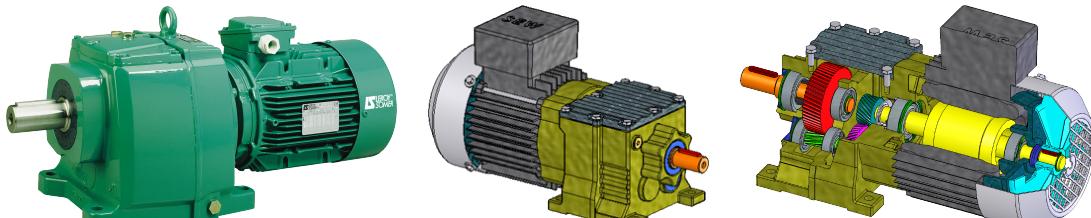


# CI 4 – CONCEPTION : CONCEPTION DES MÉCANISMES

## CHAPITRE 2 – CONCEPTION DES LIAISONS ENCASTREMENT



Motoréducteur Leroy Somer [1]

Motoréducteur SEW

Écorché

La liaison encastrement est au cœur de la conception des systèmes mécanique. D'une part, tous les systèmes comprennent un bâti composé de pièces fixes les unes par rapport aux autres. D'autre part, les classes d'équivalences cinématiques participant à la transmission ou à la transformation de puissance, sont elles-mêmes constituées de pièces fixes les unes par rapport aux autres.

Ces liaisons encastrement peuvent être démontables, permettant ainsi d'assurer la maintenance d'une pièce ou d'une autre. Elles peuvent être aussi permanentes (ou non démontables). Dans ce cas, il faut faire appel à des procédés d'assemblage plus ou moins difficiles à mettre en œuvre.

Parmi la multitude de solutions technologiques qui peuvent se présenter, il s'agit d'abord de choisir de façon méthodique celle à même de répondre au cahier des charges puis enfin de savoir la représenter en vu de concevoir un mécanisme.

### PROBLÉMATIQUE :

- Décrire ou choisir les solutions technologiques réalisant un encastrement.
- Représenter une solution complète avec les conditions de fonctionnement.

### SAVOIRS :

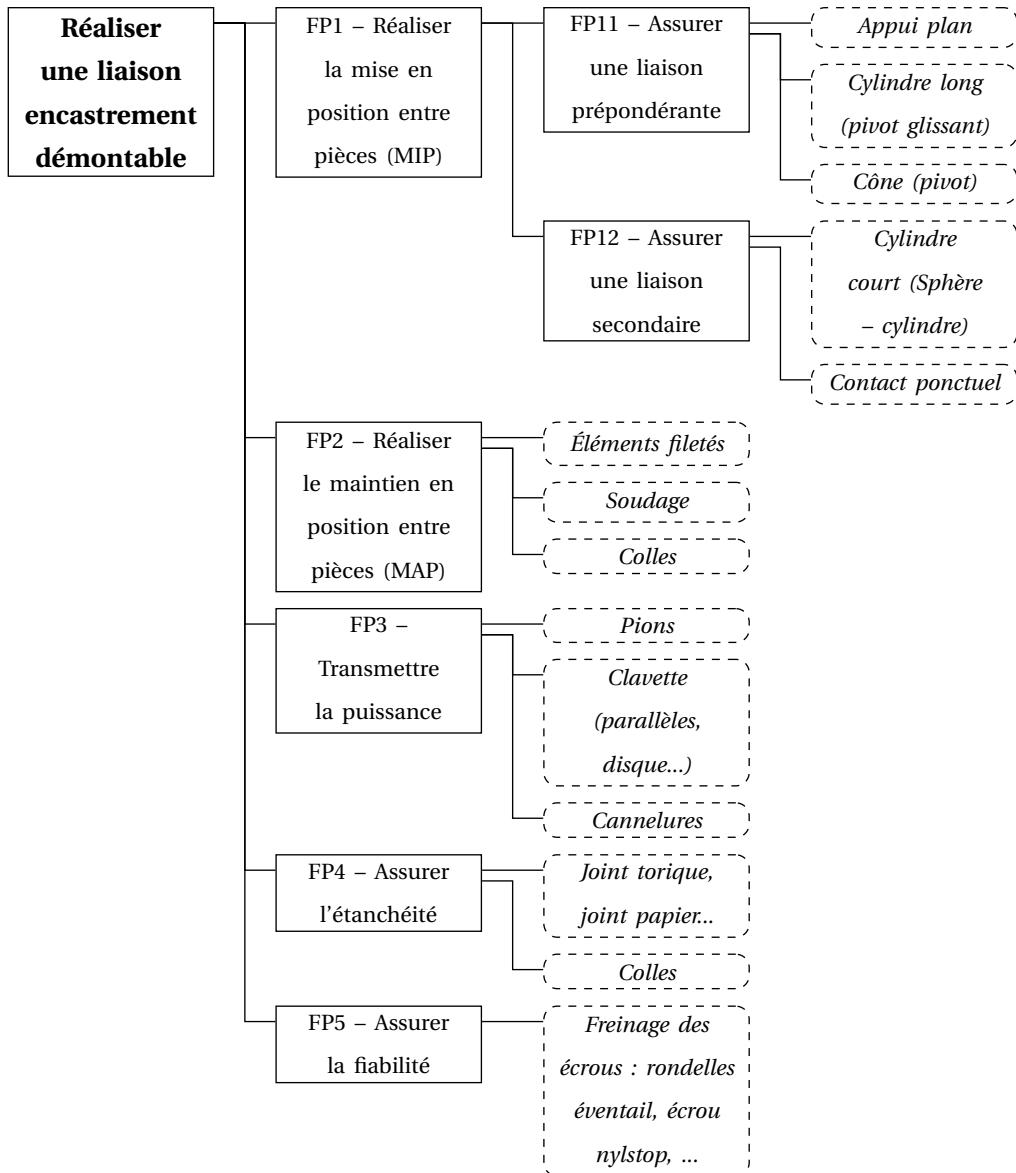
- Définir et caractériser une fonction d'assemblage.
- Principes d'immobilisation par obstacle(s) ou par adhérence.
- Familles de solutions, critères de choix, solutions techniques par plan prépondérant, cylindre prépondérant, cône prépondérant.
- Conditions d'utilisations et calculs relatifs à la transmission d'un couple ou d'un glisseur.

1	Réaliser la mise en position entre pièces .....	3
1.1	Architectures isostatiques des liaisons enca斯特ment .....	3
1.2	Liaison avec appui plan prépondérant .....	4
1.3	Liaison avec cylindre long prépondérant .....	6
1.4	Liaison avec cône prépondérant .....	7
2	Réaliser le maintien en position entre pièces .....	7
2.1	Éléments filetés et taraudés – Rappels .....	7
2.2	Rivetage .....	10
2.3	Soudage .....	10
2.4	Colles .....	11
3	Transmettre la puissance .....	11
3.1	Transmission par clavettes .....	11
3.2	Cannelures .....	15
3.3	Autres dispositifs d'arrêts par obstacles .....	15
4	Assurer l'étanchéité .....	17
5	Assurer la fiabilité .....	17
5.1	Écrou freiné .....	18
5.2	Rondelles .....	18

*Ce document est en évolution permanente. Merci de signaler toutes erreurs ou coquilles.*

## Introduction

Dans le cas général, la fonction **réaliser une liaison encastrement démontable** peut se décomposer selon le FAST qui suit (Liste non exhaustive des solutions). Dans le cours qui suit, nous allons nous attacher à décrire quelques sont les solutions technologiques qui peuvent permettre de réaliser ces fonctions principales.



