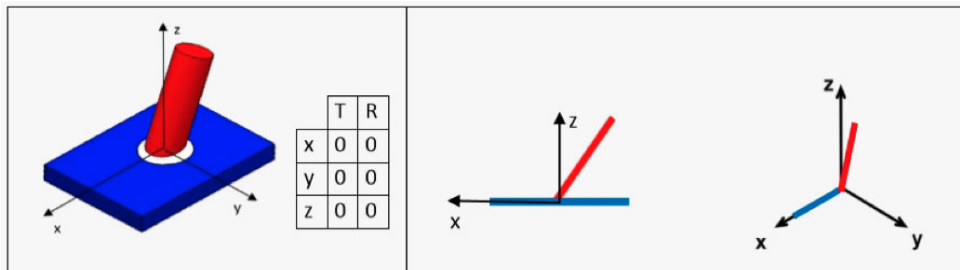




CONCEPTION DES MÉCANISMES

CONCEPTION DES LIAISONS ENCASTREMENT



Compétences visées:

- E1-01** Rechercher des informations.
- E1-05** Lire et décoder un document technique.
- F3-02** Concevoir et dimensionner une liaison mécanique.

Table des matières

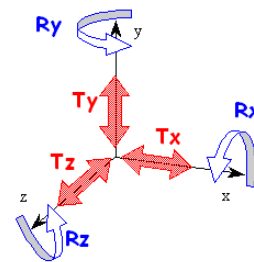
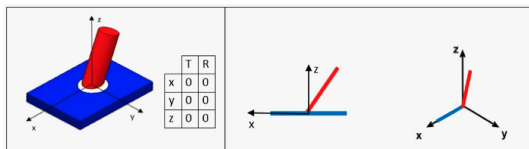
1	Fonction d'une liaison complète	3
2	Réaliser la mise en position	3
2.1	Contact plan prépondérant	4
2.1.1	Mise en position par appui plan + centrage court	4
2.1.2	Mise en position par pions ou bagues de centrage	5
2.1.3	Autres solutions	5
2.2	Contact cylindrique prépondérant	5
2.3	Contact conique prépondérant	6
2.3.1	Montage direct	6
2.3.2	Montage par éléments coniques intermédiaires	6
2.4	Choix des surfaces de contact	7
3	Réaliser le maintient en position	8
3.1	Liaisons démontables	8
3.1.1	Maintien par éléments filetés et taraudés	8
3.1.2	Maintien par obstacles	12
3.2	Liaisons non démontables	13
3.2.1	Rivetage	13
3.2.2	Soudage	13
3.2.3	Collage	13
3.2.4	Emmanchement ou frettage	13
4	Transmettre la puissance	14
4.1	Transmission par clavette	14
4.1.1	Profil des clavettes	14
4.1.2	Profil des arbres	15
4.1.3	Conception des assemblages clavetés	15
4.1.4	Dimensionnement des assemblages clavetés	15
4.2	Transmission par cannelures	16
4.3	Autres dispositifs de transmission	16
5	Assurer l'étanchéité	18
6	Assurer la fiabilité	18
6.1	Écrous freinés	18
6.2	Rondelles	19



1 Fonction d'une liaison complète

La fonction principale d'une liaison encastrement est de lier deux ou plusieurs solides entre eux, afin d'annuler les 6 degrés de liberté relatifs.

On la représente schématiquement de la manière suivante :



Il est nécessaire de prendre en compte la précision voulue pour l'assemblage, ainsi que la nécessité éventuelle d'introduire des jeux dans la liaison. Une liaison encastrement doit transmettre ou encaisser toutes les actions mécaniques s'exerçant sur l'une ou l'autre des pièces de la liaison. La direction et la nature des efforts prépondérants seront déterminants dans la conception de la liaison complète.

Concrètement (constructivement), une bonne liaison complète doit assurer les points suivants :

- réaliser la **MI**se en **P**osition (**MIP**) ;
- réaliser le **MA**intien en **P**osition (**MAP**) ;
- assurer la fiabilité ;
- transmettre la puissance ;
- assurer l'étanchéité.

D'autres paramètres très importants lors d'un projet réel sont souvent de moindre importance lors du concours doivent être pris en compte.

- présence de vibrations ;
- raideur de l'assemblage ;
- nature des matériaux à assembler ;
- fréquence et facilité de montage/démontage ;
- type d'environnement ;
- esthétique.

L'objectif de la **mise en position** (MIP) est de positionner le plus précisément possible deux pièces l'une par rapport à l'autre. Elle est réalisée à l'aide de surfaces de contact permettant de supprimer des degrés de liberté (ddl).

Les surfaces utilisées pour la MIP sont des **surfaces fonctionnelles** et donc, dans la plupart de cas en construction, des surfaces usinées. Ainsi, la qualité de la mise en position (la précision notamment) dépendra de la qualité de ces surfaces fonctionnelles (forme et positionnement).

D'autre part, les surfaces de mise en position seront souvent sollicitées dans la transmission des efforts entre les pièces.

Le **maintien en position** (MAP) a pour but de maintenir la position définie par la mise en position. Dans certains cas, il permet également de supprimer les ddl non supprimés par la mise en position. De manière générale, le maintien en position se fera à l'aide d'éléments filetés.

2 Réaliser la mise en position

La première étape de la conception d'une liaison encastrement est de créer une mise en position entre les pièces. Il faut donc supprimer les 6 degrés de liberté. Pour ce faire toutes les combinaisons de liaison élémentaires éliminant strictement les 6 degrés de liberté sont possibles, les choix de stratégie de mise en position sont donc multiples.

Il existe trois grandes familles de solution pour la mise en position :

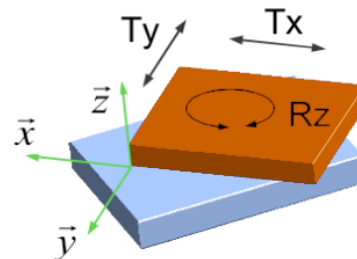


- contact plan prépondérant ;
- contact cylindrique prépondérant ;
- contact conique prépondérant.

2.1 Contact plan prépondérant

On parle de contact plan prépondérant lorsque les pièces sont mises en position par un contact plan, éventuellement associé à d'autres surfaces de contact, mais d'importance moindre.

Cette famille de solutions est souvent adoptée pour les assemblages de pièces fixes (carter notamment), mais pas exclusivement. Le contact plan supprime 3 degrés de liberté (R_x , R_y et T_z). Restent alors 3 ddl à supprimer.



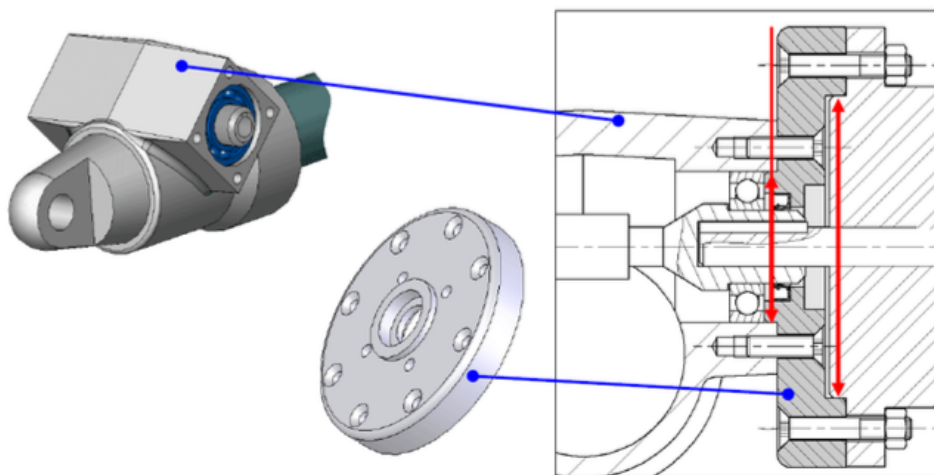
2.1.1 Mise en position par appui plan + centrage court

Le centrage court est obtenu par une pénétration entre pièces de grande largeur, mais de (très) faible longueur.

