qu'impose le mécanisme dans lequel est implantée la liaison encastrement : - unicité de la mise en position ; - répétabilité de la mise en position ; - déformabilité.	
Transmettre les efforts	Actions mécaniques transmissibles	$F_x = X \text{ (N)}$ $C_x = L \text{ (Nm)}$ $F_y = Y \text{ (N)}$ $C_y = M \text{ (Nm)}$ $F_z = Z \text{ (N)}$ $C_z = N \text{ (Nm)}$	Généralement exprimée en pourcentage
	Durée de vie	N en heures de fonctionnement	Minimale
Résister au milieu environnant	Espacement des visites	N _{max} en heures de fonctionnement MTBF	
	Durée de vie	N en heures de fonctionnement	Minimale

Figure 8.5 : Forme générale du CdCF d'un assemblage.

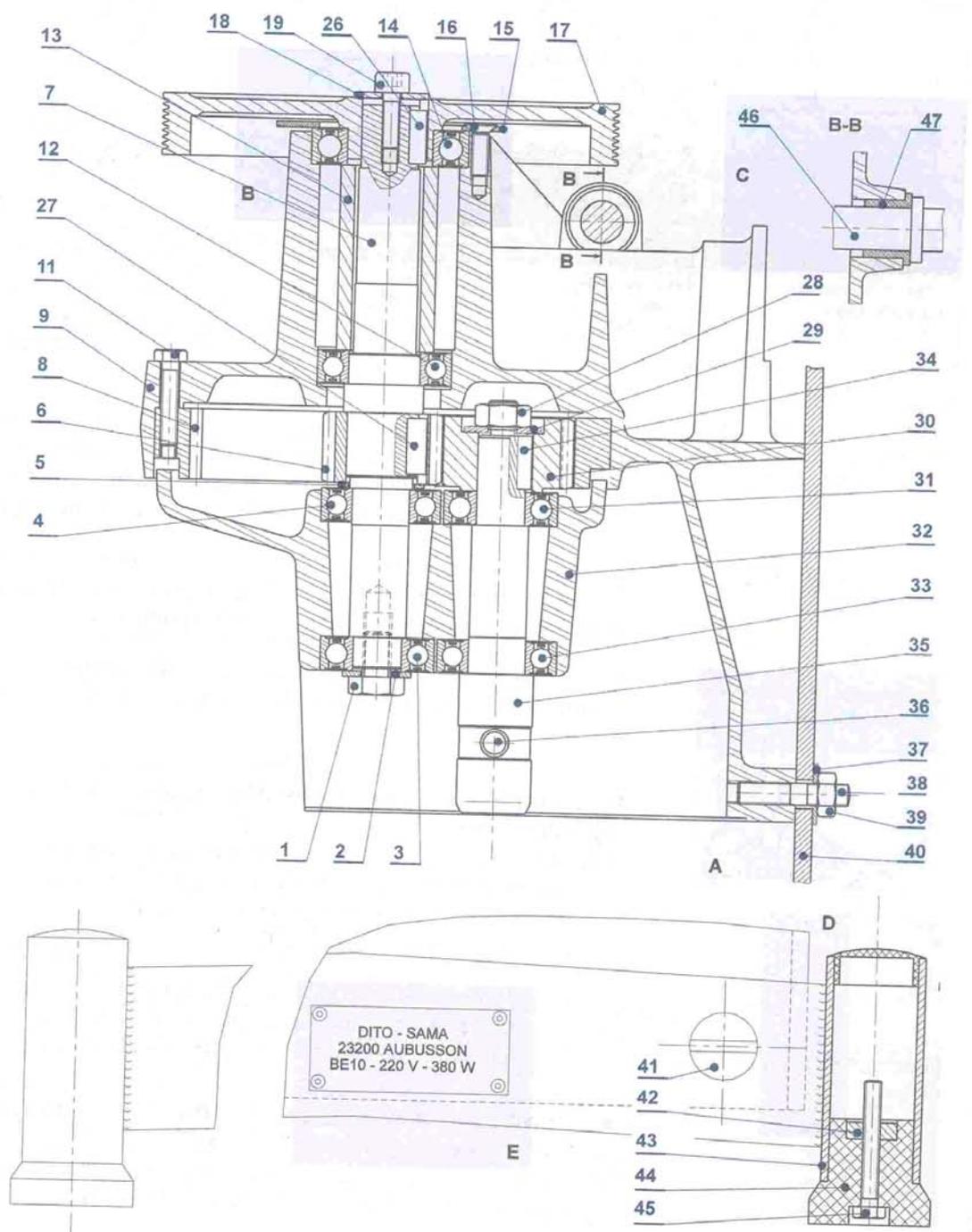
8.2. Les principes et moyens mis en œuvre dans les solutions constructives

De nombreuses solutions constructives permettent de réaliser un même assemblage. Elles s'appuient sur différents principes et mettent en œuvre des technologies variées. Un aperçu de la diversité des solutions associées à la liaison encastrement peut être mis en évidence par l'analyse d'un batteur-mélangeur destiné au malaxage de pâtes industrielles (figure 8.6).

Différents assemblages sont identifiés à l'intérieur des cadres tracés en traits mixtes fins :

- assemblage de la plaque 40 et du corps 9 (cadre A);
- assemblage de l'arbre 7 et de la poulie 17 (cadre B);
- assemblage du coussinet 47 sur le carter 9 (cadre C);

Figure 8.6 : Réducteur et support du batteur-mélangeur Dito-Sama pour le malaxage de pâtes industrielles.



- assemblage du pied 43 et de la traverse 50 (cadre D);
- assemblage de la plaque constructeur 48 et de la traverse 50 (cadre E).

La figure 8.7 décrit, pour chacun des assemblages identifiés dans les cadres A, B, C, D et E, les moyens mis en œuvre pour réaliser la mise en position et le maintien en position, ainsi qu'une caractérisation des liaisons correspondantes.

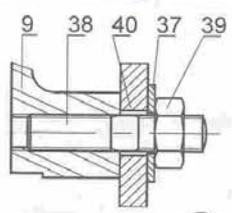
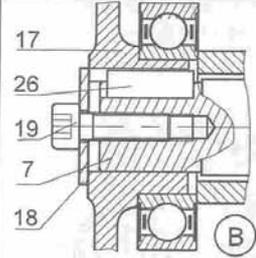
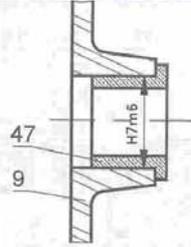
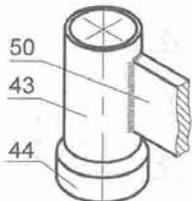
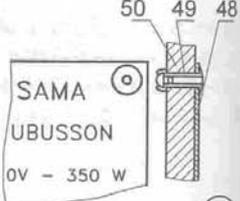
Réalizations de liaisons encastrement				
Mise en position par un appui plan entre 9 et 40. Maintien en position par goujons 38.	Mise en position et maintien par surface de contact cylindrique associée à une clavette + épaulement sur l'arbre + rondelle + vis.	Frettage d'un coussinet 47 sur le corps 9.	Soudage du pied 43 sur la traverse 50.	Rivetage de la plaque constructeur 48 sur la traverse 50 par l'intermédiaire de rivets « Pop » 49.
				
La liaison obtenue est une liaison encastrement démontable.	La liaison obtenue est une liaison encastrement démontable.	La liaison obtenue est une liaison encastrement permanente directe réalisée par frettage.	La liaison obtenue est une liaison encastrement permanente directe réalisée par soudage.	La liaison obtenue est une liaison encastrement permanente indirecte réalisée par rivetage.

Figure 8.7 : Exemples de solutions constructives réalisant une liaison encastrement dans le malaxeur Dito-Sama.

Info-Dico

Frettage : action d'emmancher l'une dans l'autre avec un serrage important deux pièces cylindriques.

On distingue généralement deux classes de liaisons encastrement, selon que l'assemblage des deux pièces est démontable ou permanent. Une approche des solutions constructives peut également être conduite à partir de la nature des principales surfaces en contact entre les pièces à assembler : surfaces planes, cylindriques, coniques, etc.

La majorité des solutions constructives est réalisée à partir de surfaces principales de contact planes ou cylindriques de révolution dont la facilité d'obtention permet de minimiser le coût des assemblages correspondants.

Avant d'aborder une étude plus complète des solutions techniques (paragraphe 8.3), il est utile de découvrir le mode de description d'une liaison et la précision du vocabulaire à employer.

◆ Exemples d'assemblages démontables obtenus à partir de surfaces de contact planes

Pour obtenir à partir de ce type de contact une liaison encastrement, il faut supprimer physiquement trois degrés de liberté (figure 8.8) :

- deux degrés de liberté en translation Tx et Tz;
- un degré de liberté en rotation Ry.

Il faut également garantir le maintien en contact des surfaces. La figure 8.9 décrit, à titre d'exemple, deux solutions constructives d'assemblages obtenues à partir de surfaces de contact planes (extraites du batteur-mélangeur).

◆ Exemples d'assemblages démontables obtenus à partir de surfaces de contact cylindriques de révolution

Pour obtenir à partir de ce type de contact une liaison encastrement, il faut supprimer physiquement deux degrés de liberté (figure 8.10) :

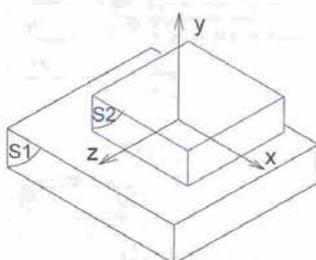


Figure 8.8 : Liaison appui plan entre deux pièces.

Figure 8.9 : Exemples d'assemblages démontables obtenus à partir de surfaces de contact planes (batteur Dito-Sama).

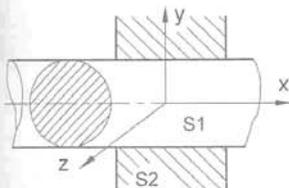
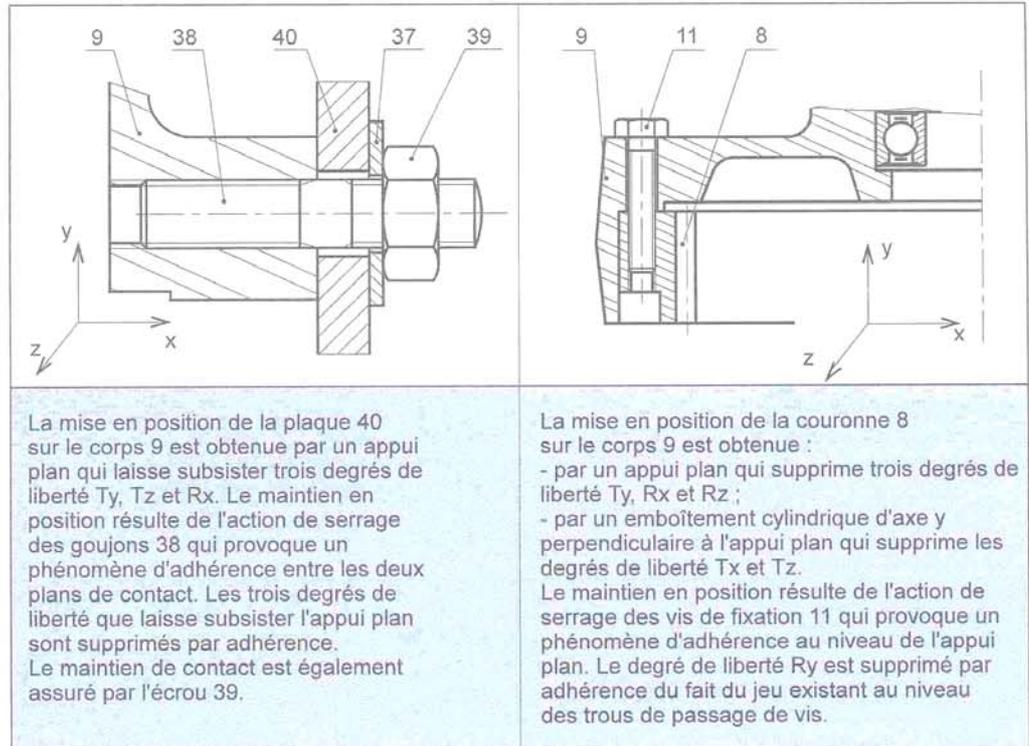


Figure 8.10 : Surfaces cylindriques de contact entre deux solides.

- un degré de liberté en translation T_x ;
- un degré de liberté en rotation R_x .

Ces deux degrés de liberté peuvent être supprimés par obstacle ou par adhérence. La figure 8.11 décrit, à titre d'exemple, deux solutions constructives d'assemblage extraite du batteur-mélangeur, obtenues à partir de surfaces de contact cylindriques.

