

Éléments mécaniques pour l'assemblage : Vue d'ensemble et innovation

Loïc Tadrict

Loic.TADRIST@univ-amu.fr

But du cours :

- Connaître les éléments mécaniques existant pour créer des assemblages et leurs emplois.
- Comprendre les évolutions des éléments mécaniques et analyser les innovations ayant menées ces évolutions.

- **Organisation du cours :**
- CM 1 : Éléments de construction mécanique : Liaisons complète, incomplète (glissière et pivot) et élastique.
- CM 2 : Éléments de construction mécanique : Guidage.
- CM 3 : Éléments de construction mécanique : Roulements, paliers et articulations.
- TD1 : Innovation autour d'un élément mécanique : la liaison hélicoïdale
- TD 2 : Veille autour de l'innovation d'un élément mécanique
- TD 3 : Veille autour de l'innovation d'un élément mécanique
- TD 4 : Présentations des historiques d'innovation en mécanique.

- **Mode d'évaluation :**
- Ce cours fait partie de la ressource R3.II.Veille. Vous serez évalué sur un DM qui sera travaillé en TD et à la maison.
- Ce DM sera présenté à tous les étudiants durant la dernière séance de TD
- Le DM consiste en une fiche de 4 pages maximum présentant un élément mécanique de base. Cette fiche montrera les évolutions de cet élément mécanique au cours de l'histoire et mettra en avant les innovations liées à ces évolutions.
- Étudiant par groupe de 2 : une fiche.
- Consignes détaillées sur AMETICE.

Cours 1 : Éléments de construction mécanique

- Qu'est-ce qu'un produit mécanique ?
- Bestiaire des éléments mécaniques pour l'assemblage.
- Comment réaliser un assemblage rigide ?
- Comment réaliser un assemblage à liaison incomplète ?
- Comment réaliser un assemblage à liaison élastique ?

Introduction

- Un produit mécanique :
 - 1 commande
 - 1 actionneur
 - 1 mécanisme

Tout mécanisme comporte un certain nombre de pièces assemblées les unes sur les autres (certaines d'entre elles sont fixes, d'autres sont mobiles).

Les pièces mobiles réunies aux pièces fixes par des assemblages ayant pour but de les **guider** et de **limiter leur déplacement**.

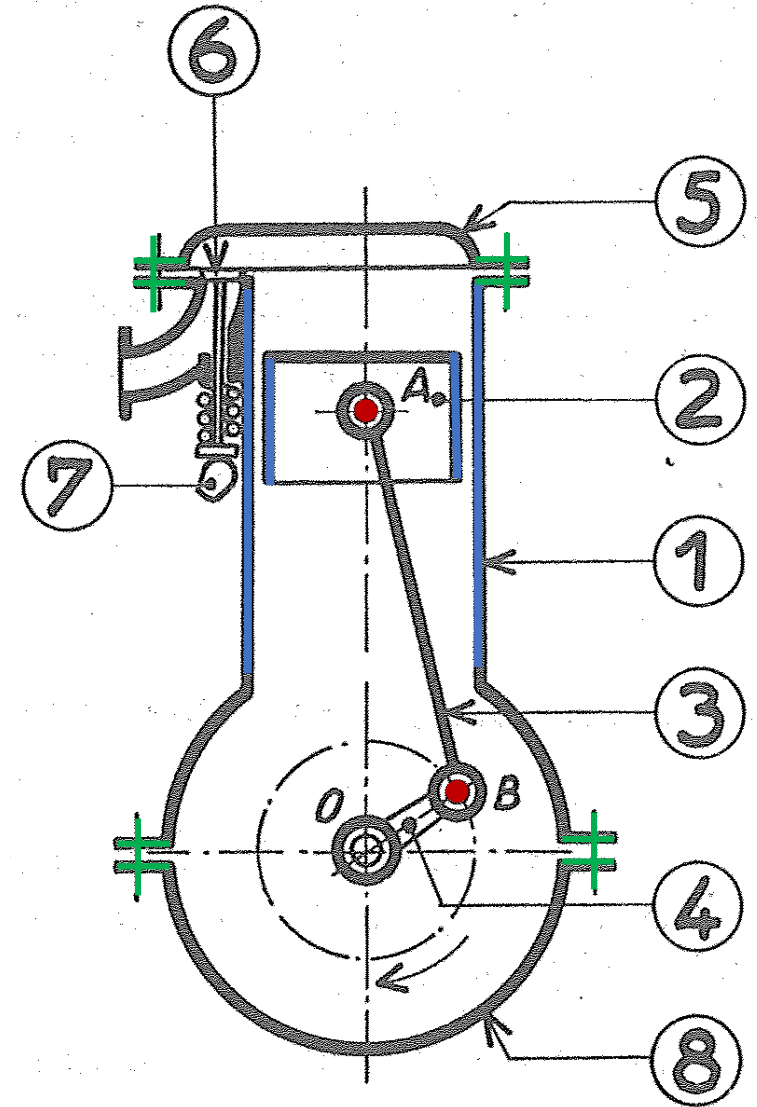
les nécessités de fabrication, de montage, de transport, de réparation obligent également le constructeur à prévoir en plusieurs pièces certains organes fixes ou mobiles, d'où nécessité de nouveaux assemblages.

- Exemple :

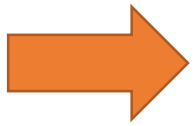
Dans un moteur à explosion , le piston (2) est mobile en translation dans le cylindre (1), d'où nécessité d'un **guidage** ;

la bielle (3) doit être **articulée** sur le piston et sur le vilebrequin (4) ;

le cylindre (1) et le carter (8) sont **assemblés** l'un sur l'autre afin de permettre le montage du mécanisme - intérieur ; de même pour la culasse (5) et le cylindre (1).



- Les assemblages utilisés en construction mécanique sont très divers ; ils dépendent en effet de nombreux facteurs : nature de la liaison à établir, forme des pièces à réunir, moyen utilisé pour réunir les 2 pièces, sens et grandeur des efforts à transmettre, etc. ;



Une grande variété d'éléments mécaniques

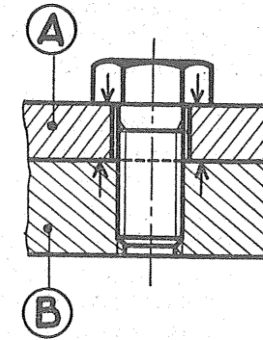
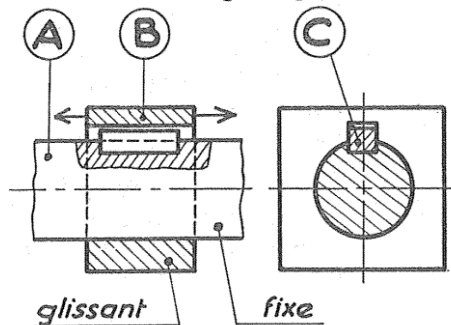
Une grande variété de solutions de conception

Une grande variété méthodes de fabrications

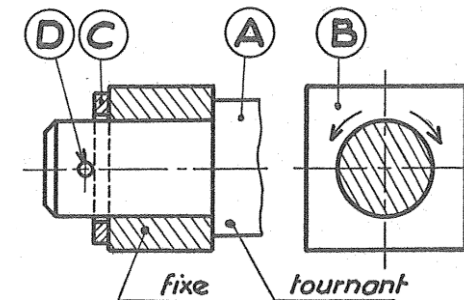
Pour imaginer une solution innovante ou optimisée, il faut bien maîtriser les solutions existantes.

- Assemblages à liaison complète, ou assemblages rigides,** les pièces assemblées sont solidaires l'une de l'autre, sans mouvement relatif.
- Assemblages à liaison incomplète,** Un mouvement relatif des 2 pièces est permis; Guidage et graissage : faciliter le mouvement libre.

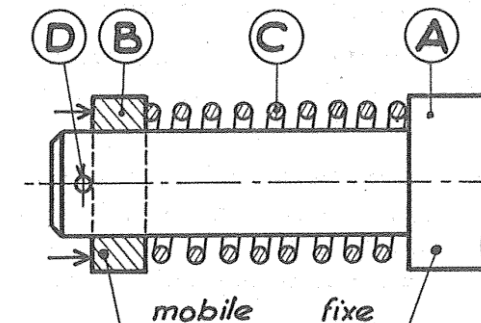
Translation : assemblage glissant.



Rotation : assemblage tournant



- Assemblages à liaison élastique,** les pièces assemblées de manière flexible : ressort, tampon de caoutchouc, etc, (fig. 5) ; la pièce mobile, dont le mouvement peut être une rotation ou une translation, est rappelée en position par le ressort dès que la force motrice cesse d'agir. Exemple : assemblage de la soupape (6) sur son siège (fig. 1).

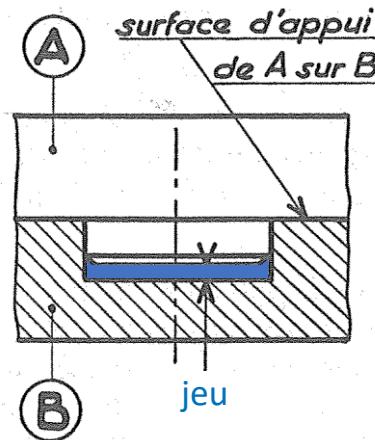


Penser la forme des pièces à assembler :

- **Réalisation économique des surfaces à assembler**
Surface plane / cylindrique : Usinage conventionnel
Surface complexe : Fabrication additive
- **Réduction de l'étendue des surfaces en contact.**
La réalisation d'une surface de grande étendue et de bonne correction géométrique est difficile (déformations de la pièce, de l'outil, des supports, etc) réduire les surfaces en contact au strict minimum en tenant compte de la pression de contact, du guidage, du graissage, etc. ;
- **Suppression des portées multiples.**
Pour faciliter le montage, réduire l'usinage et assurer un fonctionnement correct, choisir les surfaces qui doivent être en contact ; laisser du **jeu** entre les autres surfaces.

Surface plane : Usinage par fraisage ou rabotage ;

Surface cylindrique : Usinage de l'arbre au tour. Usinage de la douille par perçage et alésage ;

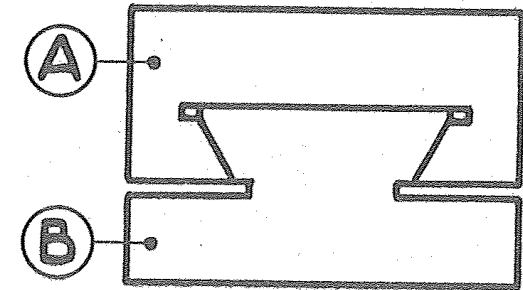
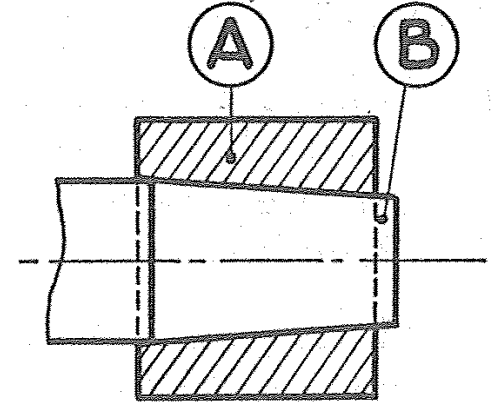
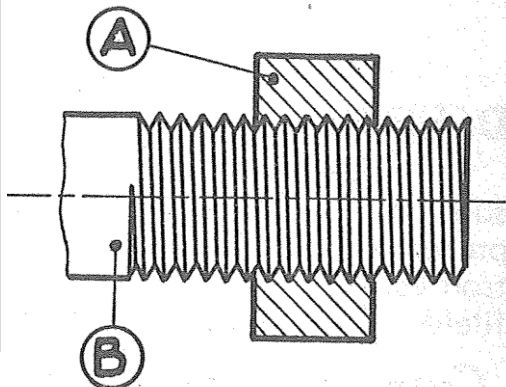
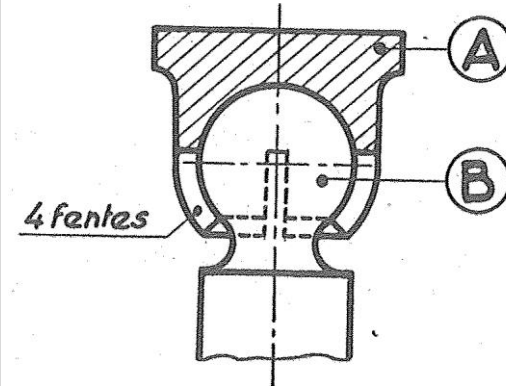


Surface conique : Usinage difficile mais permet un excellent centrage;

Surface Sphérique : Usinage difficile. Emploi assez rare.

Surface prismatique : Usinage difficile. Assure le blocage en rotation pour assemblage glissant.

Surface hélicoïdale : Usinage par taraud. Ajustement en général imparfait et centrage difficile.

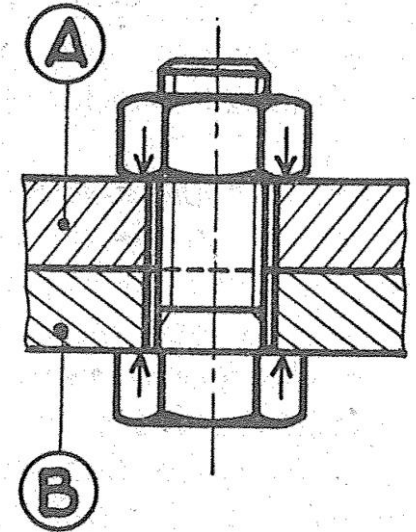


Physique des liaisons :

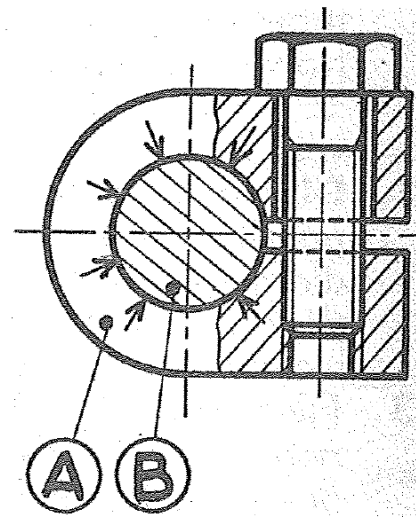
1. **Liaison par obstacle** : On ne peut la retirer que par démontage ou destruction de la liaison

1. **La liaison par friction sèche** : Dépend de la force de serrage (S), de la force appliquée (F) et du coefficient de frottement (μ). La liaison tient tant que $F < \mu S$.

Exemple de liaison par obstacle :
liaison boulonnée



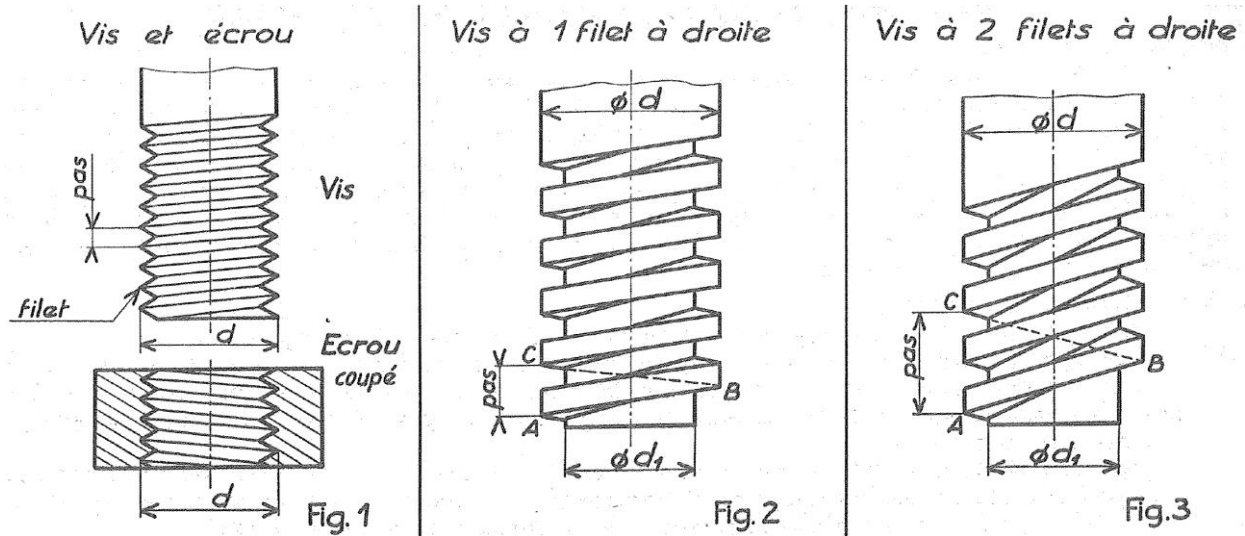
Exemple de liaison par friction :
liaison par serrage



1. Bestiaires des organes d'assemblage

- Filetages
- Boulons, écrous, rondelles et goupilles
- Vis
- Vis de pression

Filetages



Règles de normalisation des filetages :

1. **Choix des diamètres** (exemple, d : diamètre nominal)
2. **Choix de la rainure hélicoïdale**
Forme : triangulaire, carrée, trapézoïdale)
3. **Choix du nombre de filets** (1, 2, ..., N)
4. **Choix du pas**
5. **Choix sens d'enroulement**

Histoire de la normalisation des filetages en France :

depuis 1898, la France avait adopté un système de filetage dit S.I (système international) ;

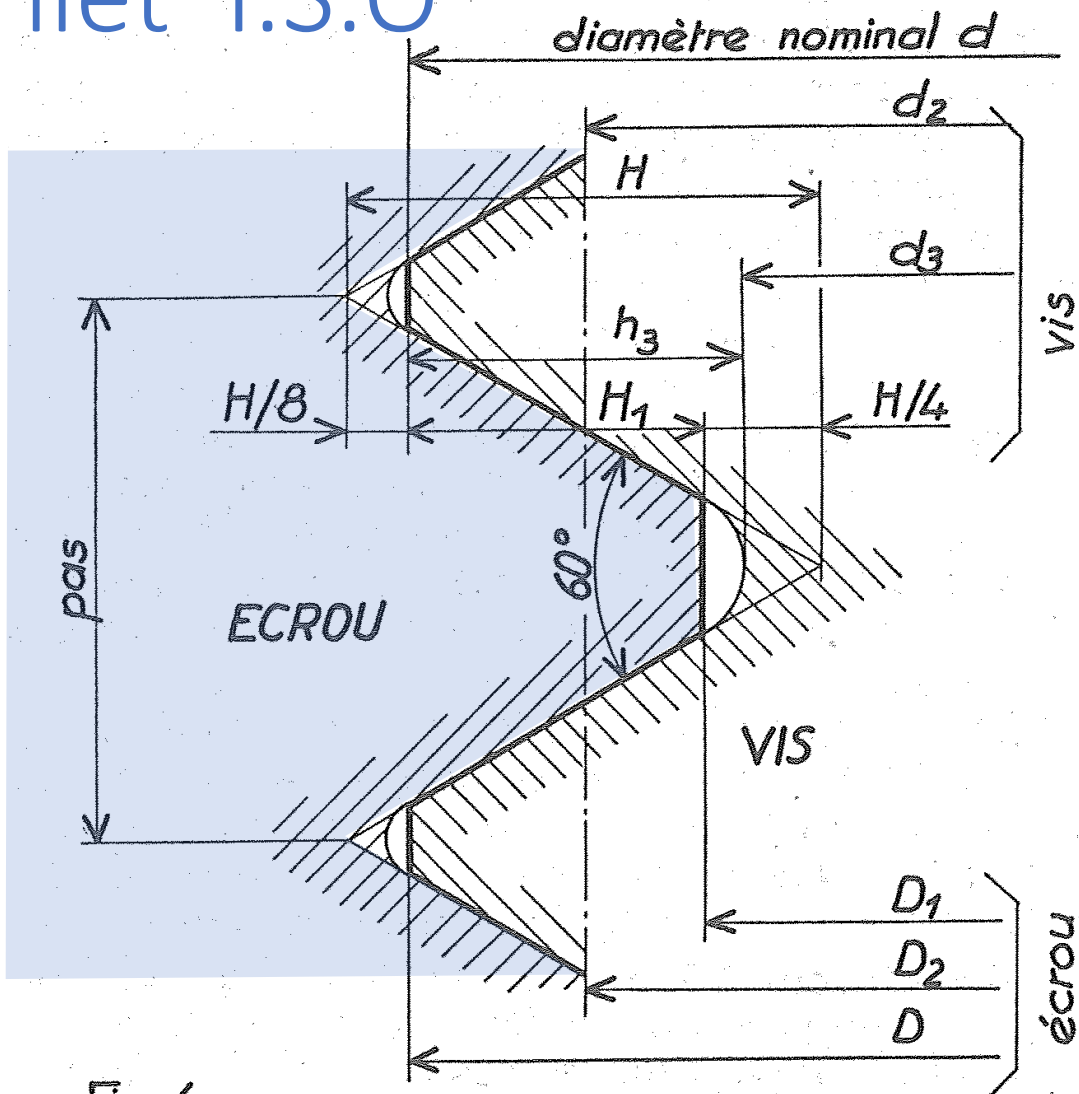
depuis 1959, c'est le système I.S.O. (en anglais : International Organization for Standardization) qui est adopté en France.

D'autres filets, moins utilisés, sont également normalisés :

- filet trapézoïdal,
- filet rond,
- filetage au « pas du gaz »;

Parmi les filets non normalisés, on peut noter le filet carré.

Filet I.S.O



Hauteur théorique du filet	H	$p\sqrt{3}/2$	0,866 p
Hauteur du filet en contact	H ₁	$H - (H/4 + H/8)$ $= 5H/8$	0,541 p
Hauteur du filet de la vis	h ₃	$H - (H/8 + H/6)$ $= 17H/24$	0,613 p
Diamètre nominal	D = d		
Diamètre moyen	D ₂ = d ₂	$d - 3H/4$	$d - 0,65 p$
Diamètre intérieur de l'écrou	D ₁ = d ₁	$d - 2H_1$ $= d - 5H/4$	$d - 1,082 p$
Diamètre du noyau de la vis	d ₃	$d - 2h_3$ $= d - 17H/12$	$d - 1,226 p$

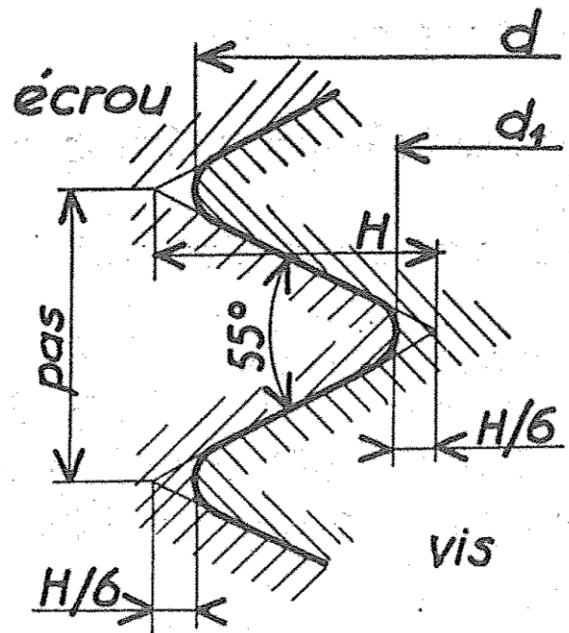
Fig.4

Filet I.S.O

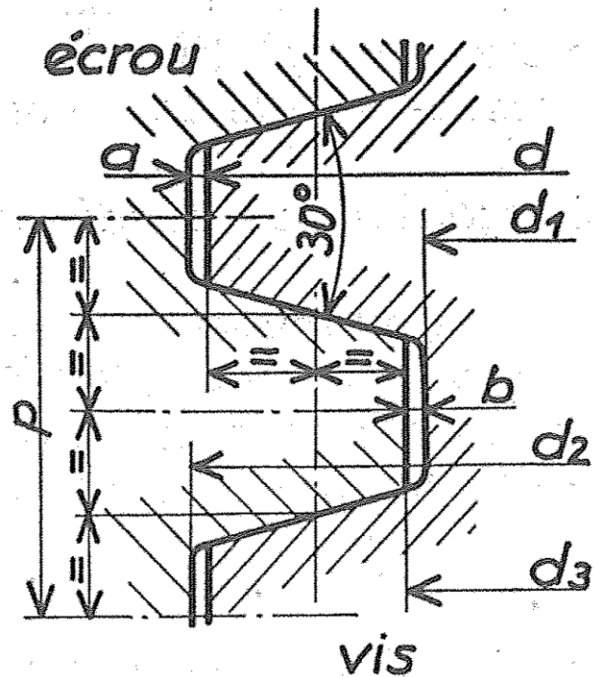
1. **Forme du filet.** La section génératrice est un triangle équilatéral dont le côté est égale au pas (fig. 4) ; ce triangle est tronqué de $1/8$ de sa hauteur au sommet, de $1/4$ à sa base ; la profondeur du jeu entre le filet de la vis et celui de l'écrou n'est pas imposée, mais il est recommandé d'adopter une forme arrondie pour le fond de la rainure
2. **Nombre de filets** sur une longueur de un pas : il est de un en principe.
3. **Sens de l'enroulement** : à droite, en principe.
4. **Diamètres et pas.** Les diamètres nominaux s'échelonnent de 0,25 à 300 mm ; pour chacun d'eux il est prévu un pas gros et plusieurs pas fins.
5. **Emploi.** Le filet triangulaire I.S.O. est résistant et facile à exécuter ; il est utilisé pour les vis, boulons, écrous, etc.

Quelques autres filets

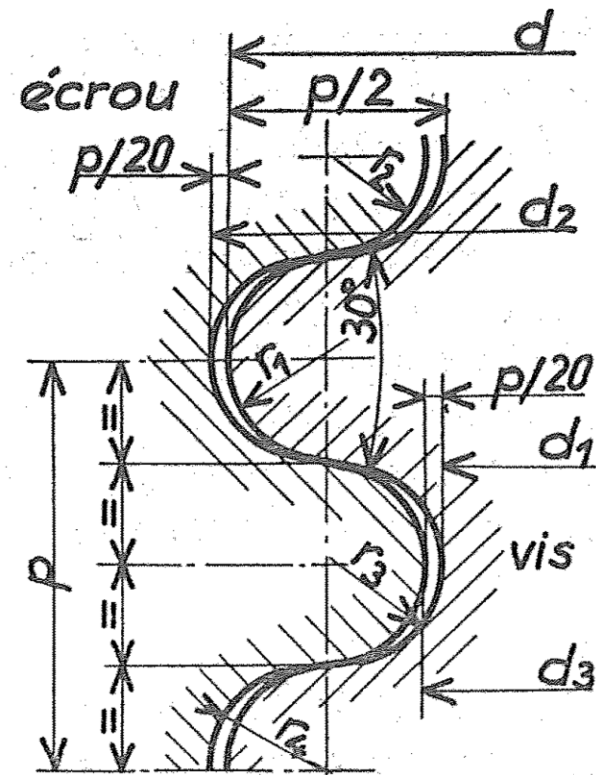
Filet Whitworth



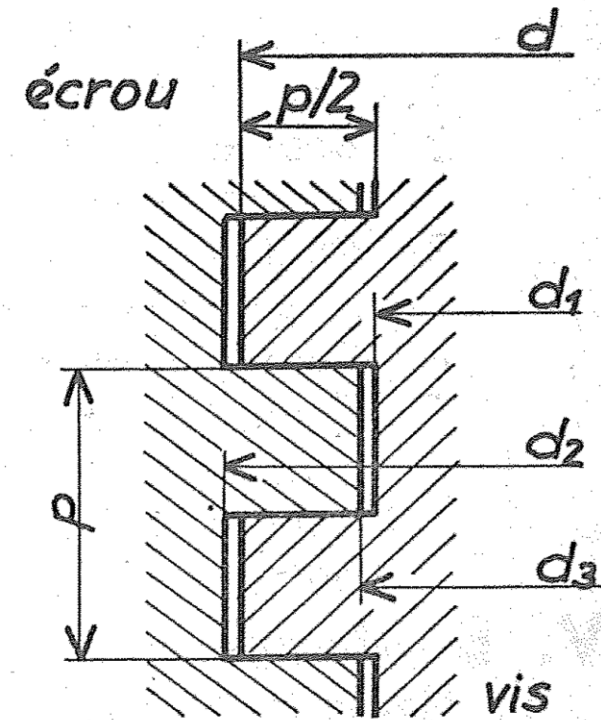
Filet trapézoïdal



Filet rond



Filet carré



Quelques autres filets

- 1. Filet triangulaire Whitworth :** c'est un filet adopté en Grande-Bretagne et dans un certain nombre de dominions pour les vis, boulons, écrous, etc. ; il est utilisé en France pour le filetage sur écrou tubes appelé « **pas du gaz** ». La section génératrice est un triangle- isocèle, d'angle au sommet 55° , tronqué de $H/6$ au sommet et à la base ; le diamètre nominal est exprimé en pouces (un pouce = 25,4 mm) ; le pas s'indique par le nombre de filets par pouce. C'est la première norme de pas de vis au monde, dès 1841.
- 2. Filet impérial (BSF: British Standard Fine) :** C'est une variante du filet Withworth créée en 1908. La forme du filet est identique au Withworth.
- 3. Filet trapézoïdal :** la section génératrice est un trapèze isocèle dont l'angle des côtés non parallèles est de 30° ; sa hauteur est environ la moitié du pas ; le diamètre est choisi dans la série des diamètres pour filetage I.S.O. ; le pas n'est pas imposé ; choisir le pas aussi grand que possible, sans dépasser la valeur 0,25 d. Ce filet est résistant, peu encombrant facile exécuter ; il est utilisé pour les vis de transformation de mouvement.
- 3. Filet rond :** la section génératrice est un trapèze isocèle à angles arrondis ; l'angle des côtés non parallèles est de 30° ; le diamètre est choisi dans la série des filetages métriques, le pas n'est pas imposé. Ce filet est très résistant, d'où son emploi pour les pièces soumises à des chocs.
- 4. Filet carré :** ce filet, non normalisé et d'exécution difficile, mais de bon rendement, utilisé, comme le filet trapézoïdal pour les vis de transformation de mouvement.