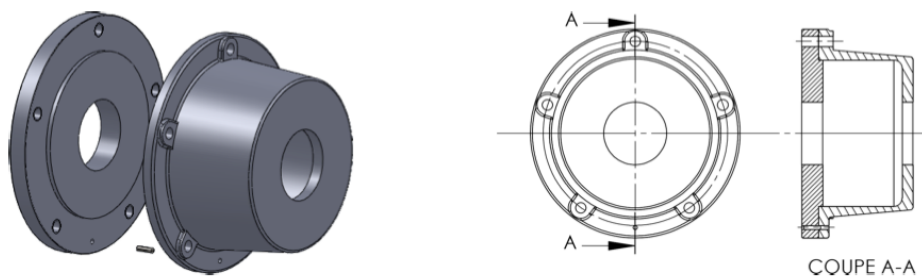


Dans le cas d'un contact cylindre court ($h < D/2$), il subsiste une possibilité de rotation autour de l'axe des pièces. Cette rotation peut être éliminée de deux manières différentes, si le positionnement angulaire relatif entre les deux pièces n'est pas important la rotation sera éliminée par frottements, crée par le serrage du maintien en position. Dans les cas où le positionnement angulaire relatif entre les deux pièces est prépondérant, le dernier degré de liberté est généralement supprimé par l'intermédiaire d'une goupille.

Montage sans goupille de positionnement :



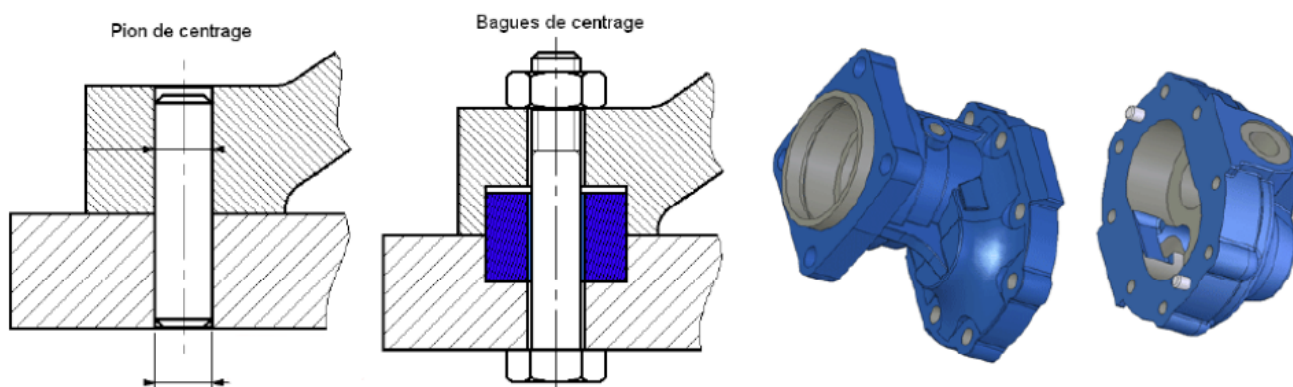
Montage avec goupille de positionnement :



2.1.2 Mise en position par pions ou bagues de centrage

L'ajout d'un pion de centrage (cylindre de petit diamètre) annule les translations, mais laisse subsister la possibilité de rotation. On est obligé de rajouter un second pion de centrage. La mise en place est alors précise, mais légèrement surabondante.

Les pions sont des pièces cylindriques pleines. Généralement, ils sont montés légèrement serrés dans l'une des deux pièces et libres dans l'autre. Il est également possible d'utiliser des bagues de centrage, qui se placent autour d'un élément fileté. De la même manière, la bague est montée légèrement serrée dans l'une des deux pièces et libre dans l'autre.



2.1.3 Autres solutions

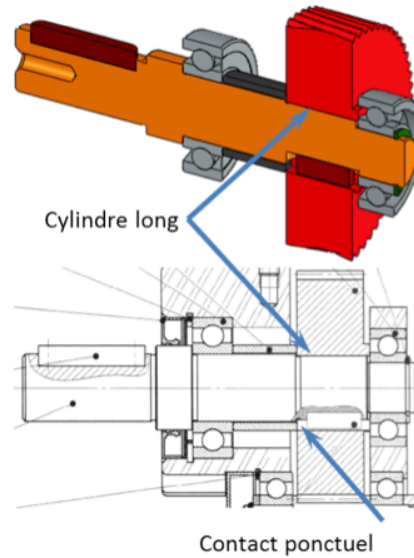
On peut imaginer toutes sortes d'obstacles venant empêcher les mouvements : Réglettes rapportées, usinages de décrochements sur le plan de base... Pour les pièces ne transmettant aucun effort et/ou ne demandant pas de grande précision de positionnement, il est également possible de supprimer les 3 ddl restants uniquement par adhérence, grâce au serrage sur le plan de contact par éléments filetés. C'est donc le maintien en position qui supprime les ddl restants. C'est couramment le cas pour les couvercles de carter. Ce serrage peut être obtenu par éléments filetés pénétrants, mais aussi par vis de pression.

2.2 Contact cylindrique prépondérant

Cette architecture de liaison est très utilisée dans les assemblages d'éléments tournants. Elle est utilisée pour mettre en position des pignons, poulies, roulements, ect sur des arbres. La liaison est basée sur le contact entre deux cylindres de longueur relativement importante. Un tel contact permet de supprimer 4 ddl, il reste donc 2ddl à supprimer pour créer une liaison encastrement.

L'arrêt en translation est généralement réalisé par un épaulement, car cette solution est facile à créer dans le cas d'un arbre et est très robuste. On retrouve également dans les autres cas des solutions telles que des entretoises et des anneaux élastiques.

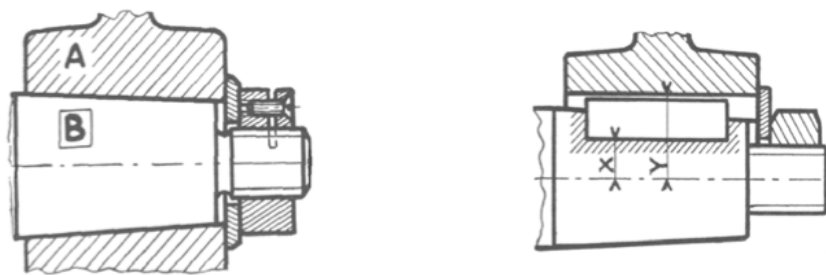
Le blocage en translation est réalisé soit par adhérence soit par obstacles. Dans le premier cas, l'adhérence est créée par les éléments de maintien en position ou par un montage serré à l'aide d'une presse ou par frettage. Le blocage par obstacle est utilisé lorsqu'il existe un couple à transmettre. Ils seront traités dans la quatrième partie.