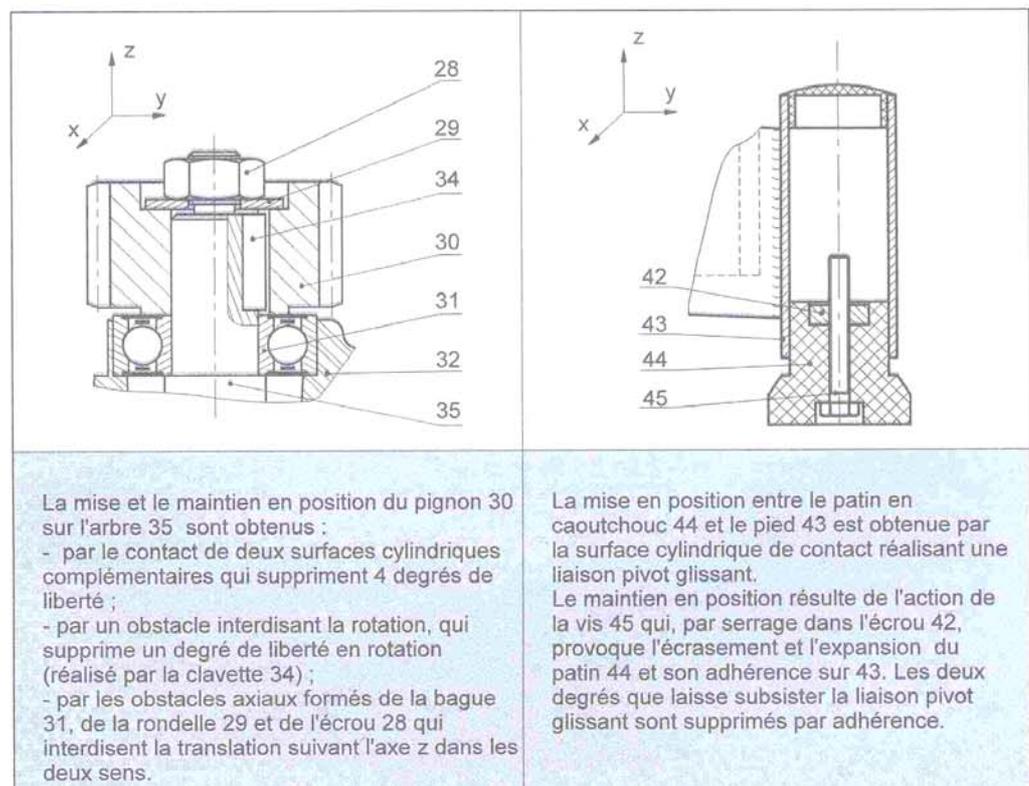


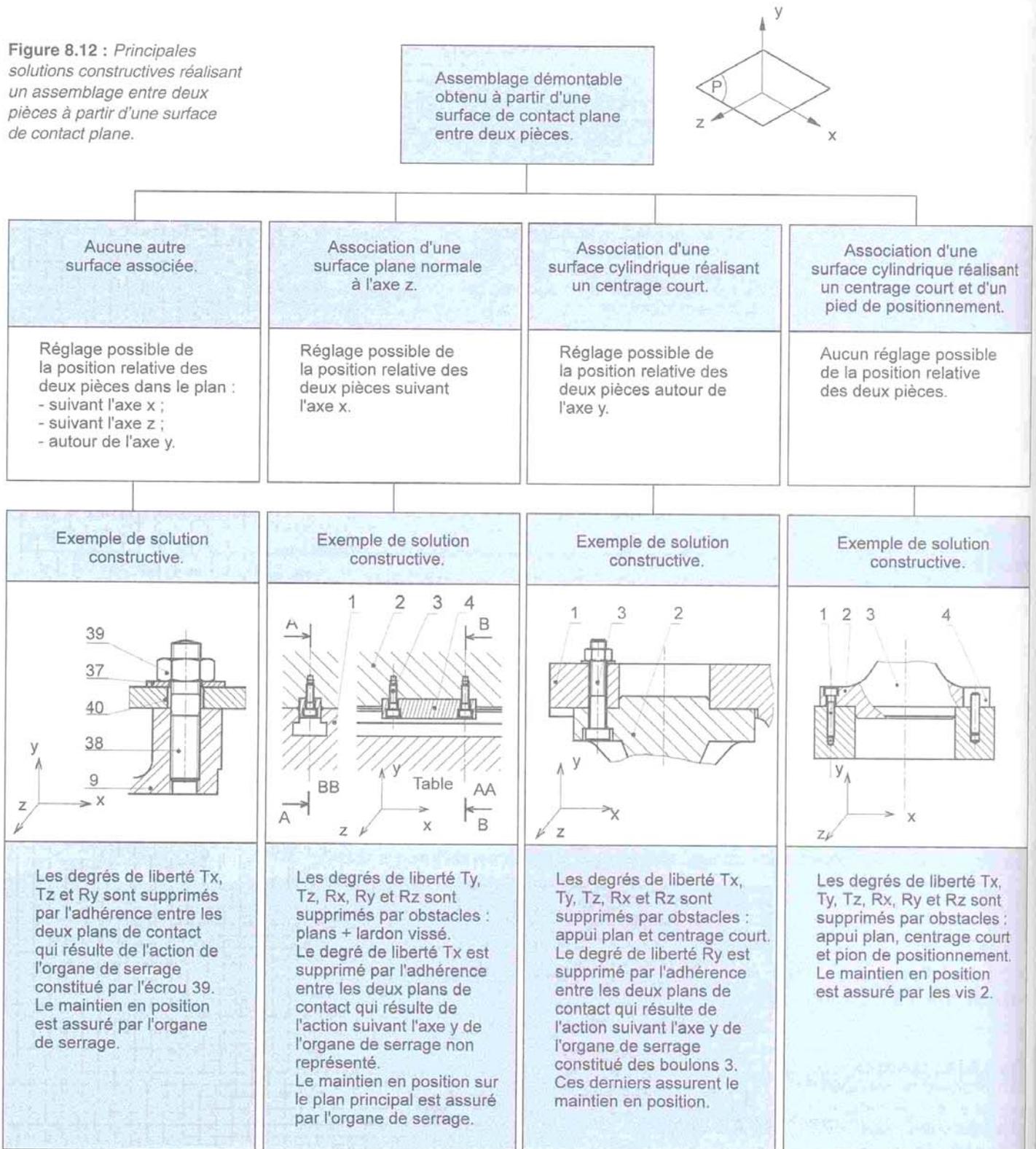
Figure 8.11 : Exemples d'assemblages démontables obtenus à partir de surfaces de contact cylindriques (batteur Dito-Sama).

8.3. La construction d'assemblages démontables

8.3.1. À partir de surfaces de contact planes

Une typologie des principales solutions constructives qui permettent de réaliser, à partir d'un appui plan, un assemblage entre deux pièces, est présentée figure 8.12.

Figure 8.12 : Principales solutions constructives réalisant un assemblage entre deux pièces à partir d'une surface de contact plane.

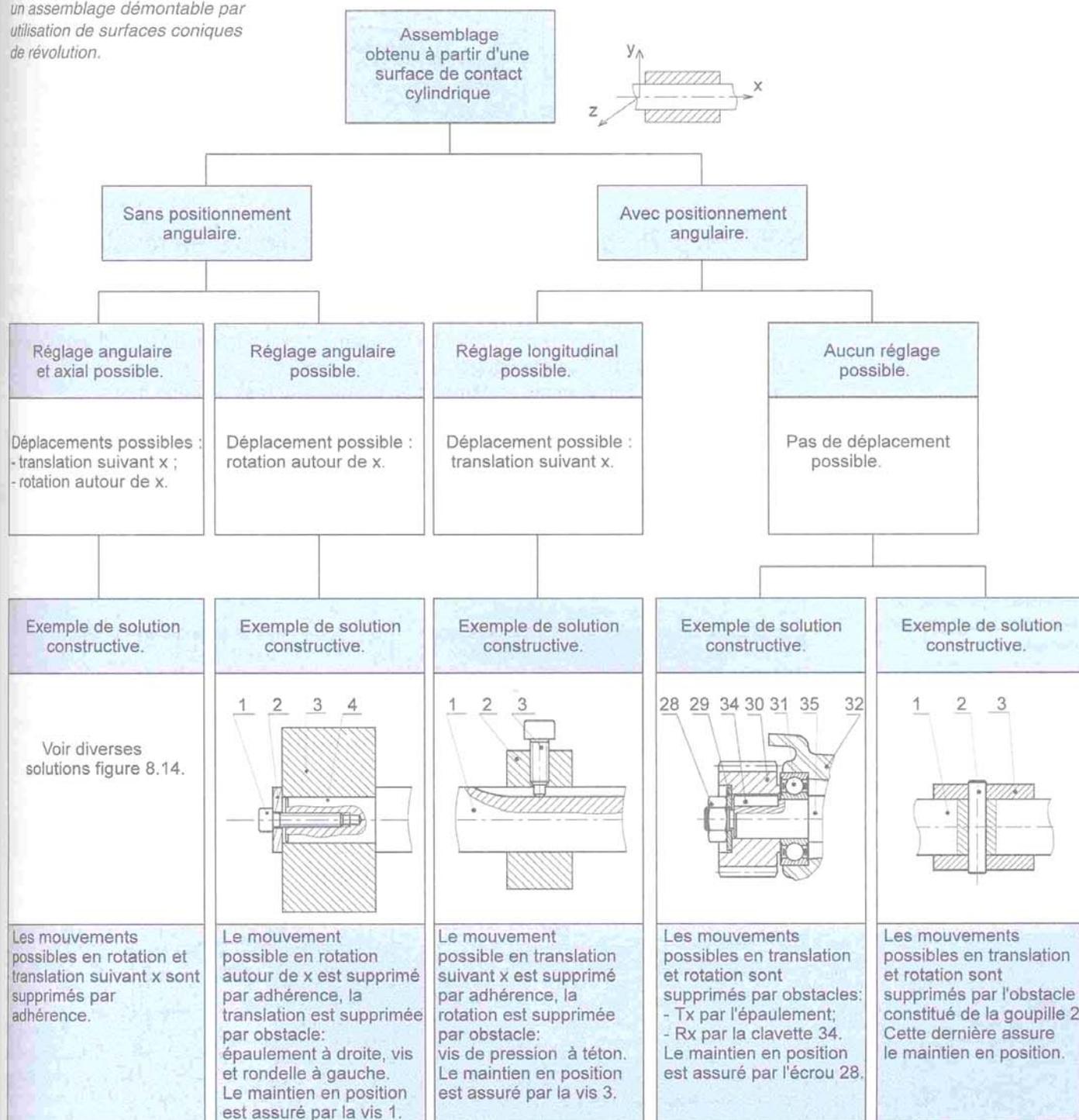


Cette classification met en évidence les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour supprimer les trois degrés de liberté qui subsistent après mise en contact de deux surfaces planes.

8.3.2. À partir de surfaces de contact cylindriques de révolution

Une typologie des principales solutions constructives qui permettent de réaliser, à partir du contact entre deux surfaces cylindriques, un assemblage entre deux pièces, est présentée figure 8.13.

Figure 8.13 : Exemples de solutions constructives réalisant un assemblage démontable par utilisation de surfaces coniques de révolution.



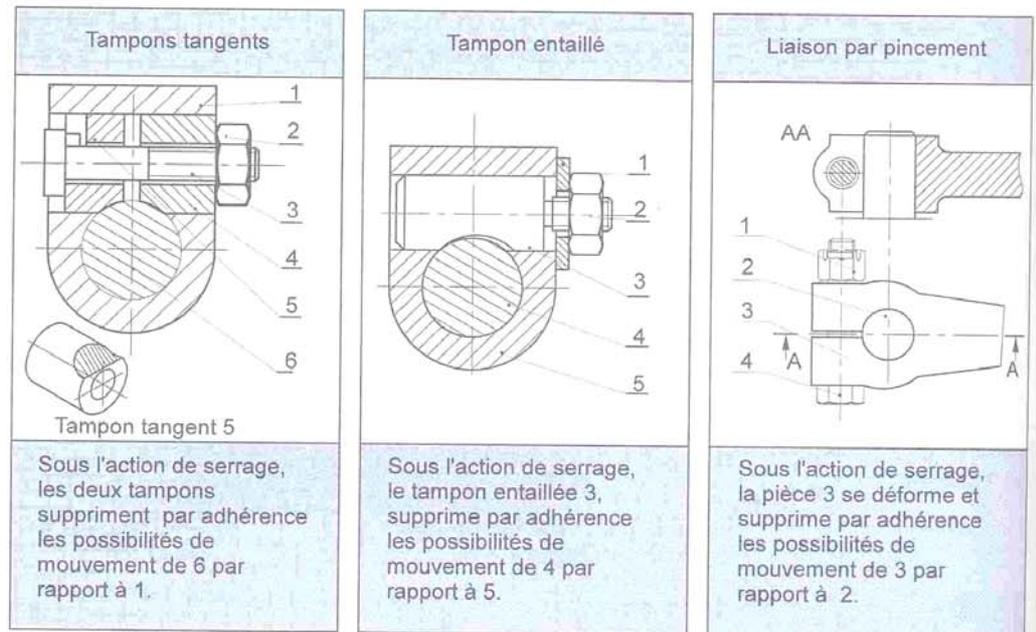


Figure 8.14 : Exemples de solutions constructives réalisant un assemblage démontable par adhérence.

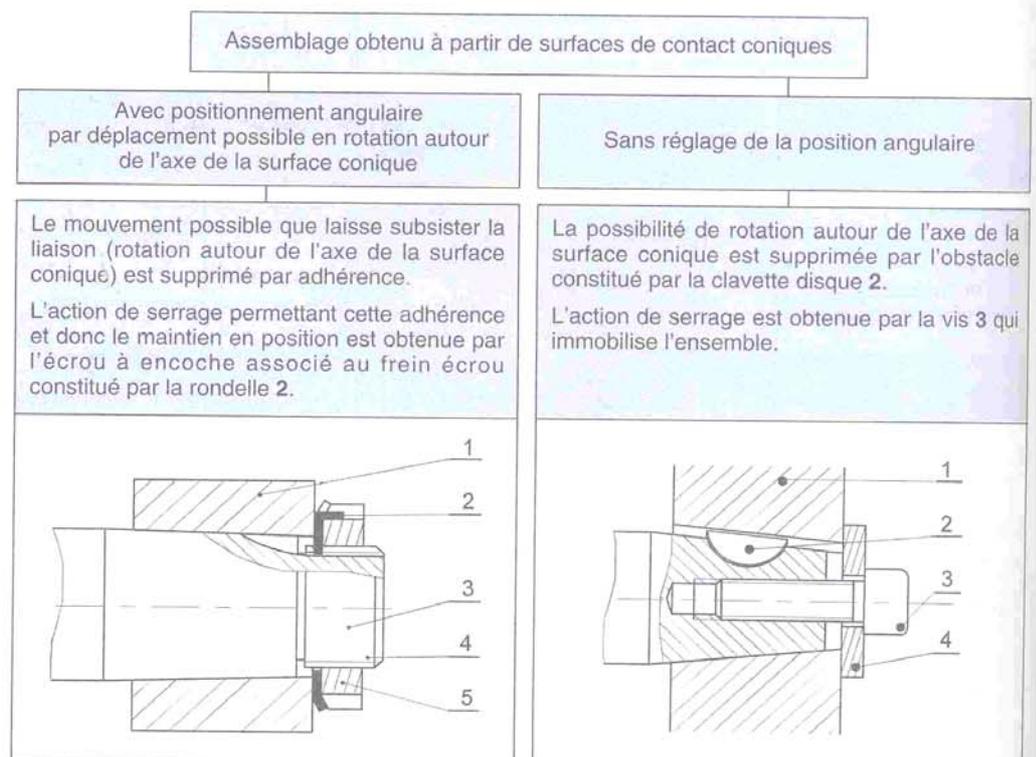
8.3.3. À partir de surfaces de contact coniques de révolution

Ce type de contact supprime cinq degrés de liberté et ne laisse subsister qu'une possibilité de mouvement en rotation Rx. Le positionnement angulaire est d'autant plus précis que l'angle du cône α est faible. Le coincement est fonction de l'angle du cône α et du coefficient de frottement $\tan\varphi$:

- si $\alpha \leq 2\varphi$, il y a coincement, le démontage est difficile (cas du cône morse) ;
- si $\alpha > 2\varphi$, il n'y a pas de coincement, le démontage est aisé (cas du cône SA).

La figure 8.15 donne deux exemples de solutions constructives obtenues à partir de surfaces de contact coniques.

Figure 8.15 : Exemples de solutions constructives réalisant un assemblage démontable par utilisation de surfaces coniques de révolution.



8.3.4. À partir de deux surfaces de contact ne laissant subsister qu'un seul degré de liberté en translation

L'association de deux surfaces cylindriques ou de deux surfaces prismatiques ne laisse subsister qu'un seul degré de liberté en translation qu'il suffit de supprimer pour obtenir un assemblage entre deux pièces, comme le montre la figure 8.16.

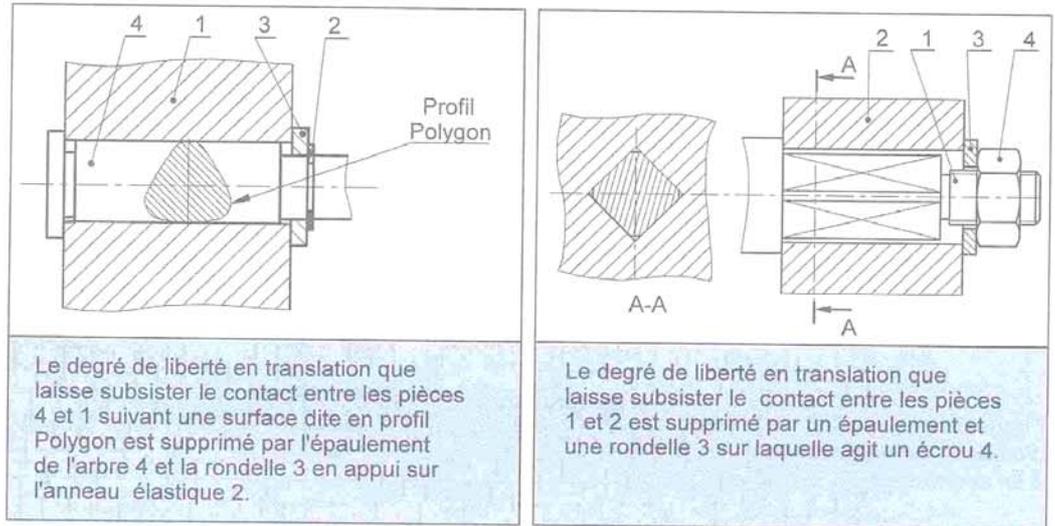


Figure 8.16 : Exemples de solutions constructives réalisant un assemblage démontable par utilisation de surfaces cylindriques ou prismatiques.