Boulons, Écrous, Rondelles et Goupilles

Mode d'action : Liaison par adhérence

Soit 2 pièces que l'on veut rendre solidaires l'une de l'autre au moyen d'un boulon ; à cet effet, le corps du boulon traverse librement les 2 pièces qui, lorsqu'on visse l'écrou, se trouvent : serrées entre la tête du boulon et l'écrou ; il en résulte une force d'adhérence qui doit suffire à la liaison des 2 pièces.

Or la force d'adhérence étant proportionnelle à l'effort normal de serrage ; celui-ci devra donc être important. La liaison s'effectuant par adhérence, **il n'est pas nécessaire d'ajuster le boulon dans les pièces à serrer ; d'où jeu facilitant le montage**, et possibilité de laisser le corps du boulon brut de forge ainsi que les trous des pièces à serrer ; mais **les pièces ne sont pas centrées par le boulon**.

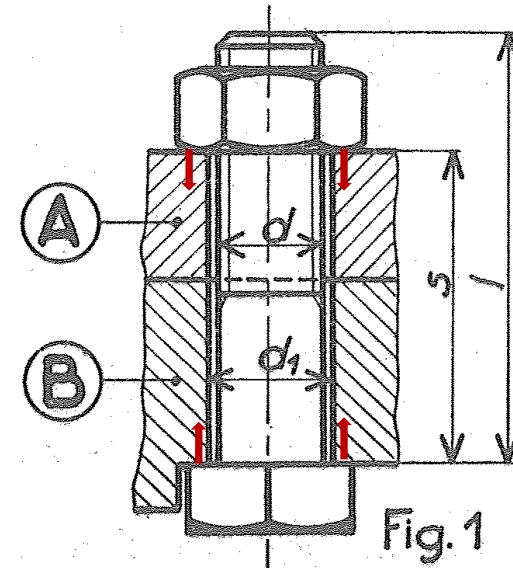
Boulons, Écrous, Rondelles et Goupilles

Mode d'action : Liaison par adhérence

Soit 2 pièces que l'on veut rendre solidaires l'une de l'autre au moyen d'un boulon ; à cet effet, le corps du boulon traverse librement les 2 pièces qui, lorsqu'on visse l'écrou, se trouvent serrées entre la tête du boulon et l'écrou ; il en résulte une force d'adhérence qui doit suffire à la liaison des 2 pièces.

Or la force d'adhérence étant proportionnelle à l'effort normal de serrage ; celui-ci devra donc être important. La liaison s'effectuant par adhérence, **il n'est pas nécessaire d'ajuster le boulon dans les pièces à serrer ; d'où jeu facilitant le montage**, et possibilité de laisser le corps du boulon brut de forge ainsi que les trous des pièces à serrer ; mais **les pièces ne sont pas centrées par le boulon**.

Boulon H



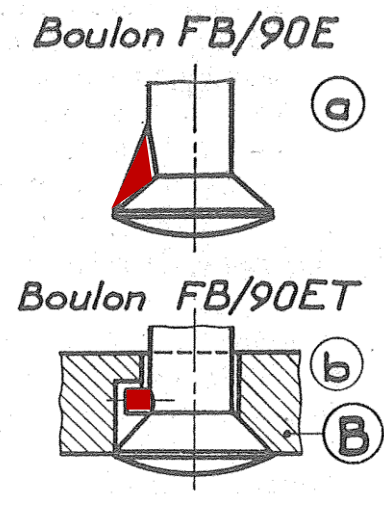
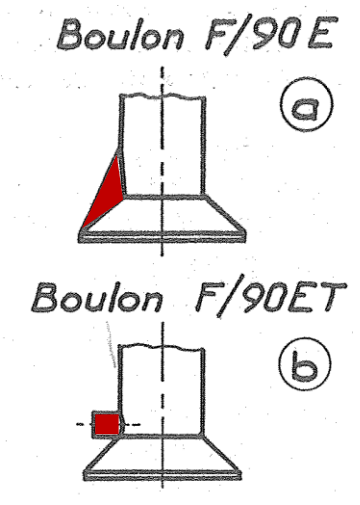
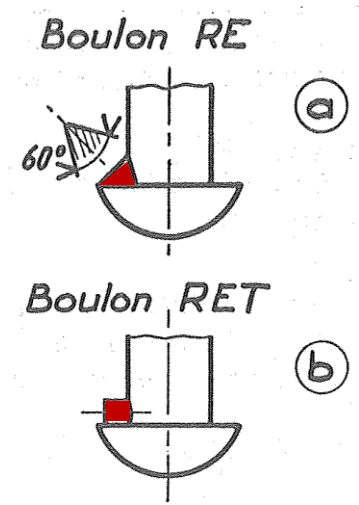
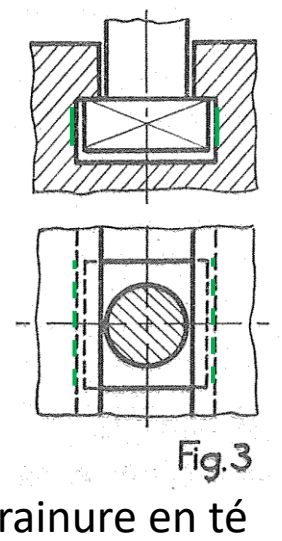
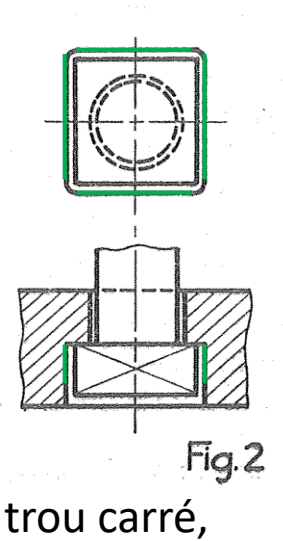
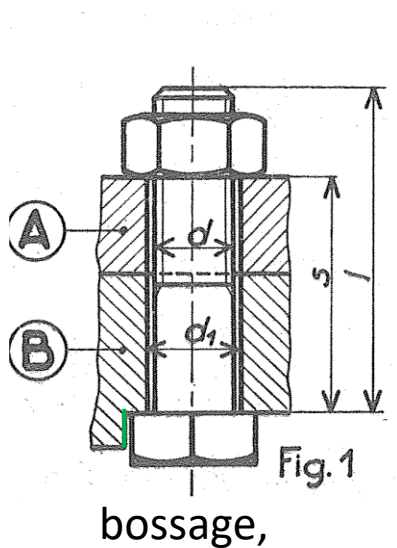
Jeu : $d_1 > d$

Comment serrer un boulon ?

Serrage initial

Le frottement entre les filets du boulon et ceux de l'écrou détermine l'entraînement en rotation du boulon par l'écrou lorsque le serrage commence à se faire pour obtenir un serrage énergique, il faut donc s'opposer à cette rotation. A cet effet, la tête des boulons présente :

1. Soit une forme prismatique (hexagonale ou carrée), permettant de l'immobiliser en rotation par une forme appropriée de son logement (à défaut, utiliser une clé).
2. Soit un ergot placé sous la tête lorsque celle-ci a une forme de révolution (cylindrique, sphérique ou conique) ; l'ergot est brut de forge lorsque le corps du boulon reste brut ; il est tourné et emmanché en force dans un trou placé sous la tête lorsque le corps du boulon est tourné ; cet ergot se loge dans un trou, ou une rainure, aménagé sur l'une des pièces à serrer.



Comment serrer un boulon ?

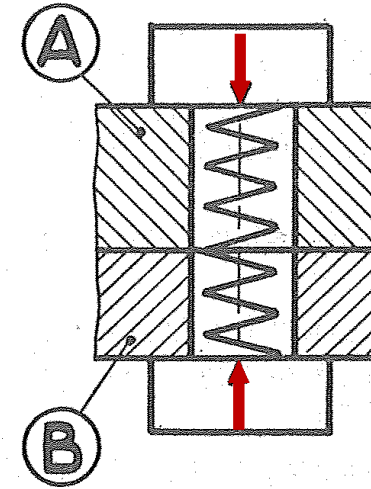
Maintien du serrage.

Le serrage de l'écrou détermine une traction sur le corps du boulon, d'où un allongement de la partie du corps comprise entre la tête et l'écrou ; si cette déformation est élastique le boulon tend à reprendre sa longueur primitive ;

Le boulon agit à la façon d'un ressort qui tire sur la tête et l'écrou.

Attention, il faut que la limite élastique du métal ne soit pas dépassée.

L'écrou reste serré lorsqu'on cesse d'agir sur lui, ce qui suppose un système vis-écrou irréversible. Un dispositif de freinage de l'écrou doit être prévu dans le cas d'organes soumis à des chocs ou à des vibrations.



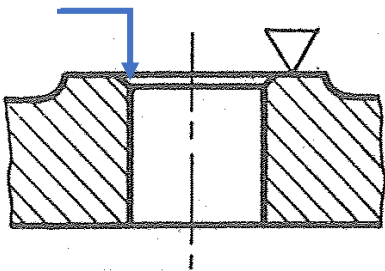
Comment serrer un boulon ?

Surfaces d'appui.

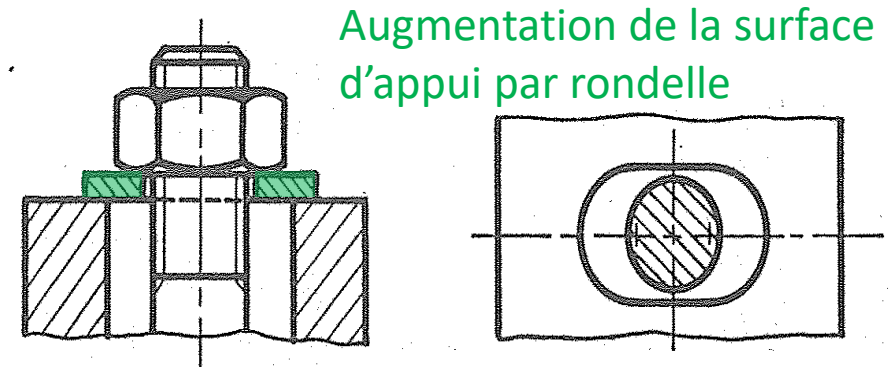
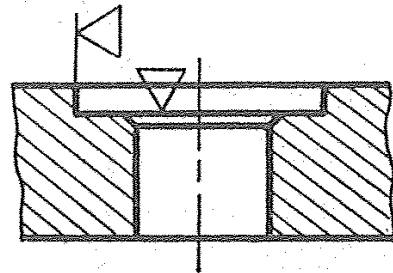
Pour transmettre l'effort de serrage aux pièces, la tête et l'écrou doivent comporter une surface plane, perpendiculaire à l'axe du boulon et d'une étendue suffisante ($P = F/S$) ;

- Les faces d'appui sont usinées par **bossage ou lamage**.
- Le congé de raccordement existant entre le corps et la tête du boulon peut gêner, il est souvent nécessaire de **fraisier l'entrée du trou** (sauf si le diamètre de ce trou est nettement supérieur à celui du boulon)
- Il faut placer une **rondelle** sous l'écrou lorsque la surface d'appui de celui-ci est trop faible (cas d'un boulon dans un trou ovalisé, par exemple)
- Exceptionnellement, la surface d'appui peut être conique ; la tête est alors ajustée dans son logement et le boulon est centré.

Bossage



Lamage



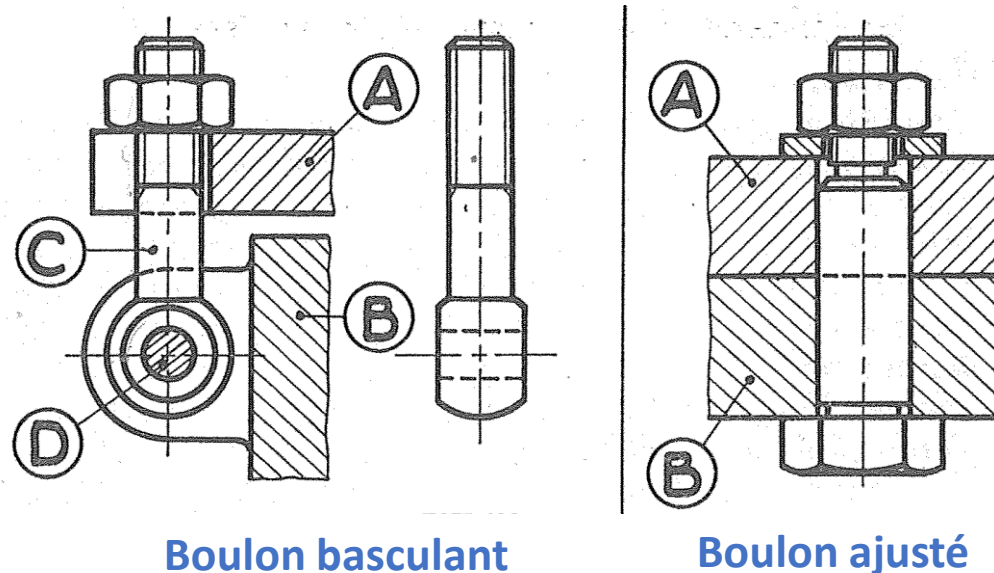
Têtes de boulon normalisées

- 5 formes de tête de boulons les plus courantes :
 1. Boulon à **tête hexagonale symbole H**, d'emploi général.
 2. Boulon à **tête carrée Q**, employé lorsque la tête doit être immobilisée en rotation par un trou carre ou une rainure en T.
 3. Boulon à **tête cylindrique C E**, avec ergot brut ou tourné, utilisé lorsque la tête doit être dissimulée dans un lamage.
 4. Boulon a **tête ronde R E**, avec ergot brut ou rapporté ; peu employé.
 5. Boulon à **tête tronconique, dit « à tête fraisée », plate ou bombée symbole F/90 ou FB/90**, avec ergot brut ou rapporté, utilisé lorsque la tête est logée dans un trou fraisé à 90° (fig. 7 et 8). L'extrémité du boulon est toujours plate, avec chanfrein à 120° ;

L'écrou normal est l'écrou hexagonal H.

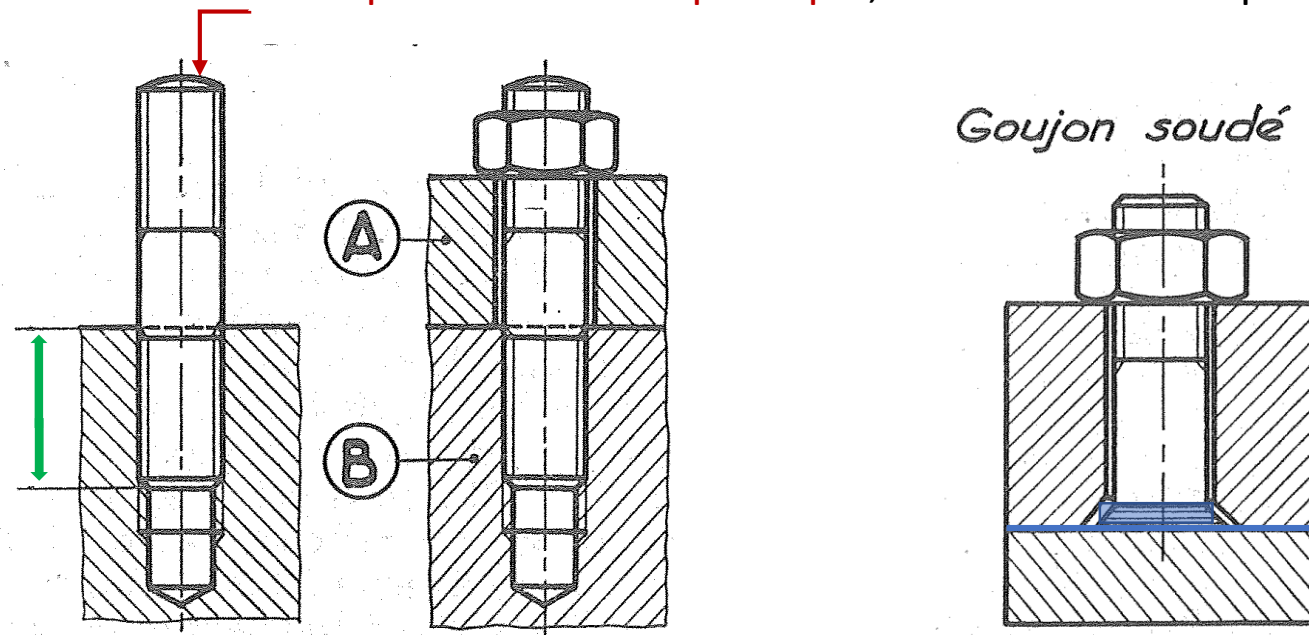
Boulons basculants. Utilisés en cas de démontages fréquents. Après desserrage de l'écrou, le boulon bascule, ce qui permet le démontage de la pièce serrée sans dévissage complet de l'écrou.

Boulons ajustés. Utilisés, en cas d'effort latéral important, afin d'éviter tout glissement des pièces; le diamètre du filetage doit être légèrement inférieur au diamètre du corps. Les 2 pièces sont centrées par les boulons et que la liaison est assurée à la fois par adhérence et par verrouillage. Usinage plus difficile.



Goujons

- Lorsqu'une pièce doit être serrée sur une **pièce massive qui ne peut être traversée par des boulons**, on utilise des goujons, soudés ou vissés.
- La pièce est ensuite serrée par des écrous vissés sur les goujons. Dans le cas de goujons vissés, **l'implantation varie de 1,5 à 3 diamètres** suivant la dureté du métal.
- Les goujons doivent être vissés à fond et bloqués dans la pièce massive afin qu'ils ne se dévissent pas quand on démonte l'écrou. Pour distinguer les 2 extrémités, les longueurs de filetage étant généralement différentes, **l'extrémité libre est terminée par une calotte sphérique**, l'extrémité vissée par un bout plat avec chanfrein.

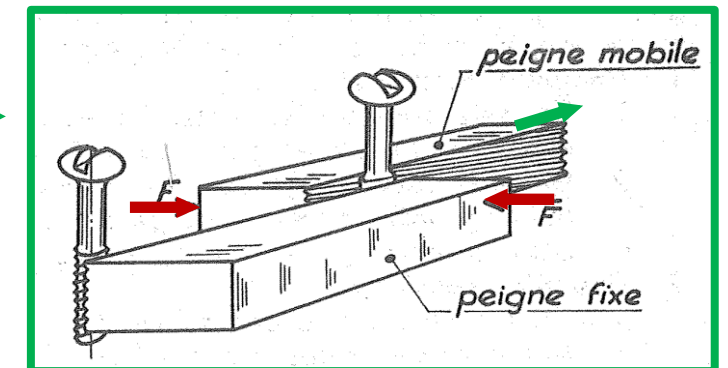
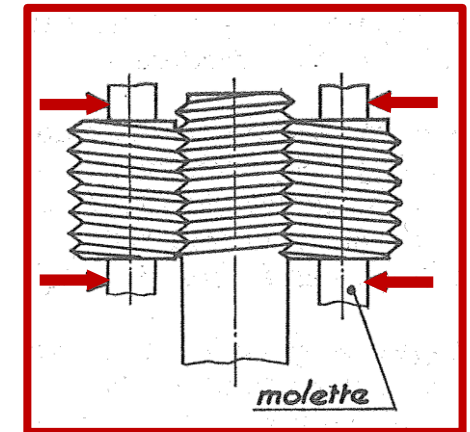


Choisir un boulon

1. Le diamètre du corps est choisi en fonction de **l'effort de serrage** ; on calcule d'abord le diamètre du noyau, à l'extension ; on en déduit le diamètre de la tige, qui doit être pris dans la série des filetages métriques ; adopter un coefficient **de sécurité élevé pour tenir compte de la concentration de contrainte dans les fonds de filets**.
2. La forme de la tête est choisie en vue de l'immobilisation en rotation et de la forme de la surface d'appui ; dans le cas général, utiliser le boulon H.
3. La longueur de la tige est fonction de l'épaisseur des pièces à serrer ; la longueur de filetage est fonction du diamètre du corps et de la longueur de la tige.

Fabriquer un boulon

- **Matière** : Emploi de l'acier doux pour toutes pièces filetées : vis, boulons, écrous, etc.
- **Ebauche** : La tige est prise dans une barre ronde ; la tête est refoulée à chaud ou à froid, suivant les dimensions, sur presse à forger.
- **Usinage** : Les boulons sont utilisés bruts de forge ; si cela est nécessaire, la tige est tournée, le dessous de la tête est planée.
- **Filetage** :
 - Soit par enlèvement de matière ; filière pour les boulons, tarauds pour les écrous,
 - Soit par refoulement de matière (série); **moletage** - entre 2 molettes filetées ; **roulage** entre 2 plaques matrices.
- **Etats de finition** :
 - boulonnerie brute : toutes surfaces rugueuses, sauf filetage
 - boulonnerie semi-fine : tige et surface d'appui lisses
 - boulonnerie fine : toutes surfaces lisses.



Écrous

Conditions d'emploi. L'écrou se visse sur le boulon. La surface d'appui est généralement plane.

La forme extérieure de l'écrou doit permettre son serrage avec une clé (forme prismatique, etc.), avec un tournevis (fente) ou à la main (formes diverses) ;

Résistance au cisaillement : trou taraudé doit avoir une hauteur telle que la résistance du filet au cisaillement soit au moins égale à celle du noyau du boulon à l'extension ; cette condition est réalisée pour $h=0,4$ à $0,5 d$.

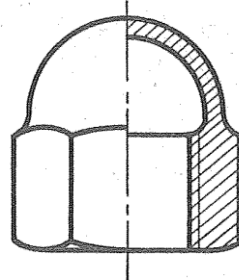
Écrous normalisés. L'écrou normal est l'écrou hexagonal (H) de hauteur égale à $0,8 d$; écrou plus haut (Hh) et un écrou bas (Hm), celui-ci étant surtout utilisé comme contre-écrou.

Embase : augmenter la surface d'appui ;

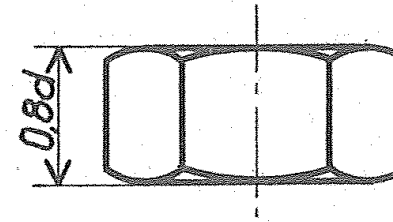
Créneaux : freinage par une goupille ;

Borgne : destiné à protéger l'extrémité du boulon.

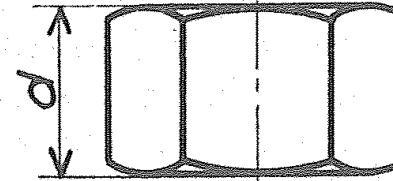
Écrou borgne



(A) *Écrou H*



(B) *Écrou Hh*



(C) *Écrou Hm*

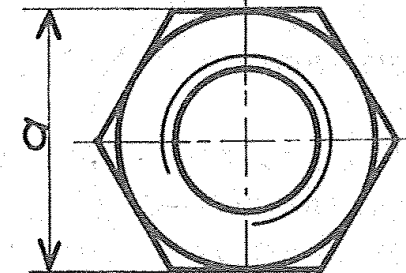
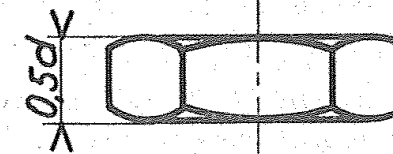


Fig.23

Écrou à embase

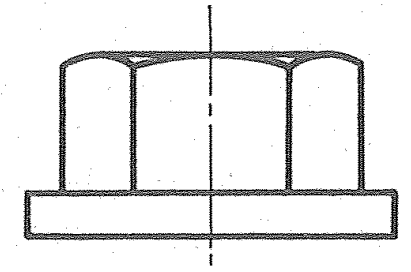
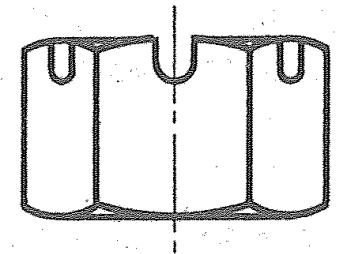


Fig.24

Écrou HK



Écrou HK dégagé

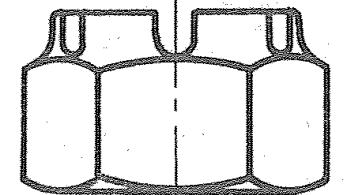
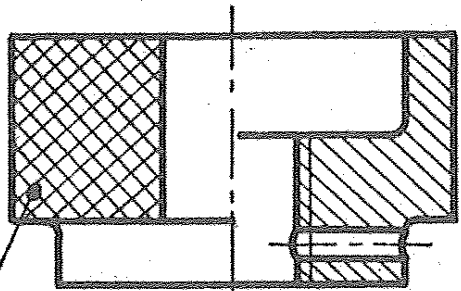


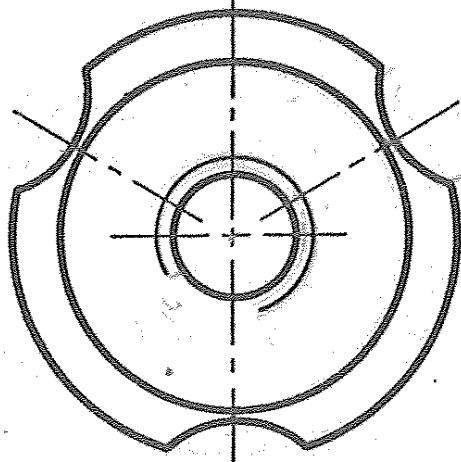
Fig.25

Écrous spéciaux

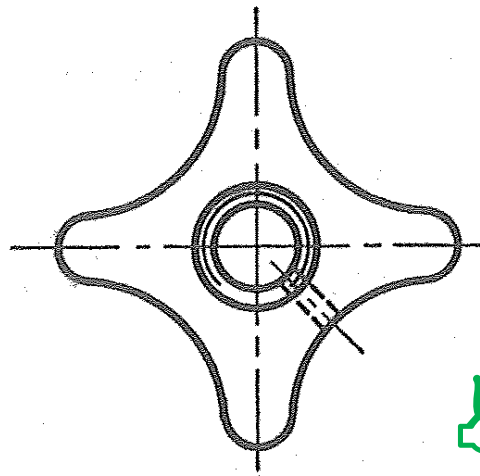
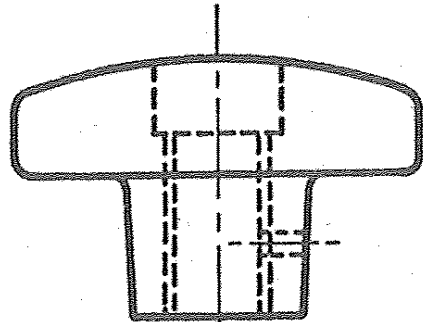
Écrou moleté



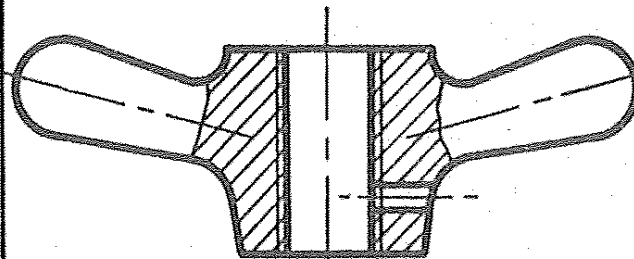
moleté



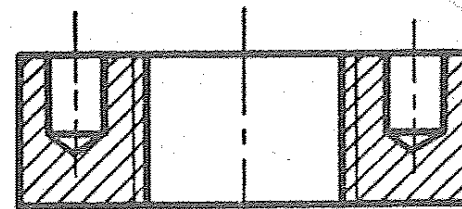
Écrou à croisillon



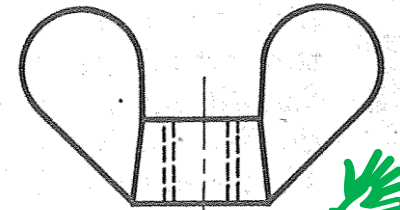
Écrou à 4 bras



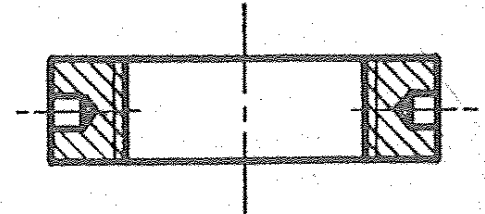
Écrou cylindrique



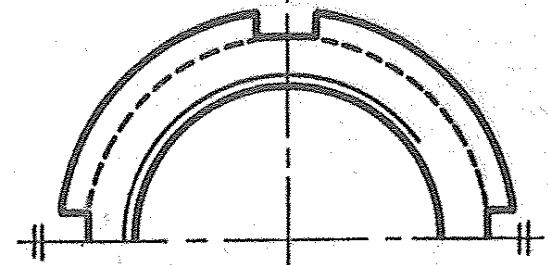
*Écrou O
Écrou « papillon »*



Écrou cylindrique



Écrou à encoches

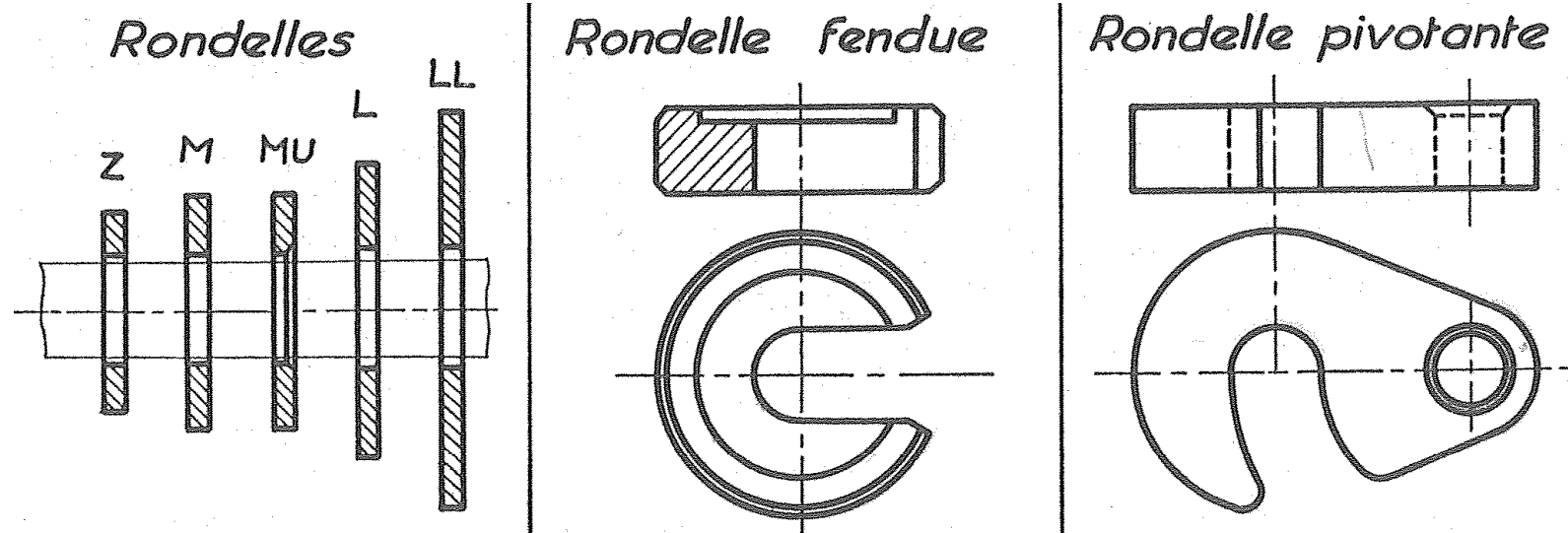


Rondelles

Une rondelle est un disque plat que l'on intercale entre l'écrou et la pièce à serrer.