## 1 Réaliser la mise en position entre pièces

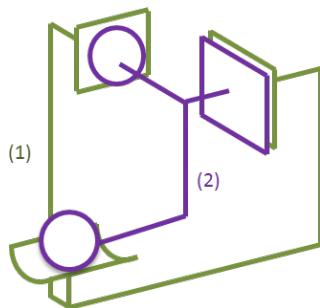
### 1.1 Architectures isostatiques des liaisons encastrement

Réaliser une liaison encastrement revient tout d'abord à créer une mise en position. Il s'agit donc de supprimer les 6 degrés de liberté existants entre deux pièces. À toutes les combinaisons de 6 liaisons sphère–plan permettant d'arriver à cette fin correspondent autant d'architectures de conceptions de produits.

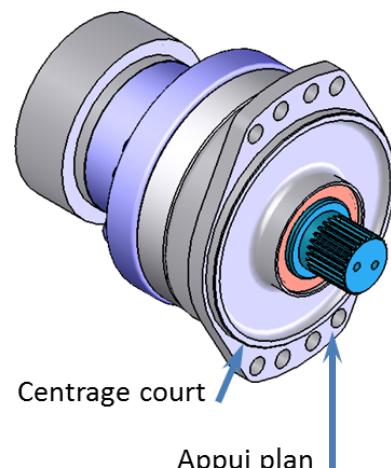
## 1.2 Liaison avec appui plan prépondérant

Les liaisons encastrements à appui plans prépondérants sont souvent utilisés entre le carter d'un mécanisme et des pièces environnantes.

À partir d'un appui plan, 3 degrés de liberté restent à supprimer. Une des solutions peut être d'utiliser la combinaison d'une liaison sphère-cylindre et d'une liaison sphère plan (voir ci-dessous). Cette solution est souvent utilisée lorsqu'il s'agit de mettre en position un arbre par un flasque (arbre débouchant) ou par un chapeau (arbre non débouchant).



Architecture à appui plan prépondérant

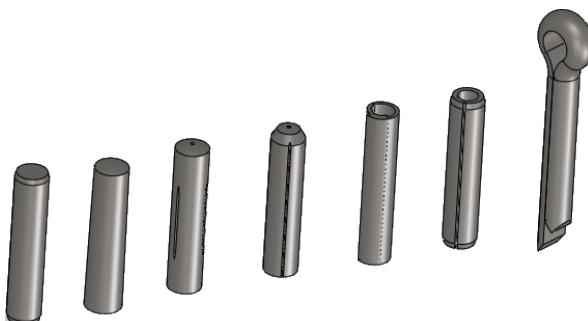


Moteur pneumatique Poclain [4] – Surfaces fonctionnelles d'assemblage

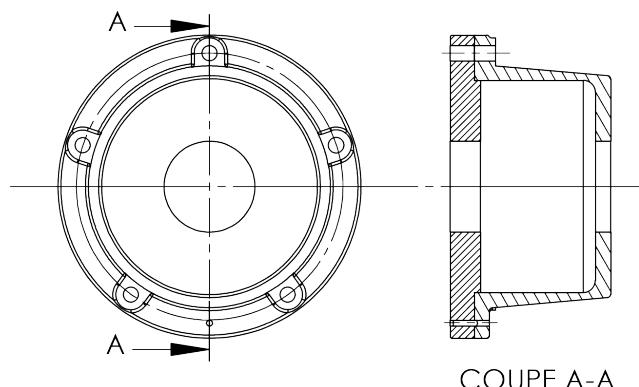
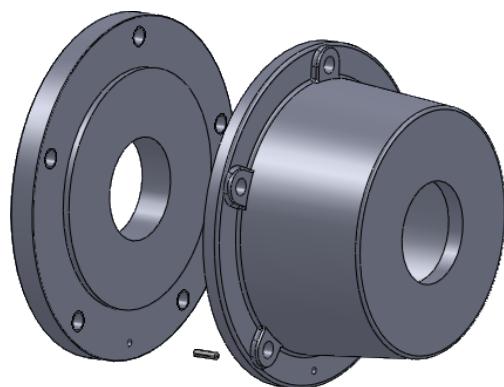
Dans le cas ci-dessus, la liaison sphère – cylindre est réalisée par un centrage court, c'est à dire un épaulement sur chacune des deux pièces. À ce stade, 5 degrés de liberté sont supprimés. La liaison équivalente entre les deux pièces est alors une liaison pivot. Il reste alors à supprimer la rotation relative entre les deux pièces. Dans le cas où il n'y a pas besoin d'indexer une pièce par rapport à l'autre et qu'il ne faut transmettre aucun effort, le sixième degré de liberté peut être supprimé par des vis. Cependant, on évitera cette solution. En effet, **les vis n'ont pas pour but d'assurer une mise en position.**

Pour supprimer le dernier degré de liberté, on peut alors utiliser **des goupilles**. Elles peuvent être de géométries diverses :

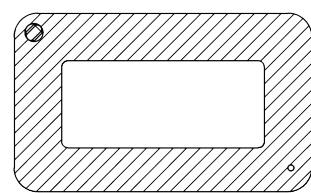
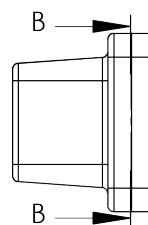
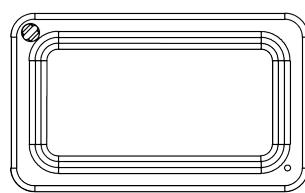
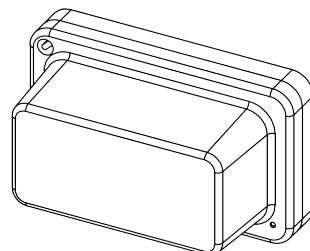
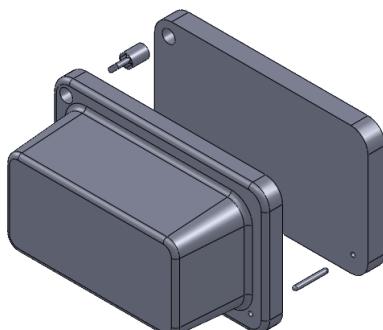
- goupilles cylindriques ;
- goupilles coniques ;
- goupilles élastiques ;
- goupilles fendues.



Une traduction d'une mise en position avec appui-plan prépondérant, centrage court et goupille d'indexage est présentée-ci dessous.