8.3.5. À partir de surfaces hélicoïdales

Certains assemblages sont réalisés à partir du contact entre deux surfaces hélicoïdales associées ou non à d'autres surfaces, comme le montre la figure 8.17. De nombreux composants de type standard (vis, boulons, clavettes, goupilles, etc.) permettent, comme nous venons de le voir, de supprimer soit par adhérence, soit par obstacle, les degrés de liberté que laissent subsister les surfaces en contact à partir desquelles est réalisé un assemblage entre deux pièces. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- les composants standard d'assemblage ;
- les obstacles de type standard.

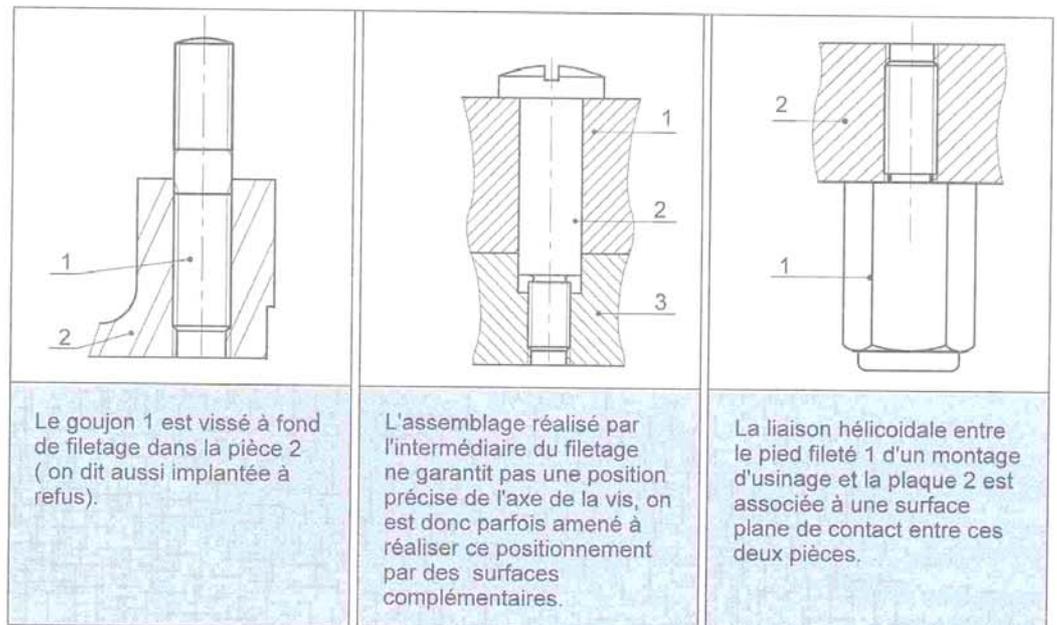


Figure 8.17 : Exemples de solutions constructives réalisant un assemblage démontable par utilisation de surfaces hélicoïdales.

8.4. Les composants standard d'assemblage

De nombreux organes filetés contribuent à la réalisation d'assemblages démontables : vis, boulons, goujon et vis de pression (figure 8.18).

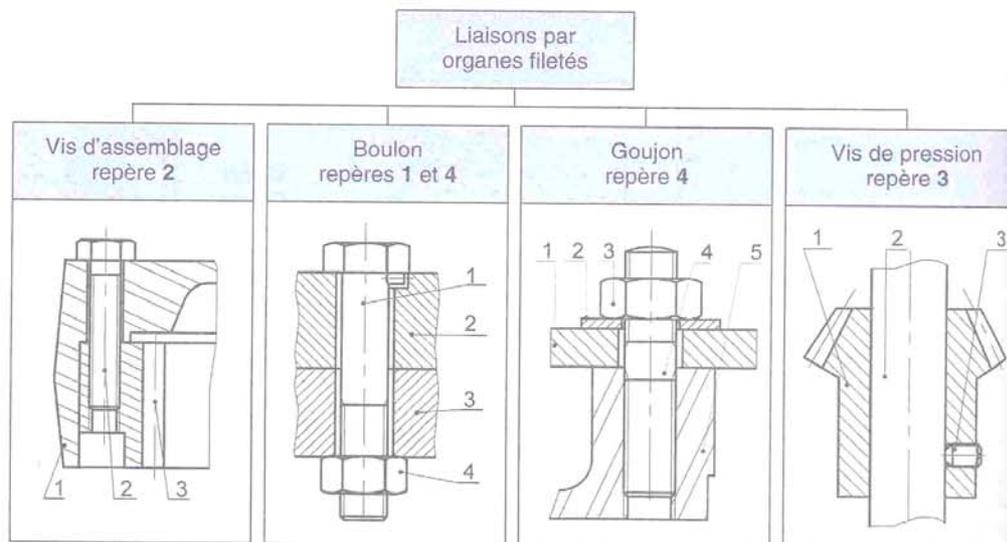


Figure 8.18 : Exemples d'organes filetés participant à un assemblage.

8.4.1. Filetages

Un filetage est la surface obtenue sur une pièce cylindrique par exécution d'une ou plusieurs rainures hélicoïdales. Il existe plusieurs types de filetages.

◆ Filetage métrique ISO

Son profil est défini à partir d'un triangle équilatéral de côté égal au pas du filetage, et de base parallèle à l'axe du filet. C'est le filetage le plus utilisé en visserie (figure 8.19).

On désigne les filetages ISO par la lettre M suivie des valeurs du diamètre nominal et du pas, exprimées en millimètres. Ces valeurs sont séparées par le signe x, et sont suivies éventuellement par la tolérance du filetage (voir tableau figure 8.19) séparée par un tiret.

Exemple : Désignation M10 x 1,5 – 6H. L'indication du pas de 1,5 est facultative, puisqu'il s'agit du pas dit « normal » pour ce diamètre. Dans le cas d'un pas fin, l'indication est nécessaire.

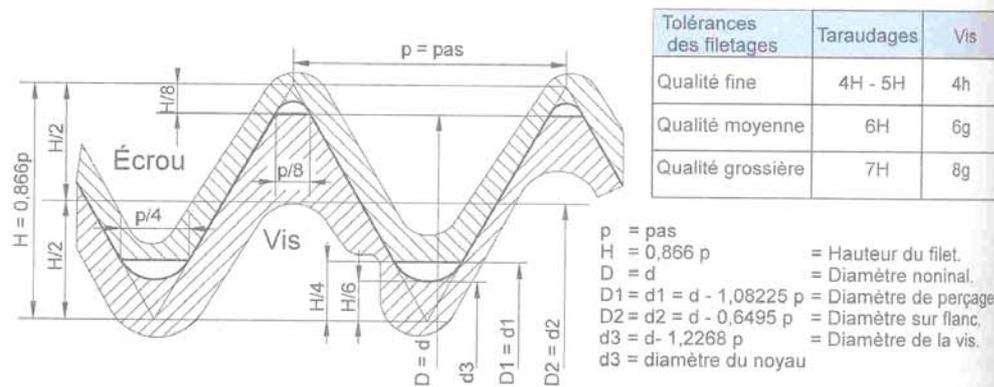


Figure 8.19 : Profil du filetage ISO.

◆ Filetages à profils spéciaux

Filetages au pas du gaz ou filetages « gaz » (figure 8.20). Ils sont utilisés dans les installations véhiculant un fluide. Ils permettent de réaliser deux types d'assemblages :
 – des assemblages sans étanchéité : la vis et l'écrou ont un profil cylindrique ;
 – des assemblages étanches : le profil de la vis est conique, celui de l'écrou est cylindrique, l'étanchéité est assurée par le contact métal sur métal des filets. Une pâte à joint compatible avec les gaz véhiculés peut parfaire cette étanchéité.

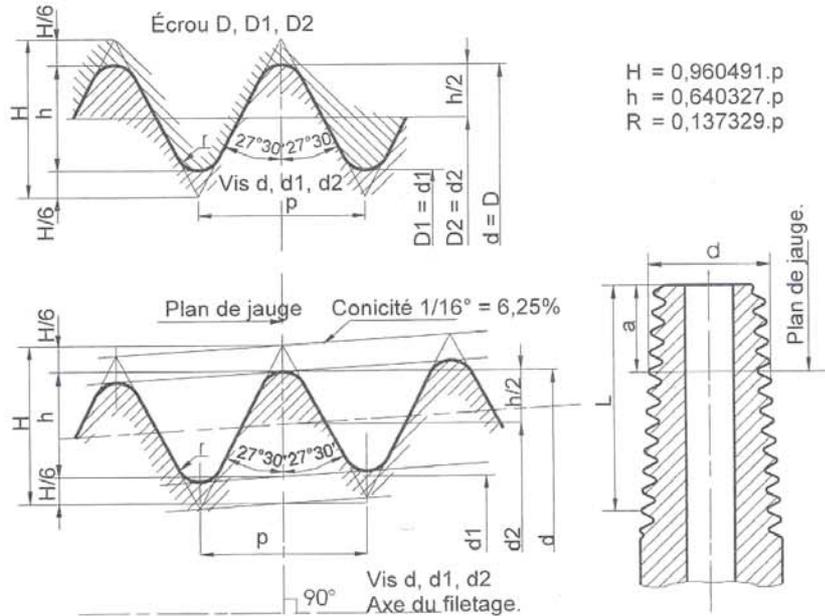


Figure 8.20 : Filetage au pas du gaz.

Info-Dico

Pouce (inch) : mesure anglo-saxonne, d'une valeur de 25,4 mm.

La vis est désignée par R et l'écrou à filetage cylindrique par Rp. Le diamètre est indiqué en fraction de pouce ; il est suivi de la référence de la norme NF E 03-004.

■ **Exemples** : R 1/8, NF E 04-004 (Filetage extérieur ou vis).
 Rp 3/8, NF E 04-004 (Filetage intérieur ou écrou).

Filetages trapézoïdaux (figure 8.21). Ils permettent la réalisation de vis de manœuvre autorisant la transmission d'efforts importants.

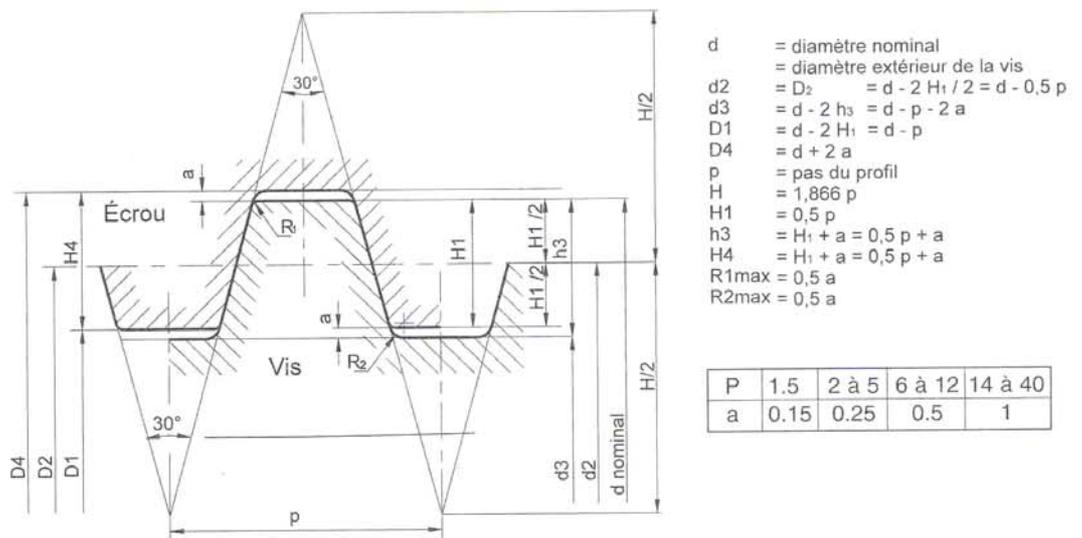


Figure 8.21 : Profil du filetage trapézoïdal.

Plus résistants que les filets ISO, peu encombrants, ils s'exécutent facilement. Ils acceptent mieux les traitements thermiques que les filets triangulaires. Leur section est un trapèze isocèle dont l'angle des côtés non parallèles est de 30° , et de hauteur voisine du demi-pas.

8.4.2. Taraudages

Un taraudage est un filetage cylindrique intérieur obtenu par un outil monobloc appelé taraud.

Un taraudage impose le perçage préalable, assorti d'une fraisure du trou. La profondeur du perçage doit être supérieure à la longueur taraudée (voir figure 8.22).

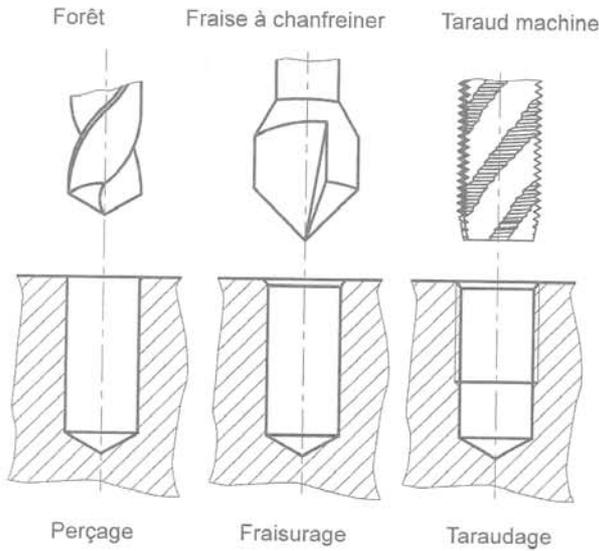


Figure 8.22 : Réalisation d'un taraudage.

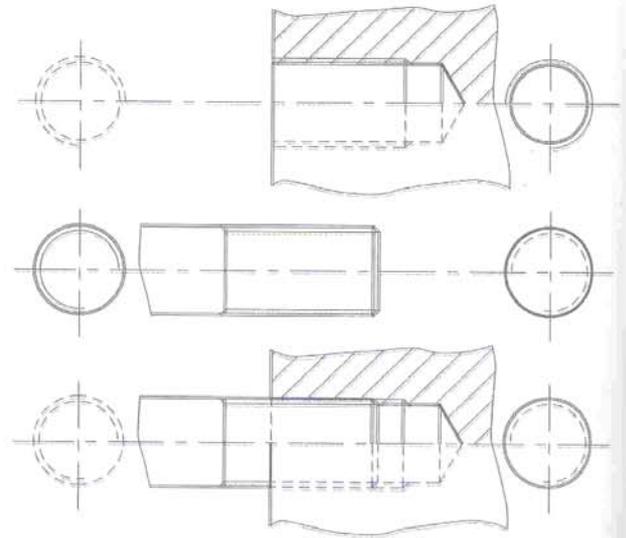


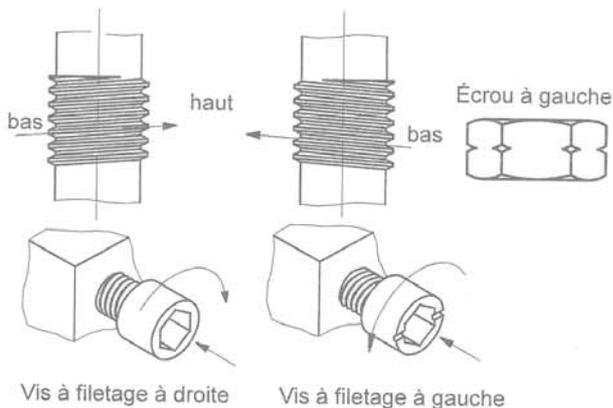
Figure 8.23 : Représentation des filetages et taraudages.