2.3 Contact conique prépondérant

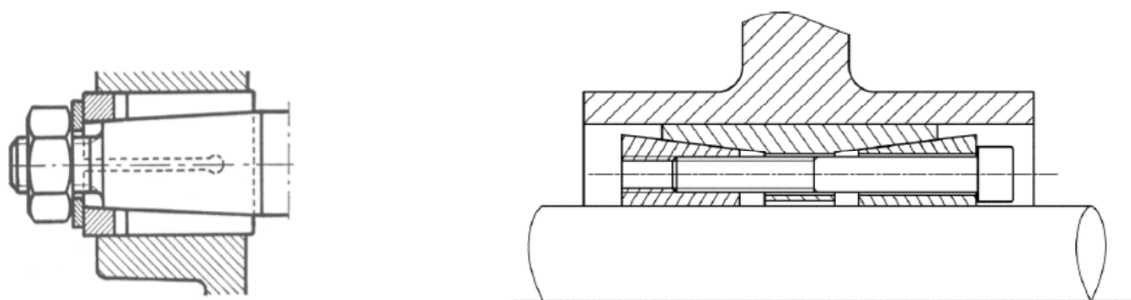
2.3.1 Montage direct

Le contact cône / cône permet de réaliser une liaison pivot. Il reste donc 1 ddl à éliminer, il est couramment éliminé par frottement résultant du maintien en position. Comme pour les liaisons à surfaces cylindriques prépondérantes, pour transmettre un couple on peut également disposer un "obstacle" pour supprimer ce degré de liberté.



2.3.2 Montage par éléments coniques intermédiaires

On utilise pour ce type d'assemblage des éléments intermédiaires comportant des surfaces coniques et des surfaces cylindriques co-axiales. Il existe de nombreuses variantes, toutes basées sur le même principe : la liaison arbre-moyeu est obtenue par déformation et coincement d'une bague conique ou biconique fendue. Les vis sont serrées à la clé dynamométrique afin de maîtriser le serrage. Certaines de ces solutions ne réalisent pas le centrage entre arbre et moyeu.

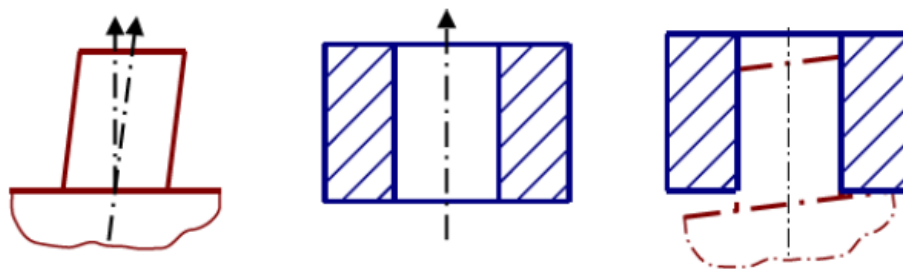


Avantages : Pas d'usinage de l'arbre donc pas de concentration de contraintes, le démontage est très facile, les efforts transmissibles sont considérables, les grands diamètres sont possibles (500 voire 1000 mm).

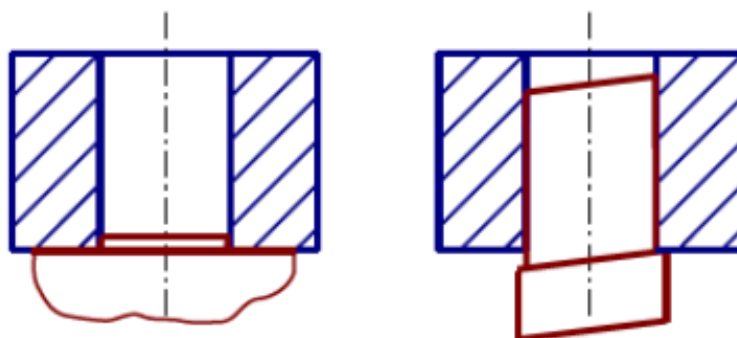
Dans ce cas, mise et maintien en position se confondent.

2.4 Choix des surfaces de contact

Pourquoi ne pas associer un contact plan de grande surface à un cylindre long ? Les pièces mécaniques sont des objets réels et non des associations abstraites de surfaces géométriquement parfaites. Autrement dit, il faut toujours garder à l'esprit le fait que les pièces mécaniques réelles sont par nature géométriquement imparfaites !
Exemple :




Dans la réalité, il ne peut pas y avoir à la fois contact cylindrique long et contact plan L'association d'un contact plan de normale x (par exemple) avec un contact cylindrique d'axe x également supprime a priori deux fois les ddl R_y et R_z . Les pièces n'étant pas géométriquement parfaites, les directions réelles définies par les contacts plan/plan et cylindre/cylindre ne peuvent être confondues. On parle alors de surabondance de contacts (mise en position hyperstatique). On ne peut pas réaliser le contact sur les deux surfaces à la fois. Dans le but d'obtenir une liaison complète rigide (et éventuellement sans jeu), on doit pour lever cette surabondance réduire l'une des deux surfaces de contact, afin de supprimer un degré de liaison surabondant. On aboutit ainsi aux deux solutions suivantes : "centrage court" et "centrage long".




Dans le cas du centrage court, la surface de contact cylindrique est réduite au point de pouvoir être considérée comme un anneau de contact (liaison linéique annulaire).

	T	R
x		
y		
z		

ddl supprimés :


 par appui plan


 par centrage court

Dans le cas du centrage long, la surface plane de contact est réduite au point de pouvoir être considérée comme un point de contact (liaison ponctuelle).

	T	R
x		
y		
z		

ddl supprimés :

 par centrage long

 par appui axial (épaulement)

Dans les deux cas, aucun ddl n'est supprimé plus d'une fois. La mise en position est dite isostatique.

3 Réaliser le maintien en position

Le maintien en position permet de "figer" l'assemblage dans sa position suite à la mise en position. Dans certains cas il permet de supprimer des degrés de liberté. La mise en position peut être démontable, ou permanente. On classe les liaisons complètes en deux catégories : les liaisons complètes démontables et non démontables.

3.1 Liaisons démontables

3.1.1 Maintien par éléments filetés et taraudés

Pour plus d'informations sur le tracé des éléments filetés et taraudés, se reporter au cours sur la représentation normalisée des éléments standards.