1. Diminuer la pression de contact en augmentant la surface d'appui (cas d'un trou allongé, par exemple) ;
2. Éviter le frottement de l'écrou sur la pièce serrée, la rotation s'effectuant entre l'écrou et la rondelle ;
3. Autres fonctions :
 - arrêt en translation des axes d'articulation,
 - freinage des écrous (rondelles frein, grower)
 - Créer une liaison élastique (rondelles Belleville, etc.)

Rondelles fendues/pivotantes permettent un démontage latéral



Goupilles : liaison par obstacle

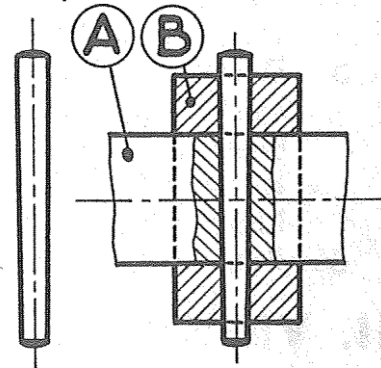
Une goupille est une cheville de métal destinée à rendre 2 pièces solidaires l'une de l'autre, en rotation ou en translation, en les traversant ;

En général, sa section étant faible, elle ne peut supporter qu'un effort modéré.

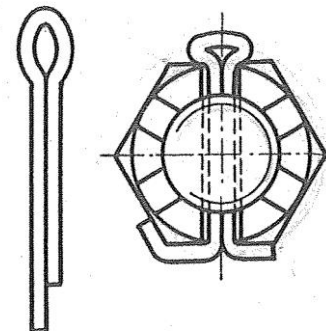
Goupilles normalisées.

1. **Goupille conique** (symbole I) ; enfoncée à force dans un trou de même forme (conicité 2 %), elle se maintient en place par coincement ; **emploi : liaison de 2 pièces**.
2. **Goupille fendue** (symbole V), formée d'un fil demi-rond replié sur lui-même pour constituer un oeil (fig. 40) ; après montage de la goupille dans un trou cylindrique, les branches sont écartées pour la maintenir en place ; **emploi : freinage des écrou**.

Goupille conique



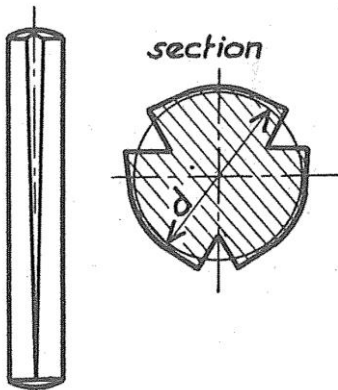
Goupille fendue



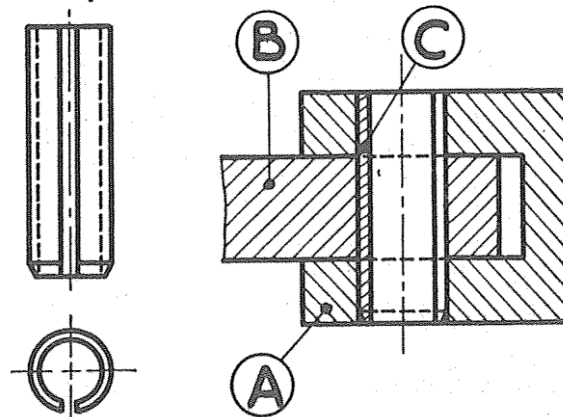
Goupilles spéciales :

1. **Goupilles cannelées** : ce sont des goupilles cylindriques comportant 3 cannelures longitudinales obtenues par refoulement du métal; enfoncées dans un trou cylindrique, elles se maintiennent en place par déformation élastique ; d'où possibilité de démontage et de remontage. **Nombreux emplois** : butées, ergots, pieds de centrage attaches de ressorts, axes d'articulation, etc.
2. **Goupilles fendues élastiques** : ce sont des goupilles obtenues par enroulement d'une tôle à grande résistance, avec chanfrein à l'une des extrémités pour faciliter montage; mises en place dans un trou cylindrique de diamètre légèrement inférieur, elles se maintiennent en place par déformation élastique, d'où possibilité de démontage et de remontage ; **elles sont légères et très résistantes au cisaillement**. **Nombreux emplois** : axes d'articulation, bagues de cisaillement, etc.

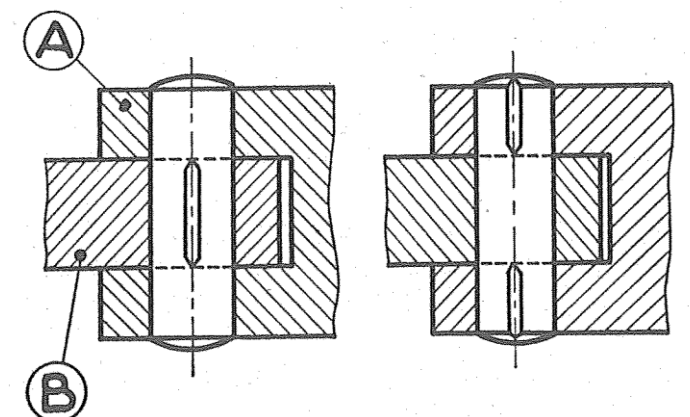
Goupille cannelée



Goupille élastique



Axes d'articulation



Vis

Une vis est une tige filetée présentant une tête dont la forme permet le serrage de la vis.

- Vis d'assemblage : assurent la liaison rigide de 2 pièces,
- Vis de pression : assurent le blocage d'une pièce mobile après réglage.

Vis d'assemblage

Mode d'action : les vis traversent librement la pièce A et se vissent dans la pièce B.

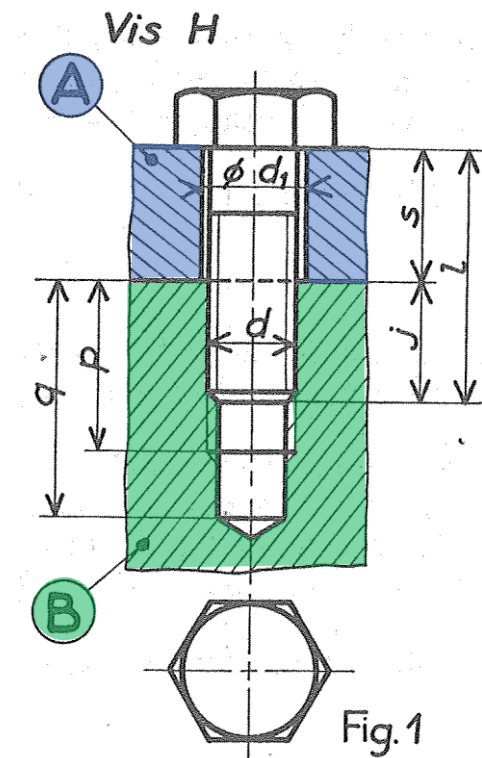
Pièce A : un trou lisse avec jeu, Pièce B un trou taraudé. Quand on serre la vis, la pièce A est serrée entre la tête de la vis et la pièce B ; d'où liaison par adhérence.

La vis n'est pas centrée par rapport à A. Elle est centrée, quoique imparfaitement, par vissage dans la pièce B.

Vis à tête fraisée : tête conique, ajustée dans son logement. Vis centrée par rapport aux deux pièces → Difficultés de montages à plusieurs vis à tête fraisées.

Serrage initial : il est obtenu par rotation de la vis ; la tête de celle-ci doit donc présenter une forme permettant sa manoeuvre soit avec une clé (forme prismatique, pleine ou creuse), soit avec un tournevis (tête fendue), soit à la main (forme appropriée).

De plus, la tête doit être assez large pour que la surface d'appui soit suffisante ; celle-ci est plane et perpendiculaire à l'axe.



Vis d'assemblage

Mode d'action : les vis traversent librement la pièce A et se vissent dans la pièce B.

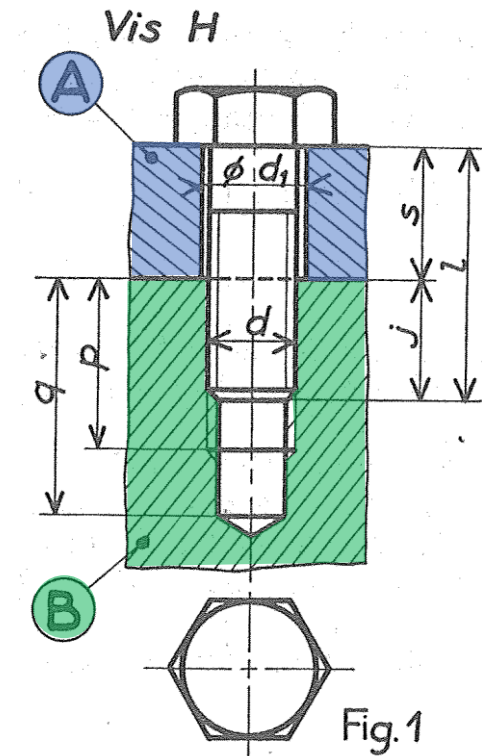
Pièce A : un trou lisse avec jeu, Pièce B un trou taraudé. Quand on serre la vis, la pièce A est serrée entre la tête de la vis et la pièce B ; d'où liaison par adhérence.

La vis n'est pas centrée par rapport à A. Elle est centrée, quoique imparfaitement, par vissage dans la pièce B.

Vis à tête fraisée : tête conique, ajustée dans son logement. Vis centrée par rapport aux deux pièces → Difficultés de montages à plusieurs vis à tête fraisées.

Maintien du serrage : comme pour les boulons, le maintien du serrage nécessite une déformation élastique des vis, donc un serrage énergique. D'autre part, en cas de chocs ou de vibrations, il faudra s'opposer au desserrage des vis par un dispositif approprié.

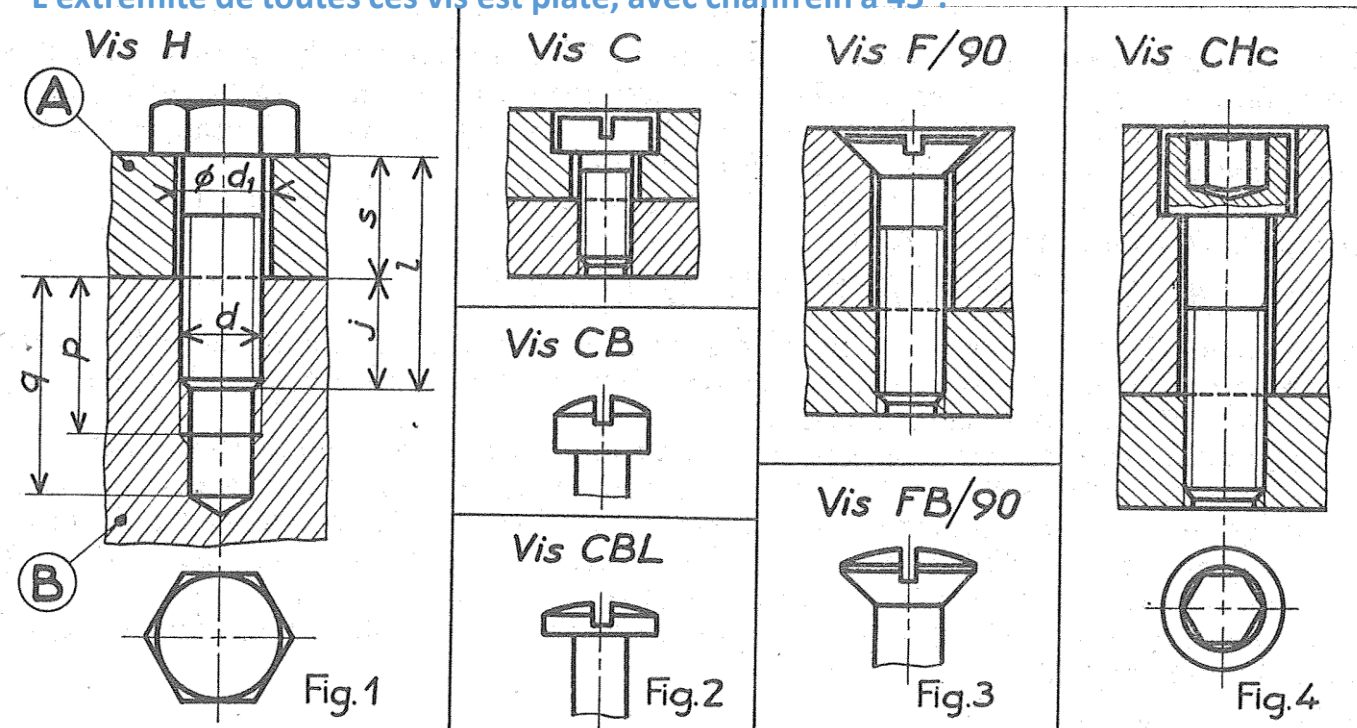
Résistance du filet. En cas de vissage dans une matière tendre (alliages légers, matières plastiques), il est préférable de prévoir le trou taraudé dans une pièce rapportée ou noyée dans la pièce moulée, ou d'utiliser un filet rapporté (insert).



Têtes de vis normalisées

- Vis à tête hexagonale (H)** ; emploi en cas de serrage énergétique
- Vis à tête cylindrique (C)**, plate ou bombée, fendue pour serrage par tournevis ; la tête est souvent noyée dans un lamage, d'où réduction de l'encombrement
- Vis à tête tronconique, dites « à tête fraisée » (F/90)**, plate ou bombée, fendue pour serrage par tournevis ; tête noyée dans un trou fraisé, d'où encombrement réduit
- Vis à 6 pans creux** : tête cylindrique (C Hc) ou tête conique (F Hc/90) ; tête noyée dans un lamage ou dans un trou fraisé, d'où encombrement réduit ; serrage énergétique par clé pénétrant dans la tête

L'extrémité de toutes ces vis est plate, avec chanfrein à 45°.



Fonctions		Symboles										Normes de référence Observations
Type d'entraînements		Dégagement inutile autour de la tête de l'outil	Capacité de transmission du coup	Classe de qualité maximale théorique	Aptitude au montage automatisé	Longévité de l'outil de serrage	Aptitude au dévissage	Aptitude à recevoir un revêtement	Facilité de nettoyage (hygiène alimentaire)	Absence de risque de blessure		
Entraînements externes	Hexagonal	H	0	++	12.9	+	+	++	++	+	+	Vis à métaux E 25.112 & 115 Vis à bois E 25.607 Vis à tête E 25.662 Ecrus E 25.401 & 402 E 25.405 & 407 E 25.409 & 412 toute utilisation mécanique
	Carré	Q	0	-	10.9	=	=	=	++	+	=	Vis à métaux E 25.116 & 118 Vis à bois E 25.608 Ecrus E 25.403 & 404 Utilisation fréquente pour le matériel agricole, charpentes en bois...
	Six lobes externes		+	++	12.9	+	++	++	+	=	-	Intéressant par son faible encombrement et sa capacité de transmission du couple. (vis de bardage).
	Six pans creux	HC	++	+	10.9	=	=	=	=	0	+	Vis à métaux E 25.125 E 27.160, 163, E 27.180 & 183 Utilisation en construction mécanique (permet de noyer la tête de vis)
Empreintes	Six lobes internes	X	++	++	12.9	+	++	++	+	0	++	Vis à métaux E 25.107 & 111 Vis à tête E 25.652 à 655 Remplace avantageusement la vis 6 pans creux. Transmet le couple important, engrènement aisé des outils de vissage automatique.
	Cruciforme (dite "Pozdriv")	Z	++	=	6.8	++	=	=	+	0	+	Vis à métaux E 25.119 & 122 Vis à bois E 25.601 à 603 Ecrus E 25.656 & 659 utilisés pour les vissages mécanisés (difficultés de dévissage (appareils ménagers, garnitures automobiles...))
	Cruciforme (dite "Phillips")	H	++	-	5.8	++	=	=	=	0	+	Utilisation identique à l'empreinte Z Echappement de l'outil plus important que l'empreinte Z en montage mécanique ainsi que lors du dévissage
	Fente (tournevis)	S	++	-	4.8	=	-	-	++	=	=	Vis à métaux E 25.123 & 124 E 25.127 & 129 E 27.110 & 164 Vis à bois E 25.604 & 606 Vis à tête E 25.660, 661, 663 Utilisation très répandue, en prévision d'un masquage ou une peinture.
	Fente (pièce de monnaie)		=	-	4.8	=	=	++	++	+	++	Utilisation pour les produits grand public (carters de cyclomoteur, briquets...)
	Encoches		++	-	5.8	-	-	++	++	0	+	Vis à métaux F 03.004 à 007 Vis à bois F 03.003 Vis à tête E 25.660, 661, 663 Dévissage difficile (garnitures et accessoires de voitures SNCF...)
	Encoches		-	=	8.8	-	-	++	++	0	-	Ecrus E 22.111 Ecrus E 22.306 Utilisé pour le montage des roulements avec rondelle frein.
	Multi entraînements	Hexagonal fendu	HS	-	=	8.8	+	=	-	++	-	-
	Six pans creux fendu	HCS	++	-	8.8	=	+	-	=	0	-	Permet le montage automatique par l'empreinte et le dévissage par la fente
	Cruciforme fendu ou six lobes fendu	ZS XS	++	-	8.8	+	+	-	+	0	-	

++ très bonne, + bonne, = moyenne, - passable, 0 nulle.

Vis de pression

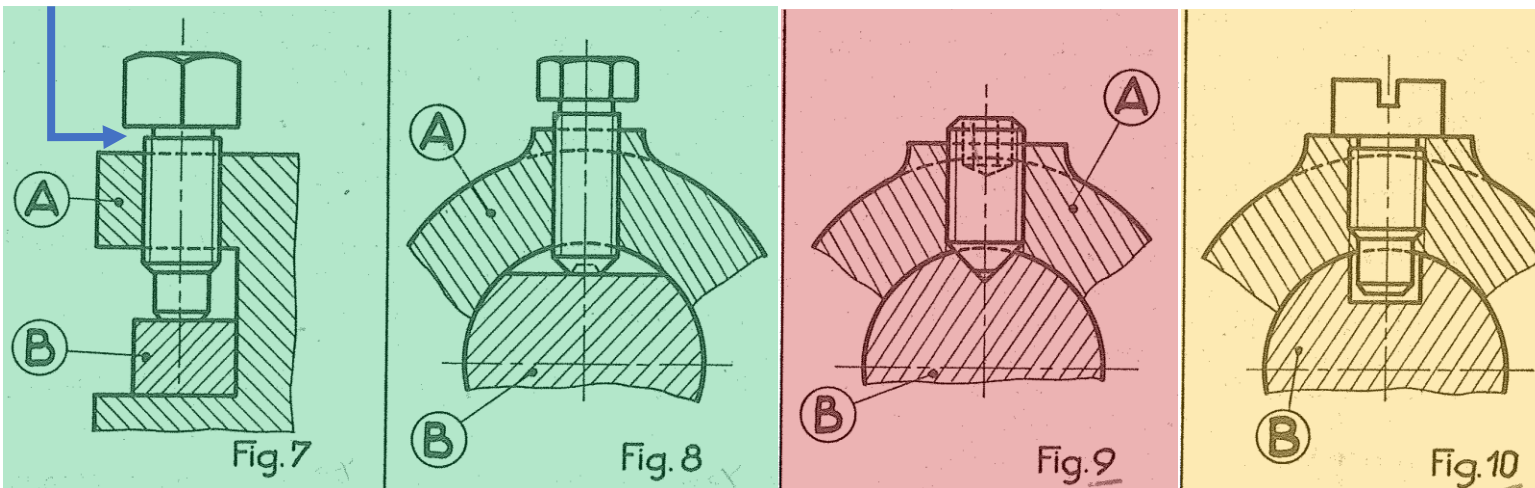
Mode d'action : liaison par adhérence

Cas le plus fréquent : la vis se visse dans le support et son extrémité appuie sur la pièce à maintenir en position; Contrairement aux vis d'assemblage et aux boulons, la vis est sollicitée en compression et non en extension.

Cas moins fréquent : l'extrémité de la vis pénètre dans la pièce à serrer; il y a alors adhérence et verrouillage ;

Cas moins fréquent : immobilisation d'un degré de liberté. il y a pénétration sans serrage (exemple : immobilisation en rotation seulement)

Jeu



Conditions d'emploi :

Tête : ne sert qu'au vissage de la vis; ses dimensions réduites ou même supprimée.

Extrémité : souvent trempée, présente une forme permettant un serrage énergique : tétou, bout pointu, cuvette, etc.

Jeu : Le serrage s'effectuant en bout, il faut prévoir du jeu sous la tête.

Vis de pression

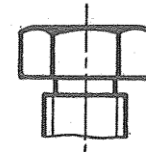
Têtes :

1. Tête hexagonale réduite (Hm).
2. Tête carrée, ordinaire (Q P) ou réduite (Qm).
3. Tête cylindrique étroite (Cm).
4. Vis sans tête, fendue ou à 6 pans creux.

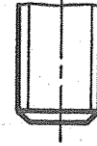
Extrémités :

1. Bout plat, avec chanfrein, comme les vis d'assemblage, mais il y a risque d'écrasement des filets d'extrémité.
2. Bout pointu, pénétrant dans un trou de même forme, d'où verrouillage et pression.
3. Cuvette : appui sur une circonférence, donc forte pression, mais risque de détérioration de la pièce serrée ; extrémité le plus souvent trempée.
4. Téton : partie non filetée de diamètre inférieur à celui du noyau de la vis ; agit par appui ou par pénétration ; se fait court ou long.
5. Patin rapporté : assemblé par goupille tangente, le patin tourne librement sur la vis, donc pas de frottement sur la pièce pendant le serrage ; large surface d'appui, d'où pression modérée.

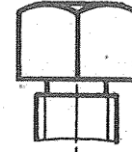
Vis Hm



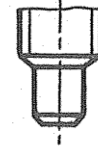
bout plat



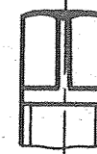
Vis QP



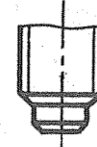
téton



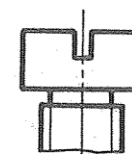
Vis Qm



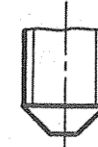
téton court



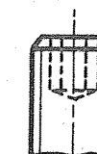
Vis CM



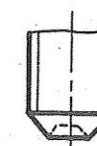
bout pointu



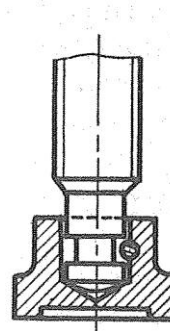
Vis sans tête Hc



cuvette



Vis à patin



Pourquoi freiner un écrou ou une vis ?

Fonction :

Le desserrage des écrous ou des vis d'une machine peut avoir des conséquences graves, en automobile et en aviation par exemple ; les freins d'écrous sont des dispositifs de sécurité qui s'opposent au desserrage des organes vissés, écrous et vis.

Raisons du desserrage des écrous :

Un écrou reste serré par adhérence si les frottements sont importants, si l'inclinaison du filet est faible et si les déformations des pièces en contact sont élastiques.

Mais si un manque de contact vient à se produire entre les 3 pièces, lors de **chocs ou de vibrations**, les forces d'adhérence disparaissent et rien ne s'oppose au desserrage de l'écrou.

Solutions possible :

1. Dispositifs ayant pour but de maintenir les filets de l'écrou en contact avec ceux du boulon, par augmentation du frottement entre les filets ;
2. Dispositifs ayant pour but de verrouiller l'écrou sur le boulon ;

Qualités d'un frein d'écrou :

la plus importante est l'efficacité ; on recherche également la simplicité, l'économie, le faible encombrement, etc.

Comment freiner un écrou ou une vis ?

Frein par maintien du contact :

Contre-écrou. On serre l'écrou, d'où traction sur le boulon et premier serrage ; On maintient l'écrou avec une clé, puis on bloque un deuxième écrou contre le premier; il se produit alors une nouvelle traction du boulon par le contre-écrou, dont les filets viennent se coincer entre ceux du boulon et ceux de l'écrou (région R) ; il est alors pratiquement impossible de visser ou de dévisser ensemble les 2 écrous, d'où emploi de ce montage comme frein d'écrou. **Ce dispositif est simple et efficace, mais encombrant ;**

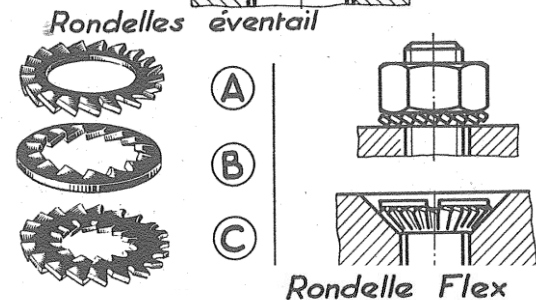
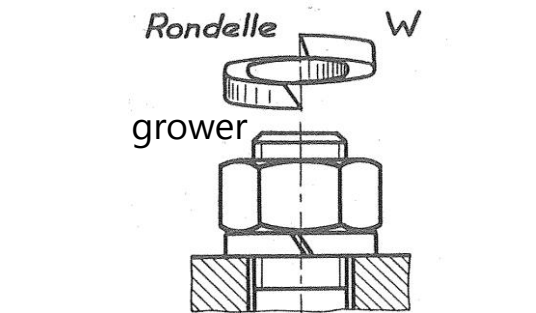
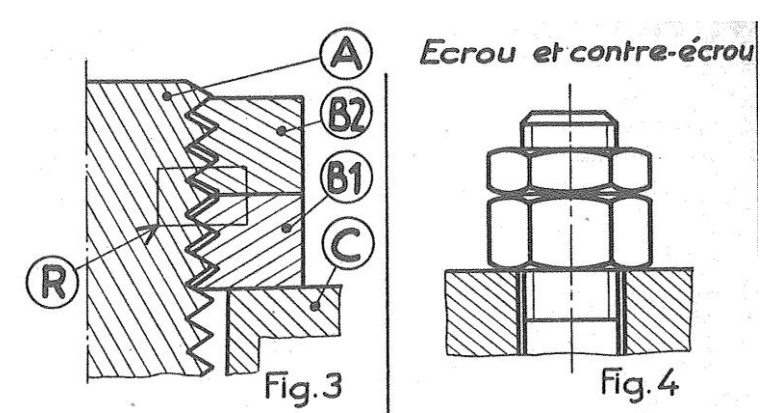
Rondelles élastiques. Leur but est d'empêcher le décollement des filets du boulon par rapport à ceux de l'écrou sous l'effet des chocs et des vibrations ; les plus utilisées sont :

1. **Rondelle Grower** : c'est un ressort à une seule spire, à section carrée, enroulé à gauche, coupé en oblique avec arêtes tranchantes s'opposant au desserrage ; dispositif simple et efficace, très utilisé.