◆ Représentation des filetages et taraudages

Les filetages et les taraudages font l'objet d'une représentation symbolique qui a été définie au chapitre 6 de cet ouvrage.

Le principe de représentation de l'assemblage d'une tige filetée avec un trou taraudé repose sur la prépondérance des traits relatifs à la partie filetée par rapport aux traits relatifs à la partie taraudée (voir figure 8.23).

Figure 8.24 : Sens d'inclinaison de l'hélice.



◆ Filets à droite – Filets à gauche

Le sens d'inclinaison de l'hélice constitue une des caractéristiques des éléments filetés. Généralement, les filets sont à hélice à droite.

Dans le cas où l'hélice est à gauche, un repérage est effectué par une entaille sur la tête de la vis ou par une gorge sur la périphérie de l'écrou.

La figure 8.24 définit le sens du déplacement en translation de la vis en fonction de son sens de rotation et de l'inclinaison de l'hélice.

8.4.3. Vis d'assemblage

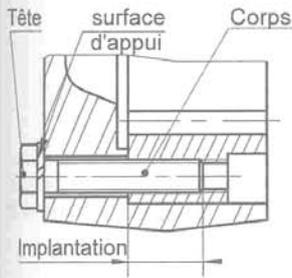


Figure 8.25 : Vis d'assemblage.

Une vis d'assemblage traverse librement la première pièce (dans un trou de passage de diamètre supérieur au diamètre nominal de la vis) et vient se visser dans la pièce à assembler (voir figure 8.25).

Une vis d'assemblage comporte trois parties distinctes qui lui permettent de participer à la réalisation d'une liaison encastrement démontable entre deux pièces :

- une surface d'appui (plane ou conique) qui constitue l'élément de poussée ;
- une tête qui permet la manœuvre ;
- un corps qui permet l'implantation de la vis dans l'une des pièces assemblées.

◆ Implantation des vis

Elle est fonction des matériaux et égale à :

- une fois le diamètre nominal de la vis si elle est implantée dans l'acier ;
- une fois et demie le diamètre nominal de la vis pour une fixation dans les alliages à base de cuivre ;
- deux fois le diamètre nominal de la vis pour une fixation dans l'aluminium ou ses alliages.

◆ Types de vis d'assemblage

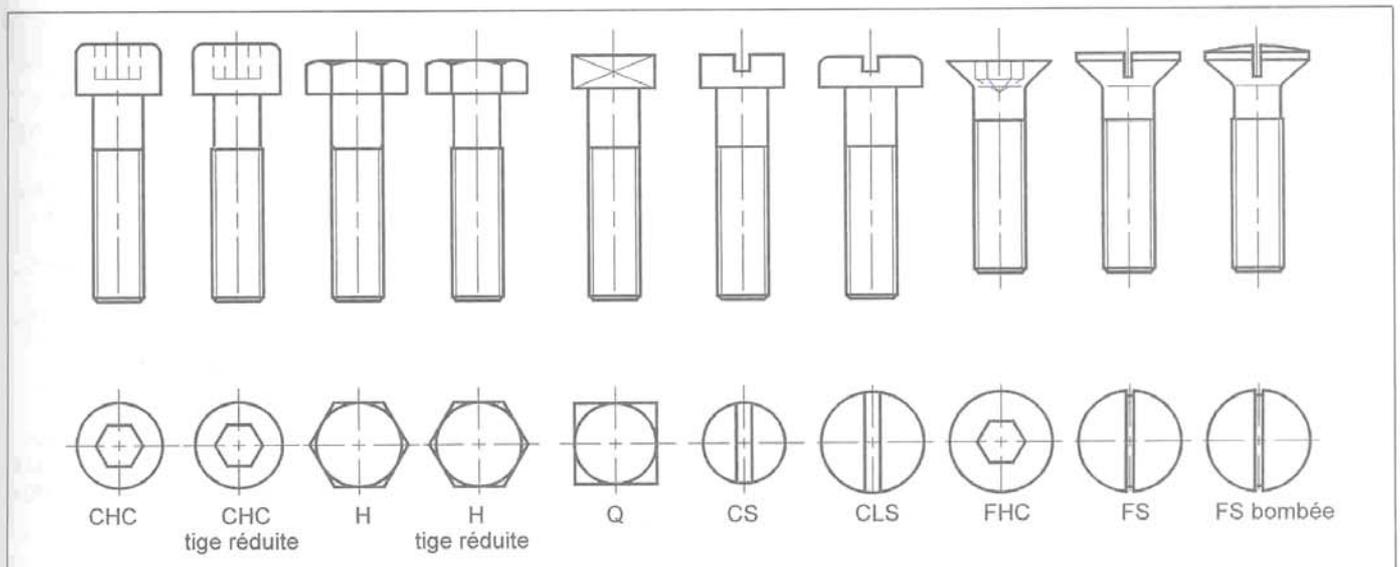


Figure 8.26 : Types de vis d'assemblage.

Les vis à tête hexagonale (H) et à tête carrée (Q) sont fréquemment utilisées pour leur efficacité de serrage. Les vis à tête Q nécessitent une meilleure accessibilité des outils de manœuvre.

Les vis à tête cylindrique à six pans creux (CHC), comme les autres vis à empreinte (voir figure 8.28 page suivante), sont fréquemment employées pour des raisons d'esthétique ou de sécurité, car leurs têtes peuvent être « noyées » dans un lamage de faible diamètre (figure 8.27).

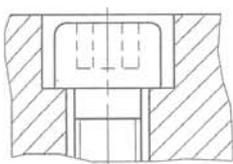


Figure 8.27 : Tête de vis dans un lamage.

Les vis à tête fendue cylindrique (CS et CLC) sont manœuvrées par un tournevis. Il en résulte un serrage peu énergique.

Les vis à tête fraisée (F) sont utilisées pour une meilleure finition esthétique. En effet la tête, qui se loge dans une fraisure, ne dépasse pas de la pièce. Le centrage qu'impose la forme conique de l'appui peut être un inconvénient pour le montage.

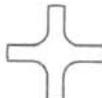
Six pans creux HC	Six lobes internes X	Cruciforme Z (dite « Pozidriv »)	Cruciforme H (dite « Phillips »)	Fente S
				
Utilisée pour les vis à métaux avec possibilité de noyer la tête de vis.	Vis à métaux et vis à tôle. Transmet des couples importants et permet l'engrènement aisé des outils de vissage automatisés.	Vis à métaux et vis à bois. Permet le vissage mécanisé, le dévissage est difficile.	Vis à métaux et vis à bois. Le vissage mécanisé est difficile car l'outil a tendance à sortir de l'empreinte.	Vis à métaux, vis à tôle et vis à bois. Couple de serrage faible.

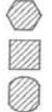
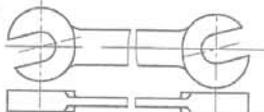
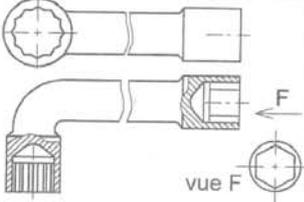
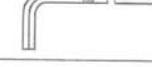
Figure 8.28 : Différentes empreintes des têtes de vis.

◆ Principaux outillages de serrage des vis et écrous

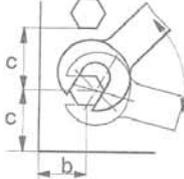
Les divers outillages disponibles sont détaillés figure 8.29.

Le choix de l'outillage est largement déterminé par l'importance du couple de serrage à exercer, et donc par la forme de la tête de manœuvre. L'outil choisi conditionne souvent la géométrie de la pièce par la prise en compte de contraintes d'accessibilité et de mouvement de l'outil.

Figure 8.29 : Outillages de serrage des vis et écrous.

Désignation	Application	Outillage de manœuvre	Couple transmis
Clé à fourche double			Couple de serrage important. Nécessité de prévoir une surface de dégagement pour la manœuvre de la clé.
Clé polygonale double droite			Couple de serrage modéré. Nécessité de prévoir une surface de dégagement pour la manœuvre de la clé. Balayage mini de 30° environ.
Clé à pipe double			Couple de serrage important. Nécessité de prévoir une surface de dégagement pour la manœuvre de la clé. Balayage mini de 30° environ. Une des deux empreintes est à six pans permettant un serrage énergique.
Clé mâle coudée pour vis à 6 pans creux			Couple de serrage modéré. Balayage mini 60°.
Clé à ergot pour écrou à encoches			Couple de serrage très élevé. Balayage mini 90° dans le cas d'écrou à 4 encoches.
Tournevis plat			Couple de serrage faible.
Tournevis cruciforme			Couple de serrage faible.

Surface nécessaire (balayage) à la manœuvre d'une clé à fourche.



Angle de balayage 60° ou 30° avec retournement de la clé.
a = dimension de la clé (sur plat).

a	8	10	11	13	15	17	21	27
b	10	11	11	13	16	18	21	25
c	16	18	18	20	24	27	31	37

8.4.4. Boulons

Un boulon est constitué d'une vis et d'un écrou. Un boulon participe à l'assemblage entre deux pièces par l'intermédiaire :

- d'une surface d'appui (plane ou conique) qui constitue l'élément de poussée ;
- de la tête du boulon et de l'écrou qui permettent la manœuvre ;
- du corps d'une vis qui relie la tête du boulon et l'écrou.

◆ **Remarque sur le montage**

La vis traverse librement toutes les pièces à assembler (dans un trou de passage de diamètre supérieur à son diamètre nominal) et l'écrou vient se visser sur son corps immobilisé en rotation (voir figure 8.30).

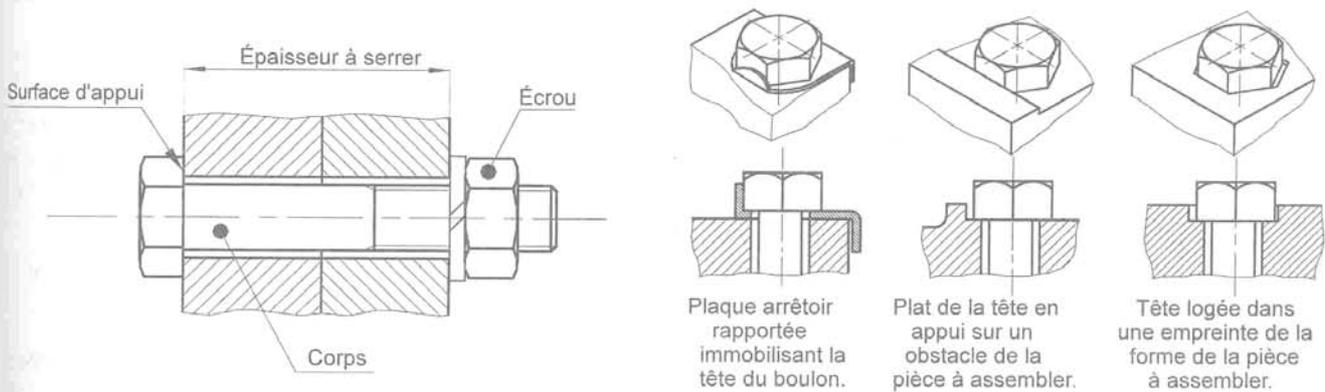


Figure 8.30 : Boulon de type H.

Figure 8.31 : Exemples d'immobilisation en rotation des boulons.

◆ **Immobilisation en rotation des boulons**

La manœuvre du boulon est grandement facilitée par l'immobilisation en rotation de son corps (voir figure 8.31).

8.4.5. Goujons

Un goujon est constitué d'une tige cylindrique fileté aux deux extrémités. Le goujon est vissé à fond de filetage dans la pièce massive (prévoir une implantation suffisante, voir figure 8.32), les pièces à assembler sont serrées par l'écrou.

Pour pouvoir monter le goujon à fond de filetage, on utilise une goujonneuse (anti-dévieur réalisant le blocage, voir figure 8.33).

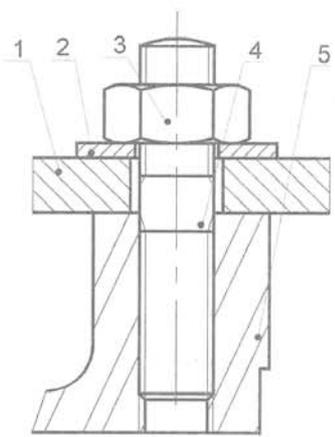
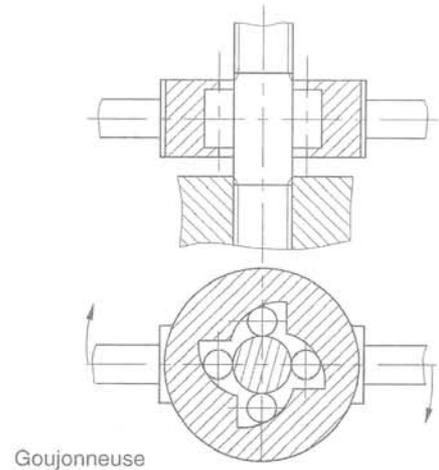


Figure 8.32 : Implantation d'un goujon.

Figure 8.33 : Outil de montage des goujons.



Les goujons sont souvent utilisés pour assembler des pièces ne pouvant être traversées par des vis. Ils sont également employés dans le cas de pièces en alliage léger, où le démontage trop fréquent de la vis risque de provoquer l'arrachement des filets du trou taraudé.

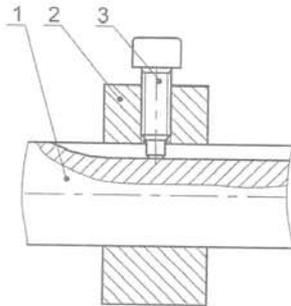


Figure 8.34 : Vis de pression.

Info-Dico

Décolletées : fabriquées sur un tour par usinage direct dans une barre. Les pièces sont produites les unes à la suite des autres.

8.4.6. Vis de pression

Une vis de pression (figure 8.34) se visse dans l'une des pièces à assembler et vient exercer un effort de pression sur la deuxième pièce de l'assemblage. Les vis de pression sont filetées sur toute leur longueur.

La vis est sollicitée à la compression. Si l'extrémité de la vis est simplement en appui sur la pièce à assembler, l'assemblage est réalisé par adhérence. Si l'extrémité de la vis pénètre dans une rainure de la pièce, un phénomène de verrouillage par obstacle s'ajoute au phénomène d'adhérence.