Désignation et représentation des vis



Dans la nomenclature, les vis sont désignées comme suit :

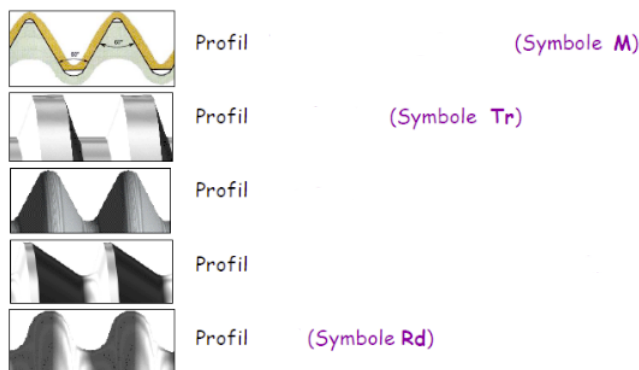
NF ISO 4762 – M10x30 – 8.8

- **NF ISO 4762** : tête cylindrique à 6 pans creux
- **M** : profil ISO(triangulaire)
- **10** : diamètre nominal de la vis
- **30** : longueur filetée (en mm)
- **8.8** : qualité de la vis(8×100=800 MPa : résis-

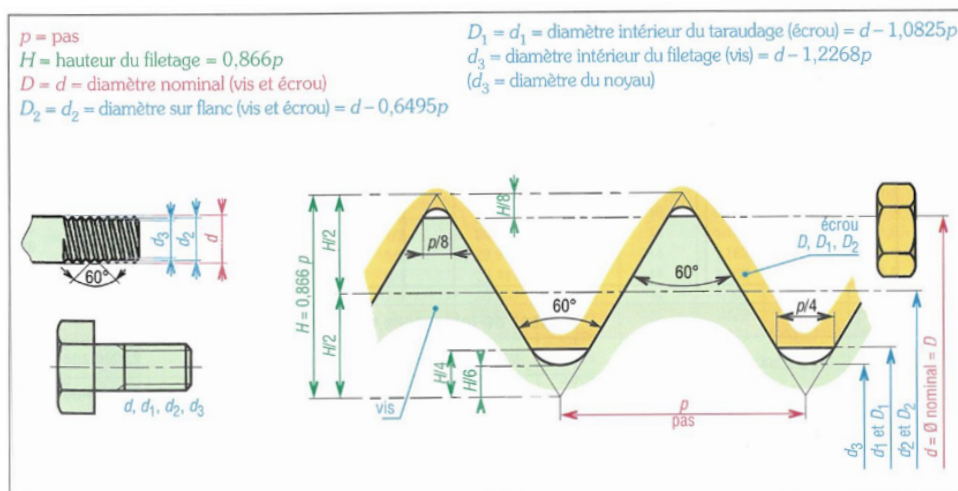
tance minimale à la traction ; $8 \times 8 = 640 \text{ MPa}$: limite minimale d'élasticité)

Pas de la vis Le pas de la vis p est exprimé en . Il représente l'avance de la vis pour un tour de celle-ci (l'écrou restant fixe). Pour les filets ISO, le pas est directement donné en fonction du diamètre nominal (existence d'un pas gros (le plus courant) ou d'un pas fin).

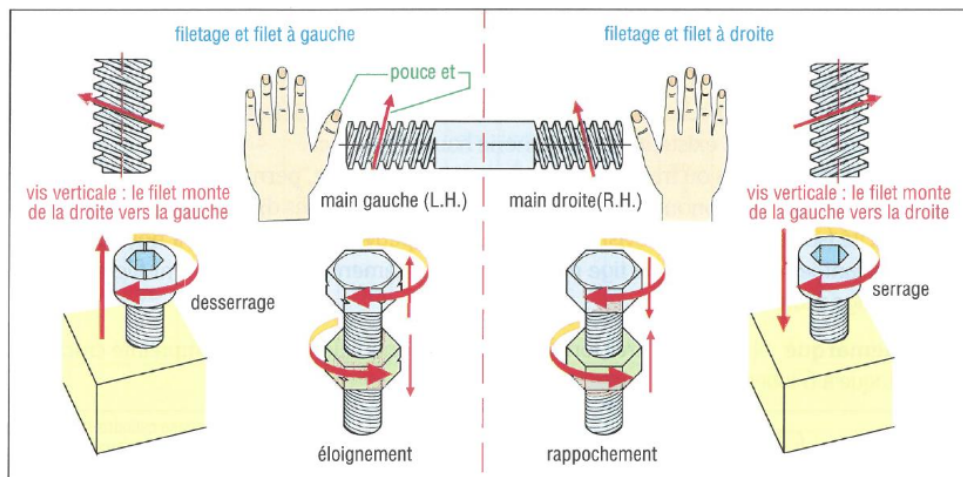
Profils des filets Il existe plusieurs types de géométries de filets. Il y a notamment :



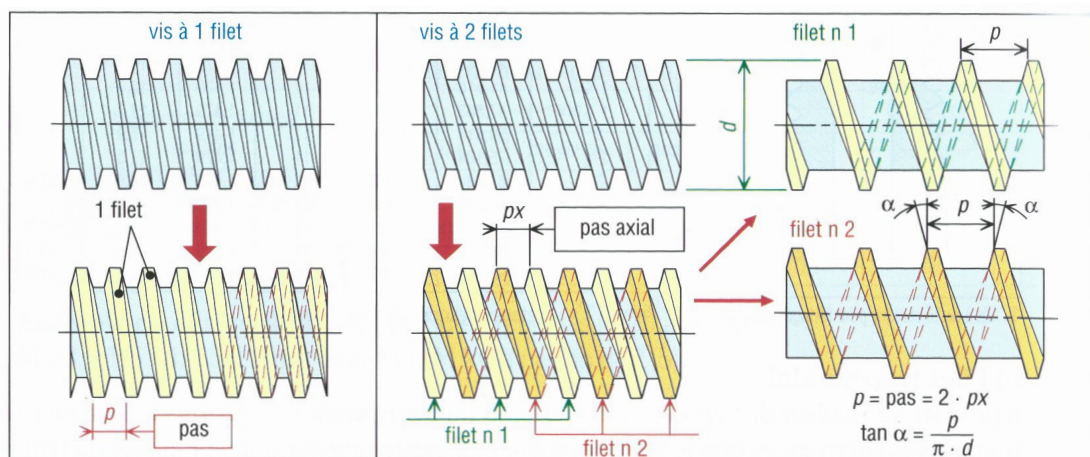
Dans les assemblages mécaniques, on utilise majoritairement le filetage ISO dont la géométrie est donnée ci-dessous :



Sens des filets



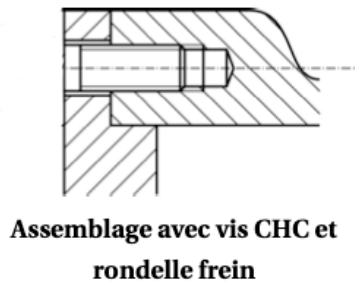
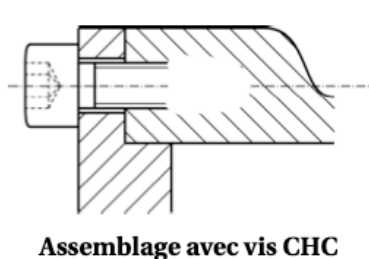
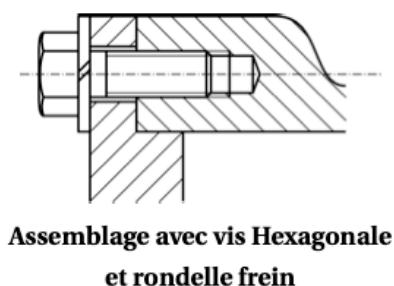
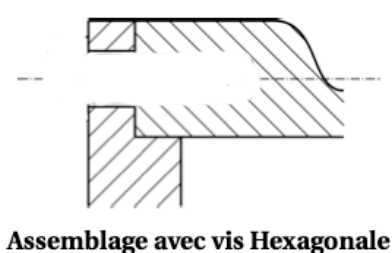
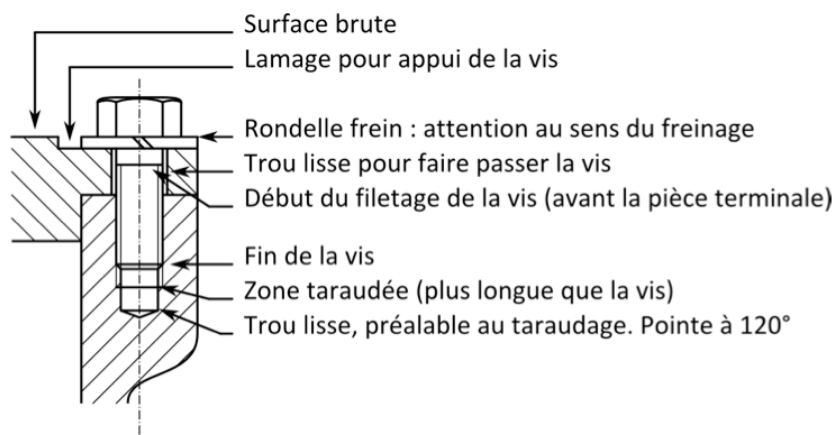
Nombre de filet Généralement, il n’y a qu’un seul filet. Mais si on veut avoir un pas important (plus grand déplacement pour un tour), on creuse dans l’intervalle d’un pas plusieurs rainures hélicoïdales.