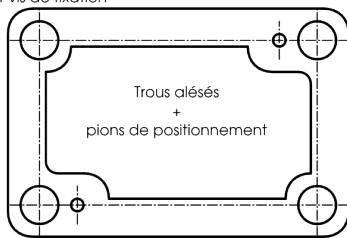


En remplacement au centrage court, une solution peut être d'utiliser une goupille pour réaliser ce centrage. Reste alors un degrés de liberté qui est supprimé par un locating. Suivant les cas, ce locating peut être réalisée par une pièce avec une forme oblongue (comme ci-dessous) ou par un pion et une trou de forme oblong dans une des pièces.

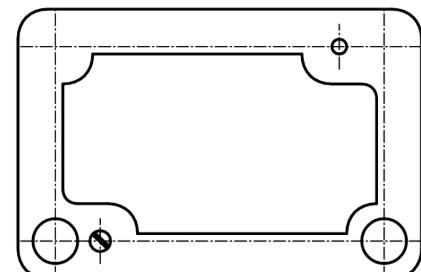
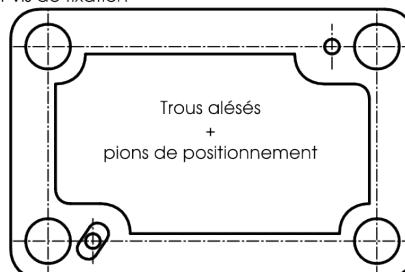


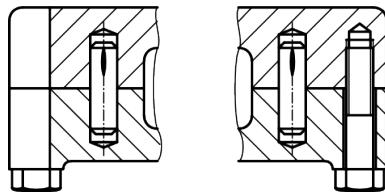
COUPE B-B

Emplacement pour vis de fixation



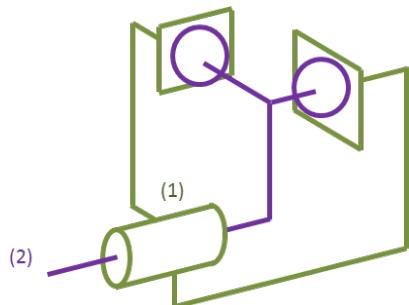
Emplacement pour vis de fixation



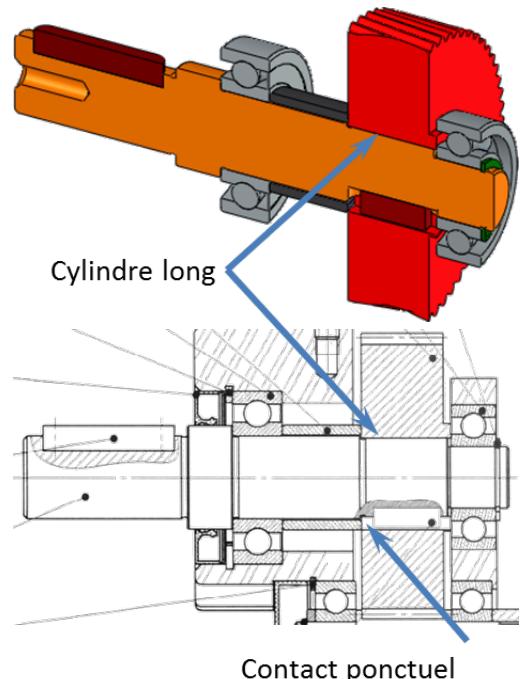


### 1.3 Liaison avec cylindre long prépondérant

Cette architecture de liaison est très utilisée dans le but de mettre en position des pignons ou des poulies sur des arbres.



Architecture à cylindre long prépondérant



Motoréducteur SEW [2] – Montage d'une poulie

Comme son nom l'indique, cette liaison est basée sur la mise en contact de deux cylindres sur une longueur relativement importante.

Dans la mesure du possible l'arrêt en translation sera réalisé par un **épaulement**. Cette solution est en effet relativement à réaliser sur un arbre et offre une bonne robustesse.

Dans d'autres cas, cet arrêt pourra être réalisé par une entretoise ou encore par un anneau élastique (circlips).

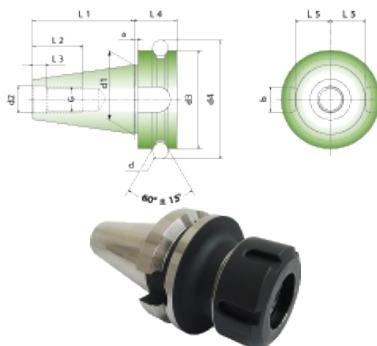
Enfin, le blocage en rotation peut être assuré par adhérence, par un ajustement serré (le montage est alors obtenu grâce à une presse ou par frettage). Lorsque qu'il existe un couple à transmettre entre les pièces, on peut alors utiliser des arrêts avec des goupilles (entre cuir et chair), des clavettes (parallèles ou disque) voire des cannelures. Ces dispositions permettant d'assurer la transmission du couple sont présentées ultérieurement.

## 1.4 Liaison avec cône prépondérant

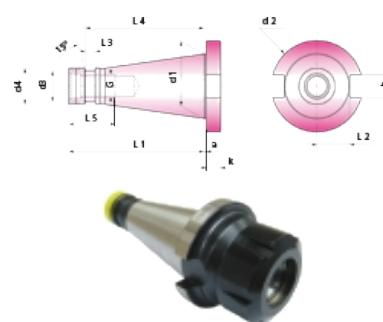
Les liaisons utilisant des cônes sont par exemple utilisés dans les systèmes d'attachement des machines outils, entre les porte outils et les outils. La liaison cône – cône permet de réaliser une liaison pivot. Il reste alors à immobiliser les solides en rotations. Pour cela on utilise un "lardon".



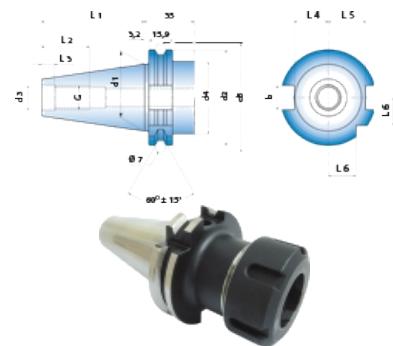
Attachement KSK [6]



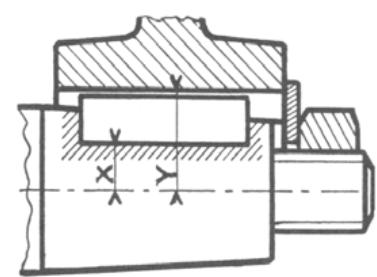
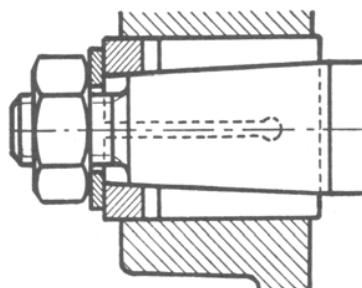
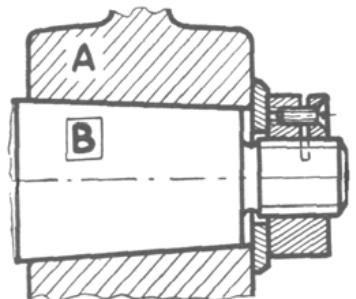
Attachement BT40 [5]



Attachement SA40 [5]



Attachement ISO40 [5]



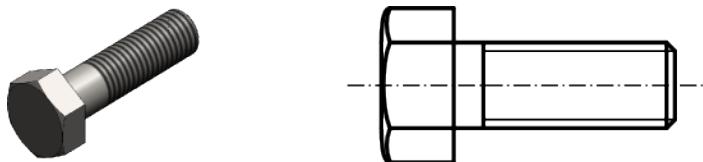
## 2 Réaliser le maintien en position entre pièces

### 2.1 Éléments filetés et taraudés – Rappels

Pour plus d'information sur le tracé des éléments filetés, vous pouvez vous référer au chapitre 1.