◆ **Extrémités des vis de pression**

L'extrémité de la vis est traitée thermiquement (durcissement par trempe), de manière à éviter sa déformation. Les extrémités à bout plat sont à éviter sauf pour le serrage de métal mou (cuivre par exemple). On évite ainsi le refoulement de l'extrémité de la vis. La figure 8.35 présente les différents types d'extrémités.

Les vis à téton sont *décolletées* à un diamètre inférieur à celui du noyau, évitant la déformation du filet.

La surface d'appui des vis à cuvette est réduite à un anneau de faible largeur, l'effort mis en jeu doit être modéré de manière à éviter la détérioration de l'extrémité de la vis. Cette dernière doit s'appuyer sur une surface plane.

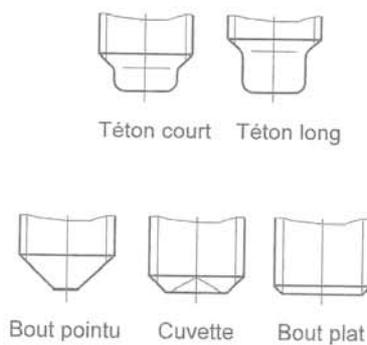


Figure 8.35 : Extrémités des vis de pression.

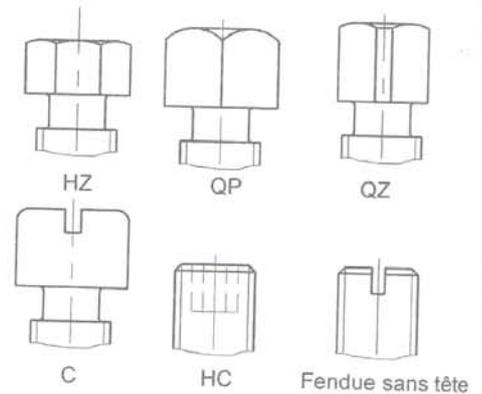


Figure 8.36 : Têtes des vis de pression.

◆ **Têtes des vis de pression**

Les têtes des vis de pression permettent la manœuvre (couple de serrage), et parfois l'appui lorsque l'extrémité de la vis n'est pas au contact.

Elles sont de dimensions réduites et de différentes formes (figure 8.36) :

- carrées ordinaires (QP) ou réduites (QZ);
- hexagonales réduites (HZ);
- cylindriques (C).

Certaines vis ne comportent pas de tête :

- vis fendues sans tête;
- vis six pans creux (HC).

◆ Autres possibilités d'utilisation

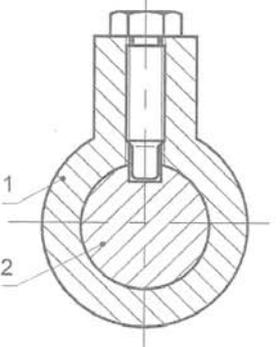
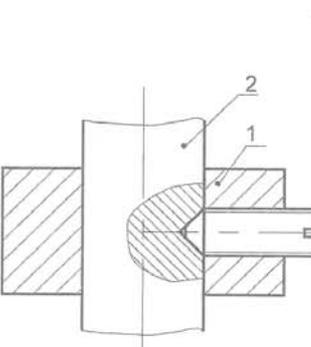
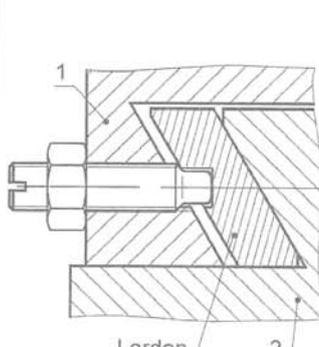
Vis de guidage en translation	Vis d'arrêt	Vis de réglage
		
<p>La vis de pression est en appui par l'intermédiaire de sa tête sur la pièce 1. L'extrémité de la vis pénètre sans serrage dans une rainure de la pièce 2. La vis de pression supprime un degré de liberté en rotation entre les pièces 1 et 2.</p>	<p>La vis d'arrêt à bout pointu ou « vis pointeau » pénètre dans un logement de la pièce à serrer. Elle réalise ainsi une liaison complète entre l'axe 2 et le logement 1.</p>	<p>La vis permet le réglage de la position d'un lardon de rattrapage de jeu au sein d'un guidage en translation entre les pièces 1 et 2. Un contre-écrou bloque la vis en position après serrage.</p>

Figure 8.37 : Exemples d'utilisation des vis de pression.

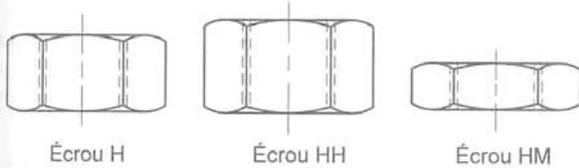


Figure 8.38 : Écrous hexagonaux.

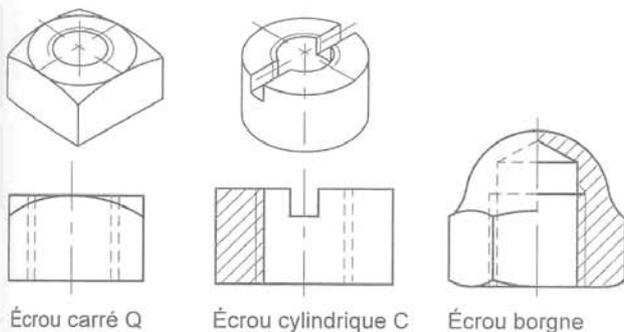


Figure 8.39 : Écrous de différents types.

8.4.7. Écrous

En association avec un boulon ou un goujon, ils participent à la réalisation d'assemblages démontables.

◆ Principaux types

Écrou hexagonal (figure 8.38).

L'écrou le plus utilisé est l'écrou hexagonal H de hauteur égale à $0,8 d$.

Il existe deux variantes :

- l'écrou haut HH de hauteur égale à d ;
- l'écrou mince HM de hauteur $0,5 d$.

Écrou carré Q. Il est principalement utilisé en charpente bois et permet un serrage énergique.

Écrou cylindrique C. Utilisé principalement dans l'industrie électrique, il procure un serrage peu important et nécessite l'utilisation d'une clé spéciale.

Écrou borgne. Il permet la protection de l'extrémité du boulon ou de la tige fileté, améliore l'esthétique et la sécurité.

◆ Désignation des écrous

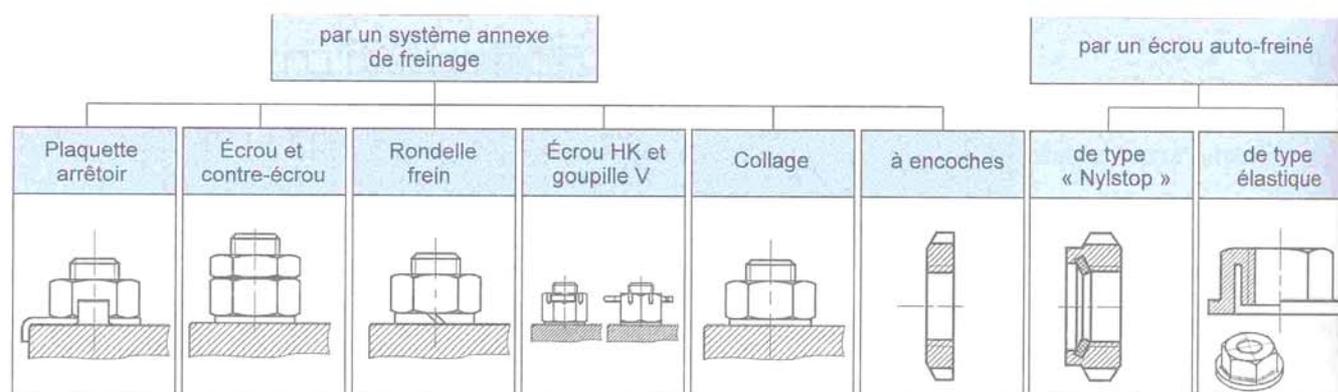
Elle se fait par le type d'écrou, le type de profil, le diamètre et la qualité.

Exemple : L'écrou H, M8, 8 est un écrou de type H, filetage ISO de diamètre nominal 8, de classe de qualité 8 (le nombre représentant la classe de qualité indique la valeur de la contrainte d'épreuve, ou charge limite, divisée par 100 en daN/mm²).

◆ Freinage des écrous

Afin d'éviter leur desserrage sous l'effet de vibrations ou de chocs, le freinage des écrous est souvent nécessaire pour des raisons évidentes de sécurité. Plusieurs solutions sont envisageables, soit à partir d'écrous spéciaux, soit à partir d'un système annexe de freinage (voir figure 8.40).

Figure 8.40 : Freinage des écrous.



◆ Écrous spéciaux

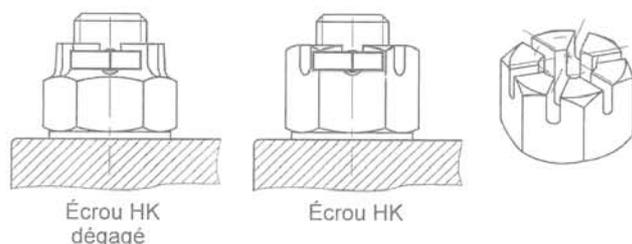


Figure 8.41 : Écrous HK et HK dégagé.

Écrous à créneaux : HK ou HK dégagé + goupille V. Ils sont constitués d'un écrou hexagonal, muni de créneaux, associé à une goupille fendue (de type V) montée sur l'arbre. Ils assurent un freinage absolu (voir figure 8.41).

Écrou à encoches (figures 8.40 et 8.42). Principalement utilisé lors du montage des bagues intérieures des roulements, il nécessite l'utilisation d'une rondelle frein pénétrant dans une rainure de l'arbre.

Il est réglable et d'une grande efficacité mais nécessite l'usinage de l'arbre (voir chapitre 9 – Guidage en rotation, pour une illustration dans le cadre d'un montage de roulements).

Écrou « Nylstop » (figure 8.40). Lors de l'opération de vissage, le filetage de la vis pénètre dans une bague en polyamide qui assure, par sa déformation, le freinage. Ce type d'écrou doit être changé après démontage.

Écrou de type élastique (figure 8.40). L'écrou se déforme lors de la phase ultime de serrage. Son action est comparable à celle d'une rondelle élastique.

◆ Systèmes annexes de freinage

Écrou et contre-écrou (figure 8.40). Le maintien de l'écrou après un serrage modéré est suivi du serrage normal du contre-écrou. On peut assurer ainsi le contact de l'ensemble des deux écrous avec les deux faces du profil du filetage.

Ce système de freinage est délicat à mettre en œuvre et encombrant.



Figure 8.42 : Écrou à encoches.

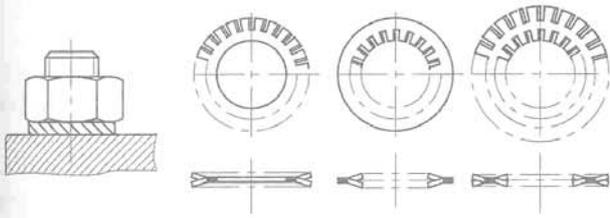


Figure 8.43 : Rondelles à dents.

La rondelle, pour ne pas perdre son efficacité, ne doit être utilisée qu'une ou deux fois.

Rondelles frein à dents (figure 8.43). En raison de leur très grand nombre de dents, elles assurent un excellent freinage. Le nombre de réutilisations est limité à deux.

Rondelles frein Grower (figure 8.44). Formées d'un fil d'acier à ressort, elles pénètrent grâce à des extrémités pointues dans l'écrou et dans la pièce à assembler lors du serrage.

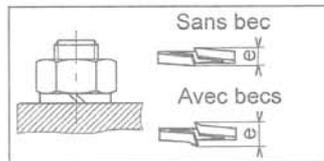


Figure 8.44 : Rondelle Grower.

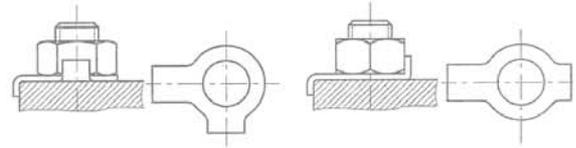


Figure 8.45 : Plaquette arrêtoir.

Freins en tôle (figure 8.45). Ils sont constitués d'une plaque métallique possédant deux ailerons dont l'un est replié sur une des faces de l'écrou, de la vis ou du boulon, et l'autre sur une des faces de la pièce. Ces freins sont d'une grande efficacité, mais nécessitent l'accès à un bord de pièce.

Info-Dico

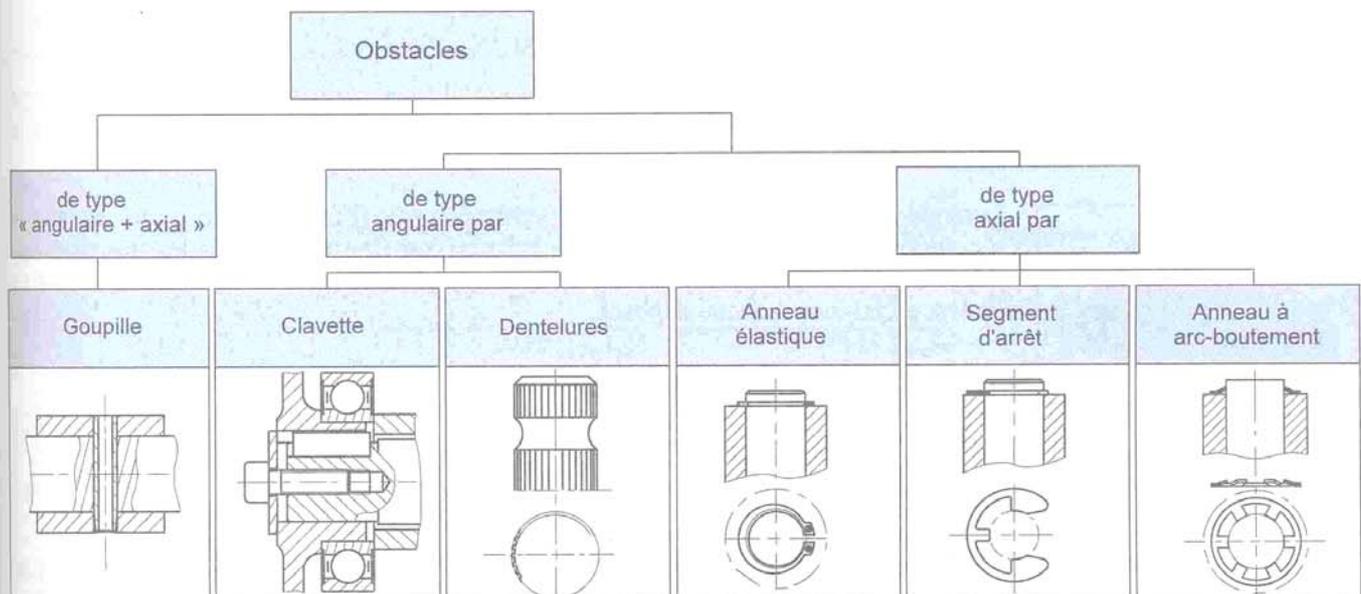
Anaérobie : dont la réaction se fait en l'absence d'air ou d'oxygène.

Collage des filets. Les filets sont collés par une résine *anaérobie* (Frein filet 270 de la société Loctite par exemple), le couple de rupture de l'assemblage atteint 36 m.N. pour un filet M10. Le freinage obtenu est d'une grande efficacité. L'assemblage obtenu est étanche et résiste à des températures pouvant atteindre 150 °C.