Conception d’assemblages d’éléments taraudés et vis

Afin d’assurer sa fonction de maintien en position, l’assemblage par vis doit permettre de serrer deux pièces l’une à l’autre de manière fiable et réversible. Les vis ne servent jamais à la mise en position, on veillera à disposer un jeu entre la pièce serrée et la vis. La longueur de pénétration de la vis dans le taraudage doit être suffisante pour éviter de casser des filets (environ $1,5 \times D$). La présence d’une rondelle frein est nécessaire pour éviter que la vis ne se desserre sous l’effet des vibrations.

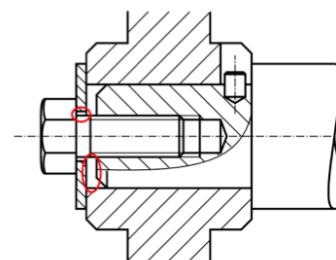
Exemples pour une mise en position par appui plan prépondérant :

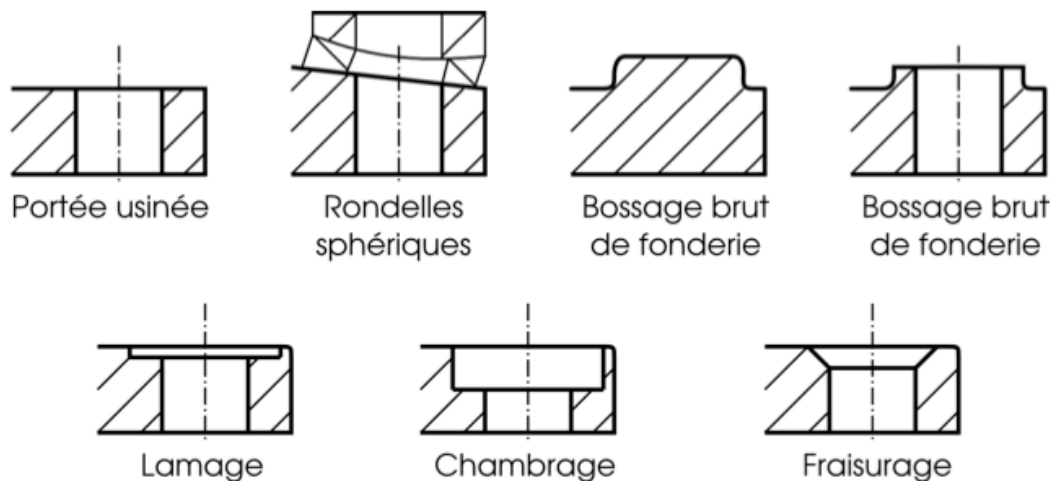


Exemple pour une mise en position centrage long et appui ponctuel :

Pour assurer le bon serrage de la pièce sur l'arbre, il doit nécessairement y avoir un jeu radial entre la vis et la rondelle et entre la rondelle et le bout de l'arbre. L'objectif de cet assemblage est de serrer la pièce sur l'arbre. Si l'arbre et la rondelle sont en contact, ce serrage ne sera pas nécessairement assuré.

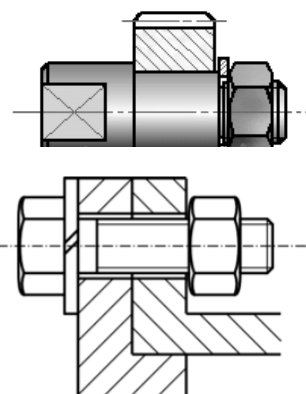
Suivant la tête de vis utilisée et suivant la provenance du brut, il est possible de donner des formes différentes à la zone de contact entre la tête de vis et le support.





Conception d'assemblages d'éléments filetés et écrous

À l'image des maintiens en position par les vis, on retrouve dans le cas des centrages longs des maintiens par éléments taraudés et écrous du commerce. On réalise un filetage sur les arbres, de manière à y installer un écrou.

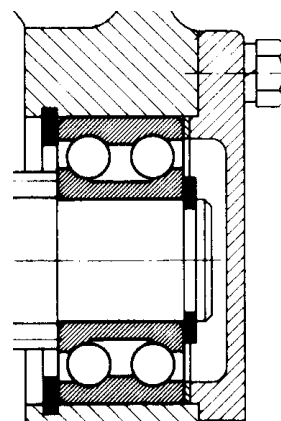
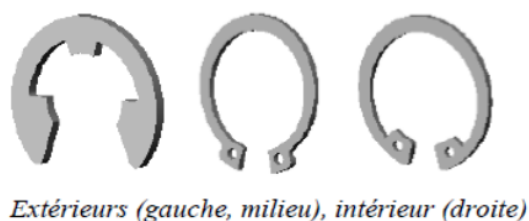


Conception d'assemblages boulonnés

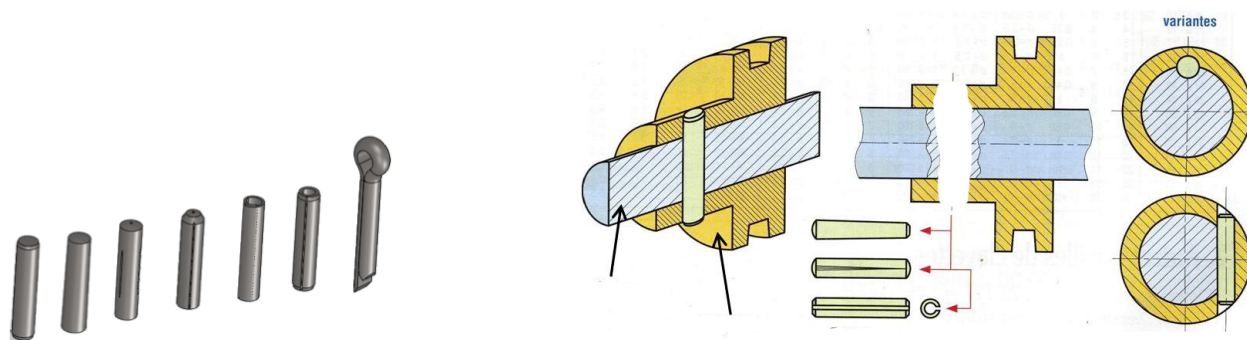
On parle d'assemblages boulonnés lorsqu'au moins deux pièces sont maintenues en position par une vis et un écrou, dans ce cas les perçages de pièces sont lisses.