Les éléments filetés et taraudés regroupent les vis, les écrous, mais aussi les pièces fabriquées par tournage ou fraisage présentant un filet hélicoïdal. Bien qu'il existe des profils de vis trapézoïdaux ou ronds, le profil le plus utilisé est le **profil métrique ISO** (profil triangulaire).

### 2.1.1 Désignation et représentation des vis



Dans les nomenclatures, les vis sont désignées comme suit :

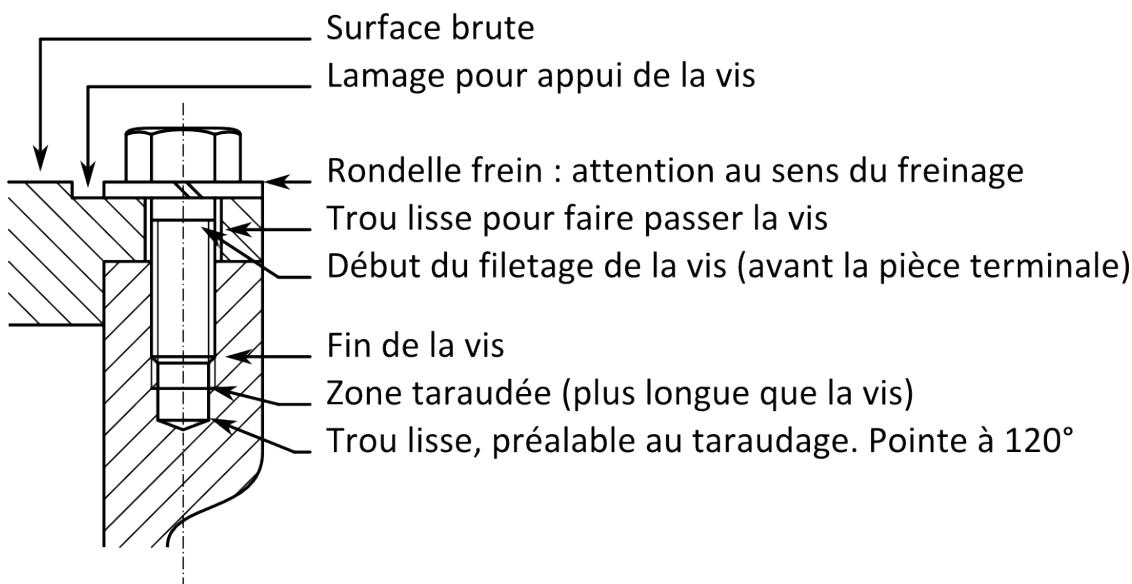
NF ISO 4762 – M10 x 30 – 8.8

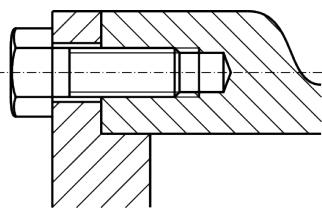
- NF ISO 4762 : tête cylindrique à 6 pans creux
- M : profil ISO (triangulaire)
- 10 : diamètre nominal de la vis
- 30 : longueur filetée (en mm)
- 8.8 : qualité de la vis ( $8 \times 100 = 800 \text{ MPa}$  : résistance minimale à la traction;  $8 \times 8 = 640 \text{ MPa}$  : limite minimale d'élasticité)

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).

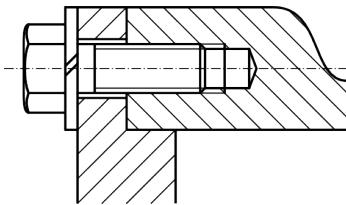
### 2.1.2 Conception des assemblages vissés

Maintien en position lors de la mise en position par appui plan prépondérant et centrage court :

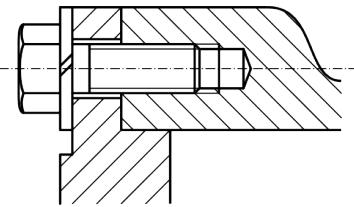




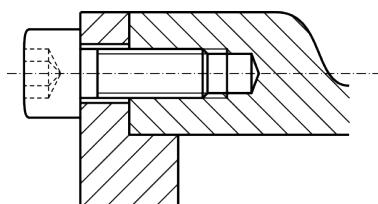
**Assemblage avec vis Hexagonale**



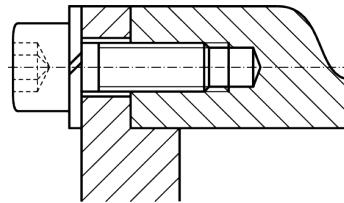
**Assemblage avec vis Hexagonale  
et rondelle frein**



**Assemblage avec vis Hexagonale,  
rondelle frein et lamage**

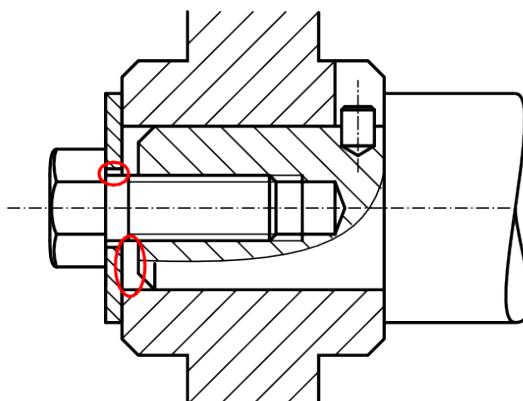


**Assemblage avec vis CHC**



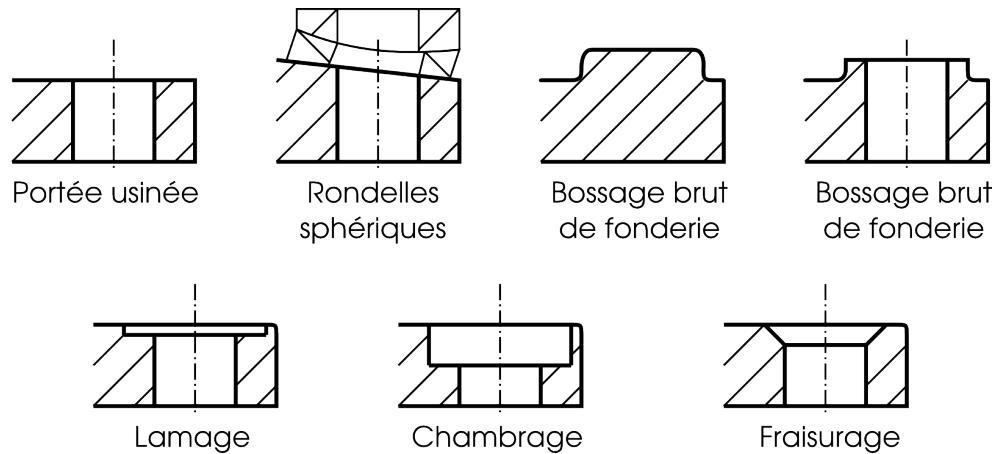
**Assemblage avec vis CHC et  
rondelle frein**