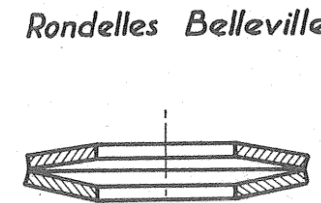
2. **Rondelles à dents** (ou rondelles « éventail ») : ce sont des rondelles munies de languettes qui s'aplatissent élastiquement lors du serrage de l'écrou ; la denture peut être extérieure, intérieure, ou double; la rondelle est plate ou conique. Dispositif simple et efficace.

3. **Rondelles Belleville** : rondelles élastiques de forme conique s'utilisant par paires.

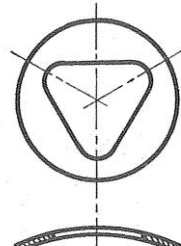
4. **Rondelles Flex** : rondelles incurvées s'écrasant sous la pression de l'écrou.



Rondelles Belleville



Rondelle Flex



Comment freiner un écrou ou une vis ?

Frein par maintien du contact :

Écrous élastiques

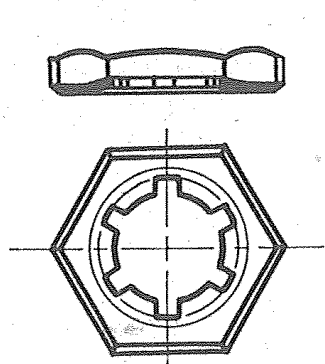
Écrou Pal : découpé dans une tôle d'acier à ressort, avec bords relevés pour constituer les 6 pans, et languettes intérieures jouant le rôle d'une rondelle élastique ; s'utilise comme écrou ou comme contre-écrou.

Écrou à fente longitudinale : une vis ou un boulon termine le pinçage du boulon. ;

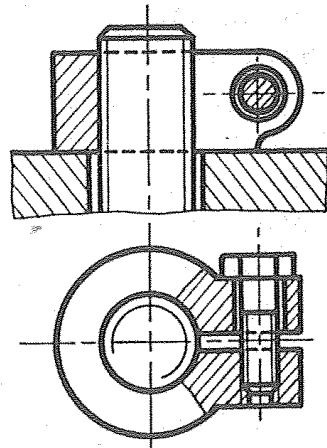
Écrou à fente transversale : avec vis destinée à écarter ou à rapprocher les bords de la fente d'où frottement local supplémentaire ; emploi sur écrous cylindriques à encoches. -

Écrou Nylstop : utilisant comme frein une bague de nylon ;

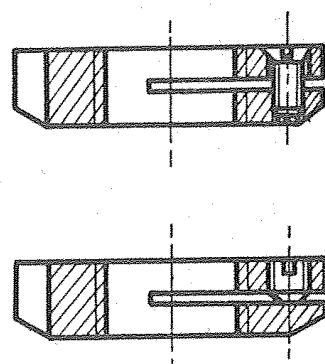
Écrou PAL



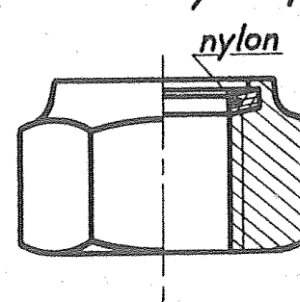
Écrou fendu



Écrous fendus



Écrou Nylstop



Comment freiner un écrou ou une vis ?

Frein par verrouillage écrou-boulon :

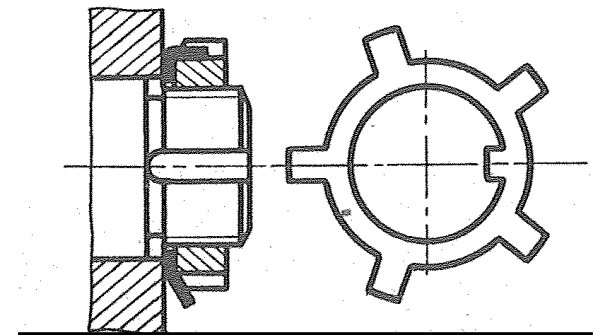
Goupille : celle-ci peut être placée **contre l'écrou**, ou au **travers de l'écrou** ou sur un **écrou à créneaux**.

Par rondelle à dents et ergot : utilisée sur écrous à encoches ; l'ergot rend la rondelle solidaire du boulon ; une dent de la rondelle est rabattue dans une encoche de l'écrou après serrage.

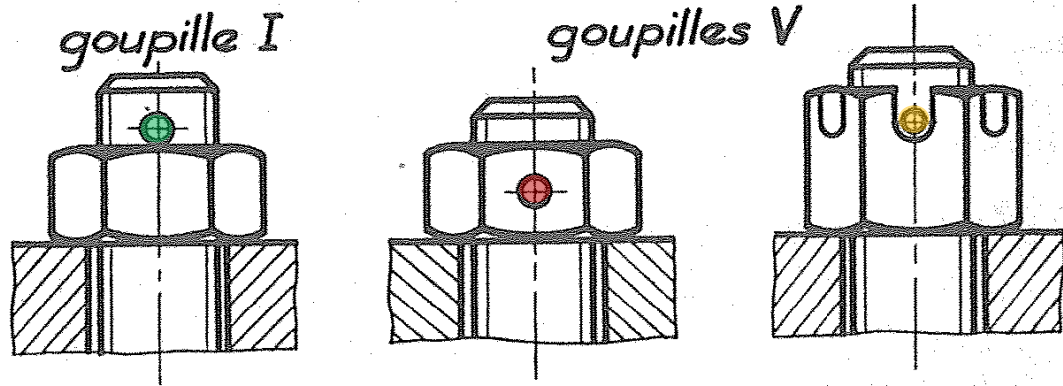
Par plaquette-arrêteoir : rabattue contre l'écrou et contre la pièce à serrer.

Par plaques de formes diverses, adaptées à la forme des pièces à serrer.

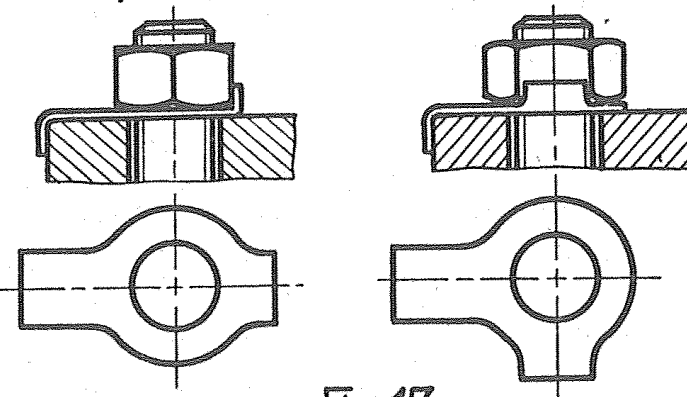
Rondelle à dents



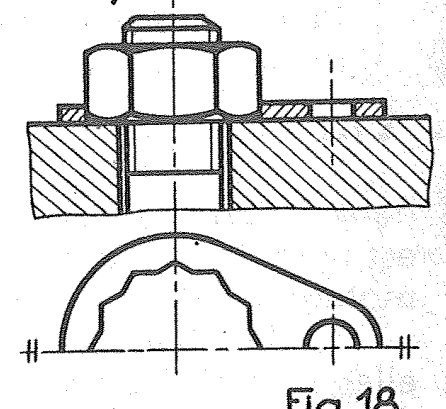
Ecrous goupillés



Plaquettes arrêteoirs



Plaque frein



Comment freiner un écrou ou une vis ?

Frein de vis :

1. **Vis d'assemblage** : la tête de ces vis appuyant sur la pièce à serrer, on peut interposer une rondelle élastique, une plaquette-arrêt sur vis H, etc. ; on peut freiner plusieurs vis simultanément par un fil de fer passé dans les têtes.
2. **Vis de pression** : le problème est différent, car la tête n'appuie pas sur la pièce ; emploi d'un contre-écrou, d'un ressort entre la tête et la pièce ; blocage par pinçage, etc.

Rondelle W

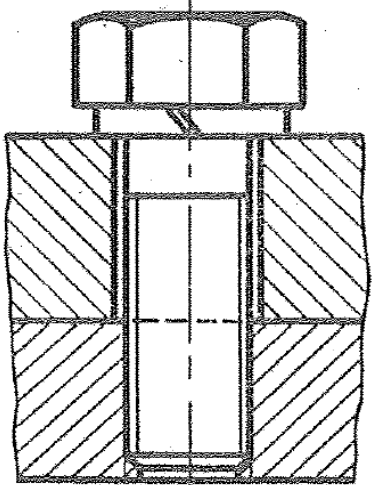


Fig.19

Bouclage

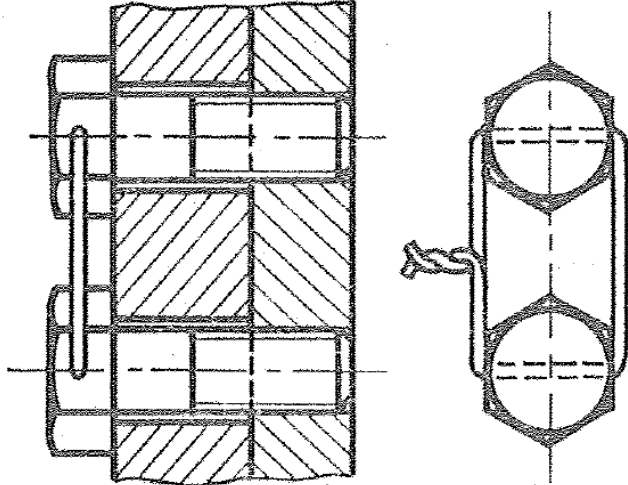


Fig.20

Contre-écrou

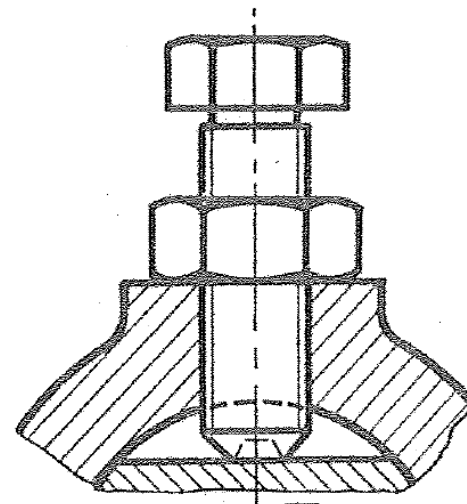


Fig.21

Flexion du support

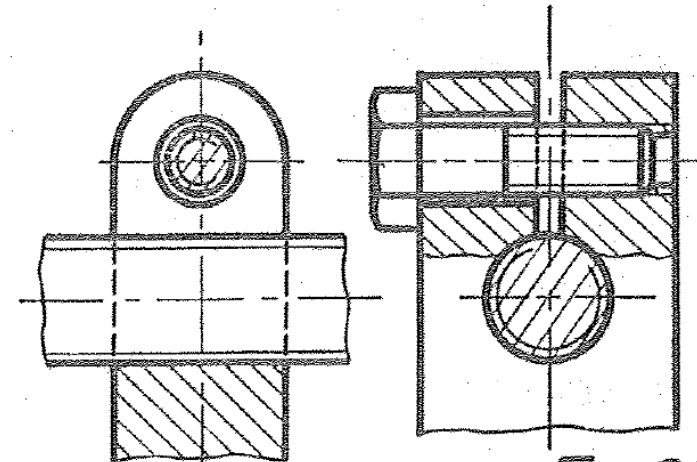


Fig.22

Rivet

Constitution.

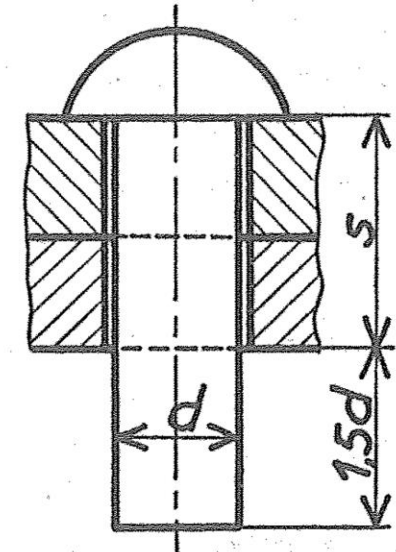
Un rivet est une tige cylindrique présentant une tête, et dont l'extrémité est refoulée après mise en place du rivet, pour constituer une deuxième tête appelée rivure. Les 2 pièces à assembler sont serrées entre la tête et la rivure ; l'assemblage n'est pas démontable.

Pour faciliter la rivure, le métal constitutif doit être très malléable : on emploie surtout l'acier doux ; et l'acier extra-doux, le cuivre, le laiton, l'aluminium et le duralumin, l'acier à 2 % de Ni.

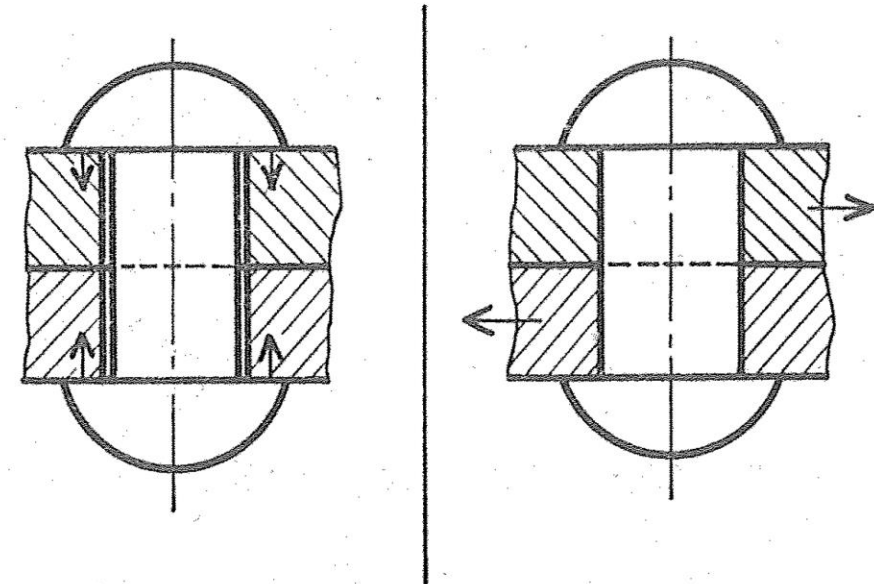
Mode d'action :

1. **Rivet posé à chaud** : la contraction du rivet pendant le refroidissement produit un serrage énergique des pièces assemblées ; d'où **assemblage par adhérence** ; le rivet ne remplit pas complètement son trou et il subit un effort d'extension.
2. **Rivet posé à froid** : il ne se produit qu'un faible serrage des pièces assemblées, qui peuvent glisser sous l'effet d'un effort latéral ; c'est un **assemblage par obstacle** ; le rivet remplit à peu près complètement son trou, et il subit un effort de cisaillement transversal dans le plan de joint des 2 pièces

Avant rivure



Rivet posé à chaud ; posé à froid.



Types de rivets.

Rivets à tête ronde (R), les plus employés ; il existe également des rivets à tête ronde avec arrondi sous la tête (Ra), avec bavure sous la tête (Rb), et des rivets à tête ronde étroite (Rm).

Rivets à tête « en goutte de suif » (G), peu utilisés.

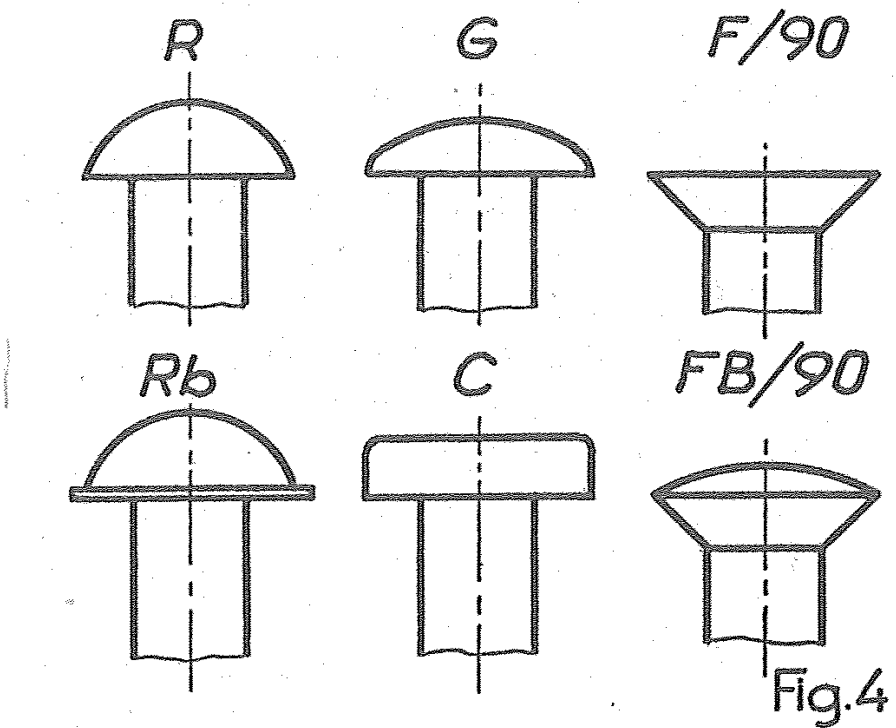
Rivets à tête fraisée, plate ou bombée ; l'angle au sommet peut être 60°, 90°, 120°. Symbole : F/60, F/90, etc. Emploi dans le cas où la tête doit être noyée dans la pièce à serrer.

Rivets à tête cylindrique plate (C) ; emploi pour petits diamètres.

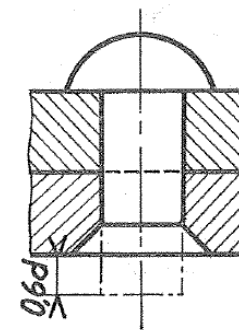
Choisir un rivet :

Le diamètre est choisi dans la même série que les filetages métriques, en fonction de l'effort de serrage ; il faut également tenir compte de la possibilité de poinçonnage de la tôle.

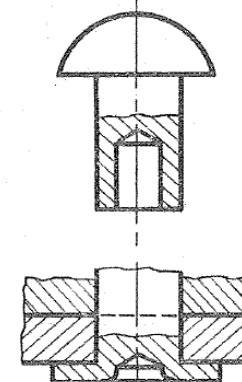
La longueur de la tige, mesurée avant formation de la rivure, est égale à l'épaisseur des pièces à serrer augmentée de la longueur nécessaire à la formation de la rivure : 1,5 d pour une rivure ronde 0,6 d pour une rivure fraisée.



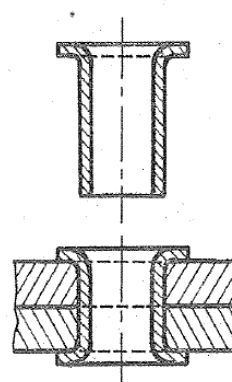
Rivure fraisée



Rivet foré



Rivet creux



Pose des rivets :

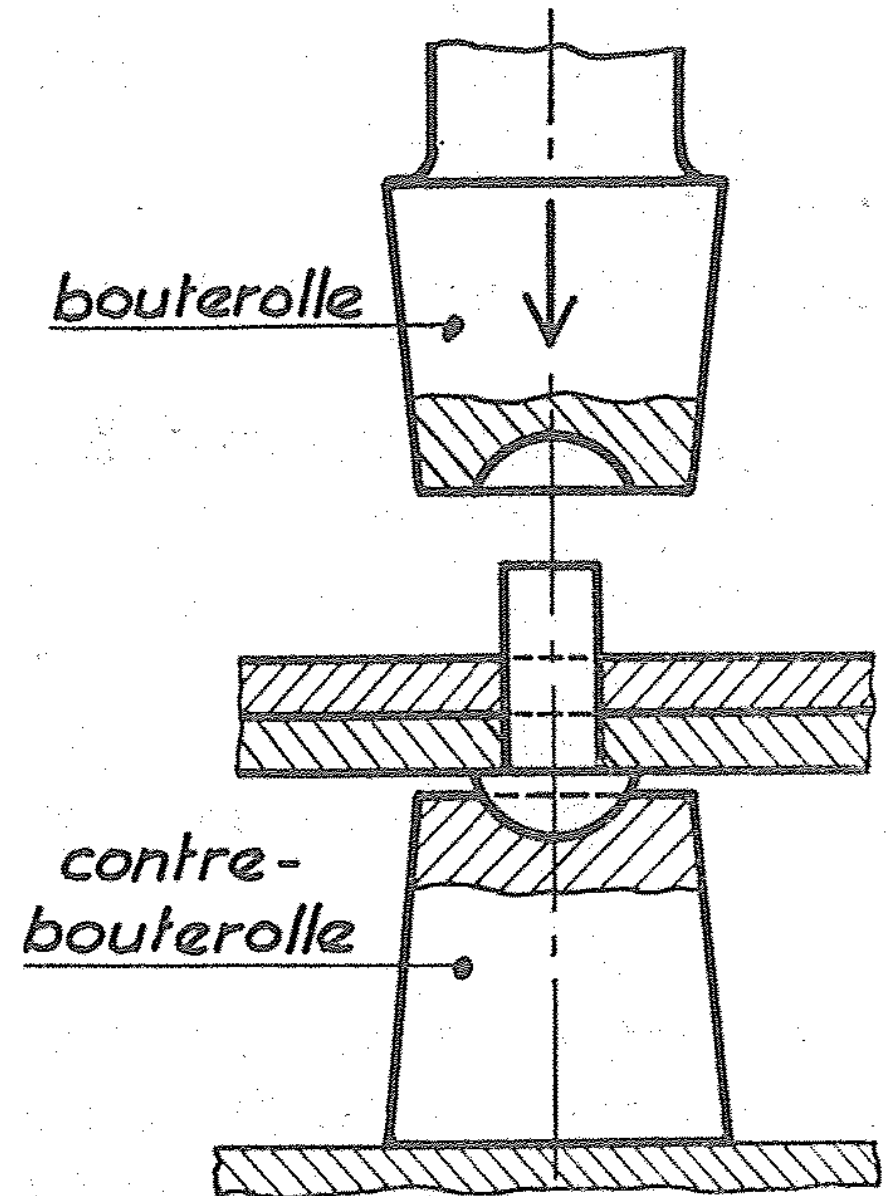
Préparation du travail. Les trous sont généralement poinçonnés ; on procède donc d'abord au traçage des lignes de rivets, puis au pointage des trous, enfin au poinçonnage (voir déformation des métaux à froid), quelquefois au perçage, mais ce procédé est plus long et plus coûteux.

Rivetage : il peut s'effectuer à froid pour les petits diamètres (<10 mm), mais il se fait à chaud afin de faciliter la formation de la rivure et d'augmenter le serrage ; les rivets sont chauffés au rouge cerise (900° C environ) ; ils sont ensuite mis en place et maintenus par une contre-bouterolle ; la rivure est obtenue par action sur la bouterolle, soit par choc, soit par pression continue.

Emploi :

Les rivets sont surtout utilisés pour assembler les barres en charpente métallique et les tôles en chaudronnerie.

Rivetage



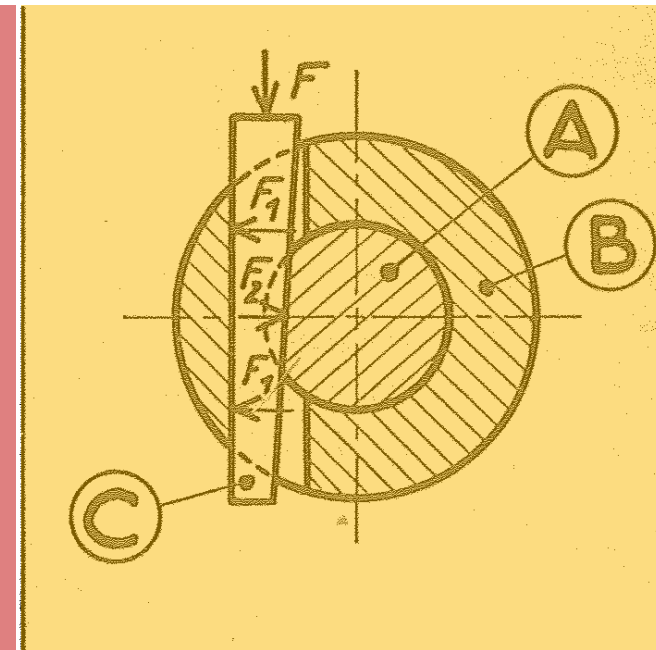
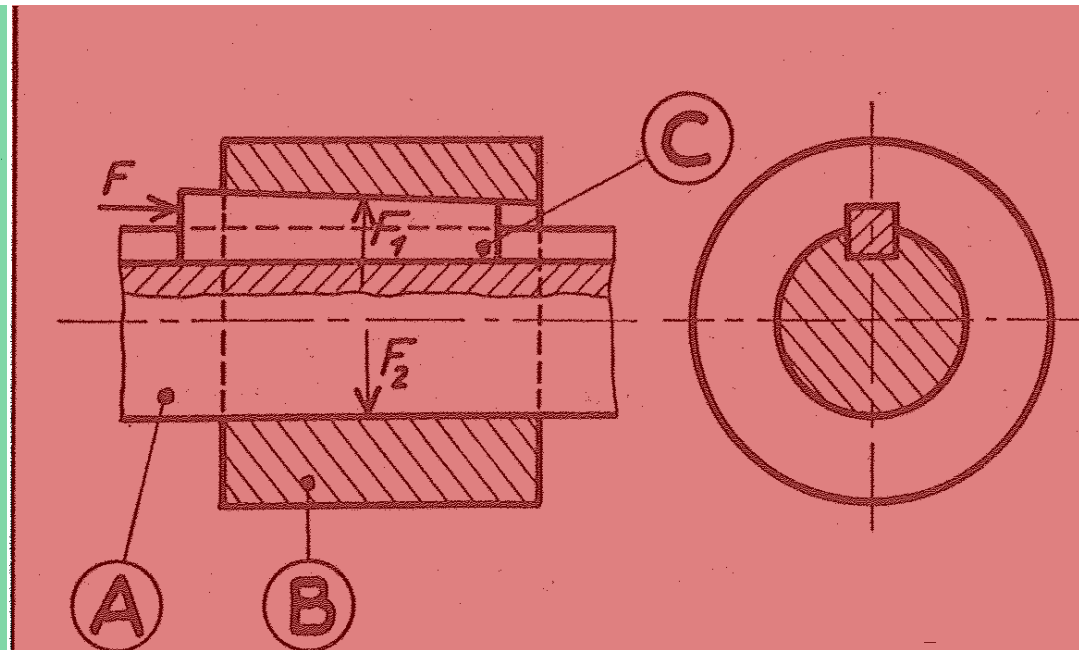
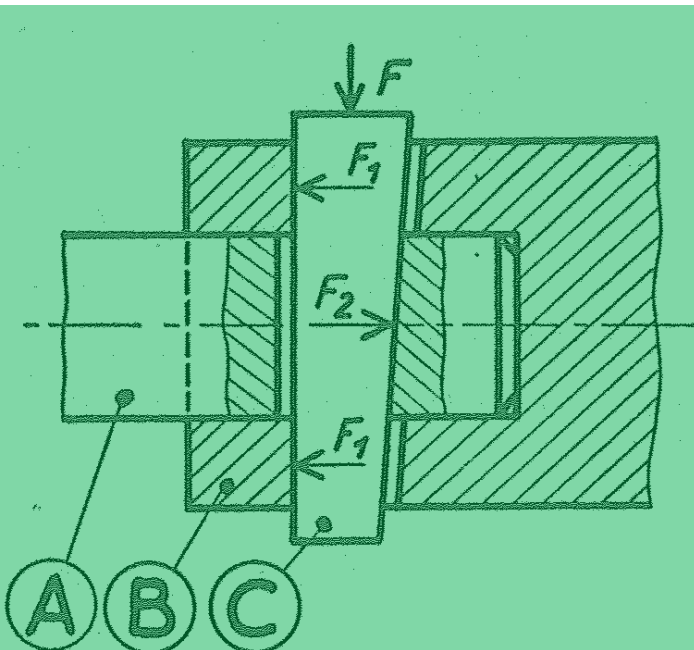
Clavettes

Une clavette est une petite pièce en forme de coin, enfoncée entre 2 organes en vue de les rendre solidaires l'un de l'autre ; exemple : fixation d'une tige sur un moyeu.