3.1.2 Maintien par obstacles

Les anneaux élastiques Les anneaux élastiques sont des pièces rapportées sur l'axe ou dans l'alésage qui se monte dans une rainure. Leur utilisation est simple et peu onéreuse. Cette solution est utilisée lorsque les efforts axiaux encaissés restent faibles. La mise en place d'une rondelle intermédiaire permet d'améliorer les performances. Le positionnement axial n'est pas assuré de manière précise, car un jeu est indispensable pour le montage.



Les goupilles Les goupilles sont des pièces de dimensions calibrées ajustées pour être montées en force et maintenir les éléments entre eux. On retrouve plusieurs types de goupilles suivant leurs utilisations.

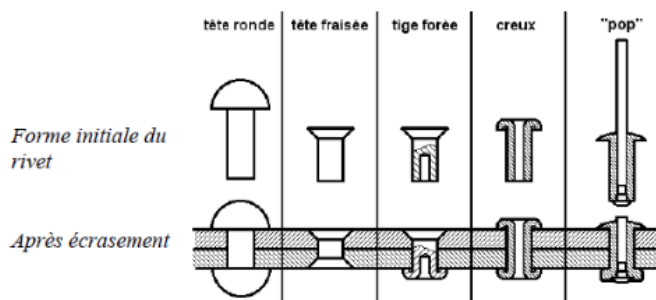


3.2 Liaisons non démontables

Dans de nombreux cas de figure, on ne souhaite pas démonter l'assemblage, on utilise alors des techniques de maintien en positions permanentes.

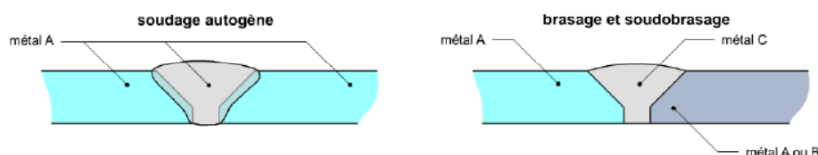
3.2.1 Rivetage

Le rivetage est un procédé utilisé pour assembler des tôles de matériaux différents et d'épaisseurs différentes. Ce procédé est très utilisé dans l'aéronautique pour assembler les panneaux constituant le fuselage des appareils. Pour riveter des tôles, il est nécessaire de les pré percer. On fait alors passer une tige métallique à tête ronde. L'autre extrémité de la tige est aplatie afin de rendre les tôles solidaires l'une de l'autre.



3.2.2 Soudage

Le soudage permet d'assembler deux pièces par fusion locale de chacune des pièces avec présence ou non d'un métal d'apport. Il existe une multitude de procédés de soudage qui feront l'objet d'un cours.



3.2.3 Collage

De plus en plus utilisées dans l'industrie, certaines colles peuvent aujourd'hui résister à des contraintes très importantes. L'utilisation de ce procédé est à proscrire pour le concours.

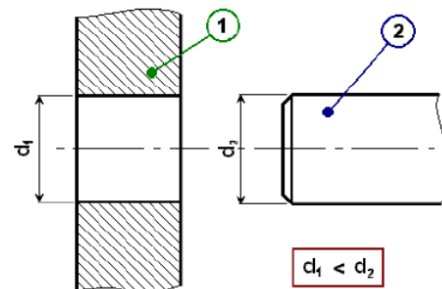
3.2.4 Emmanchement ou frettage

Le principe est de monter un arbre de diamètre (d_2) supérieur au diamètre (d_1) l'alésage qu'il reçoit.



- Si la différence prévue entre les 2 diamètres reste suffisamment petite, le montage se réalise à la presse. On parle d'emmanchement forcé.
- Si la différence prévue entre les 2 diamètres est supérieure, le montage se réalise par chauffage du contenant et/ou refroidissement du contenu. On parle de frettage.

Principe du frettage l'axe refroidi va voir son diamètre se réduire, alors que le la pièce contenant l'alésage (chaud) va se dilater. Ainsi, le montage est possible. Lorsque les pièces reviennent à température ambiante, l'axe retrouve son diamètre original, plus grand que celui de l'alésage. L'annulation des 2 degrés de liberté se fait donc par adhérence, bien qu'il soit courant d'utiliser un épaulement sur l'arbre pour permettre une mise en position axiale. La pression de contact allée au coefficient d'adhérence entre les deux matériaux créés des efforts tangentiels pouvant transmettre moment et efforts axiaux.



4 Transmettre la puissance

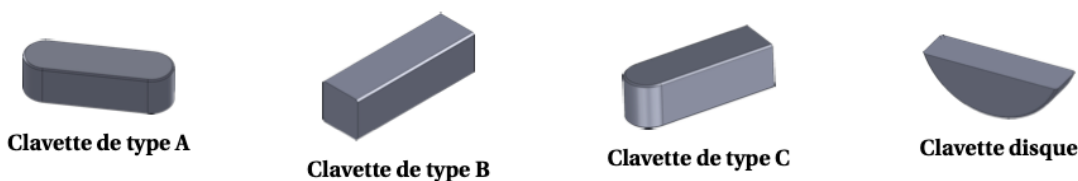
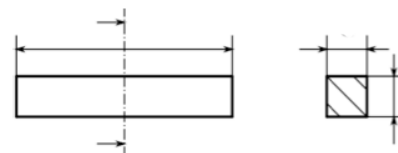
Pour transmettre des efforts, on ajoute des éléments qui d'une part permettent la mise en position par l'arrêt d'un ddl et d'autre part sont dimensionnés pour résister aux efforts.