Maintien en position lors de la mise en position par centrage long et appui ponctuel :



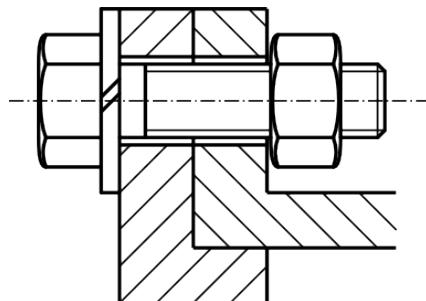
**Jeu radial entre la rondelle et la vis  
Jeu axial entre la rondelle et l'arbre**

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.



### 2.1.3 Conception des assemblages boulonnés

On parle d'assemblage boulonné lorsque au moins deux pièces sont maintenues en position par **une vis et un écrou**. Dans ce cas, les perçages des pièces sont **lisses**.



### 2.2 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 constituants le fuselage des appareils.

Pour riveter des tôles, il est nécessaire de les prépercer. 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.



Assemblage rivetés sur la Tour Eiffel [8]

### 2.3 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. Nous n'en présenterons que deux de manière succincte.

Tout d'abord, le MIG (metal inert gaz) est un procédé de soudage à l'arc au cours duquel la zone de fusion est protégée par un gaz inerte. Un arc électrique est créé entre la pièce et une électrode consommable. Du gaz (argon, hélium,  $CO_2$  ou mélange) est projeté autour de l'électrode par une buse. Ce procédé permet d'assembler des métaux ferreux ou non ferreux, sur une épaisseur plus ou moins grande. La relative facilité de mise en œuvre de ce procédé le rend facilement automatisable.

Le TIG (tungsten inert gaz) est un procédé proche du précédent. Dans ce cas, l'électrode est en tungstène ; elle est non consommable. Le matériau d'apport est mis à disposition par une autre baguette. Le TIG permet de souder des épaisseurs fines avec une excellente qualité.

Lors de la conception de pièces qui doivent être mécano soudées, il est nécessaire de préparer les bords des tôles à souder. Cela fera l'objet d'un cours en PT.

## 2.4 Colles

Même si le procédé de collage est largement utilisé dans l'industrie, l'utilisation de ce procédé est à proscrire lors de la conception des mécanismes en PTSI et en PT.

# 3 Transmettre la puissance

Lorsqu'il s'agit de transmettre de la puissance entre des pièces mécaniques, il est possible d'utiliser des éléments technologiques supplémentaires afin de mieux résister aux efforts.

## 3.1 Transmission par clavettes

### 3.1.1 Profil des clavettes

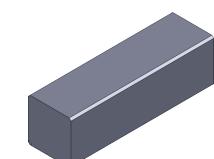
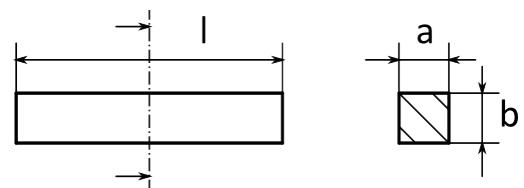
La plupart du temps, les clavettes servent d'une part à assurer la mise en position lors d'une liaison encastrement démontable. D'autre part, elle permettent d'assurer la transmission de puissance entre, par exemple, un arbre et un pignon ou une poulie.

Elles sont désignées ainsi :

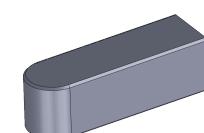
Clavette parallèle, forme A,  $a \times b \times l$