Clavettes transversales : placées perpendiculairement à l'axe des pièces assemblées et les traversant,

Clavettes longitudinales : placées parallèlement à l'axe des pièces et enfoncées entre elles,

Clavettes tangentés : placées perpendiculairement à l'axe des pièces et enfoncées entre elles.



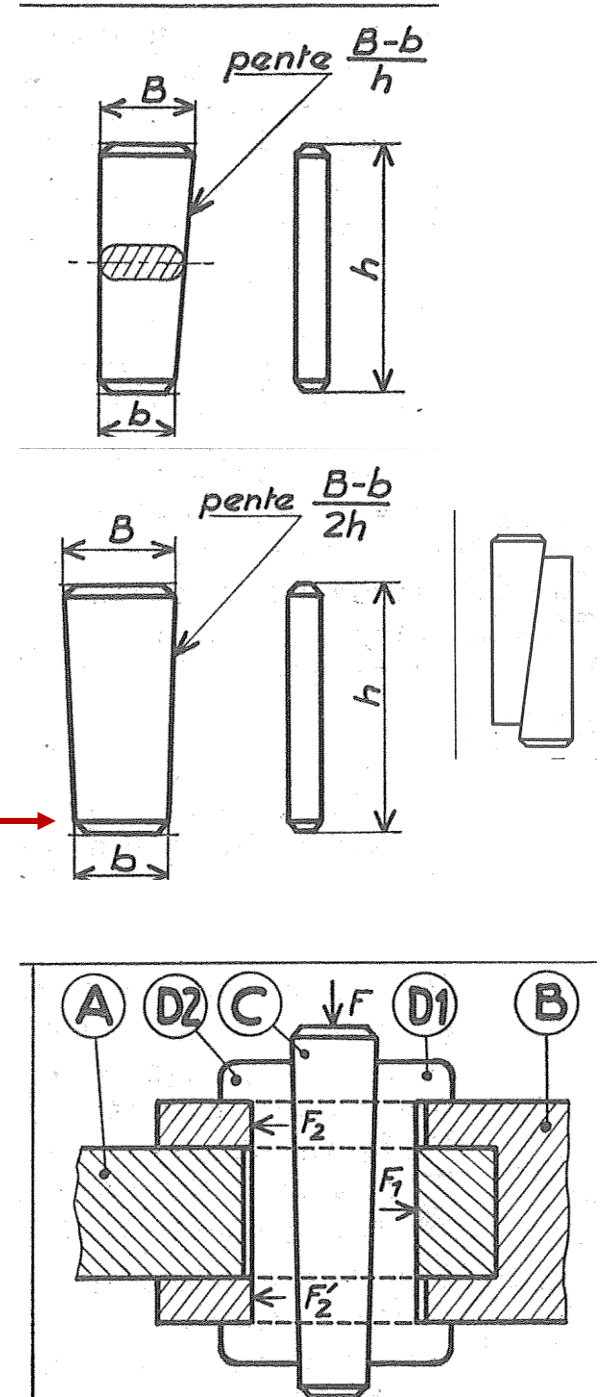
Clavettes transversales

Mode d'action

Les 2 pièces à assembler sont engagées l'une dans l'autre (assemblage cylindrique ou conique) ; la clavette, traversant les 2 pièces, prend appui sur l'une et pousse sur l'autre dans un sens opposé au démontage ; c'est **une liaison par obstacle**, et la clavette supporte une contrainte de cisaillement si l'assemblage transmet un effort.

Conditions d'emploi.

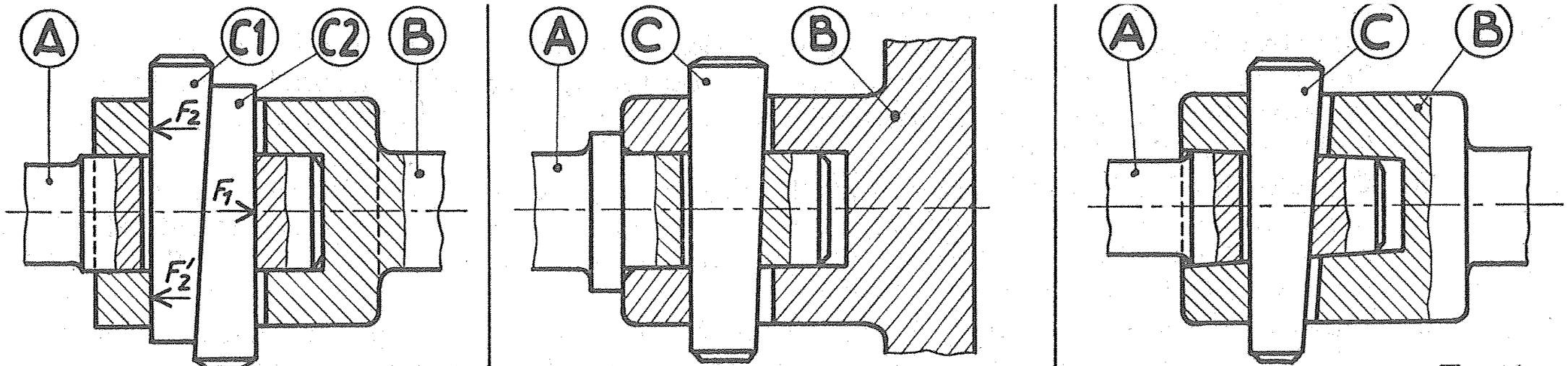
1. La clavette tient en place par adhérence à condition que sa pente soit faible ; par ailleurs, l'effort de serrage latéral des 2 pièces l'une contre l'autre est d'autant plus grand que la pente est plus faible mais attention forte adhésion implique démontage difficile ; (pente typique : 5 %).
2. Les pièces assemblées s'appuient l'une sur l'autre, pour limiter l'enfoncement de la clavette.
3. Pour faciliter l'usinage des mortaises, il y a intérêt à adopter des clavettes à champs arrondis.
4. Bases chanfreinées les bases pour éviter leur écrasement.
5. Pour éviter les mortaises inclinées, on emploie souvent deux clavettes conjuguées à une seule pente ; on adopte quelquefois une clavette à 2 pentes et deux contre-clavettes dont les talons assurent la liaison avec les pièces et s'opposent à leur écartement.
6. Lorsque la pente est assez importante, ou présence de chocs vibrations, il faut s'opposer au desserrage de la clavette.



Emploi des clavettes traversantes :

Cet assemblage est surtout utilisé lorsque l'effort axial qui tend à séparer les pièces est important ; mais l'usinage et l'ajustage sont difficiles ; l'assemblage est donc coûteux et son emploi de plus en plus réduit. Exemple : assemblage de 2 tiges bout à bout ; l'emmanchement peut être cylindrique (fig. 8 et 9) ou conique (fig. 10) ; dans le premier cas, les 2 pièces A et B s'appuient l'une sur l'autre, soit par l'extrémité de A (fig. 8), soit par une embase (fig. 9) ; dans le deuxième cas, ce sont les surfaces latérales des 2 cônes qui s'appuient l'une sur l'autre, et il ne doit pas y avoir d'appui en bout, ni sur embase (fig. 10) ; le coincement des 2 cônes renforce d'ailleurs l'assemblage.

La clavette peut être simple (fig. 9 et 10) ou double (fig. 8) ; remarquer les surfaces d'appui entre la clavette et les pièces A et B, et les jeux permettant le resserrage.



Clavettes longitudinales

But : assurer la liaison en rotation des roues, poulies, volants, etc., avec les arbres sur lesquels ils se montent.

le clavetage forcé : les pièces assemblées sont solidaires à la fois en rotation et translation.

le clavetage libre : les pièces assemblées sont solidaires en rotation seulement ; elles peuvent coulisser l'une sur l'autre.

Clavetage forcé. Clavettes inclinées: la face supérieure présentant une pente de 1 % par rapport à la face inférieure.

Mode d'action. L'arbre et le moyeu sont munis d'une rainure dans laquelle s'enfonce la clavette ; le fond de la rainure de l'arbre est parallèle à l'axe ; celui de la rainure du moyeu présente une pente de 1 % par rapport à l'axe ; la clavette est forcée entre l'arbre et le moyeu à la façon d'un coin, d'où liaison complète des 2 pièces ; c'est **une liaison par obstacle et adhérence**;

Contrainte de cisaillement: la section cisailée importante, d'où possibilité de transmettre un couple de grande intensité.

Clavetage libre. Clavettes parallèles : leur face supérieure ne présente pas de pente.

Mode d'action. Le fond de la rainure de l'arbre est parallèle à l'axe, ainsi que celui de la rainure du moyeu ; la clavette étant elle-même d'épaisseur constante, il n'y a pas de coincement de celle-ci ; il y aura donc uniquement **liaison en rotation, par obstacle**.

Contrainte de cisaillement: la section cisailée importante, d'où possibilité de transmettre un couple de grande intensité. Faces latérales ajustées dans les 2 rainures. Léger jeu radial entre la clavette et la rainure du moyeu est sans inconvénient et facilite le montage.

Types de clavettes pour clavetage forcé

Clavette à talon

Rôle du talon : faciliter le montage et démontage. (1) permet d'avoir un **appui large** pour le montage; (2) l'**intervalle final** talon/moyeu permet le démontage au moyen d'un coin.

Cette clavette permet la fixation du moyeu en un point précis de l'arbre. Rainure arbre + moyeu.

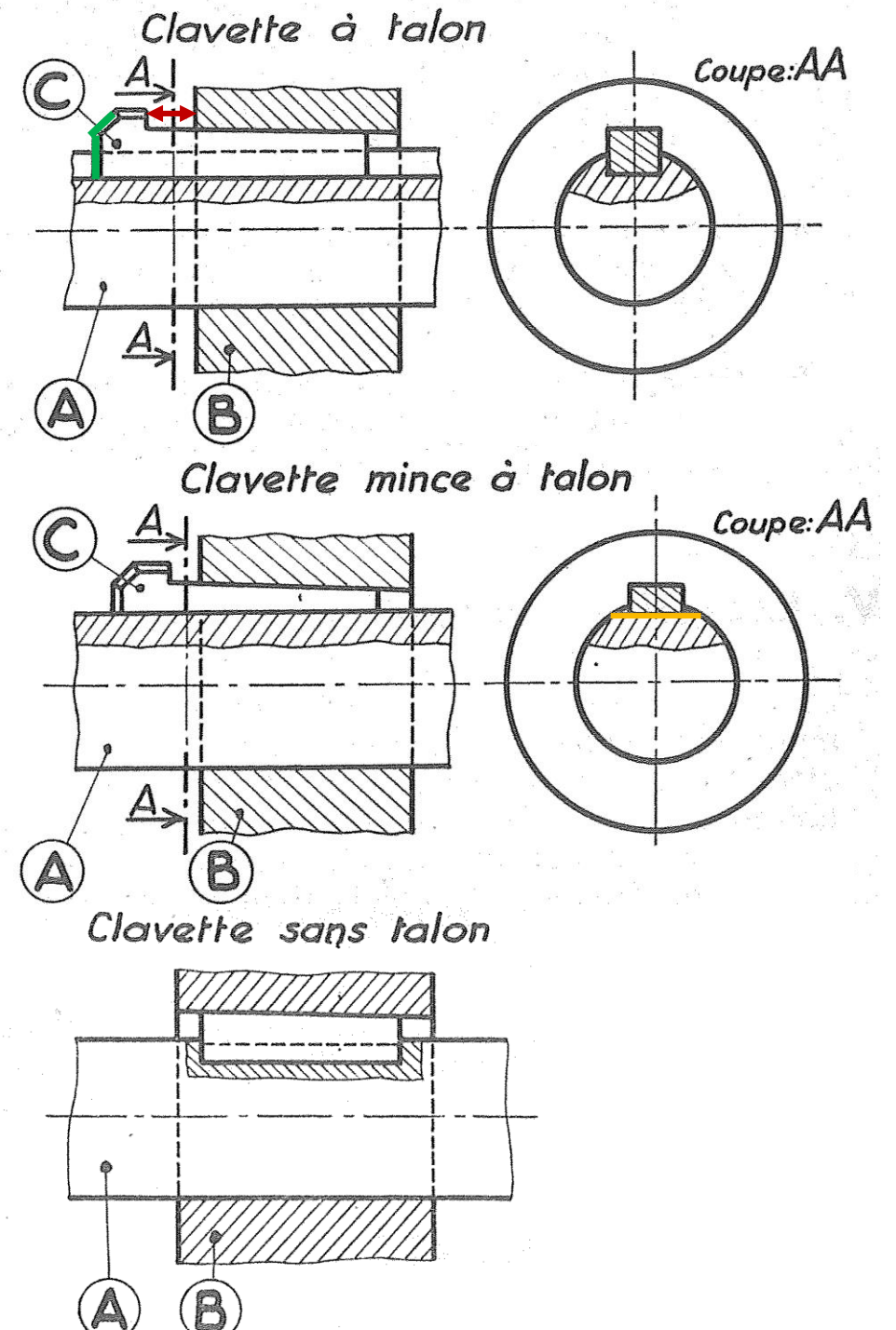
Pour la transmission de **faibles couples**, on peut utiliser une clavette mince, s'appuyant sur un **méplat de l'arbre**.

Clavette sans talon (extrémités arrondies)

Montage ajusté dans la rainure de l'arbre, puis la roue est glissée sur l'arbre, et le moyeu est forcé sur la clavette.

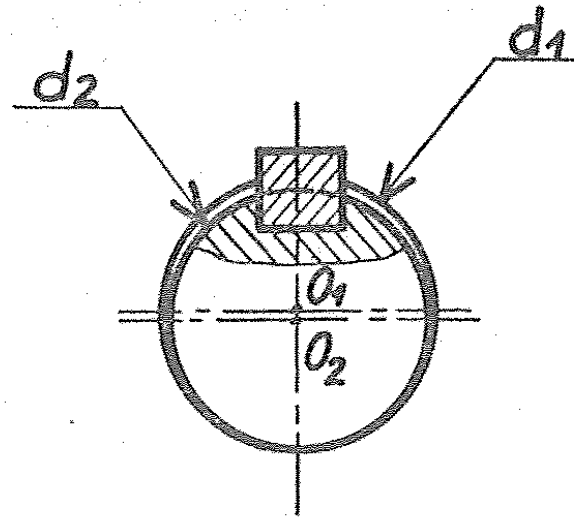
Gain : encombrement.

Perte : Ne permet pas la fixation de la roue en un point précis de l'arbre.



Inconvénient du clavetage forcé

Excentrer légèrement le moyeu par rapport à l'arbre. Mauvais centrage et mauvais équilibrage ;

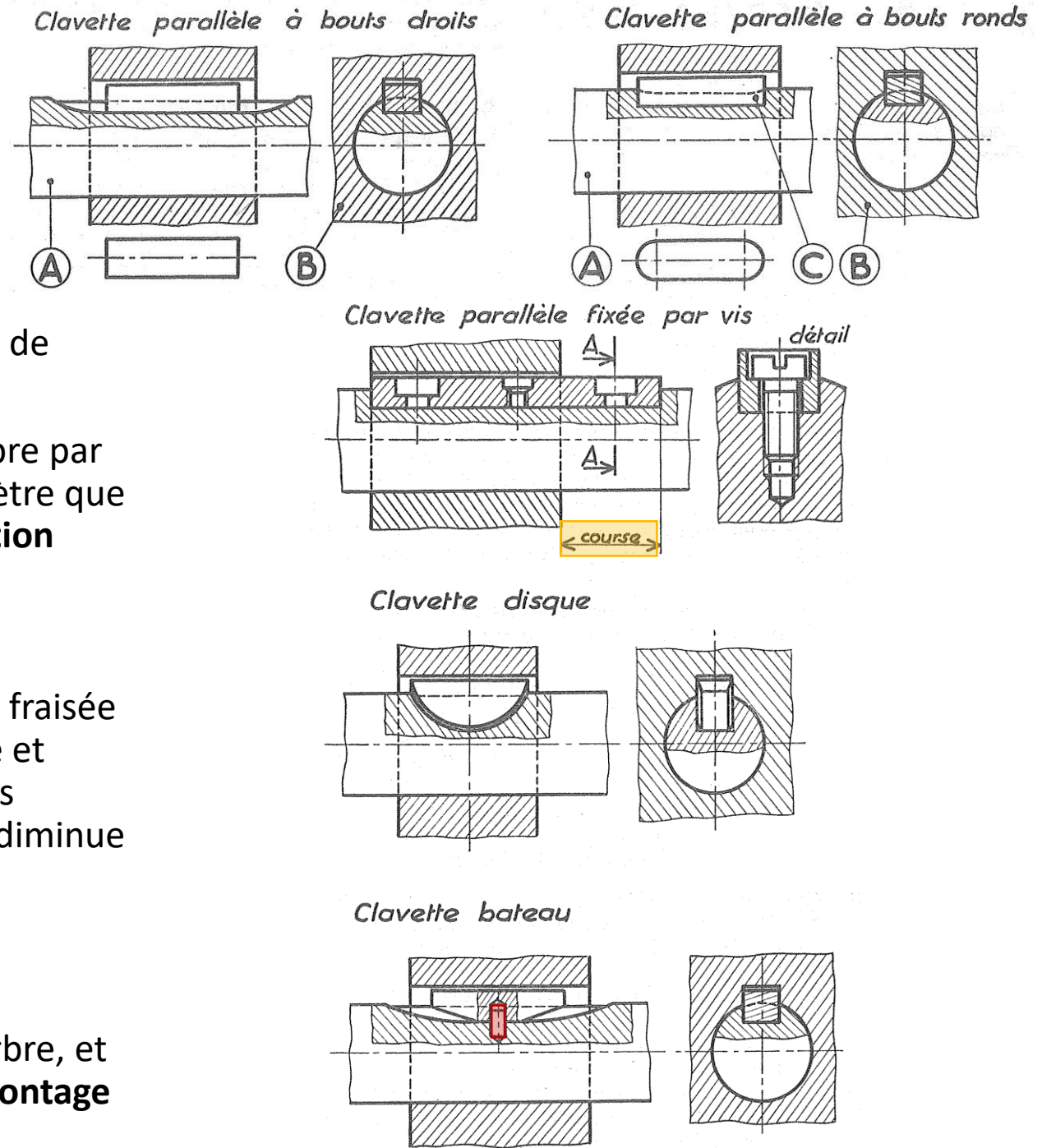


Remède : bon ajustement arbre/moyeu.

Emploi réservé à la mécanique ordinaire /faibles vitesses de rotation.

Types de clavettes pour clavetage libre

- **Clavettes ordinaires** : à bouts ronds ou à bouts droits ; peu de course.
- **Clavettes fixées par vis** : clavettes ordinaires fixées sur l'arbre par des vis : elles comportent un trou taraudé, de même diamètre que les vis, pour le démontage. Emploi : **entraînement en rotation d'organes coulissant** sur l'arbre.
- **Clavette disque** : segment de disque logé dans une rainure fraisée de l'arbre ; **montage et démontage faciles** ; clavette simple et économique, mais emploi limité à la transmission de faibles efforts, car la clavette est encastrée profondément, ce qui diminue dangereusement la section de l'arbre.
- **Clavette-bateau** : résulte d'une amélioration de la clavette ordinaire à bouts droits ; elle utilise mieux la rainure de l'arbre, et elle est maintenue en place par un **ergot** ; **montage et démontage faciles**.



Comment réaliser un assemblage rigide ? i.e. Liaison encastrement

1. Assemblage rigide permanent (Exemple : Soudure)
2. Assemblage rigide démontable (Exemple : boulonnage)

Assemblage rigides permanents

1. **Emmancement forcé**
2. **Rivure : liaison par obstacle.**
3. **Soudure (dépôt de matière et fusion locale) : liaison par obstacle.**
4. **Collage (utilisation d'une colle) : liaison par adhérence.**

Le choix de la colle est important selon les matériaux à assembler.

1. **Rivetage (pose de rivets) : posés à chaud, liaison par adhérence. Posés à froid, liaison par obstacle.**

Emmanchement forcé

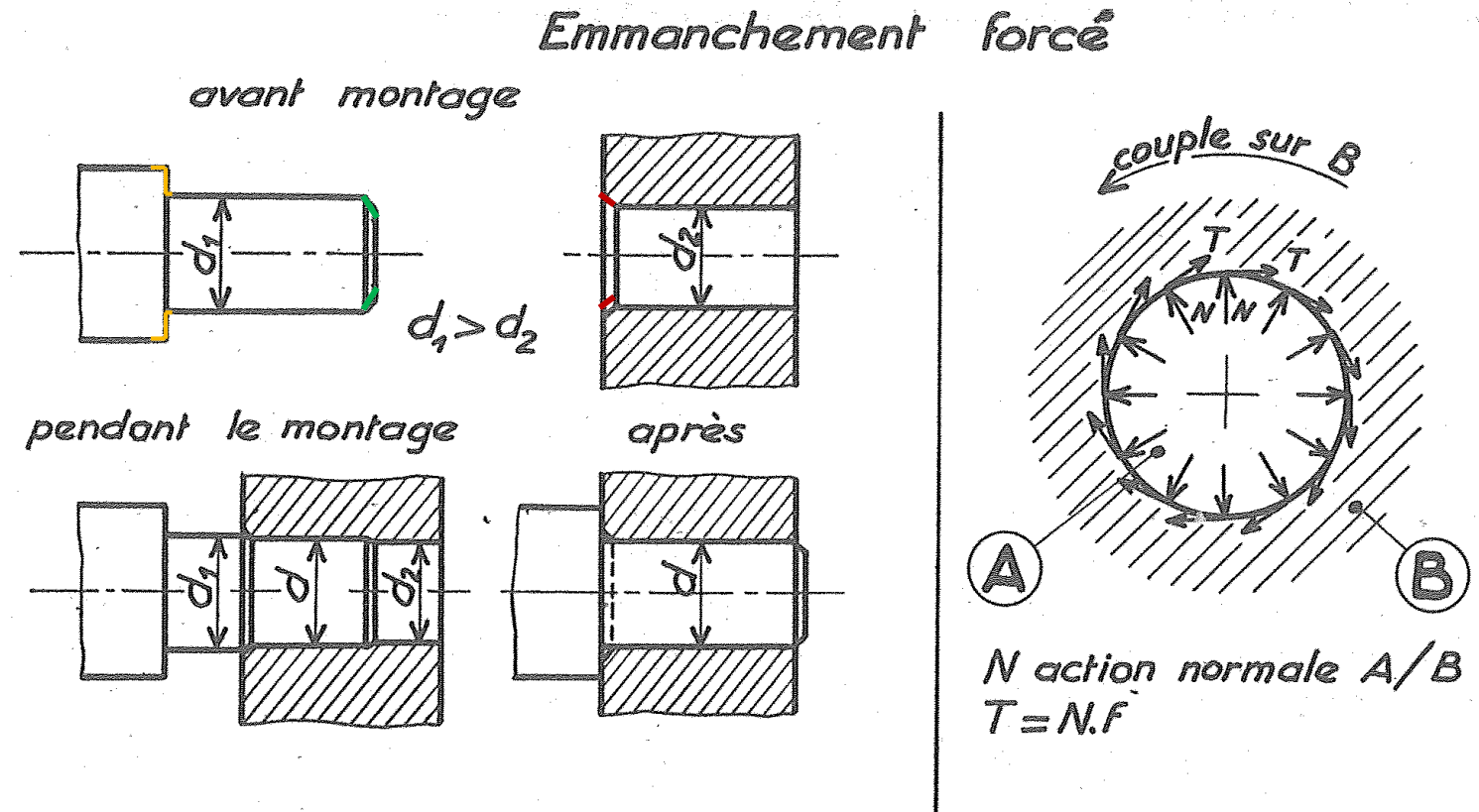
Assemblage par adhérence.

Préparation : Diamètre de l'arbre légèrement supérieur à celui de son logement ;

Concept : Forçage de l'arbre dans l'alésage => déformation élastique des 2 pièces (contraction de l'arbre ; dilatation de la douille) => forces normales de serrage ; => forces tangentielles => pas de glissement, ni en translation ni en rotation.

Conditions d'emploi.

- Choix des matériaux.** Pour obtenir un bon serrage la déformation doit être importante ; les matériaux choisis doivent donc avoir une charge limite élastique élevée : ce sont en général des aciers.
- Choix des formes.** Il est recommandé de munir l'arbre d'un **chanfrein** et le moyeu d'une **fraisure conique** afin de faciliter la pénétration de l'arbre ; prévoir également un **épaulement** pour limiter cette pénétration.
- Choix des dimensions.** Pour que la limite élastique ne soit pas dépassée, il faut en principe calculer les dimensions de l'arbre et de l'alésage de façon que la contrainte, dans chaque pièce, reste inférieure à la limite élastique.



Emmanchement forcé

Assemblage par adhérence.

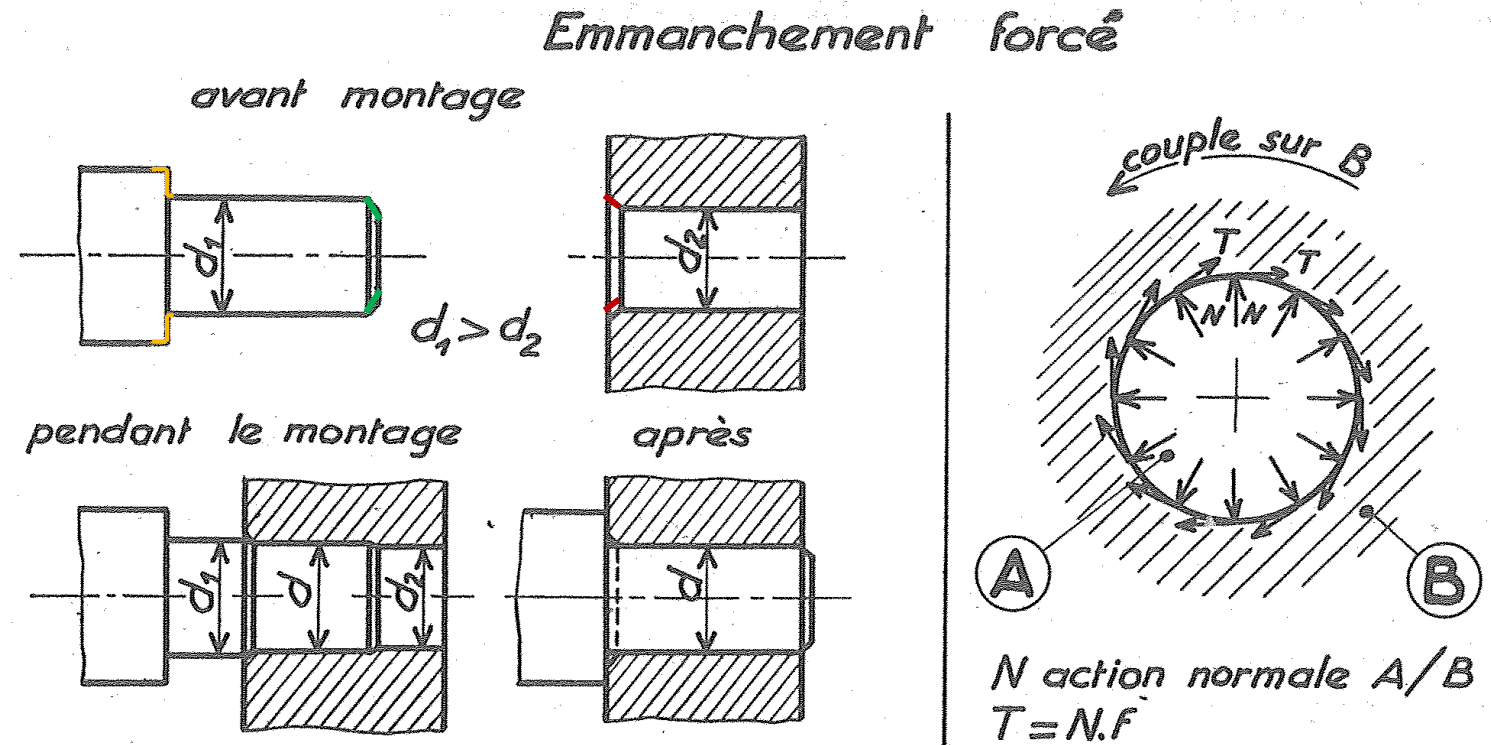
Préparation : Diamètre de l'arbre légèrement supérieur à celui de son logement ;

Concept : Forçage de l'arbre dans l'alésage => déformation élastique des 2 pièces (contraction de l'arbre ; dilatation de la douille) => forces normales de serrage ; => forces tangentiellles => pas de glissement, ni en translation ni en rotation.

Montage.

1. Par chauffage et dilatation du moyeu.
2. Par refroidissement et contraction de l'arbre, par trempage dans un gaz liquéfié : gaz carbonique, air, azote, etc.
3. A la presse.

Note : Si serrés : pas démontable mais couples importants. Si peu serrés: démontables mais couples faibles.