4.1 Transmission par clavette

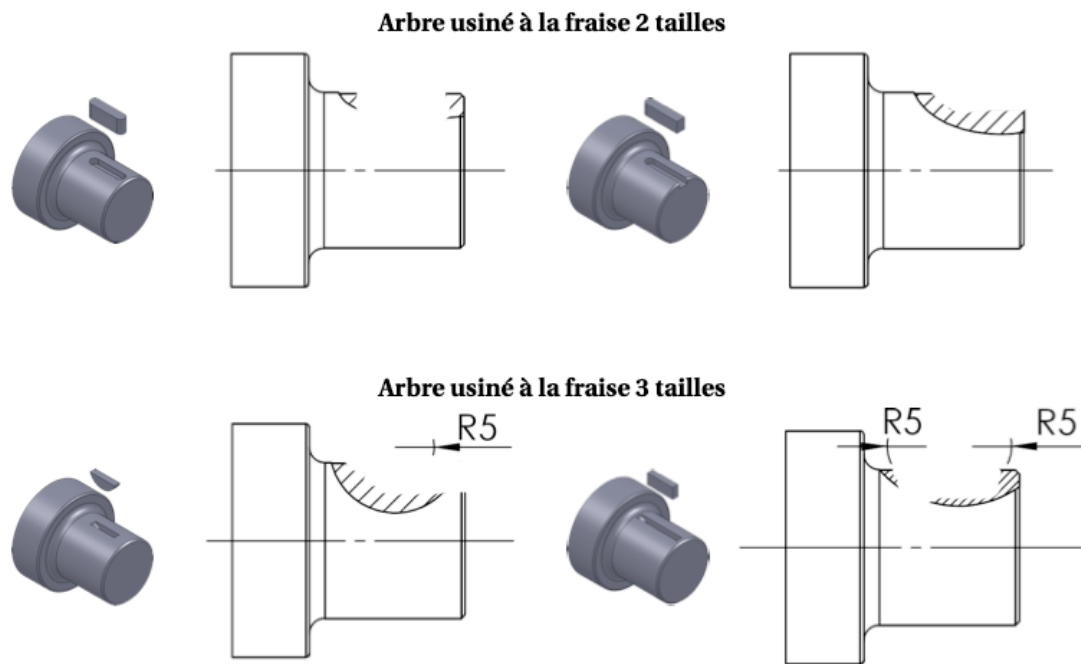
4.1.1 Profil des clavettes

La plupart du temps, les clavettes servent d'une part à assurer la mise en position lors d'une liaison encastrement démontable. D'autre part, elle permet d'assurer la transmission de puissance entre, par exemple, un arbre et un pignon ou une poulie.

Elles sont désignées ainsi : Clavette parallèle, forme A, $a \times b \times l$

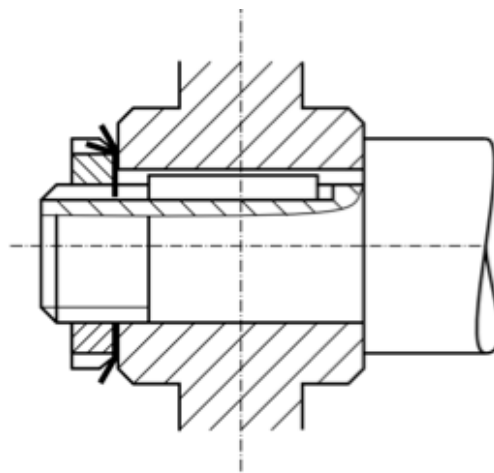


4.1.2 Profil des arbres



4.1.3 Conception des assemblages clavetés

Un assemblage claveté nécessite que les pièces soient rainurées pour laisser place à la clavette. L'insertion d'une clavette permet de transmettre un couple modéré, car les rainures fragilisent l'arbre et le moyeu. Lors que l'on représente un assemblage claveté, on doit laisser un jeu entre la clavette et le moyeu. Classiquement l'assemblage est représenté de profil et le bout de l'arbre est coupé partiellement pour observer la forme de la rainure. Il convient de suivre la représentation suivante (ici un écrou à encoche a été représenté, mais d'autres types de maintien sont possibles) :



4.1.4 Dimensionnement des assemblages clavetés

Le calcul de dimensionnement des clavettes et rainures est fait au matage (critère lié à la pression de contact maximale admissible avant d'endommager la surface).

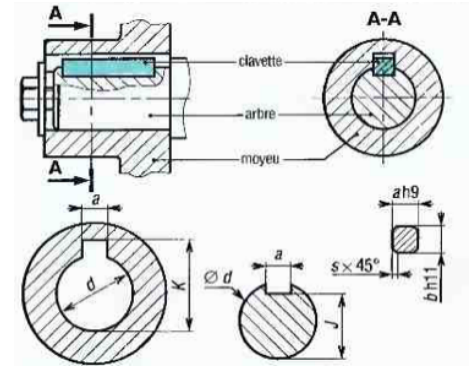
On souhaite transmettre un couple C_t par l'intermédiaire de la clavette.

Hypothèses

- On ne considère pas de frottement au contact des cylindres ;
- On suppose plan le contact entre la clavette et les rainures ;
- On suppose la pression de contact uniforme.

Données géométriques

- La zone de contact, sur la clavette, est un rectangle de longueur L et de hauteur h (à déterminer avec un tableau de normes).
- Les dimensions ($s \times s$) du chanfrein de la clavette sont souvent négligées (et jamais représentés). Nous considérons que $s = 0$.
- Aire de la surface de contact : $S = L \times h$. Où $h \simeq \frac{b}{2}$.
- Hauteur de clavette en prise dans le moyeu
- La valeur de d est toujours connue et impose les valeurs a, b, J donc celle de h .



Calcul de la pression de contact

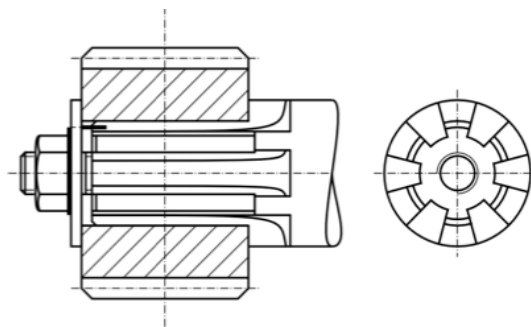
- La pression est uniforme : $p = F/S$
- L largeur de la clavette est petite devant le diamètre de l'arbre : $C = F \times R \Rightarrow F = \frac{2C}{d}$

Ainsi :

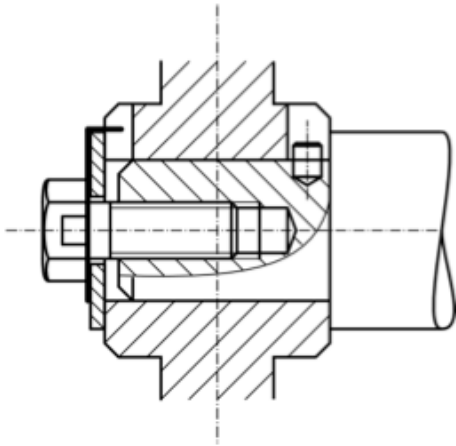
Avec l'inéquation $p < p_{admissible}$ on peut déterminer la longueur utile L de la clavette, on veillera à prendre l'arrondi au supérieur.

4.2 Transmission par cannelures

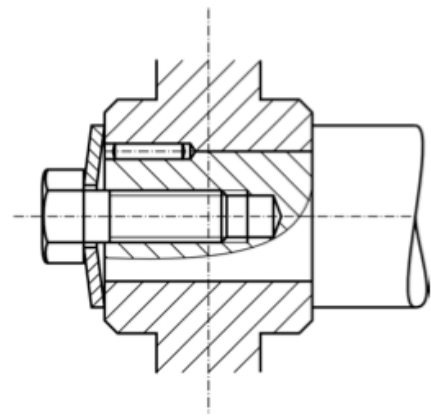
Les cannelures permettent de transmettre un couple très importante, car la surface en contact pour le calcul du dimensionnement est plus importante.