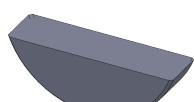
**Clavette de type A**



**Clavette de type B**



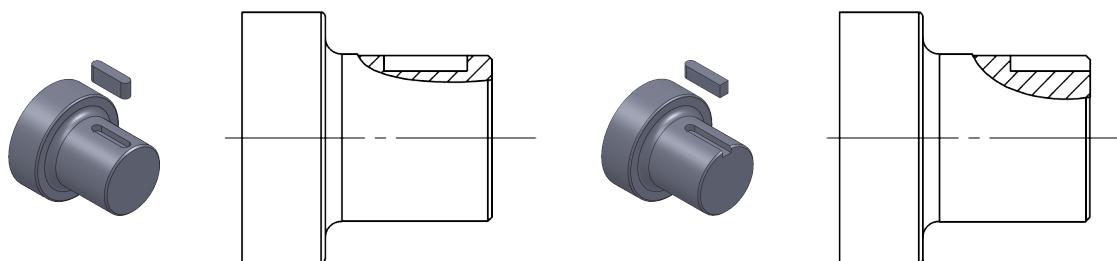
**Clavette de type C**



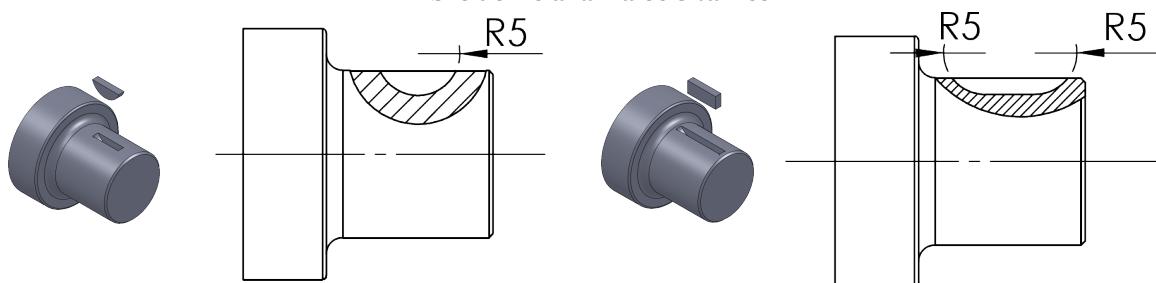
**Clavette disque**

### 3.1.2 Profil des arbres

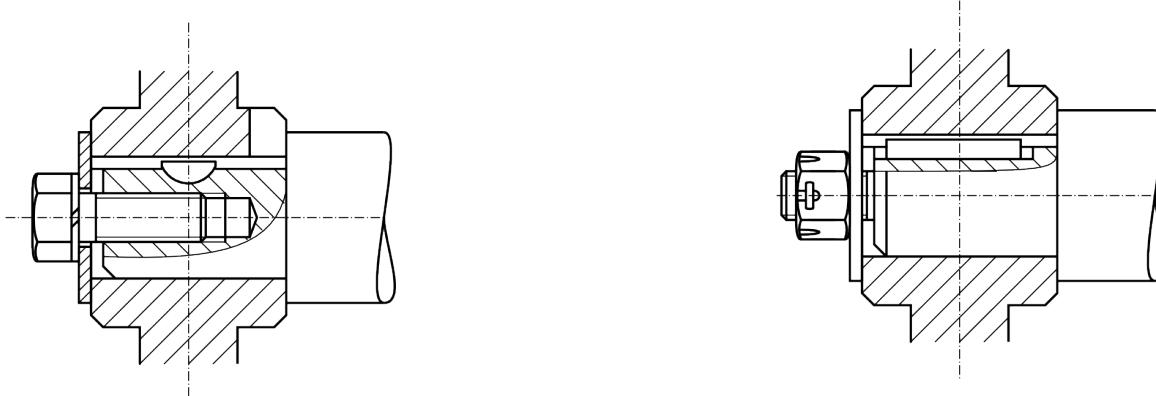
**Arbre usiné à la fraise 2 tailles**



**Arbre usiné à la fraise 3 tailles**

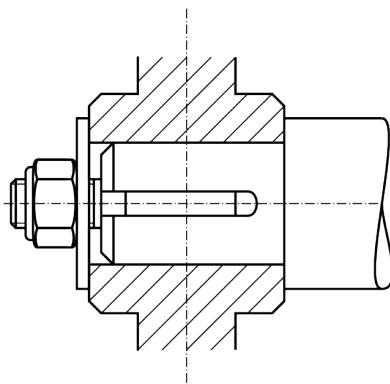
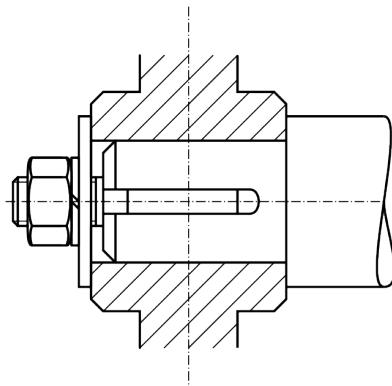


### 3.1.3 Conception des assemblages clavetés

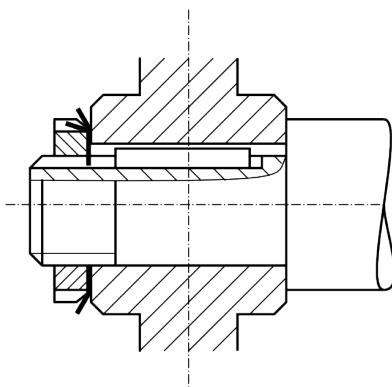


- Arrêt en rotation par clavette disque
- Pour couple peu importants
- Rainure debouchante – obligatoire sur le moyeu.

- Arrêt en rotation par clavette parallèle
- Couples importants
- Freinage par obstacle
- Rainure débouchante sur le moyeu



- Arrêt en rotation par clavette parallèle représentée de face
- Freinage par adhérence rondelle à dents
- Même solution
- Freinage avec un écrou « Nylstop »



- Même solution
- Freinage par obstacle avec écrou SKF et rondelle à languette

### 3.1.4 Dimensionnement des assemblages clavettés

On calcule les clavettes au matage (critère lié à la pression de contact admissible).

Un couple de moment  $Ct$  est transmis par la clavette 34 du pignon 30 à l'arbre 35. On souhaite déterminer la longueur de clavette minimale pour éviter le phénomène de matage qui représente un écrasement permanent de la surface dû à une trop forte pression de contact.

#### Hypothèse de calcul et paramètres géométriques

On suppose que l'intégralité du couple est transmis par la clavette seule et non par l'ajustement arbre/alésage.

Le contact est supposé plan et 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 négligés (et jamais représentés). Nous considérons que  $s = 0$ .
- Aire de la surface de contact :  $A = L \times h$ .
- Hauteur de clavette en prise dans le moyeu :  $h = b - (d - j)$ .
- La valeur de  $d$  est toujours connue et impose les valeurs  $a, b, j$  donc celle de  $h$ .

## Détermination de la pression de contact

- La pression étant uniforme,  $p = F/A$ .
- Couple transmis :  $C = F \times (d/S + e)$  (Nous considérons que  $e = 0$ , ce qui majore  $p$ ).

Avec l'hypothèse de répartition de pression uniforme, on a :

$$p = \frac{C}{\frac{d}{2} L h}$$

## Détermination de la longueur utile de la clavette

Pour vérifier la résistance au matage d'une clavette, il faut vérifier que la pression de contact reste inférieure à la pression admissible. Les valeurs de pression admissibles avant matage dépendent principalement des propriétés mécaniques du matériau utilisé et des conditions de fonctionnement. Elles sont données dans les normes ou documents constructeurs.

Montage	Conditions de fonctionnement	Clavettes (Acier : $Rr = 600 \text{ MPa}$ )	Cannelures (Acier $Rr = 1000 \text{ MPa}$ )
Glissant en charge	Avec à coups ou vibrations	de 0,5 à 2 MPa	de 5 à 10 MPa
	Cas général	de 2 à 6 MPa	de 10 à 20 MPa
	Charge et vitesse constante	de 6 à 10 MPa	de 20 à 30 MPa
Fixe	Avec à coups ou vibrations	de 10 à 20 MPa	de 30 à 60 MPa
	Cas général	de 20 à 40 MPa	de 60 à 120 MPa
	Charge et vitesse constante	de 40 à 90 MPa	de 120 à 180 MPa

Nous devons vérifier que :  $p < p_{admissible}$ , soit :

$$\frac{C}{\frac{d}{2} L h} \leq p_{admissible}$$

Cette inéquation permet de calculer la longueur « utile »  $L$  de la clavette, (il faut ajouter les arrondis de rayon  $a/2$  suivant la forme A ou C de la clavette). On évitera :  $l > 1,8d$ .

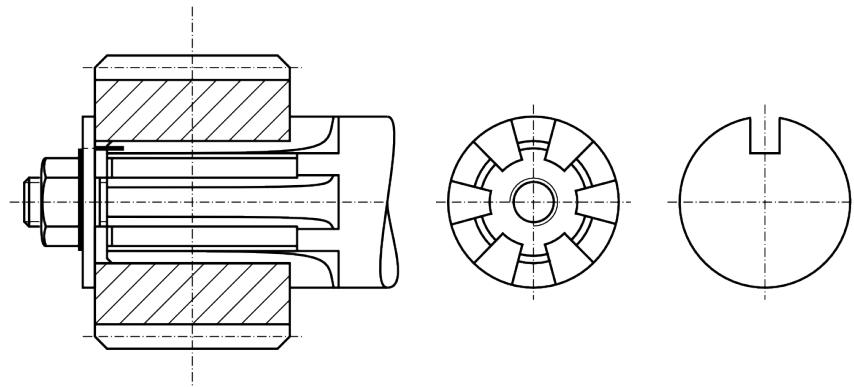
### Exemple de calcul

- Couple à transmettre :  $C = 60 \text{ Nm}$
- Diamètre de l'arbre :  $d = 40 \text{ mm}$
- La norme indique donc :  $a = 12, b = 8, j = 25$

Il s'agit d'un assemblage fixe (pas de guidage de translation) avec un risque de vibration (engrenage à denture droite) la pression admissible retenue est  $p_{admissible} = 20 \text{ MPa}$ .