8.5. Les obstacles de type standard

De nombreux composants faisant office d'obstacles sont utilisés pour réaliser des assemblages démontables entre deux pièces. La figure 8.46 décrit les principaux obstacles de type standard utilisables pour la réalisation d'un assemblage démontable à partir de surfaces de contact cylindriques.

Figure 8.46 : Principaux obstacles de type standard.



8.5.1. Obstacles de type angulaire + axial

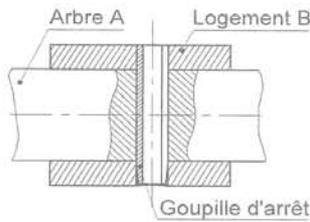


Figure 8.47 : Assemblage réalisé par goupillage.

Une goupille est une broche métallique qui traverse deux pièces à assembler et qui se maintient dans son logement généralement par adhérence. Elle permet, en supprimant les deux degrés de liberté que laisse subsister le contact cylindrique entre les deux pièces, d'établir un assemblage entre elles (voir figure 8.47). Le perçage des deux pièces est souvent effectué après montage. Le trou de perçage, en créant un phénomène de concentration de contraintes, affaiblit la résistance de l'arbre.

Les goupilles sont souvent utilisées comme organe de sécurité. Dans ce cas leurs caractéristiques sont choisies de manière à ce que leur rupture par cisaillement lors d'un incident assure le désaccouplement des deux pièces avant toute détérioration des organes essentiels d'un mécanisme.

◆ Différents types de goupilles

Figure 8.48 : Différents types de goupilles.

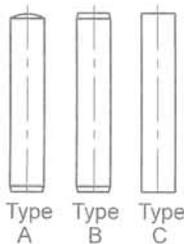
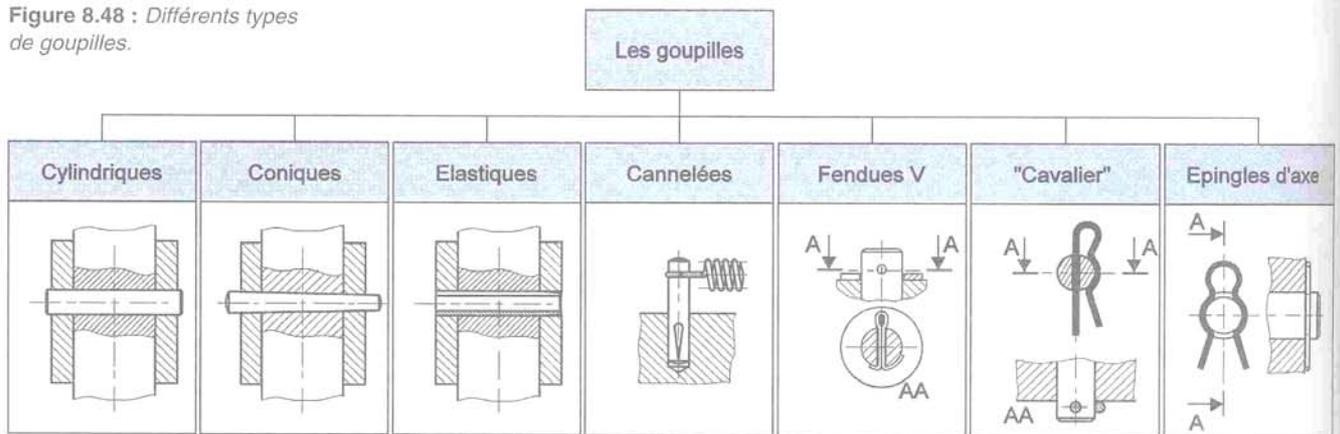


Figure 8.49 : Goupilles cylindriques.

Goupilles cylindriques (NF E 27-484). Elles sont en acier rond calibré non trempé, ou en acier « Stub » (acier rectifié de type C80).

Leur tolérance (voir chapitre 14) sur le diamètre d est fonction de leur type (voir figure 8.49) :

- type A : m6 ;
- type B : h6 ;
- type C : h11.

Goupilles élastiques (NF E 27-489). Une tôle d'acier traité permet de les réaliser par enroulement. Elles se montent dans un trou brut de perçage d'un diamètre inférieur au diamètre de la goupille. Elles ont une très bonne résistance au cisaillement.

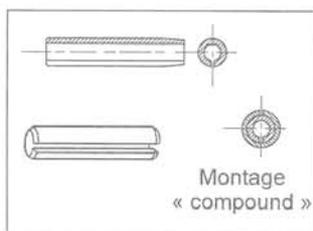


Figure 8.50 : Goupilles élastiques.

Lorsque l'effort de cisaillement est trop important, il est possible de les monter en « compound », c'est-à-dire l'une dans l'autre (voir figure 8.50). On les trouve parfois abusivement désignées dans les nomenclatures industrielles par le nom « Mécanindus » qui est en fait une marque déposée.

◆ Différentes utilisations des goupilles

Les goupilles peuvent être également utilisées comme :

- pied de centrage ou de positionnement ;
- attache de ressort ;
- axe d'articulation. La goupille est solidaire d'une des pièces de la liaison pivot.

La figure 8.51 présente ces différentes utilisations dans le cas d'utilisation de goupilles cannelées (ISO 7595 et ISO 8742).

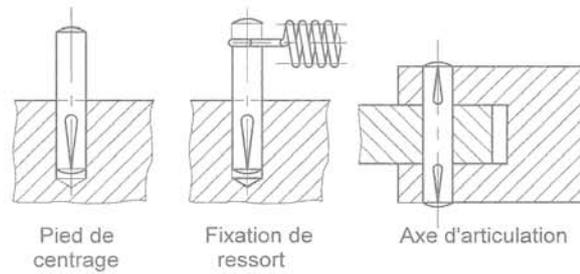


Figure 8.51 : Différentes utilisations des goupilles.

8.5.2. Obstacles de type angulaire

◆ Clavetages parallèles

La figure 8.52 décrit l'assemblage d'une poulie 2 et d'un arbre 1. Le contact entre ces deux pièces suivant une surface cylindrique laisse subsister un degré de liberté en translation et un degré de liberté en rotation. Ce dernier est supprimé par une clavette 3 logée, d'une part, dans une rainure de l'arbre 1 et, d'autre part, dans une rainure de la poulie 2.

Différents types de clavettes peuvent être utilisés : les clavettes parallèles fixées ou non dans l'arbre et les clavettes disques.

Clavettes parallèles (NF E 27-656). D'utilisation courante, elles permettent de transmettre entre deux pièces un couple limité, mais supérieur au couple transmis par une goupille (figure 8.53). La rainure diminue le diamètre de l'arbre et engendre des concentrations de contraintes.

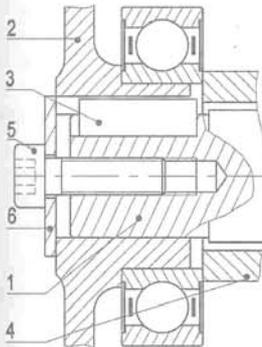


Figure 8.52 : Clavetage libre.

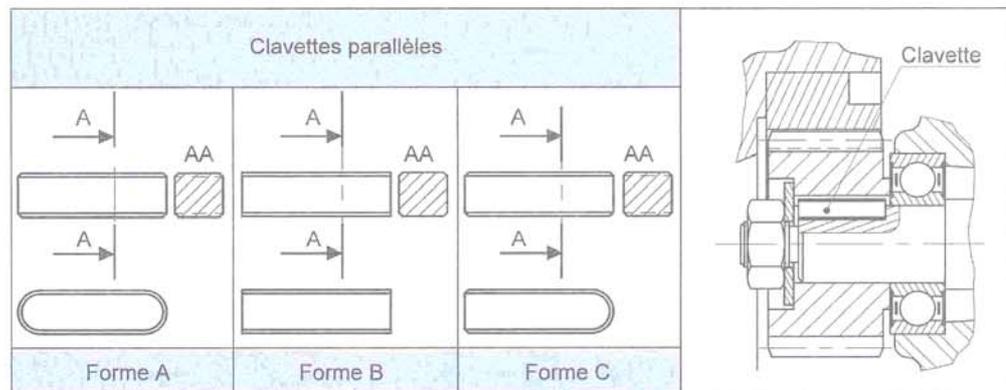


Figure 8.53 : Clavettes parallèles.

Clavettes parallèles à fixer par vis (NF E 27-658) : figure 8.54.

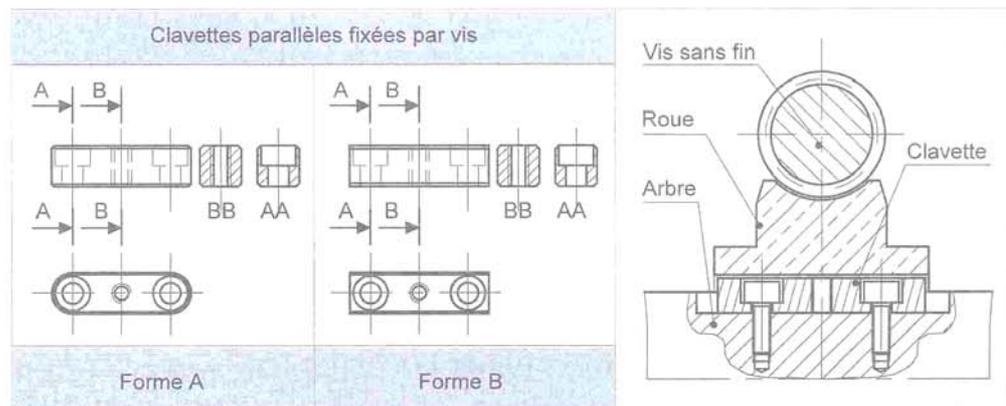
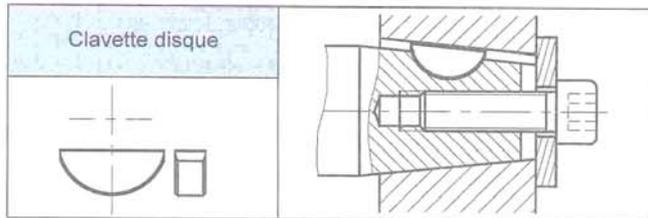


Figure 8.54 : Clavettes parallèles fixées par vis.

Elles sont fixées dans la rainure par deux vis CHC, le taraudage central servant au démontage. Cette disposition est surtout utilisée lorsqu'il y a un mouvement relatif (guidage).

Clavettes disques (NF E 27-653). Souvent utilisées sur des arbres coniques, elles permettent de transmettre des couples faibles.

Figure 8.55 : Clavette disque.



La rainure, facile à exécuter à l'aide d'une petite fraise trois tailles maintient parfaitement la clavette, mais du fait de sa profondeur, affaiblit l'arbre (figure 8.55).

Les caractéristiques dimensionnelles d'une liaison par clavetage sont normalisées. Seule la longueur minimale de la clavette doit être calculée en fonction de la pression latérale engendrée sur ses flancs par le couple transmis.

◆ Clavetages transversaux

Ces liaisons par obstacle sont réalisées par une clavette disposée transversalement dans l'assemblage.

Les figures 8.56 et 8.57 donnent deux exemples de clavetages transversaux :

– le dessin figure 8.56 représente l'assemblage de l'axe du pédalier 2 et de la manivelle 3 d'une bicyclette, par l'intermédiaire de la clavette vélo 1 ;

– sur le dessin d'un winch figure 8.57 (section CC), la clavette 14 assure l'immobilisation relative en translation de l'arbre 6 par rapport à la pièce 18 fixe et liée à la coque du bateau.

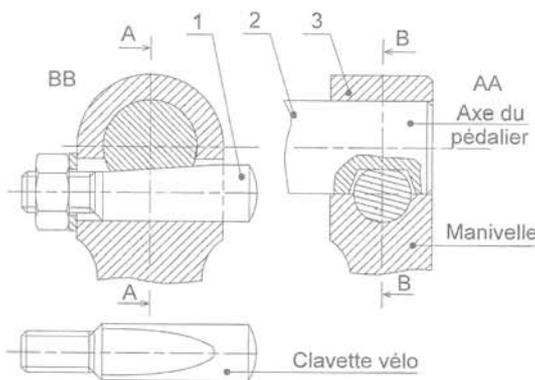


Figure 8.56 : Clavette vélo.

Info-Dico

Winch : équipement fixé sur le pont ou sur les mâts des voiliers. Il permet d'agir, par exemple, sur les cordages pour hisser une voile.

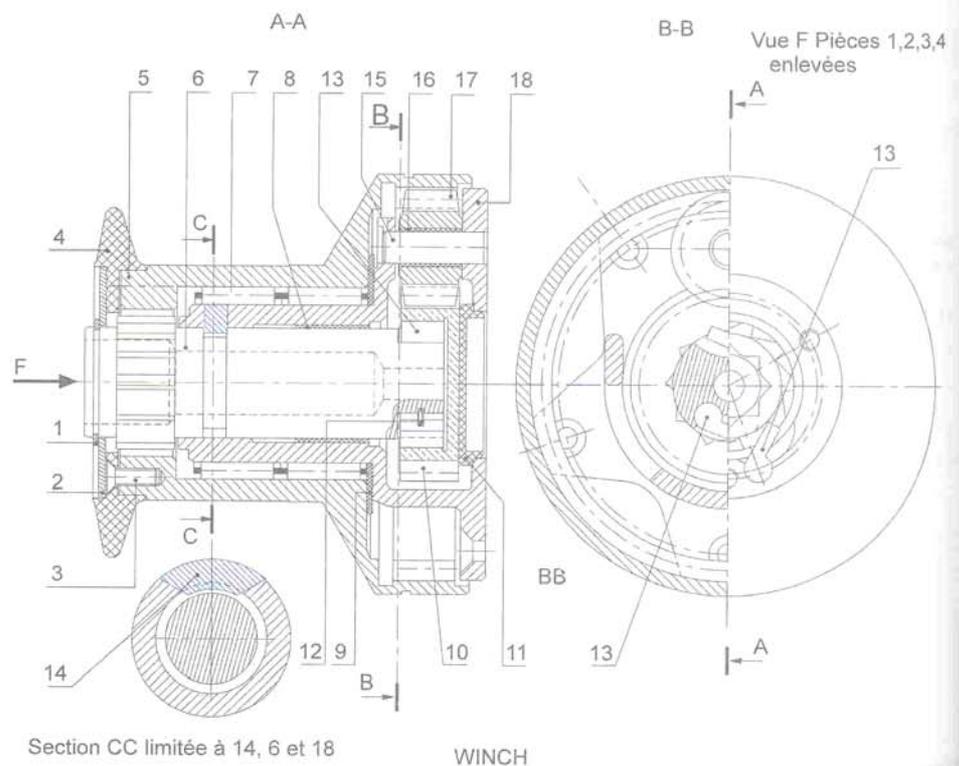


Figure 8.57 : Exemple de clavetage transversal.