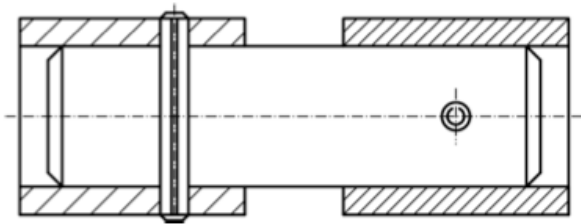
4.3 Autres dispositifs de transmission



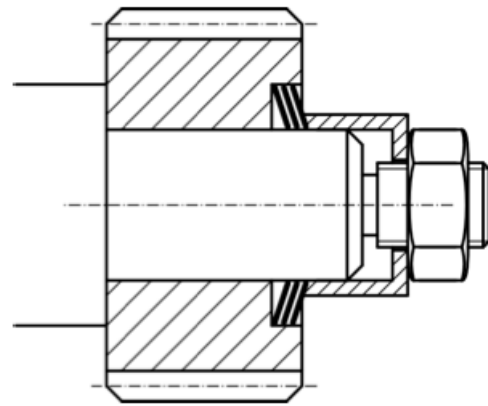
(a) Arrêt par pion cylindrique



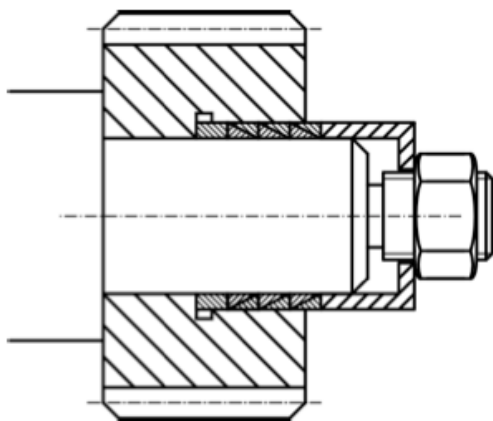
(b) Arrêt par goupille "entre cuir et chair"



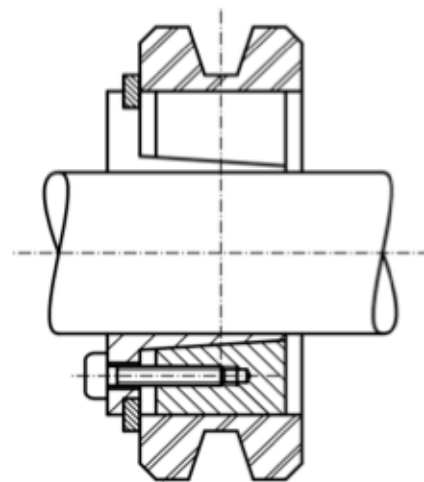
(c) Arrêt par goupille transversale



(d) Maintien par adhérence et empilement de rondelles élastiques "belleville"



(e) Maintient par éléments "RingBlock1060" empilés



(f) Maintien par éléments "RingBlock1300" conique

5 Assurer l'étanchéité

Plusieurs solutions permettent d'assurer l'étanchéité d'un mécanisme. Nous nous intéressons ici aux solutions d'étanchéité statique (par "opposition" aux solutions d'étanchéité dynamique).



(a) Joint papier



(b) Joint torique



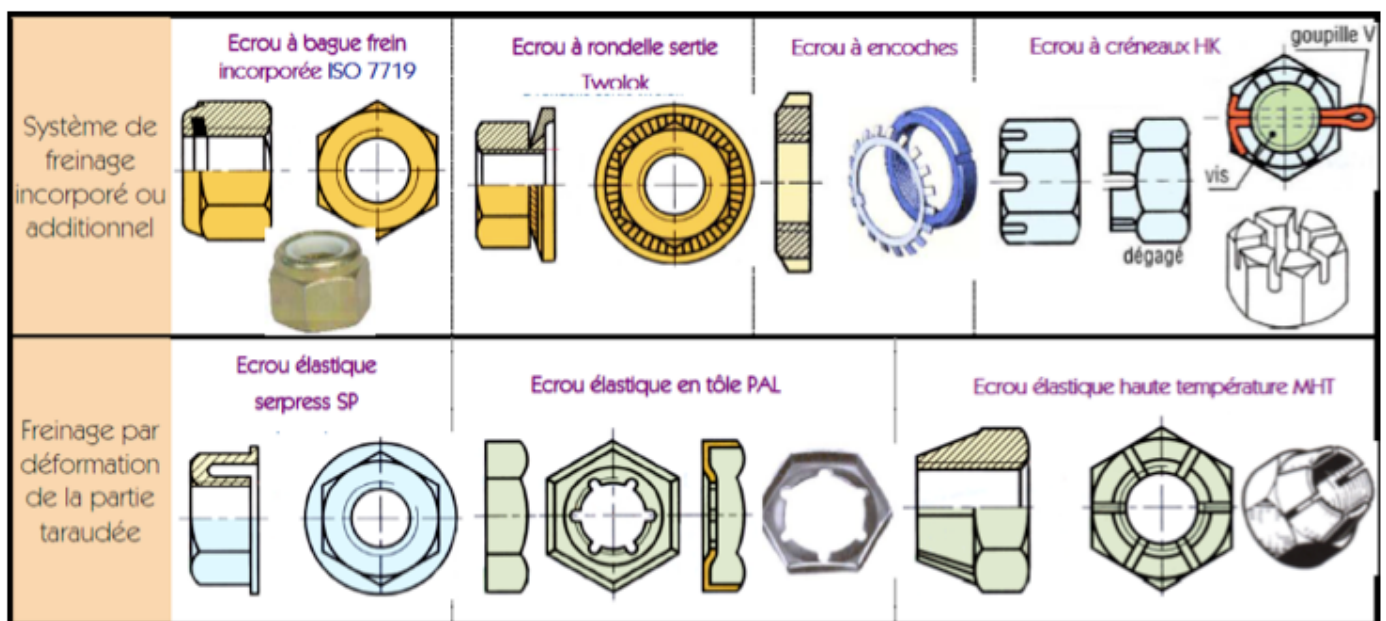
(c) Joint plat

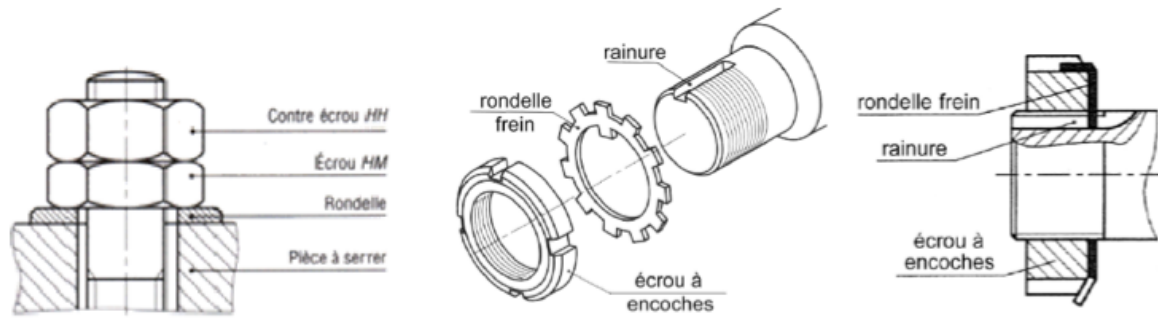
6 Assurer la fiabilité

On souhaite que le maintien de la liaison reste en position malgré les efforts, les chocs et les vibrations des pièces. Le problème se pose principalement pour les éléments filetés (qui permettent un maintien en position par adhérence).

Il existe, là aussi, plusieurs familles de solution : celles utilisant l'adhérence (donc qui augmentent ou favorisent l'adhérence des éléments filetés), celles formant obstacle et d'autres solutions plus rares comme le collage (nécessité de détruire les éléments filetés pour le démontage de la liaison).

6.1 Écrous freinés





6.2 Rondelles