Rivure

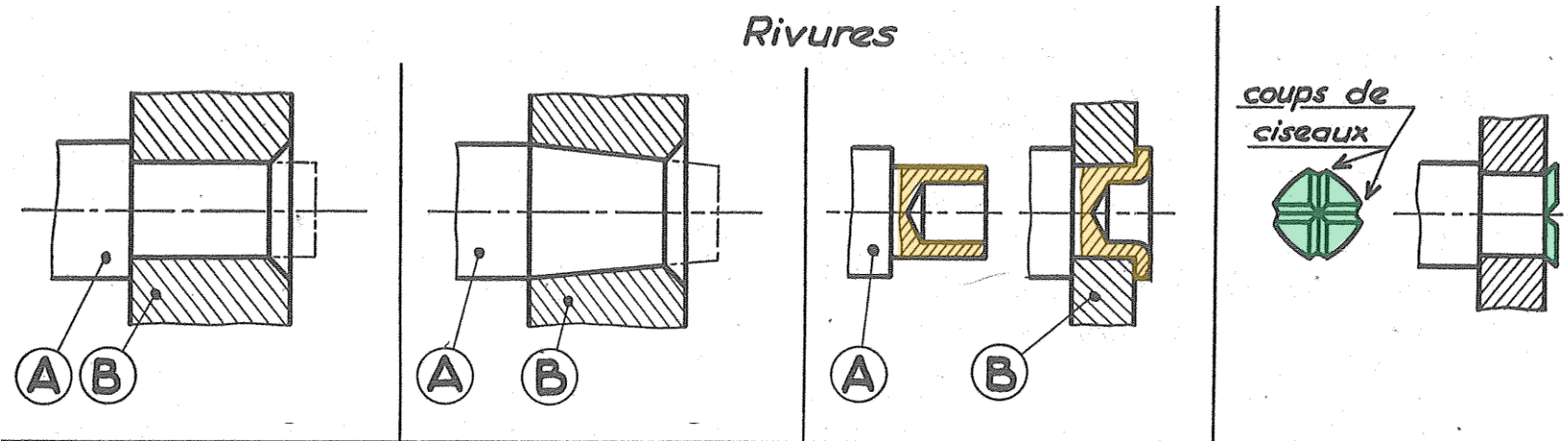
Assemblage par obstacle.

La tige est emmanchée dans l'alésage du moyeu, puis son extrémité est refoulée pour constituer une rivure ; prévoir un épaulement sur l'arbre afin de limiter l'enfoncement.

Choix des matériaux, refoulement facile de la rivure : métal malléable à froid (ex : acier doux)

Choix des formes, Emmanchement : cylindrique ou conique. **Extrémité creuse** facilite la formation de la rivure; Prévoir une longueur d'arbre suffisante pour la rivure.

Un moyen simple pour river une tige de faible diamètre (inférieur à 5 mm) consiste à donner **2 coups de ciseau perpendiculaires**.



Assemblage rigides démontables

1. Assemblage plan
2. Assemblage cylindrique
3. Assemblage conique
4. Assemblage prismatique
5. Assemblage hélicoïdal

Assemblage plan : Montage différent suivant les efforts

Efforts normaux uniquement

Serrage par boulon / goujons (utilisation de goujons si les pièces sont épaisses)

Serrage par vis d'assemblage (pour fixer une pièce légère sur une massive)

Serrage par vis de pression (pour le blocage uniquement, montage/démontage facile)

Serrage par bride (serrage indirect par boulon, blocage)

Serrage par excentrique ou came. (serrage rapide, montage/démontage très facile et rapide)

Serrage par bride

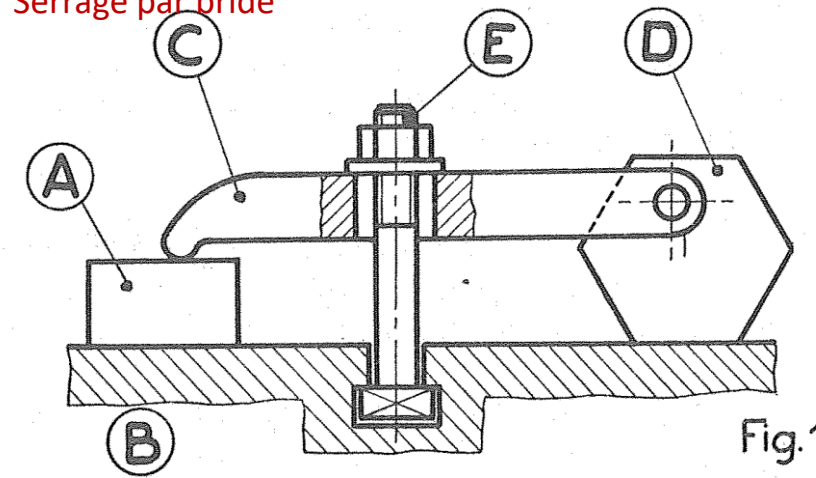


Fig.15

Serrage par excentrique

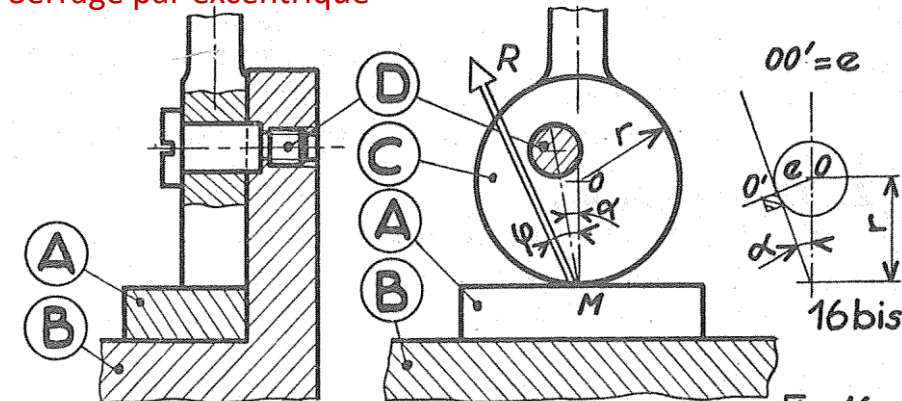


Fig.16

Serrage par came

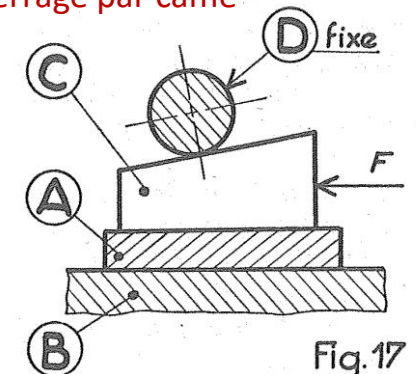


Fig.17

Assemblage plan : Montage différent suivant les efforts

Efforts tangentiels et normaux.

Serrage avec boulon ajusté

Emboitement (rainure/languette)

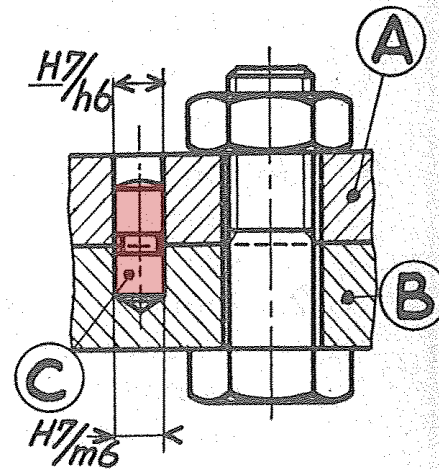
Rondelle de cisaillement intermédiaire

Goupilles de position/pieds de centrage

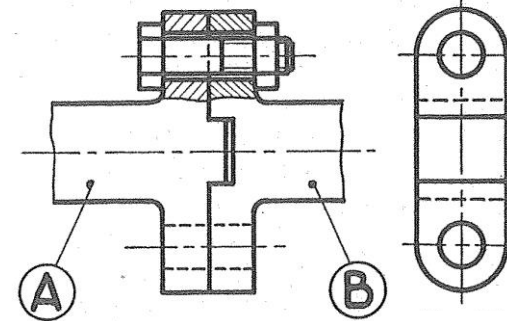
Couples.

2 points de serrage distincts pour bloquer les rotations. Un des points de centrage peut-être un pied de centrage.

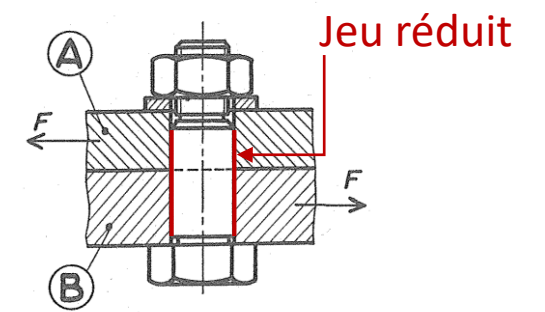
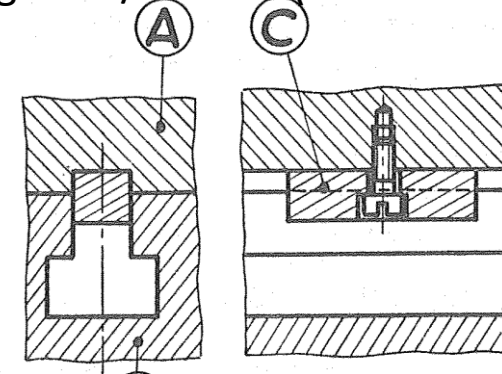
Boulon et pied de centrage



Langnette/rainure (directionnel)



Langnette/rainure (directionnel)



Langnette/rainure cylindrique
(toutes directions)

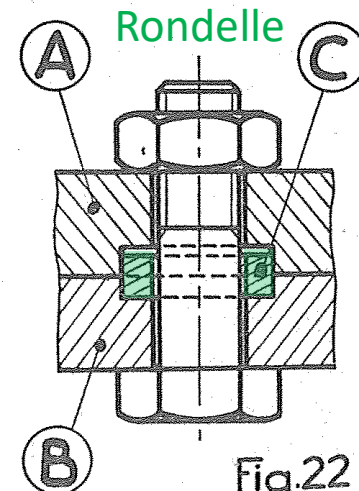
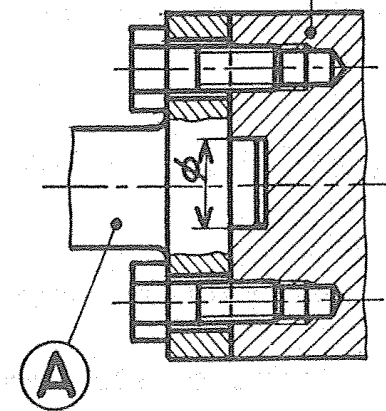


Fig.22

Assemblage cylindrique

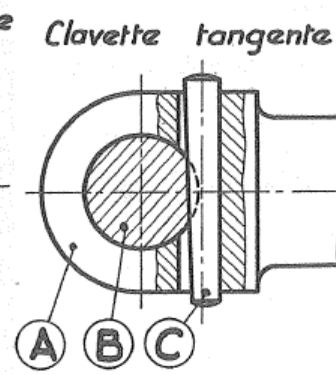
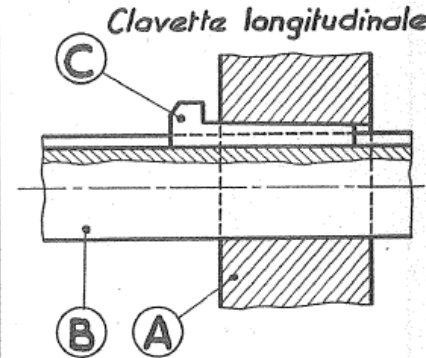
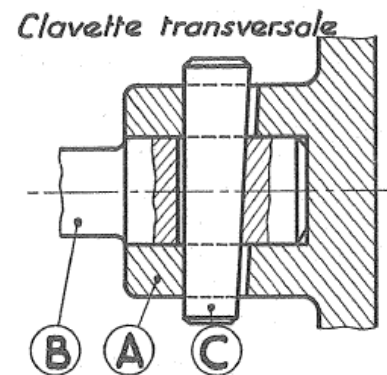
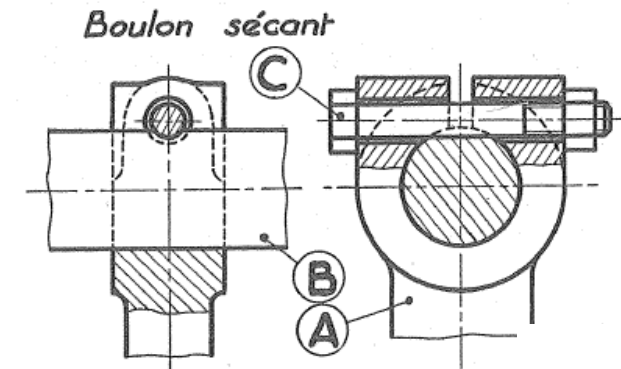
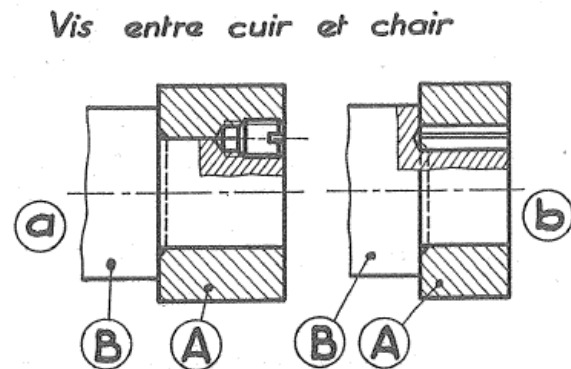
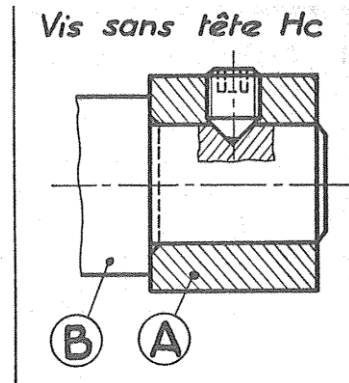
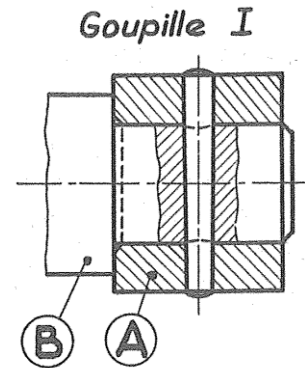
- Condition 1 : coaxialité ou centrage. Choix d'un ajustement donnant un jeu d'autant plus faible que le centrage doit être précis (H7/f7, H7/g6, H7/h6, etc.)
- Condition 2 : Liaison en rotation et en translation.
- Choix d'assemblage : dépend des efforts.

Assemblage cylindrique

Liaison unique

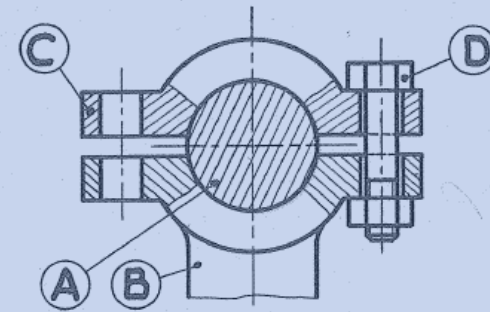
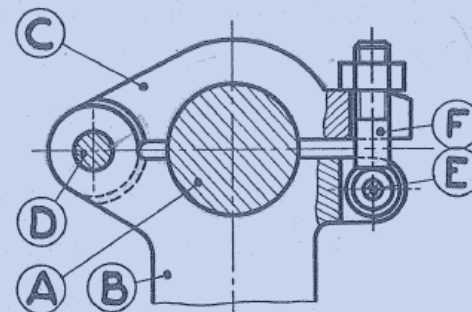
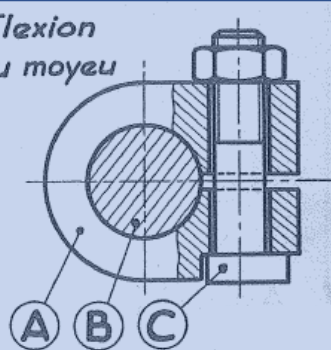
(organe d'assemblage bloquant rotation et translation simultanément)

- Effort axial et couple faibles** : liaison par obstacle, avec organe de liaison de faible section : goupille conique, cannelée ou fendue, vis à bout pointu, vis entre cuir et chair, la vis pouvant être remplacée par une goupille cannelée.
- Effort axial important** : liaison par obstacle, avec organe de liaison à forte section transversale.
- Couple important** : liaison par obstacle et adhérence : clavette longitudinale inclinée, clavette tangente, pincement avec boulon sécant, etc.



Assemblage cylindrique

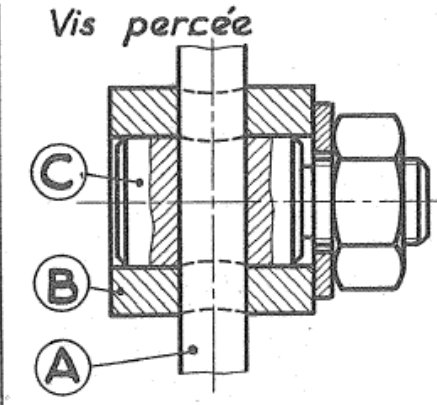
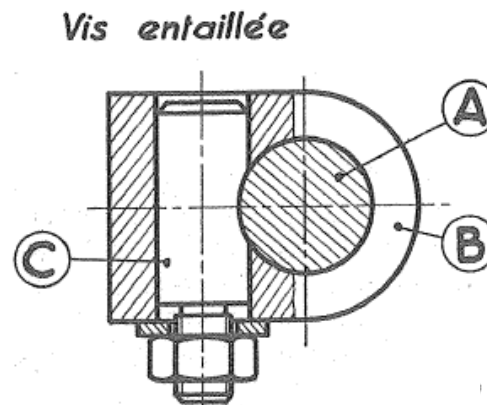
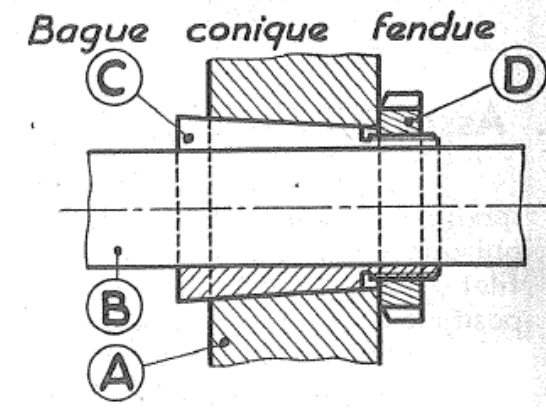
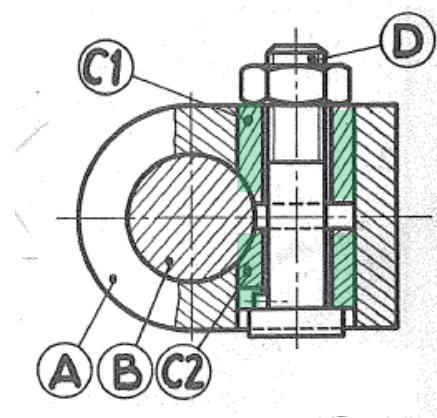
Flexion
du moyeu



Liaison unique

4. **Autres dispositifs de blocage** : liaison par adhérence. Blocage et déblocage rapides.

- A. **Blocage par flexion du moyeu** : moyeu fendu, serré sur l'arbre par vis ou boulon; prévoir des oreilles courtes et épaisses. Le moyeu peut être en plusieurs pièces articulées.
- B. **Blocage par tampons tangents** : les tampons portant une encoche cylindrique sont rapprochés simultanément sous l'action d'une vis ou d'un boulon.
- C. **Blocage par bague conique fendue** : le serrage de l'écrou D détermine le coincement de la bague entre l'arbre et le moyeu ; emploi : fixation d'un roulement en un point quelconque de l'arbre.
- D. **Blocage par vis entaillée**, ou percée dans le cas d'une tige de petit diamètre.



Assemblage cylindrique

Association de liaison en rotation et translation.

Liaison en rotation :

Ergot

Clavette parallèle

Arbre cannelé

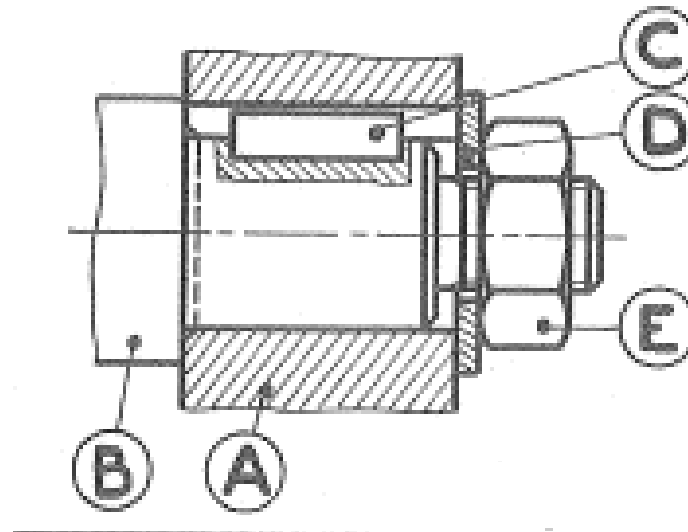
Liaison en translation :

Embase d'un côté et rondelle-vis ou rondelle écrou de l'autre

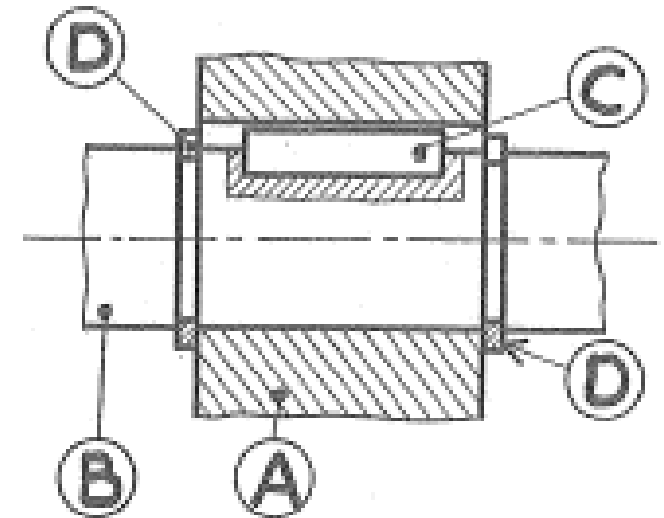
Bagues d'arrêt

Anneaux élastiques

Clavette et embase/rondelle-vis

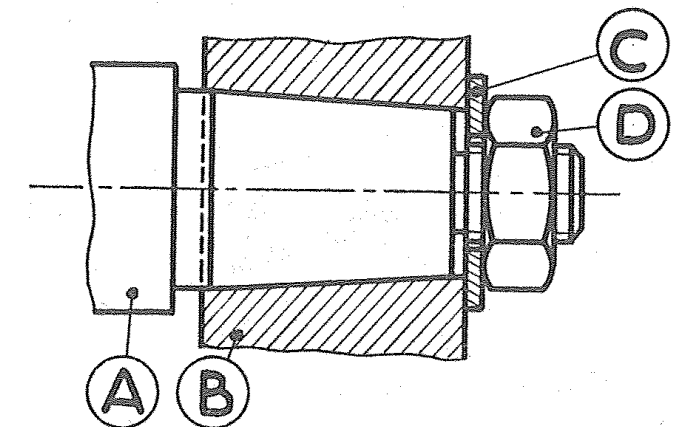
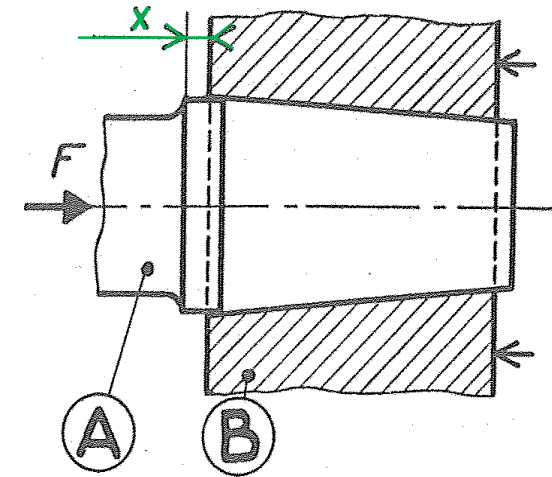


Clavette et anneaux élastiques



Assemblage conique

1. Cônes de même angle au sommet. **Centrage parfait**. Grande surface de contact. **Usinage plus difficile et coûteux** qu'un assemblage cylindrique.
2. Forme conique : empêche les translations lorsque serré. Force d'adhérence assure la liaison en rotation ;
3. **La force d'adhérence est d'autant plus grande que la conicité est plus faible** ; mais si celle-ci est faible, le démontage est difficile, car il se produit un coincement des 2 cônes ; choix de la conicité en fonction du couple à transmettre et de la facilité de démontage.
4. Les 2 cônes s'appuyant l'un sur l'autre, il n'existe aucun réglage axial possible ; par ailleurs, une légère erreur sur le diamètre de l'un des éléments détermine un **déplacement axial important** si la conicité est faible ; il est donc difficile de fixer avec précision la position relative des 2 pièces.
5. **Attention** : des « bourrelets » peuvent se former aux extrémités sous l'effet des déformations élastiques mutuelles des 2 cônes.



Assemblage conique

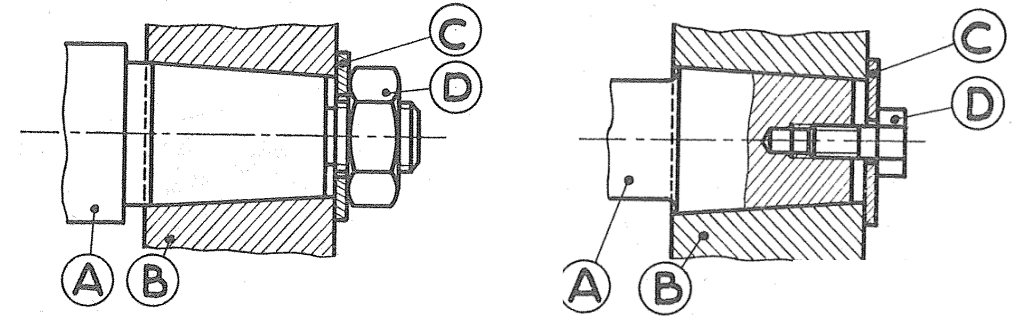
Association de deux liaisons

- Liaison en translation**, Le serrage axial, nécessaire pour assurer l'adhérence des 2 cônes, s'effectue soit par filetage et écrou, soit par rondelle et vis en bout.
- Liaison en rotation**. Transmission d'un faible couple : si la conicité est faible, le serrage axial détermine une force d'adhérence suffisante pour assurer la liaison en rotation.
- Transmission d'un couple important** : on ajoute un obstacle à la rotation relative des 2 pièces : clavette parallèle ou clavette disque.

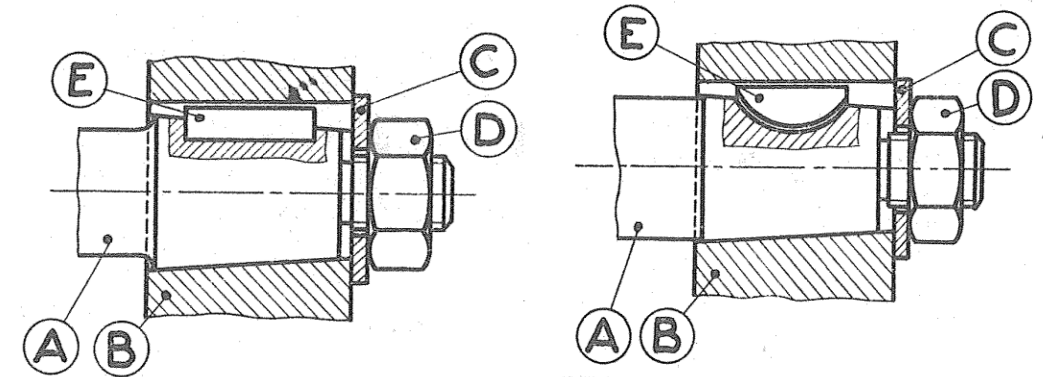
Liaison unique

Emploi d'une clavette transversale, simple ou double, dans le cas d'un effort axial important.