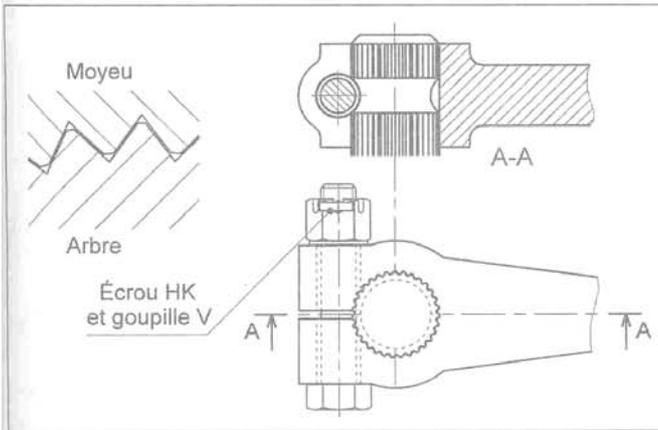


Figure 8.58 : Exemple d'utilisation de dentelures rectilignes.

◆ **Dentelures rectilignes (NF E 22-151)**

Les dentelures participent à la réalisation d'assemblages. La précision du centrage est inférieure à celle obtenue par l'utilisation de cannelures à flanc rectiligne ou à développantes (utilisées pour la réalisation de liaison glissière). Il existe plusieurs profils pour les dentelures rectilignes : triangulaire, cylindrique, trapézoïdal, etc. Le centrage s'effectue sur les flancs des dentelures. Dans l'exemple figure 8.58, les dentelures assurent un assemblage laissant subsister un degré de liberté en translation. Le système par pincement supprime ce degré de liberté par adhérence.

8.5.3. Obstacles de type axial

◆ **Anneaux élastiques à montage axial (NF E 22-163 et NF E 22-165)**

Utilisés pour des arbres ou des alésages, les anneaux élastiques réalisés en acier de type C60 (ancienne symbolisation XC60) traité pour $HRC \geq 47$, phosphaté, se montent sur l'arbre ou l'alésage dans une rainure.

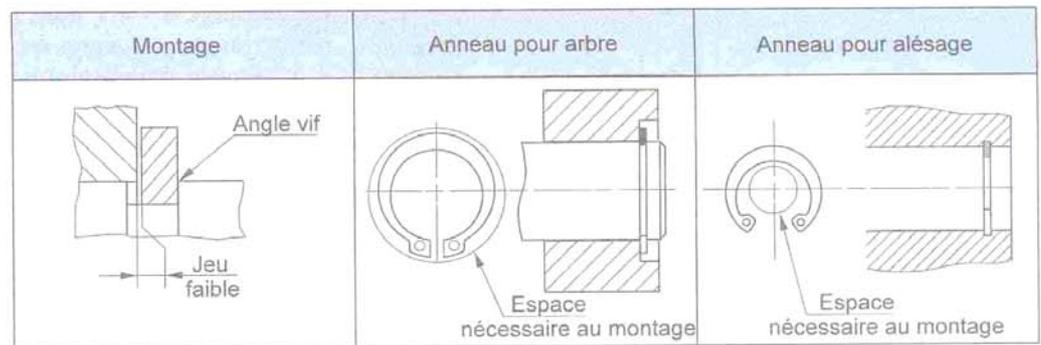


Figure 8.59 : Anneaux élastiques.

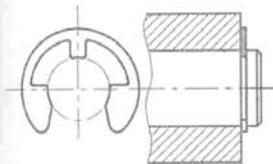


Figure 8.60 : Segment d'arrêt.

Une pince spéciale permet d'augmenter, ou de réduire leur diamètre lors de l'opération de mise en place. Il est nécessaire de prévoir un espace libre pour le montage. On les trouve parfois désignés par le nom de « Circlips » qui est une marque déposée. La pièce en contact avec l'anneau doit présenter un angle vif (chanfrein très faible compris entre 0,02 et 0,05). Le respect de cette condition et une largeur de gorge adaptée permettent à l'anneau de supporter des efforts axiaux significatifs malgré une faible profondeur de la gorge (0,5 pour 20).

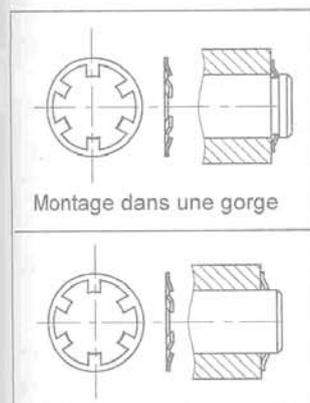


Figure 8.61 : Anneau d'arrêt à arc-boutement.

◆ **Segments d'arrêt à montage radial (NF L 23-203A)**

Utilisés pour un arrêt axial sur arbre, ces segments d'arrêt, en acier C75 ou plus rarement en bronze ou en matériau plastique, se montent manuellement dans une gorge (figure 8.60). Ces segments permettent de réaliser des épaulements de hauteur importante. La charge axiale supportée est très inférieure à celle des anneaux élastiques. Ces segments, en raison de leur forme, n'acceptent que des vitesses de rotation faibles (pour éviter l'éjection sous l'effet de la force centrifuge).

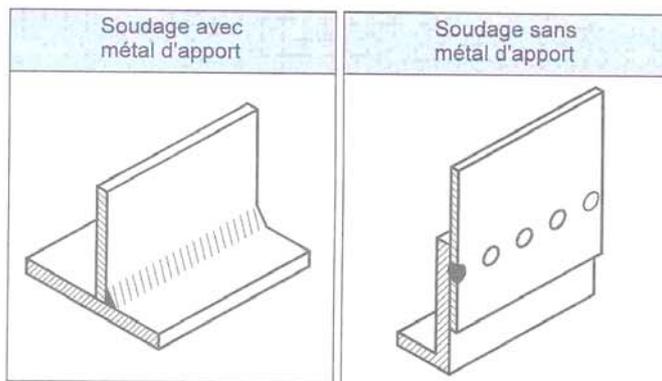
◆ **Anneaux d'arrêt à arc-boutement**

Ils se montent axialement par déformation des dents, dans une gorge, ou directement sur l'arbre ou l'alésage, en s'appuyant sur la pièce à immobiliser en translation (figure 8.61). Lors du montage, l'anneau élastique se déforme pour se mettre en place. Si une sollicitation tend à le chasser de sa position, il s'arc-boute et reste en place. Ces anneaux sont très employés pour des pièces brutes, des pièces moulées en plastique ou en alliage léger. Après démontage, ces anneaux doivent être remplacés.

8.6. Les assemblages permanents

8.6.1. Soudage

Figure 8.62 : Procédés de soudage.



Le soudage permet d'obtenir une liaison encastrement directe et permanente entre deux pièces jointives par fusion locale avec ou sans métal d'apport (figure 8.62).

◆ Principaux procédés de soudage avec métal d'apport

Soudage au chalumeau oxyacétylénique. Il est utilisé pour la soudure de tôles minces, avec apport de métal de même nature que les pièces assemblées. La température atteinte est d'environ 3 000 °C.

Soudure à l'arc électrique. Un arc électrique, produit entre une baguette enrobée (première électrode) et les pièces à souder (deuxième électrode), permet la fusion aux environ de 3 500 °C de la baguette et des bordures des tôles et des profilés à assembler.

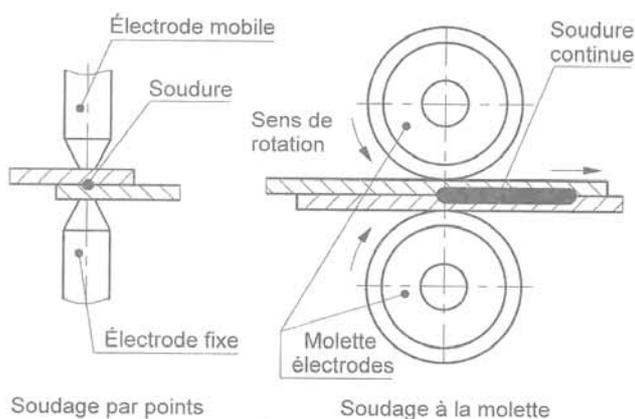


Figure 8.63 : Soudage par résistance électrique.

Le soudage à l'arc peut être réalisé sous atmosphère neutre (argon, ou argon + CO₂), empêchant le phénomène d'oxydation par diminution (du fait de la présence de gaz neutre) de la proportion d'oxygène. Pour la soudure de l'aluminium, on évite ainsi la formation d'une croûte superficielle d'alumine Al₂O₃ (oxyde d'aluminium) qui s'oppose à la soudure des pièces.

◆ Principaux procédés de soudage sans métal d'apport

Soudage par résistance électrique par point. Deux électrodes plaquent les tôles assemblées par recouvrement, le passage du courant crée un échauffement qui permet la fusion locale des pièces.

Soudage par résistance électrique par molette. Phénomène physique identique au soudage par point, les molettes permettent un soudage continu.

8.6.2. Brasage et soudo-brasage

Le brasage est un mode d'assemblage hétérogène. Les pièces à assembler sont chauffées en présence d'un métal d'apport de nature différente et de température de fusion inférieure à celle du métal de base.

◆ Principaux procédés de brasage

Brasage tendre. La température de fusion est < 450 °C. Les brasures à base d'alliages plomb-étain, étain-argent et étain-antimoine sont les plus utilisées.

Brasage fort. La température de fusion est > 450 °C. Les alliages à base de cuivre, d'argent et d'aluminium-silicium constituent les brasures les plus courantes.

Soudo-brasage. Le soudo-brasage réalise des assemblages où seul le métal d'apport (laiton, maillechort, cuivre-phosphore) est porté en fusion. Un flux décapant doit impérativement protéger la zone soudo-brasée. Ce flux se présente soit sous forme de poudre (borate de soude ou acide borique), soit sous forme gazeuse (mélangé au gaz combustible).

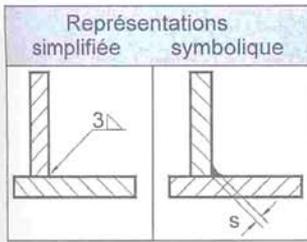


Figure 8.64 : Exemples de représentation symbolique des soudures.

8.6.3. Dispositions des soudures

Les soudures font l'objet d'une représentation symbolique (NF E 04-020).

Le symbole ne constitue qu'un élément de la méthode de représentation et il est placé sur une ligne de référence qui forme un certain angle avec une ligne repère terminée par une flèche (voir figure 8.64).

8.6.4. Conception des assemblages

Les hautes températures atteintes localement lors du soudage provoquent des déformations plus ou moins importantes selon la température atteinte, la durée de chauffe et les dispositions constructives retenues.

Par ailleurs, la réalisation des soudures nécessite une certaine accessibilité des zones où s'effectue l'assemblage.

Figure 8.65 : Solutions préférentielles d'assemblages soudés.

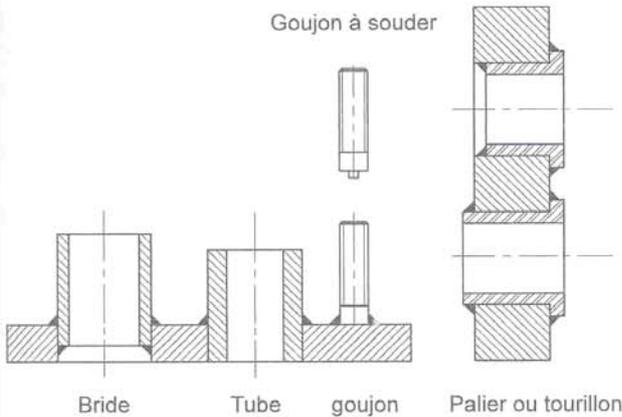
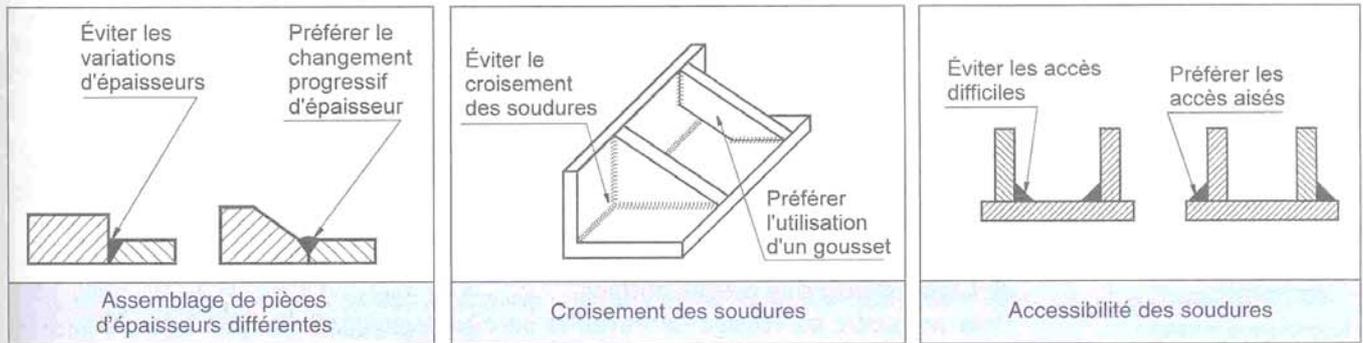


Figure 8.66 : Exemples d'assemblage par soudage.

8.6.5. Collage

Le collage prend une place de plus en plus importante dans les industries de pointe telles que l'aéronautique et les sports mécaniques, du fait des avantages spécifiques à ce mode d'assemblage (voir exemples figure 8.67). Actuellement ce mode de liaison se développe dans tous les secteurs de l'industrie.

Le type de colle à utiliser (adhésif) dépend des matériaux ou substrat (nature, géométrie, état des surfaces) et des contraintes (solllicitations mécaniques, environnement et mise en œuvre) supportées par les pièces à assembler.

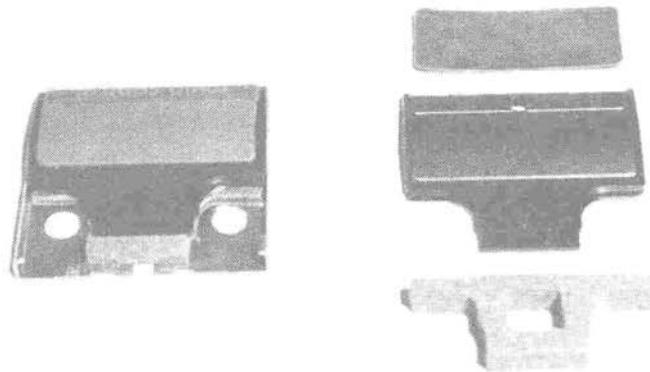


Figure 8.67 : Exemples d'assemblage par collage (système de sécurité pour ski).

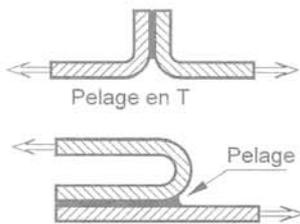


Figure 8.68 : Phénomène de pelage.

◆ **Principe**

La colle est déposée sur les surfaces préalablement décapées. Elle se solidifie à la température ambiante, ou à des températures supérieures obtenues au four (150 à 200 °C). Certains collages nécessitent une mise sous pression des surfaces des pièces à assembler. La colle pénètre dans les interstices ou les pores de la surface, en produisant un phénomène d'accrochage mécanique sur la surface (interface).

Les pièces à assembler doivent travailler essentiellement au cisaillement. Il faut impérativement éviter les phénomènes de pelage (voir figure 8.68), qui engendrent des contraintes perpendiculaires au joint de collage.

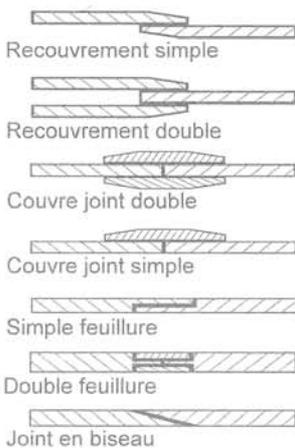


Figure 8.69 : Différents types de joints collés.