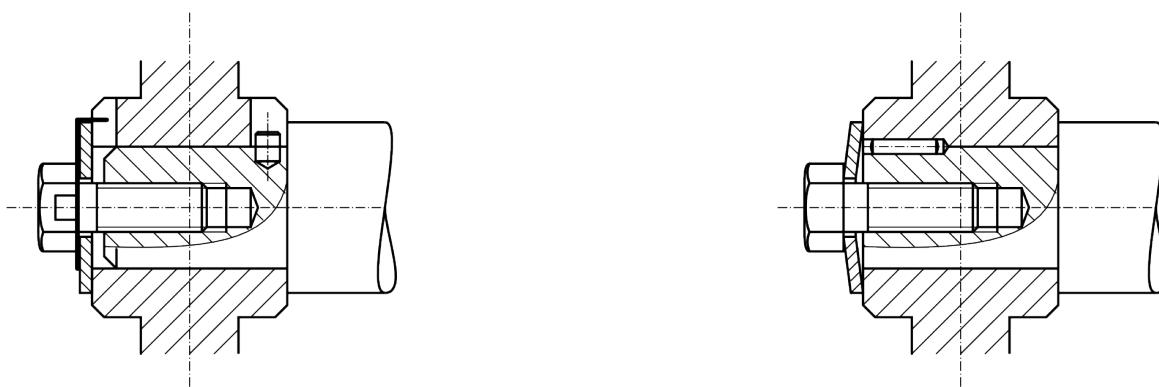
Il est demandé de déterminer complètement les dimensions de la clavette de forme C permettant de transmettre le couple demandé sans que la surface de contact de la clavette soit matée.

### 3.2 Cannelures

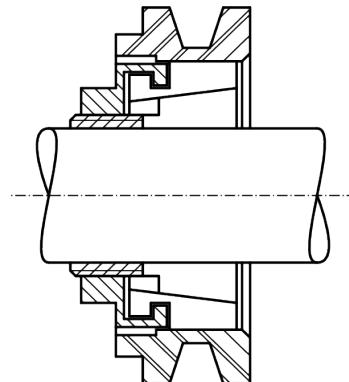
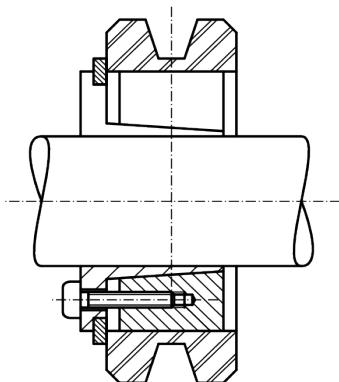


- Arrêt en rotation par cannelures
- Pour couples très importants, avec chocs éventuels
- Remarquer le freinage par obstacle de la vis

### 3.3 Autres dispositifs d'arrêts par obstacles

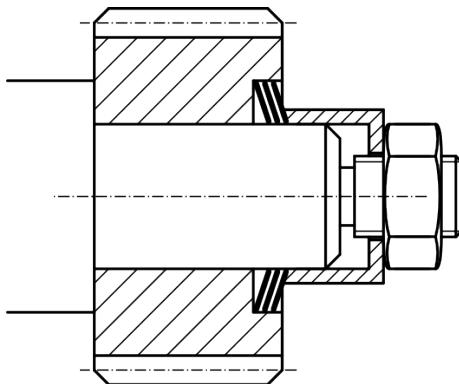
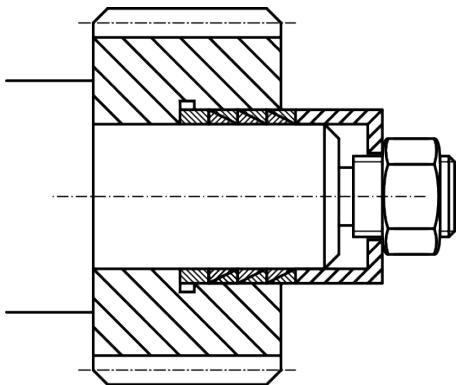


- Arrêt en rotation par pion cylindrique
- Pour couples faibles et sans choc
- Remarquer le freinage de la vis
- Arrêt en rotation par goupille « entre cuir et chair »
- Couples peu importants
- Perçage du logement de goupille lors du montage



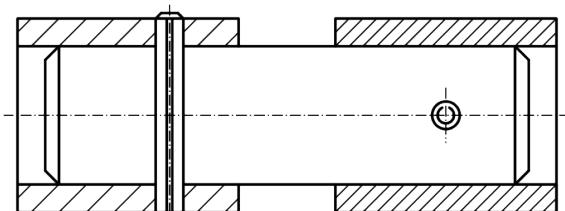
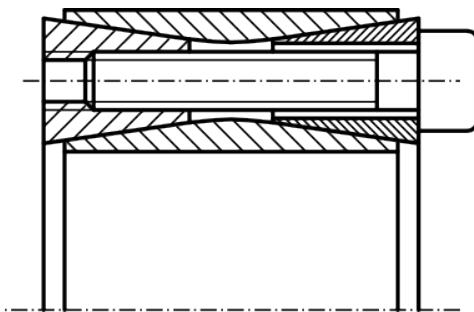
- Centrage et maintien en position par adhérence efficace avec un manchon « Ringblock série 1300 »
- Réglage possible de la position angulaire et axiale avec serrage
- Utilisé sur arbre lisse

- Centrage et maintien en position par adhérence efficace avec un manchon « Trantorque »
- Réglage possible de la position angulaire et axiale avant serrage
- Utilisé sur arbre lisse



- Maintien en position par adhérence avec des éléments « Ringblock série 1060 » empilés
- Moins encombrants, moins chers mais transmettent un couple moins important
- Un centrage est conseillé

- Maintien en rotation et en translation par adhérence avec un empilage de rondelles élastiques « Ringspann »

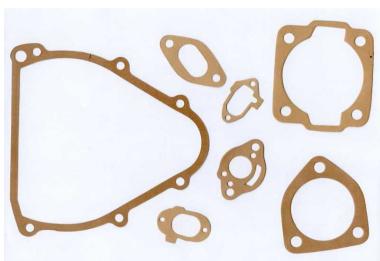


- Centrage et maintien en position par adhérence efficace avec des éléments « Tollock »
- Réglage possible de la position angulaire et axiale avec serrage
- Utilisé sur arbre lisse