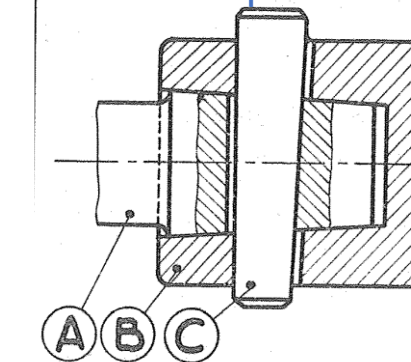
Blocage en translation, adhésion en rotation



Blocage en translation, blocage en rotation



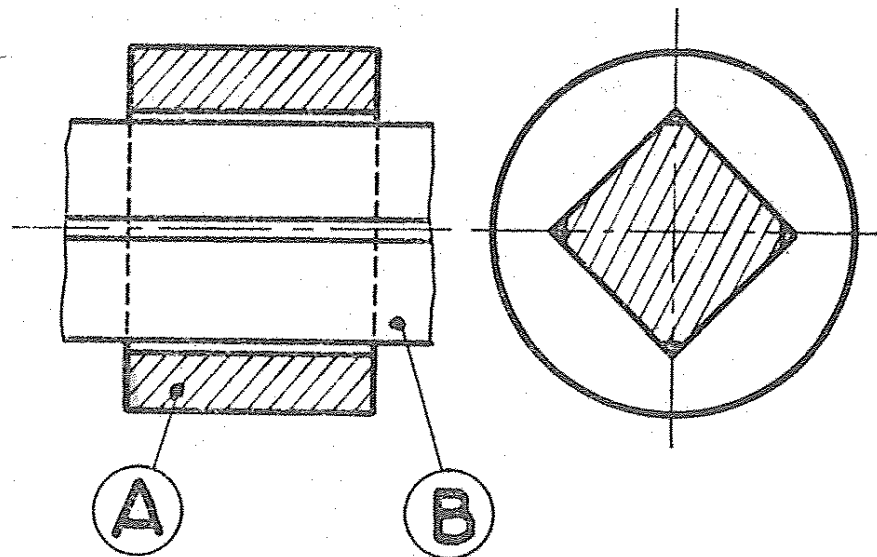
Liaison unique



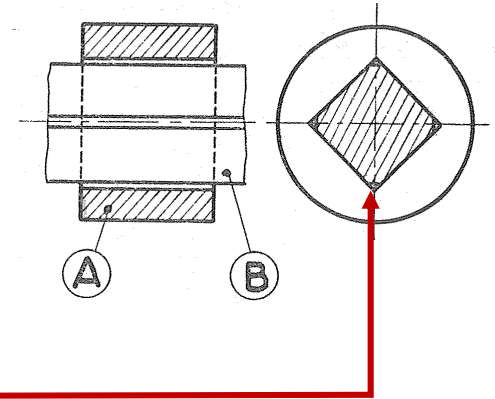
Assemblage prismatique

Théorie : L'assemblage d'un prisme dans un trou prismatique de même forme et de mêmes dimensions assure l'immobilisation en rotation et la coaxialité des axes des 2 pièces ; l'adjonction d'une liaison en translation réalise une liaison complète.

Pratique : Son emploi est réduit par suite des difficultés d'usinage et d'ajustage, et du mauvais centrage résultant d'un usinage imparfait.

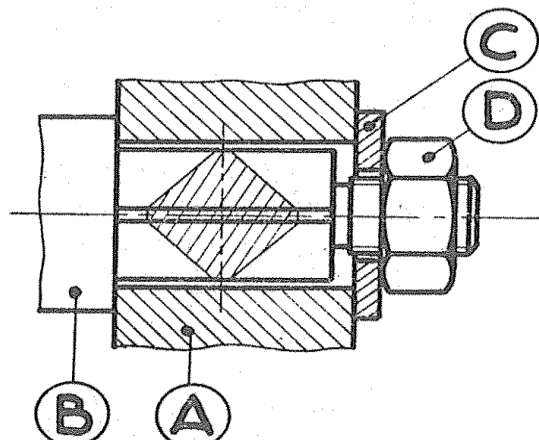


Assemblage prismatique

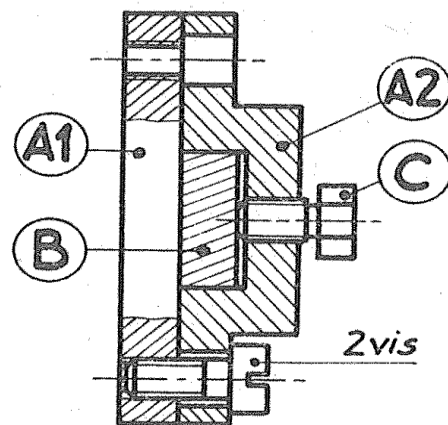


1. **Liaison en rotation.** Sections triangulaire, carrée, rectangulaire, etc. ; la plus employée est la section carrée avec **angles vifs abattus**.
2. **Liaison en translation.** En bout d'arbre, liaison par épaulement, rondelle-écrou, ou rondelle-vis comme pour l'assemblage cylindrique ;
3. **Dispositifs de blocage après réglage :** il suffit de serrer latéralement la tige pour l'immobiliser en translation dans le moyeu ; exemples : blocage par vis de pression, par pincement, par cale latérale, etc.

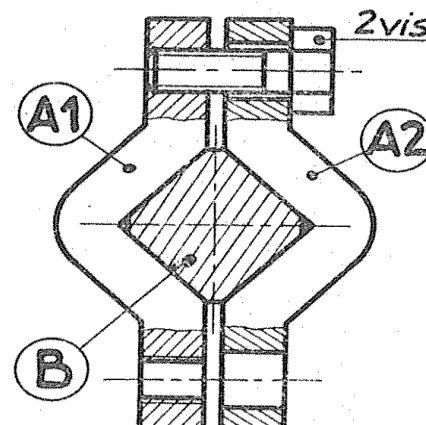
Rondelle-écrou



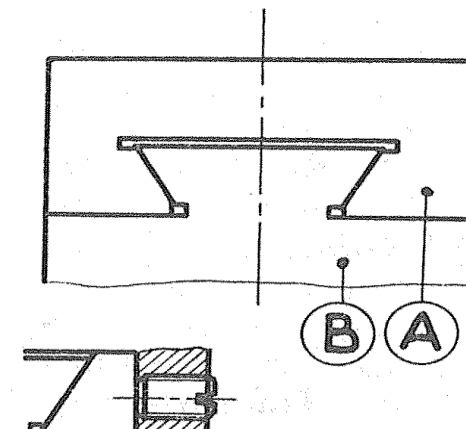
Blocage par vis de pression



Blocage par déformation



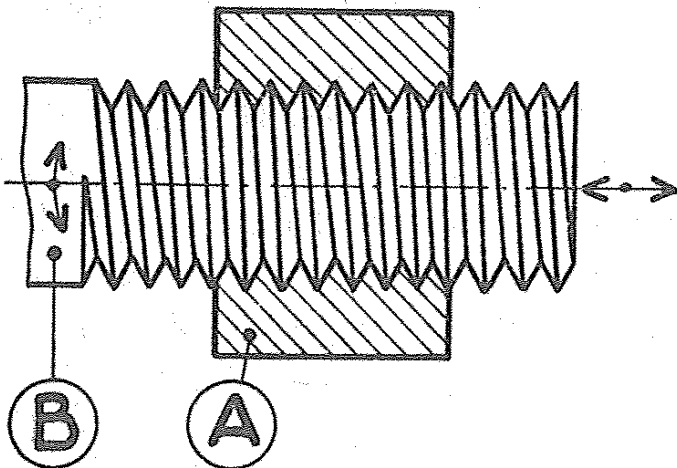
Blocage par cale latérale



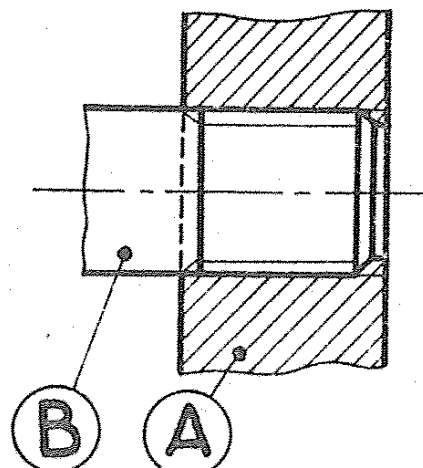
Assemblage hélicoïdal

- L'assemblage peut s'effectuer par vissage direct des deux pièces.
- pour rendre cet assemblage rigide, il suffit d'immobiliser les 2 pièces soit en rotation, soit en translation, puisque les 2 mouvements ne peuvent se produire l'un sans l'autre.
- **ATTENTION** Cet assemblage ne peut être utilisé que pour transmettre un effort axial, ou un **couple agissant dans le sens du vissage** ;
- Jeu existant entre les filets de la vis et ceux du moyeu : **centrage imparfait**.

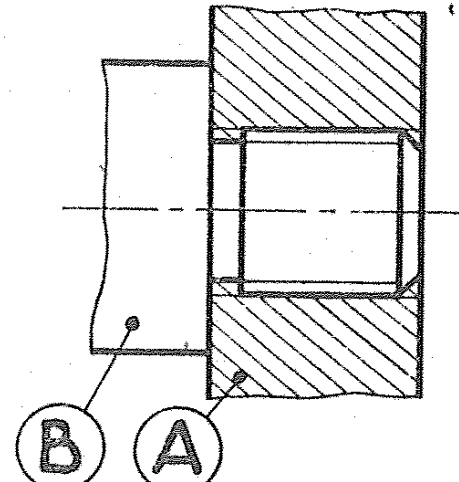
Principe de vissage



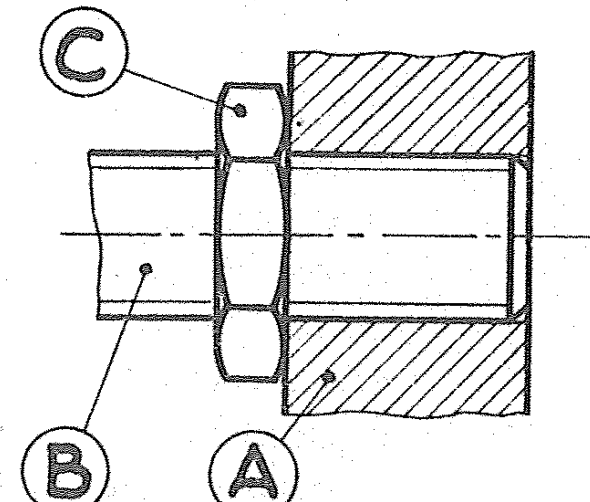
Vissage en fond de filet



Vissage avec épaulement



Principe de contre-écrou



Comment réaliser une liaison glissière ? (Assemblage en rotation uniquement)

Conditions à remplir

1. Mise en position correcte des 2 pièces.
2. Assurer la liaison en rotation : l'assemblage prismatique assure cette liaison par sa forme ; dans le cas d'un assemblage cylindrique, le moyen de liaison dépend de la grandeur du couple à transmettre.
3. Le mouvement de translation doit être possible et facile ;
 - A. S'assurer de la possibilité de la course prévue ;
 - B. Assurer un bon guidage,
 - C. Réduire les frottements (choix des matériaux et de l'état de surface ; graissage),
 - D. Réduire l'usure.
4. Dans certains cas, il faut prévoir le blocage dans une position déterminée.

Dans tous les cas, penser à la facilité d'usinage, de montage et de démontage, et d'entretien.

Comment réaliser une liaison glissière ? (Assemblage en rotation uniquement)

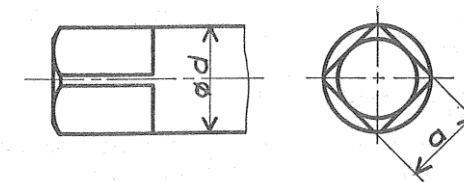
Immobilisation en rotation: forme prismatique

Permet la transmission d'un couple important ; mais usinage difficile, en particulier celui de la mortaise,

Difficile d'obtenir un bon centrage => Pas utilisé pour réaliser un pivot glissant ;

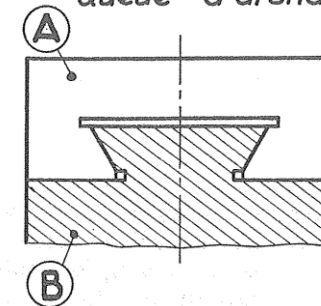
1. **Section carrée.** Abattre les angles de la tige pour faciliter l'assemblage ; si le carré est fraisé dans un cylindre, choisir le diamètre de façon que le carré n'ait pas ses angles vifs;
2. **Section trapézoïdale**, ou « à queue d'aronde » ; forme utilisée fréquemment pour le guidage des chariots de tour, mors mobile d'étau, etc., par suite de la possibilité d'un ajustage précis ; abattre les angles ; éviter les surfaces d'appui multiples.
3. **Section en T** ; susceptible d'un ajustage précis ; possibilité de rattrapage de jeu ; exemple d'emploi : guidage des mors mobiles d'étau.
4. **Sections « Polygon »** ; donnent un centrage parfait et la possibilité de transmettre un couple important.

Carré d'entraînement

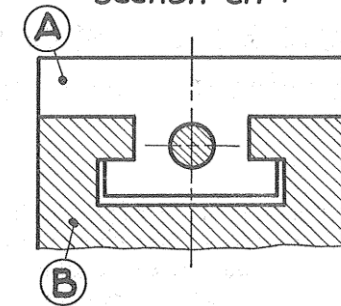


$$d < a\sqrt{2}$$

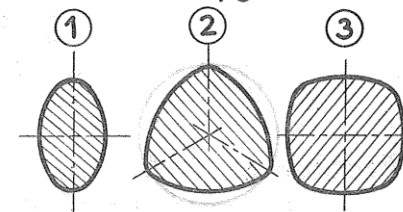
Queue d'aronde



Section en T



Sections "Polygon"



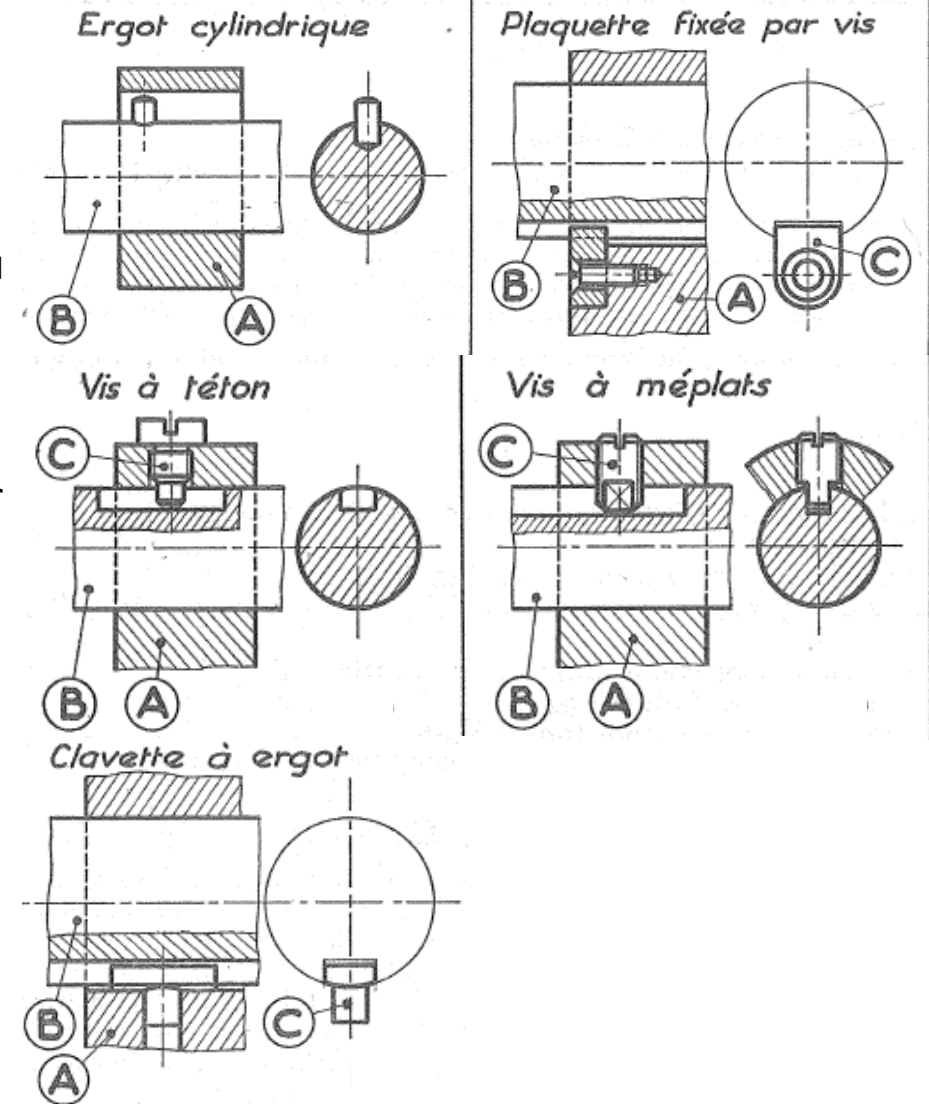
Utilisé chez les vis de transformation de mouvement

Comment réaliser une liaison glissière ? (Assemblage en rotation uniquement)

Immobilisation en rotation: forme cylindrique

- Cette forme, susceptible d'un usinage précis, permet un bon ajustement et un bon centrage des 2 pièces ; un obstacle suffit à immobiliser en rotation les 2 pièces ; la nature de cet obstacle dépend de la grandeur du couple à transmettre (pièces en rotation) ou auquel il faut résister (pièces immobiles en rotation).

- Transmission d'un faible couple**, Exemple : arbre glissant dans un moyeu fixe, ou inversement ; emploi d'ergots, de vis à téton, etc. Pour faire un choix : Comparer ces solutions au point de vue ; fabrication, montage, efficacité, etc.

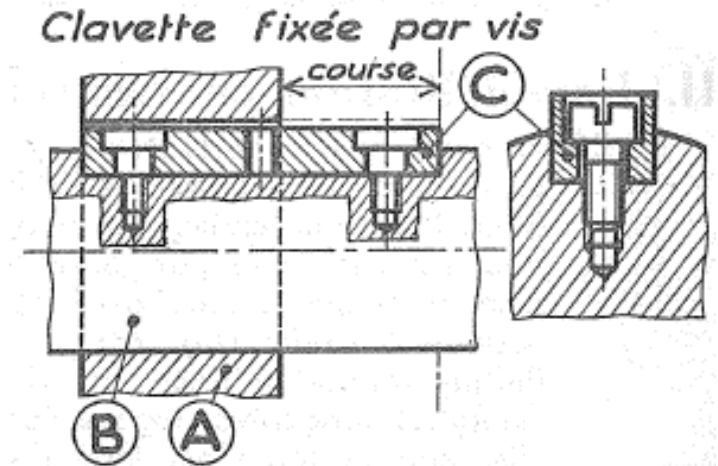


Comment réaliser une liaison glissière ? (assemblage en rotation uniquement)

Immobilisation en rotation: forme cylindrique

- Cette forme, susceptible d'un usinage précis, permet un bon ajustement et un bon centrage des 2 pièces ; un obstacle suffit à immobiliser en rotation les 2 pièces ; la nature de cet obstacle dépend de la grandeur du couple à transmettre (pièces en rotation) ou auquel il faut résister (pièces immobiles en rotation). '

2. **Transmission d'un couple important.** Exemple : roue glissant sur un arbre entraîné en rotation, Arbre cannelé (baladeur de boîte de vitesses, par exemple) : emploi d'une clavette parallèle, à bouts ronds ou à bouts droits, pouvant être fixée par vis, d'une clavette disque, d'une clavette bateau (revoir le mode d'action de ces clavettes) ;

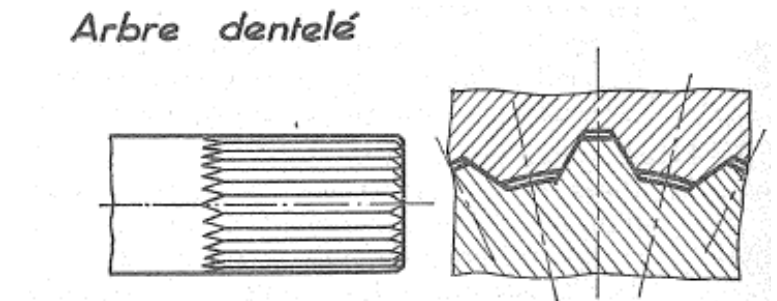
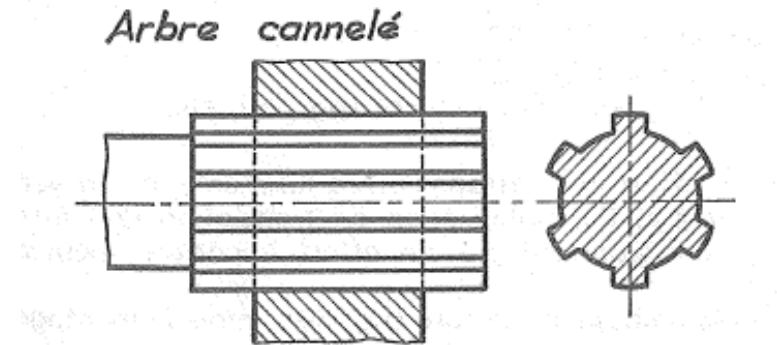


Comment réaliser une liaison glissière ? (assemblage en rotation uniquement)

Immobilisation en rotation: forme cylindrique

- Cette forme, susceptible d'un usinage précis, permet un bon ajustement et un bon centrage des 2 pièces ; un obstacle suffit à immobiliser en rotation les 2 pièces ; la nature de cet obstacle dépend de la grandeur du couple à transmettre (pièces en rotation) ou auquel il faut résister (pièces immobiles en rotation). '

3. **Transmission d'un couple très important.** Lorsque le calcul montre que plusieurs clavettes seraient nécessaires pour résister au cisaillement, il est préférable d'utiliser un arbre cannelé, s'ajustant dans un évidement de même forme ; les cannelures de l'arbre sont obtenues par fraisage, celles du moyeu par brochage ; l'usinage est précis et permet un bon centrage. Emploi fréquent en construction automobile : cardans, boîtes de vitesses, etc. On utilise également des arbres dentelés, permettant un réglage facile de la position angulaire des 2 pièces.



Comment réaliser une liaison pivot ? (assemblage en translation uniquement)

Conditions à remplir :

1. Il faut assurer la mise en position correcte des 2 pièces,
2. Il faut assurer leur liaison en translation ; le moyen de liaison dépend de la grandeur et du sens de l'effort axial.
3. Le mouvement de rotation doit être possible et facile :
 - A. S'assurer de la possibilité de l'amplitude du mouvement prévu ; rotation complète ou oscillation ;
 - B. Assurer un bon guidage (voir Guidage en rotation),
 - C. Réduire les frottements (matériaux, états de surfaces, graissage),
 - D. Réduire l'usure, etc.

Dans tous les cas, penser à la facilité d'usinage, de montage et de démontage, et d'entretien.

Comment réaliser une liaison pivot ? (assemblage en translation uniquement)

Effort axial peu important :

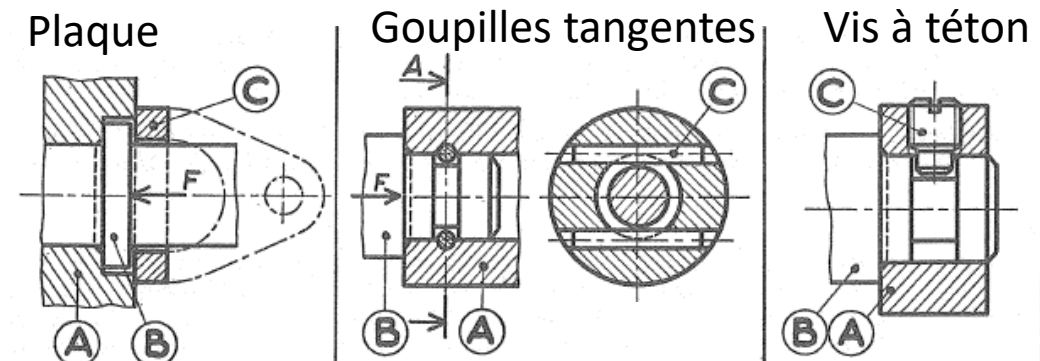
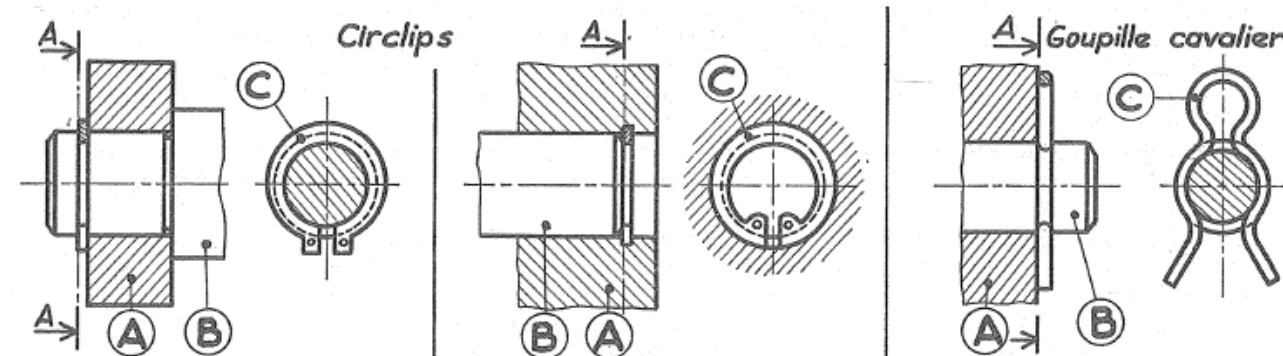
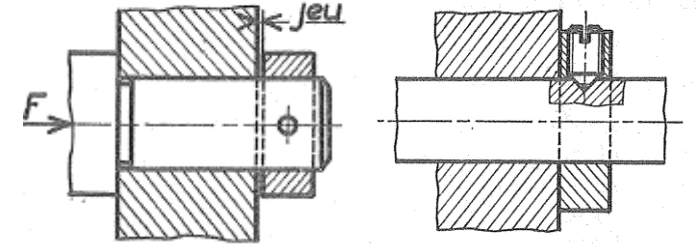
Sur l'arbre:

1. Rondelles maintenues par goupille.
2. Bague d'arrêt fixée par goupille, par vis à bout pointu.
3. Anneau élastique (circlips) logé dans une gorge de l'arbre, ou du moyeu ;
4. Goupille Cavalier.
5. Plaque rapportée fixée par vis, et maintenant une embase de l'arbre.
6. Goupilles tangentes, logées dans une gorge de l'arbre.
7. Vis dont le téton est logé dans une gorge de l'arbre.

En bout d'arbre:

1. Rondelle s'appuyant sur le bout d'arbre et fixée par vis.
2. Rondelle s'appuyant sur une embase, fixée par écrou.
3. Embase de l'arbre logée dans une rainure en T débouchant latéralement, etc.

Rondelle-goupille Vis à bout pointu



Comment réaliser une liaison pivot ? (assemblage en translation uniquement)

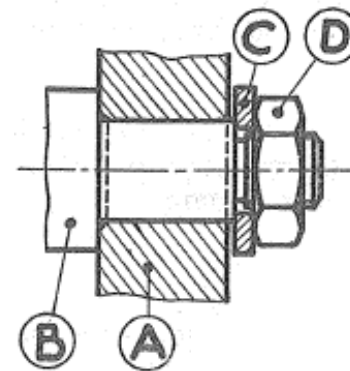
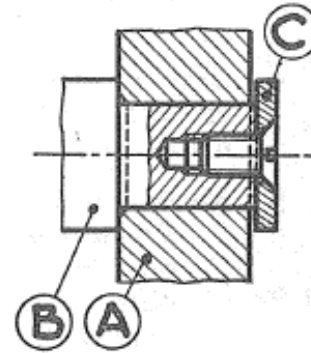
Effort axial peu important :

Sur l'arbre:

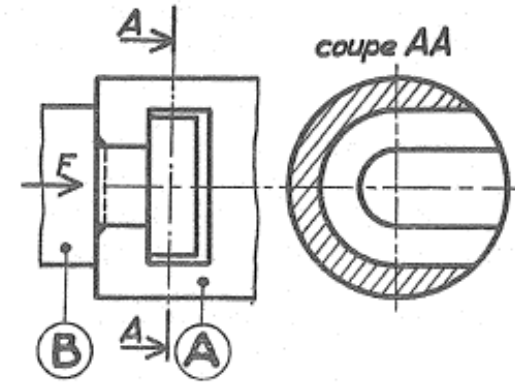
1. Rondelles maintenues par goupille.
2. Bague d'arrêt fixée par goupille, par vis à bout pointu.
3. Anneau élastique (circlips) logé dans une gorge de l'arbre, ou du moyeu ;
4. Goupille Cavalier.
5. Plaque rapportée fixée par vis, et maintenant une embase de l'arbre.
6. Goupilles tangentes, logées dans une gorge de l'arbre.
7. Vis dont le téton est logé dans une gorge de l'arbre.

En bout d'arbre:

1. Rondelle s'appuyant sur le bout d'arbre et fixée par vis.
2. Rondelle s'appuyant sur une embase, fixée par écrou.
3. Embase de l'arbre logée dans une rainure en T débouchant latéralement, etc.



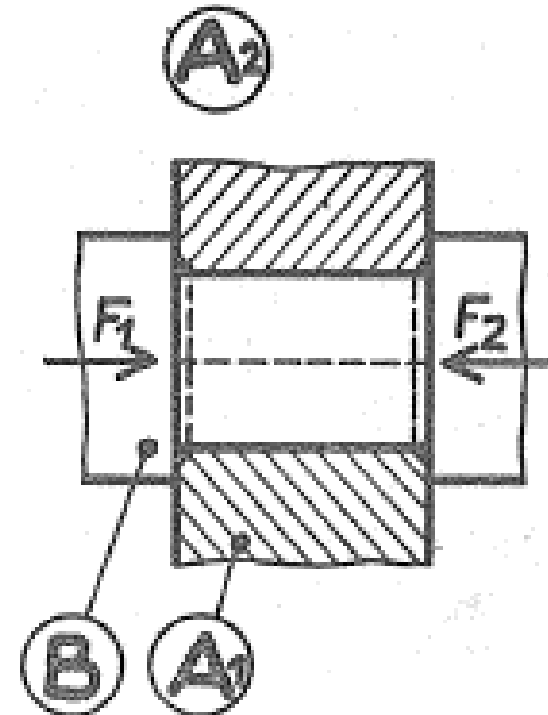
Embase logée dans une rainure en T



Comment réaliser une liaison pivot ? (assemblage en translation uniquement)

Effort axial important :

Il y a intérêt à prévoir une double embase sur l'arbre ; mais le montage nécessite alors un bâti en 2 pièces.