◆ **Conception des pièces collées**

Pour permettre au collage de travailler au cisaillement, plutôt qu'à la traction, il est intéressant d'utiliser des liaisons à recouvrement simple ou double (figure 8.69) :

- le recouvrement simple est recommandé pour les sections minces, du fait de sa simplicité d'exécution et de sa bonne résistance ;
- le recouvrement double assure un très bon assemblage pour un prix de revient réduit ;
- le couvre-joint double est peu utilisé, car le joint n'est plan sur aucune des faces. On utilise fréquemment le couvre-joint simple, qui permet l'obtention d'une surface plane sans préparation particulière ;
- les recouvrements en feuillure simple ou double sont à éviter, car l'entaille réduit de moitié la résistance du joint ;
- le recouvrement avec joint en biseau offre une très bonne résistance mais un prix de revient élevé. Il est limité aux assemblages des tôles épaisses.

■ **Exemple :** Assemblages d'équerres (voir figure 8.70).

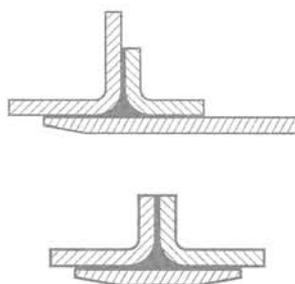


Figure 8.70 : Assemblages d'équerres.

◆ **Avantages du collage comme technique d'assemblage**

- le collage permet une répartition régulière des actions mécaniques, ce qui n'est pas le cas avec le rivetage ou le soudage par point ;
- les pièces collées permettent des assemblages étanches ;
- le collage, à résistance égale, permet un gain de poids des assemblages ;
- les assemblages collés évitent les perçages qui affaiblissent la résistance mécanique des pièces ;
- le collage n'entraîne pas de modification des caractéristiques mécaniques et métallurgiques des pièces assemblées ;
- la nature des matériaux et leur épaisseur peuvent être différentes ;
- le collage permet d'obtenir une solution souvent moins coûteuse et plus esthétique que les assemblages traditionnels ;
- le collage permet d'obtenir une résistance au cisaillement allant de 3 à 15 MPa, certaines colles (Blocpresse 648 de Loctite par exemple) pouvant atteindre 35 MPa.

◆ **Inconvénients principaux du collage comme technique d'assemblage**

- le collage est généralement non démontable sans détérioration des surfaces ;
- le collage est sensible à la chaleur ;
- les surfaces nécessitent des préparations (dégraissage, sablage, traitement chimique) ;
- la résistance mécanique est limitée par l'étendue de la surface encollée.

Matériaux	Petites surfaces	Surfaces moyennes	Grandes surfaces
Bois	AI	EP, PU	EP, PU
Caoutchouc	AI	AI, PU	PU
Verre	AC	SI	SI
Plastique	AI	AI, EP	EP
Métal	AC, AI	AC, SI, EP, PU	SI, EP, PU

Légende : AI Adhésifs instantanés, AC Acryliques, EP Époxy, PU Polyuréthanes, SI Silicones.

◆ **Types de colles utilisées**

Résine anaérobie. Elle est utilisée pour la fixation des emmanchements cylindriques. Le jeu entre les pièces à assembler est d'environ 0,15 à 0,25 mm. La prise s'effectue en 5 à 10 minutes, la résistance finale n'intervenant qu'au bout de 12 heures.

Ce type de collage résiste à une température de pointe prolongée pouvant atteindre 150 °C, il permet d'élargir les tolérances d'usinage, de même qu'il rend étanche et protège les pièces contre la corrosion.

Résine acrylique. Elle permet d'obtenir un collage de pièces mécaniques rigides, avec un jeu maximum de 0,5 mm. Les surfaces à coller doivent être préalablement nettoyées, et traitées par un activateur (qui amorce la réaction). Le collage permet d'obtenir une grande résistance à la traction (avec des surfaces lisses), à la chaleur, et à l'humidité. 5 à 10 minutes sont nécessaires pour observer le début de prise du collage par la résine acrylique, qui atteint sa résistance finale en 24 heures.

Résine époxy. Elle trouve son application dans les collages rigides de très nombreux matériaux. Le mélange et l'application des deux composants de la colle, souvent présentés en double conditionnement, se font très facilement. Un chauffage limité accélère la prise.

Résine polyuréthane. Elle polymérise à température ambiante, sous l'influence de l'humidité atmosphérique, et permet d'obtenir des collages souples, résistants en 24 ou 48 heures. Un grand nombre de matériaux comme le bois, les plastique, la tôle peinte, le verre, etc., peuvent être assemblés par les résines polyuréthanes. Elles sont largement utilisées en plomberie et sanitaire.

Élastomères de silicone. Ils permettent également l'obtention de collages souples à prise accélérée. Ils sont utilisés, lorsque l'étanchéité, le temps de prise, la tenue en température (-70 ° à +200 °C) et la durée de vie sont des contraintes de fabrication importantes. Les applications sont multiples : joints écrasés, en forme, moulés, injectés, collage de raidisseurs, structures en nid d'abeille, etc.

Cyanoacrylate d'éthyle. Elle permet les collages instantanés (temps de prise de 2 à 20 secondes) de très nombreux matériaux. Ce produit toxique et dangereux demande des précautions d'emploi lors de sa mise en œuvre.

8.6.6. Rivetage

Un rivet est une tige cylindrique possédant une tête. Un outil de forme, appelé contre-bouterolle, maintient le rivet en position pendant que la bouterolle refoule son extrémité sous l'action de chocs (marteau pneumatique), ou d'un effort continu (presse hydraulique ou pneumatique) : voir figure 8.72.

La création de la deuxième tête, appelée rivure, assure un assemblage non démontable.

Les rivets peuvent être posés à froid ou à chaud :

- pour la pose à froid, le rivet ajusté dans son trou de passage supporte, monté, des sollicitations de cisaillement ;

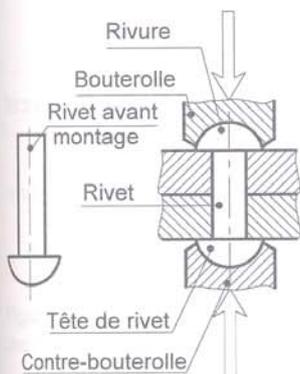


Figure 8.72 : Principe du rivetage.

– dans le cas d'une pose à chaud, le rivet en refroidissant se rétracte en créant un jeu diamétral et en exerçant un effort de serrage énergétique des pièces. Le rivet ne travaille plus au cisaillement mais à l'extension, et la liaison obtenue se fait par adhérence.

◆ **Différents types de rivets**

Rivets à tige pleine ou forée. Les rivets peuvent être à tige pleine ou à tige forée, ce qui facilite la formation de la rivure. Leur désignation dépend de la forme de leur tête (voir figure 8.73).

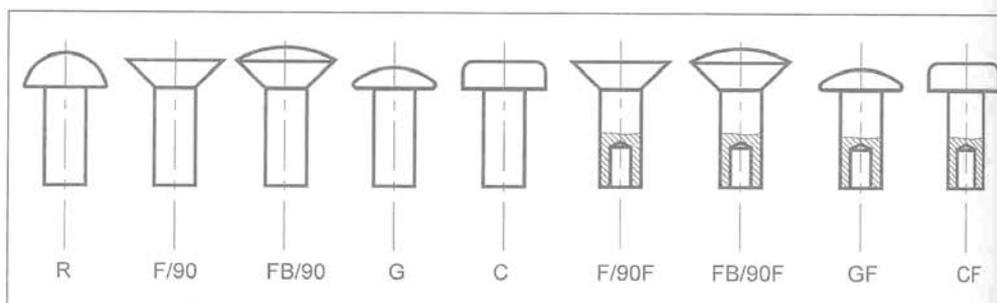


Figure 8.73 : Différents types de rivets à tige pleine ou forée.

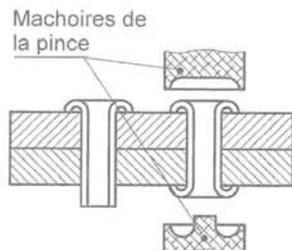


Figure 8.74 : Rivets creux.

Rivets creux. Ils se posent à froid à l'aide d'une pince formant l'ensemble bouterolle/contre-bouterolle (figure 8.74).

Rivets « Pop » et rivets étanches « Imex ». Ces rivets industriels permettent la formation de la rivure sur une face inaccessible. Ils se posent à froid, à l'aide d'une pince qui exerce un effort de traction sur la tige, tout en plaquant la tête contre la pièce. Cette action écrase le rivet en formant la deuxième tête. Une fois le rivetage terminé, la tige se rompt (figure 8.75).

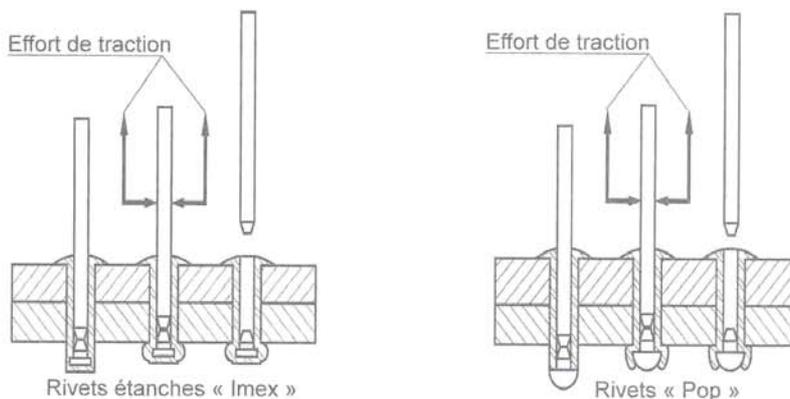


Figure 8.75 : Rivets industriels.

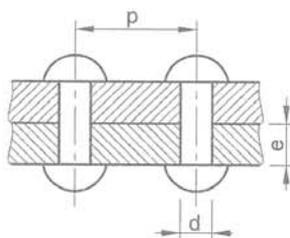


Figure 8.76 : Dispositions constructives.

◆ **Dispositions constructives**

Le choix du diamètre nominal (d) du rivet est fonction de l'épaisseur (e) de l'élément le plus épais à assembler : $d = (45 \times e) / (15 + e)$.

Le diamètre de perçage est en général égal à 1,1d ou 1,05d si une étanchéité est recherchée.

Le pas entre les rivets en ligne est tel que $3d < p < 10d$.

◆ **Utilisations des rivets**

Les secteurs industriels tels que la chaudronnerie, les charpentes métalliques, l'aéronautique, utilisent couramment des assemblages rivetés. L'assemblage réalisé à l'aide de rivets n'est pas démontable sans détérioration de l'élément d'assemblage.

8.6.7. Emmanchements forcés ou frettage

Cette technique permet de réaliser une liaison encastrement non démontable par adhérence entre deux pièces cylindriques.

Les actions mécaniques transmissibles par un assemblage fretté dépendent de la différence entre le diamètre de l'arbre et celui de l'alésage.

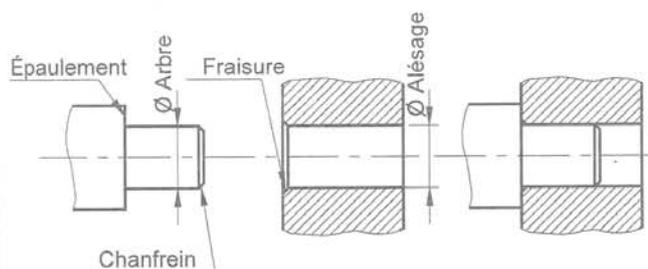


Figure 8.77 : Principe de l'emmanchement forcé.

◆ Principe

Le diamètre de l'arbre (\varnothing Arbre) est supérieur à celui de l'alésage (\varnothing Alésage). On oblige mécaniquement l'arbre à pénétrer dans le moyeu. Pour des charges axiales, ou moments de couple à transmettre relativement peu importants, une frappe (maillet), ou un effort continu (presse) assure la pénétration. Il est alors nécessaire de chanfreiner les pièces et de les lubrifier lors du montage (figure 8.77).

Pour la transmission des efforts très élevés, donc pour un jeu très largement inférieur à 0, on refroidit l'arbre par trempage dans un gaz liquide (azote ou gaz carbonique). Il est ensuite emmanché à la presse dans le moyeu dilaté par chauffage au four ou dans un bain d'huile.

Le retour des deux pièces à la température ambiante garantit un serrage énergétique.

■ **Exemple :** La figure 8.78 montre le montage d'un galet de renvoi de la courroie de distribution (Renault R25). L'axe 3 est fretté dans le support 4 (ajustement H7/p6).

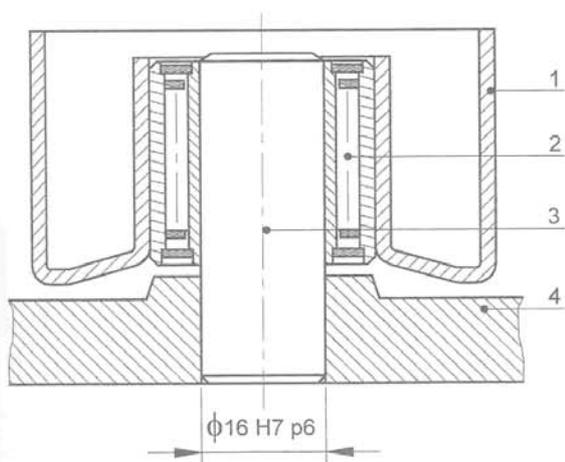


Figure 8.78 : Exemple d'emmanchement.

◆ Formes des pièces et dispositions constructives

Pour le montage des pièces emmanchées avec serrage, quelques dispositions constructives sont à retenir. Pour faciliter la pénétration des pièces, il est nécessaire de prévoir un chanfrein sur l'arbre, et une fraisure cylindrique sur le moyeu.

Un épaulement sur l'arbre est souvent utile pour assurer son positionnement.

Afin de limiter les concentrations de contraintes sur l'axe au droit de l'assemblage, il peut se révéler nécessaire de prévoir l'une des dispositions suivantes (figure 8.79) :

- une augmentation de diamètre de l'axe au niveau de la portée ;
- une gorge de concentration de contraintes usinée sur l'axe ou sur la bague ;
- un évasement au niveau de l'alésage de la bague ;
- des usinages spécifiques lorsque la bague vient en butée axiale sur l'épaulement de l'axe.

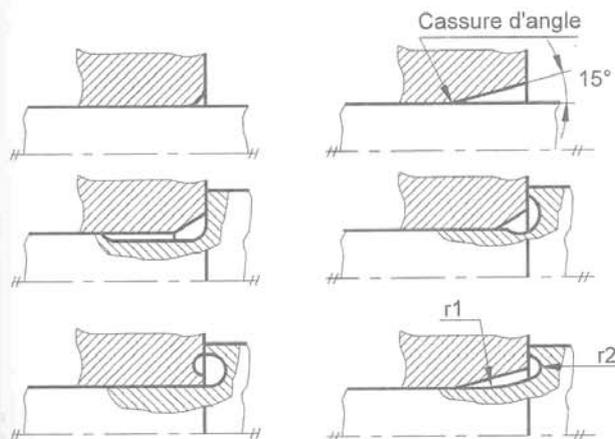


Figure 8.79 : Raccordements des pièces emmanchées.