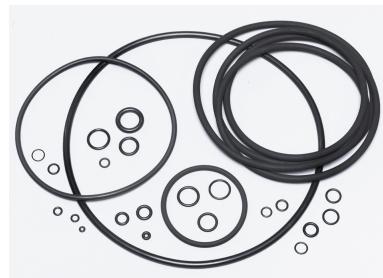
- Arrêt en rotation et translation par goupille transversale
- Mise en position latérale peu précise.
- Ici utilisation de goupilles élastiques

## 4 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).



Joint papier [11]



Joint torique [10]

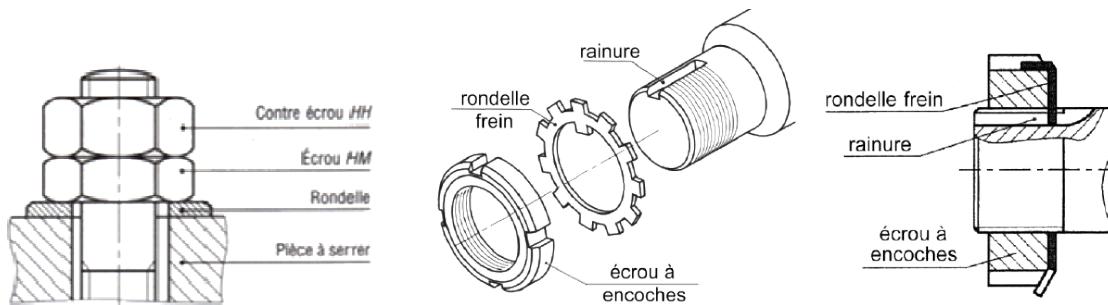
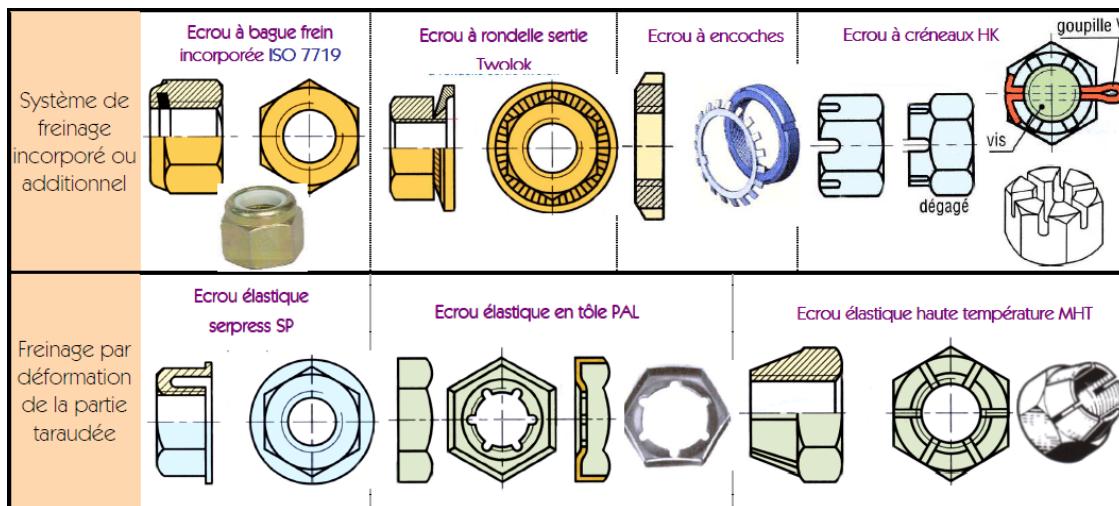


Joint de culasse [12]

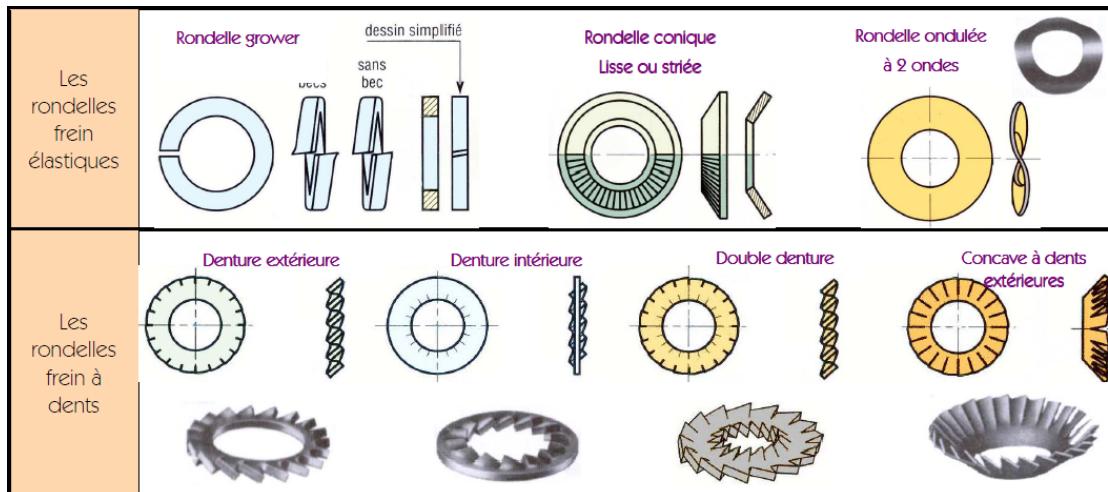
## 5 Assurer la fiabilité

Les chocs, les vibrations répétées, les variations de température auxquels sont soumis les assemblages par éléments filetés, peuvent très rapidement entraîner leur desserrage (perte de la pression de contact entre filets de la vis et de l'écrou).

## 5.1 Écrou freiné



## 5.2 Rondelles



## Références

[1] <http://www.hellopro.fr/images/produit-2/2/4/9/motoreducteur-a-sortie-axiale-207942.jpg>

- [2] [http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/fiches\\_dossiers/motoreducteur\\_sew\\_r17\\_DT.php?t=13](http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/fiches_dossiers/motoreducteur_sew_r17_DT.php?t=13)
- [3] <http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/>
- [4] Fabrication de vis : <http://www.youtube.com/watch?v=70RomNNCSUQ>
- [5] <http://www.gbmo.eu/attachement-pour-le-fraisage.html>
- [6] <http://www.maritool.com/images/HSK50A-ER32-COLLET-CHUCK-1.jpg>
- [7] Supports de cours de Maryline Carrez, Lycée Jules Haag, Besançon
- [8] <http://www.linternaute.com/paris/magazine/photo/la-tour-eiffel-dans-tous-ses-etats/image/rivets-d-eiffel-441056.jpg>
- [9] Supports de cours de Philippe Fichou, Lycée Vauban, Brest <http://philippe.fichou.pagesperso-orange.fr/documents/liaisoncomplete2003.pdf>
- [10] [http://www.via-industry.com/rep\\_images/client/magicap/jointstoriques.jpg](http://www.via-industry.com/rep_images/client/magicap/jointstoriques.jpg)
- [11] <http://membres.multimania.fr/solokoy/img/Joints%20papier.jpg>
- [12] [http://www.vlvautoparts.com/vlvautoparts\\_images/produits/12.4726.jpg](http://www.vlvautoparts.com/vlvautoparts_images/produits/12.4726.jpg)