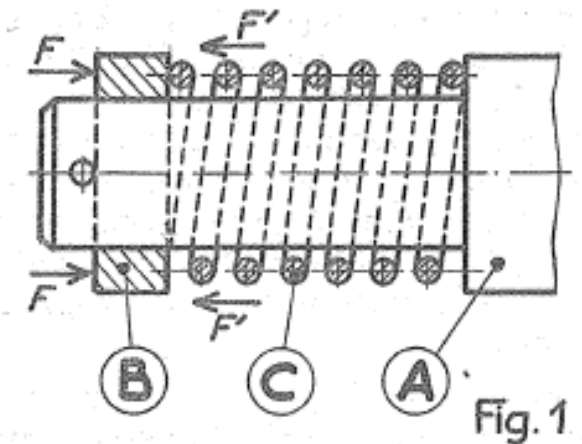
Assemblages élastiques

Il s'agit d'assurer la liaison incomplète de 2 pièces au moyen d'un organe de liaison flexible permettant un mouvement de rotation ou de translation de l'une des pièces par rapport à l'autre ;

ce mouvement est en général de faible amplitude ; l'organe d'assemblage peut être un ressort ou un lien flexible non métallique.

Exemple : la pièce mobile B peut glisser sur la pièce A, sous l'action de la force F , en comprimant le ressort C ; dès que cesse cet effort, le ressort rappelle la pièce mobile dans sa position initiale, grâce à l'énergie qu'il avait accumulée pendant sa déformation.

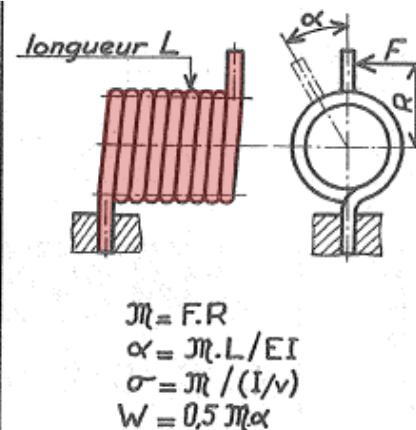
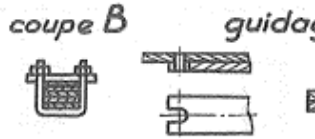
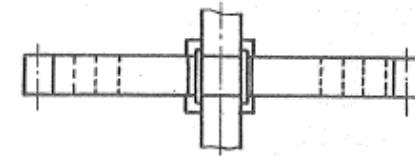
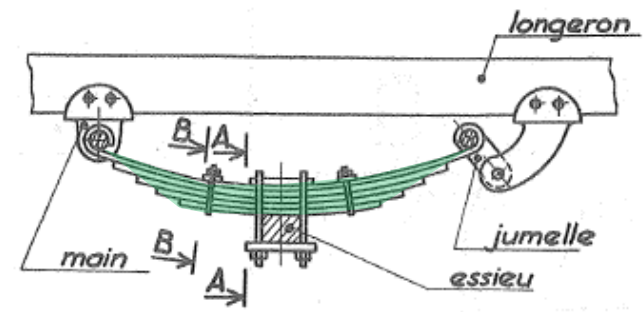
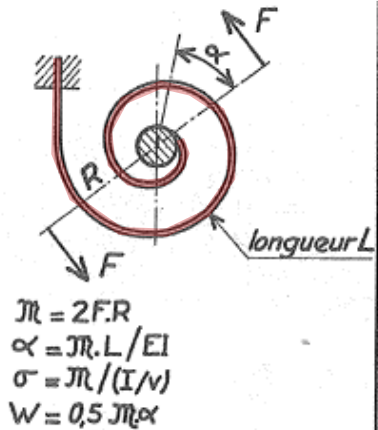
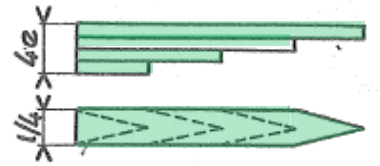
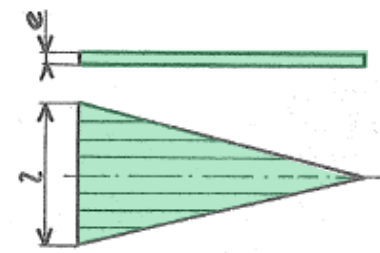
Assemblage élastique



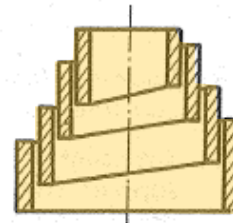
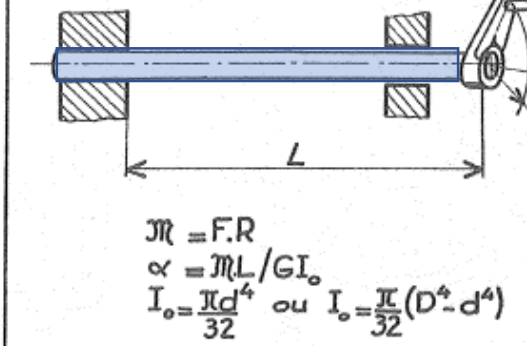
Types de ressort et leur emploi

- **Formes utilisées.** Pour obtenir de grandes déformations élastiques, il faut utiliser des sollicitations qui donnent de grandes déformations : ce sont la flexion et la torsion ; pas de traction.

1. Ressorts de flexion : **ressorts à lames rectilignes**, ou enroulés en hélice, ou enroulés en spirale.
2. Ressorts de torsion : **ressorts à barre rectiligne**, ou **enroulée en hélice**, ou **enroulée en volute**.



Barre de torsion :
le plus simple ressort en torsion



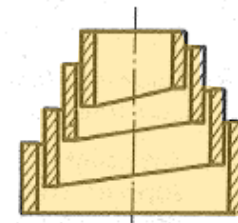
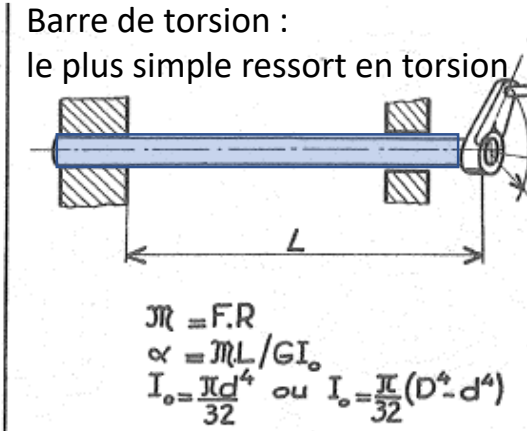
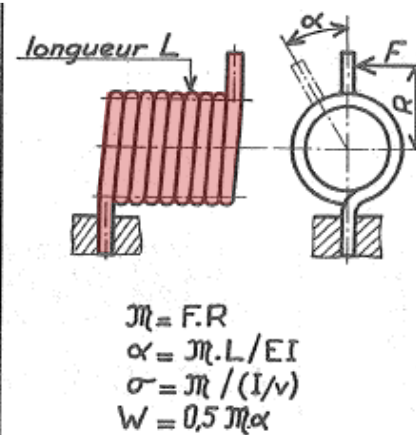
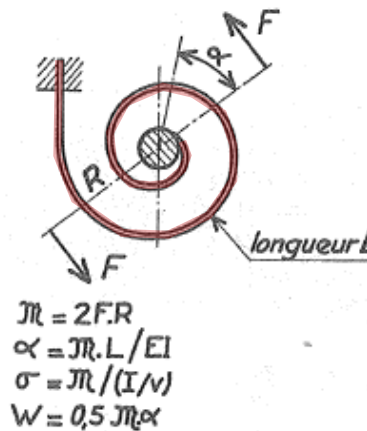
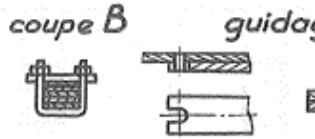
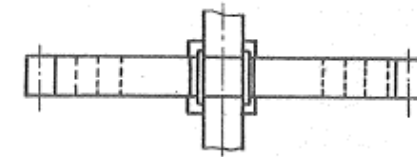
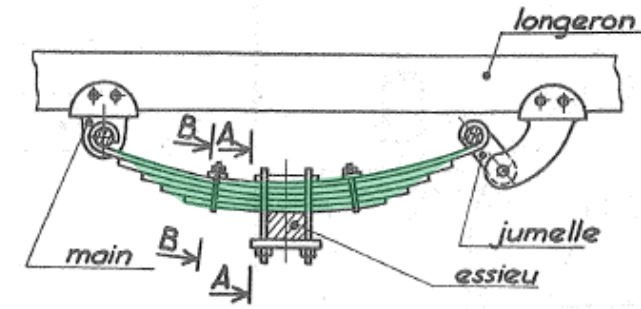
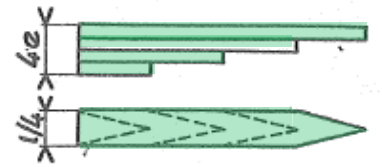
Types de ressort et leur emploi

• **Emplois** L'énergie emmagasinée dans un ressort peut être utilisée :

1. Soit pour produire un mouvement ; exemple : mécanismes d'horlogerie, jouets mécaniques, etc.
2. Soit pour exercer une force constante (soupape de sûreté), cette force pouvant être utilisée pour produire une détente brusque (ressorts de soupapes de moteurs).
3. Soit pour amortir des chocs ou des vibrations ; exemple : suspension des véhicules.

Le choix s'effectue d'après la nature du mouvement (rotation ou translation), l'amplitude du mouvement, la force à exercer ou l'énergie à accumuler, l'encombrement, le prix de revient, etc.

Les plus utilisés sont les ressorts à lames, en hélice, en spirale.



Types de ressort et leur emploi

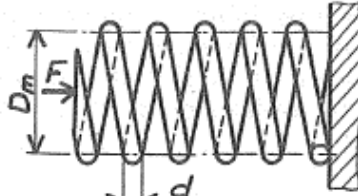
- Quelques modes de fixation de ressort :

Par soudure

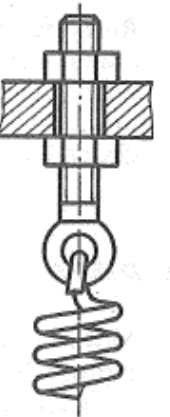
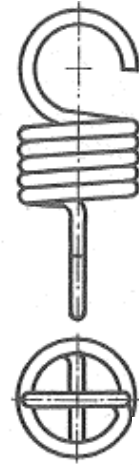
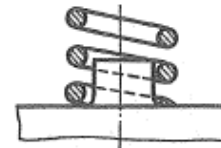
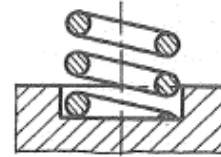
Par lamage

Autour d'un téton

Avec crochet de fixation et écrou

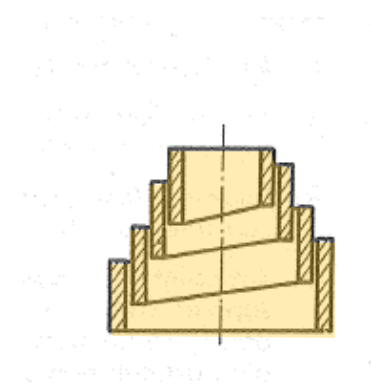


$$\begin{aligned} \mathcal{M} &= F \cdot R_m \\ F &= R_m \cdot \alpha \\ \alpha &= \mathcal{M} \cdot L / G I_o \\ L &= 2\pi R_m \cdot n \\ \tau &= \mathcal{M} / (I_o / \nu) \end{aligned}$$



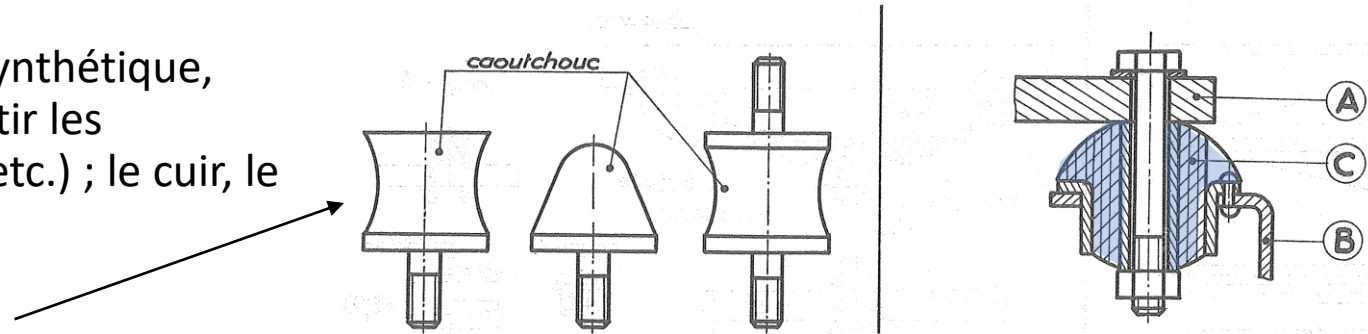
- **Ressorts en volute.** Ces ressorts sont obtenus par enroulement sur une hélice conique d'une barre à section rectangulaire ; ils sont utilisés uniquement pour résister aux efforts de compression, et la déformation s'effectue par pénétration des spires les unes dans les autres, d'où faible encombrement.

Ils peuvent supporter des efforts très importants, et sont surtout utilisés pour amortir des chocs (e.g. tampons de wagons).



Liaison élastique non métallique.

- **Matériaux utilisés** : le **caoutchouc**, naturel ou synthétique, pour sa grande élasticité et sa propriété d'amortir les vibrations ; des élastomères de synthèse (PVC, etc.) ; le cuir, le feutre, des liquides (huiles) ou des **gaz**, etc.
- **Exemples d'emploi** :
 1. Amortissement de chocs : butées élastiques.
 2. Amortissement de vibrations : interposition d'un **bloc élastique** entre l'appareil qui vibre et son support ; exemple : suspension élastique d'un moteur.
 3. Liaison élastique de 2 arbres : transmission par tampons, par disques, par bracelets, par courroie, etc.



Cours 2 : Éléments de construction mécanique

- Pourquoi guider une liaison ?
- Comment réaliser un guidage en translation ?
- Comment réaliser un guidage en rotation ?

Pourquoi guider une liaison ?

La mise en position de deux pièces fixes est un challenge en soi. Pour les pièces mobiles, le problème est encore plus complexe : les deux pièces assemblées doivent être placées au montage dans une certaine position, puis elles doivent garder cette position pendant le mouvement.

Il s'agit donc de maintenir la pièce mobile sur sa trajectoire dans une position bien déterminée, et malgré les efforts qui la sollicitent ; cette liaison de la pièce mobile par rapport aux organes fixes de la machine constitue le guidage.

Les deux mouvements les plus fréquents dans les machines étant le mouvement rectiligne et le mouvement circulaire :

1. Guidage en translation
2. Guidage en rotation

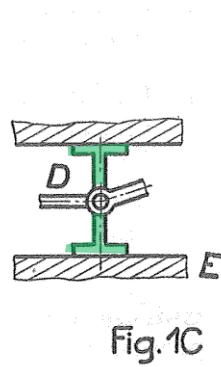
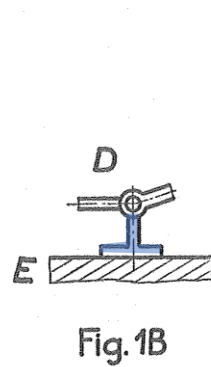
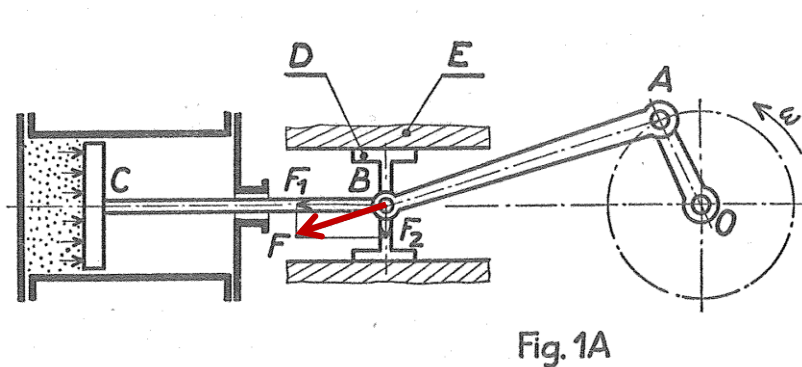
Guidage en translation

Schéma d'une pompe à piston :

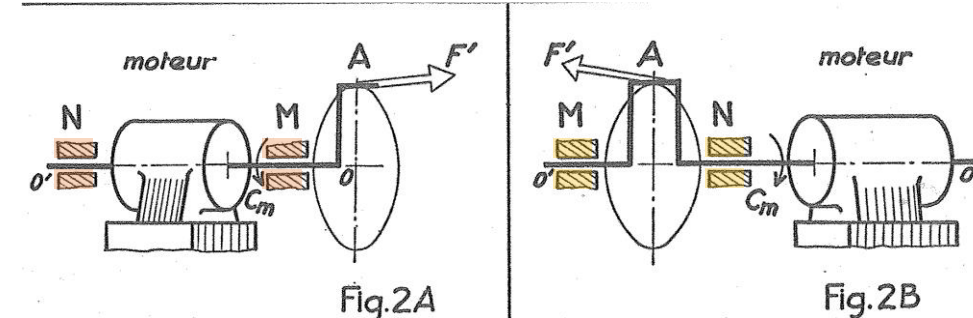
La manivelle, entraînée en rotation par un moteur, commande la tige de piston par l'intermédiaire de la bielle.

L'effort moteur est transmis par la bielle suivant une direction oblique ; il en résulte **un effort**, tend à faire fléchir la tige de piston. Pour éviter cette flexion, il faut guider l'articulation pour un mouvement rectiligne.

Solution : coulisseau D et d'une glissière E reprennent les efforts.
Coulisseau simple si la manivelle tourne toujours dans le même sens,
Coulisseau double si la manivelle est susceptible de tourner dans les deux sens (l'effort change de sens).



Guidage en rotation



L'arbre, sur lequel est fixée la manivelle, est entraîné en rotation par un moteur; la manivelle reçoit la réaction de la bielle ;

Solution :

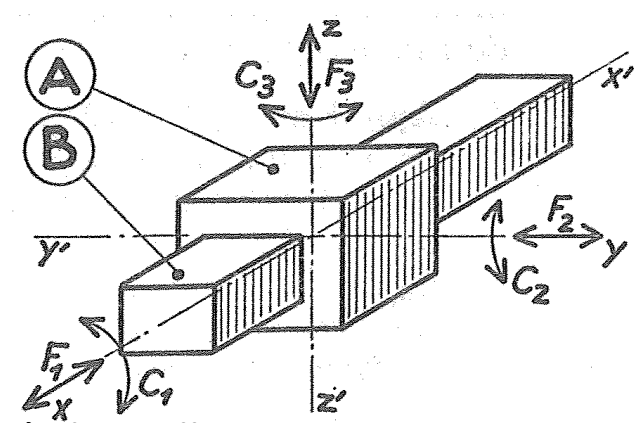
Manivelle simple : guides, ou paliers, disposés du même côté de la manivelle

Villebrequin : guides, ou paliers, disposés de part et d'autre du vilebrequin.

Conditions d'un bon guidage (rotation ou translation)

1. **Le mouvement doit être possible** : choix des formes de l'organe mobile et de ses guides, et choix des dimensions de ceux-ci, de façon à permettre le mouvement envisagé, suivant une trajectoire et avec une amplitude bien définies.
2. **Le mouvement doit être facile**, de façon que les résistances passives n'absorbent qu'une faible partie de l'énergie motrice ; → réduction des frottements, graissage, etc.
3. **Le mouvement envisagé doit être le seul possible** : liaison partielle s'opposant à tout mouvement autre que celui qui est prévu, et équilibrage des efforts sollicitant l'organe mobile dans une direction autre que celle du déplacement.

Guidage en translation



Problème : Soit un coulisseau se déplaçant par translation rectiligne sur une glissière, et soumis à des sollicitations pouvant se réduire à des forces F_1 , F_2 , F_3 et à des couples C_1 , C_2 , C_3 ; il s'agit de prévoir pour les deux pièces des dispositions constructives telles que le mouvement soit possible facile, et que ce mouvement soit le seul possible.

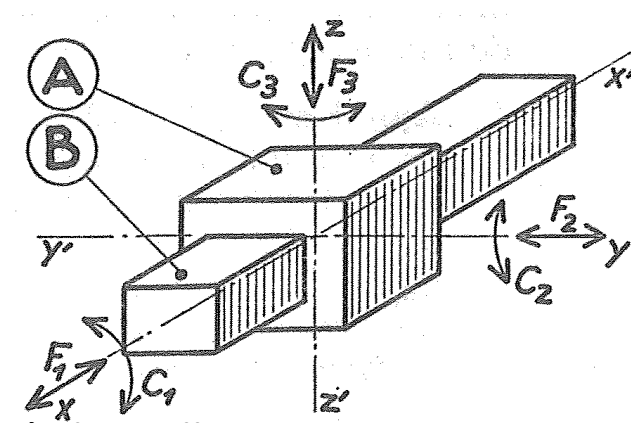
1. Mouvement possible.

1. Choix de formes permettant le mouvement de translation.
2. Possibilité pour l'organe mobile de décrire sa trajectoire sans rencontrer d'obstacle.

2. Mouvement facile. Réduction des pertes par frottement,

1. Choix des matériaux constituant le coulisseau et la glissière,
2. Choix des jeux de fonctionnement et de l'état de surface,
3. Par la lubrification,
4. Par le remplacement du frottement par unroulement.

Guidage en translation



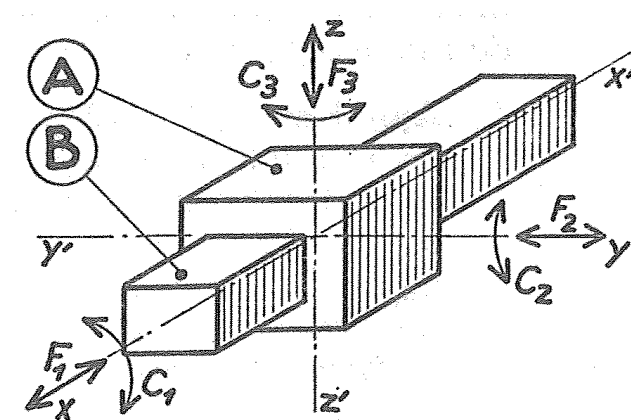
Problème : Soit un coulisseau se déplaçant par translation rectiligne sur une glissière, et soumis à des sollicitations pouvant se réduire à des forces F_1 , F_2 , F_3 et à des couples C_1 , C_2 , C_3 ; il s'agit de prévoir pour les deux pièces des dispositions constructives telles que le mouvement soit possible facile, et que ce mouvement soit le seul possible.

3. S'opposer à tout autre mouvement que le glissement prévu

1. **Réaliser une liaison partielle** s'opposant à tout mouvement induit par les forces F_2 , F_3 et par les couples C_1 , C_2 , C_3 :
 1. Choix des formes de A et B de façon à permettre l'équilibrage des forces F_2 , F_3 et des couples C_1 , C_2 , C_3 .
 2. Usinage précis en vue d'obtenir un assemblage glissant avec faible jeu.
 3. Choix de la longueur de guidage, de façon à éviter toute obliquité. **Longueur de guidage : Au moins 2 fois la grande longueur de la section du coulisseau.**
2. Maintenir la position glissière/coulisseau de façon invariable pendant le déplacement : axe bien rectiligne et section bien constante. Tolérances de forme et de dimensions très faibles, donc usinage précis et soigné.
3. Maintenir cette précision pendant le fonctionnement, (frottement : chaleur : dilatations / charges : déformations).
4. Maintenir cette précision pendant une longue période de fonctionnement, malgré l'usure des pièces frottantes or l'usure augmente les jeux et diminue la précision d'où choix de matériaux résistants à l'usure ; graissage, choix de formes assurant une précision indépendante de l'usure, adoption de dispositifs de rattrapage de jeu, etc.

4. Facilité de fabrication, de montage, de démontage, d'entretien.

Guidage en translation : forme des surfaces de guidage



1. Les formes choisies doivent permettre un mouvement relatif de translation ; celles qui répondent à cette condition sont l'assemblage plan/plan, l'assemblage cylindrique, l'assemblage prismatique.
2. Il faut, de plus que la translation soit le seul mouvement possible –

Section prismatique : OK

l'assemblage plan/plan devra être complété par des obstacles astreignant le mobile à parcourir une trajectoire rectiligne ;

l'assemblage cylindrique devra être complété par des obstacles s'opposant à toute rotation du coulisseau sous l'action du couple C.

3. L'usinage doit être facile et précis ; à ce point de vue, **l'assemblage cylindrique est le plus facile à réaliser**, l'assemblage prismatique le plus difficile.
4. La fabrication doit être économique ; **il faut donc rechercher le minimum de surfaces d'appui** ; en particulier, le guidage peut n'être que partiel si l'une des forces F1 ou F2, ou si l'un des couples C1, C2 ou C3 n'existe pas.

Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

- **Guidage à deux degrés de liberté.** Cas force F_3 est toujours dirigée vers le bas. Un guidage incomplet laissant au coulisseau, outre la possibilité de glissement suivant x , la liberté de déplacement suivant z , vers le haut ; d'où deux degrés de liberté.
- **Appui plan et guidage latéral** ; pour maintenir le coulisseau sur sa trajectoire rectiligne on le guide latéralement par **les cales** pour faciliter l'usinage et permettre le réglage du jeu latéral. Cette disposition permet l'équilibrage de la force F_2 et du couple C_3 ; la force F_3 , s'oppose à la rotation sous l'action de C_1 et C_2 . L'usinage est facile ; le positionnement plan sur plan est correct puisque les 2 surfaces ne s'appuient l'une sur l'autre que par deux bandes étroites ; le jeu dû à l'usure est rattrapé automatiquement dans le sens vertical ; il est rattrapé par le réglage des cales pour le jeu latéral.
- **Appui plan et liaison en translation par rainure et languette en V** : on reconnaît le positionnement plan sur plan, avec guidage des 2 pièces suivant une droite de leur plan commun ; le positionnement est donc bon ; l'équilibrage des forces F_2 , F_3 et des couples C_1 , C_2 , C_3 est possible grâce à la force F_4 . Ce guidage est assez facile à réaliser car il ne comporte que **trois faces à usiner et à ajuster** ; les dilatations peuvent s'effectuer librement ; il y a rattrapage automatique du jeu dû à l'usure. Exemple : banc de tour

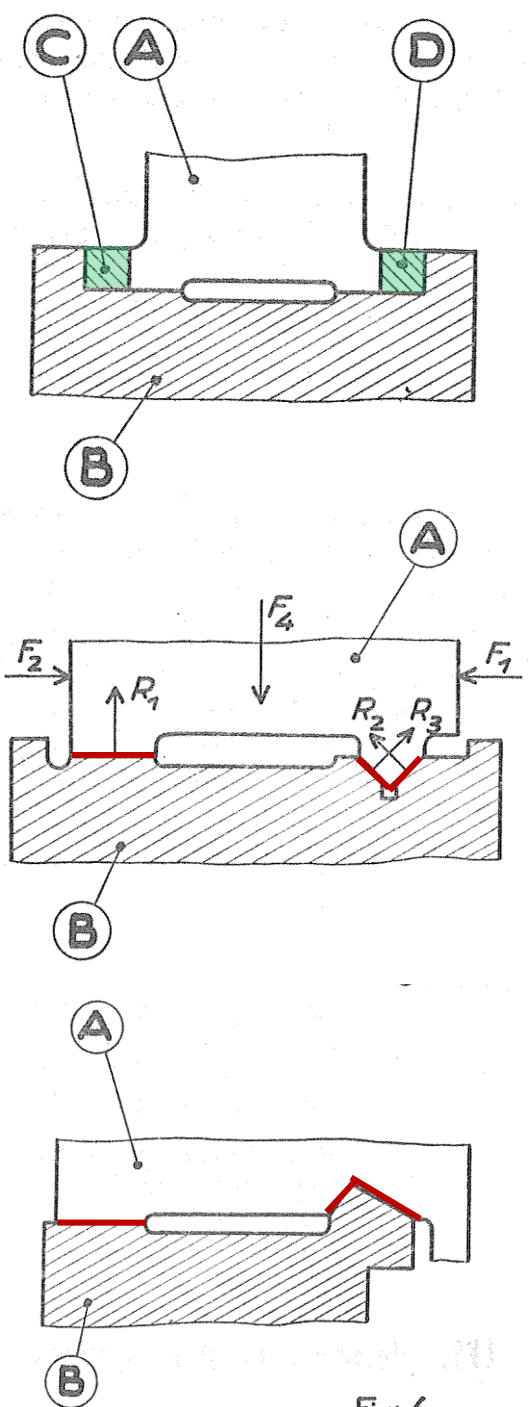
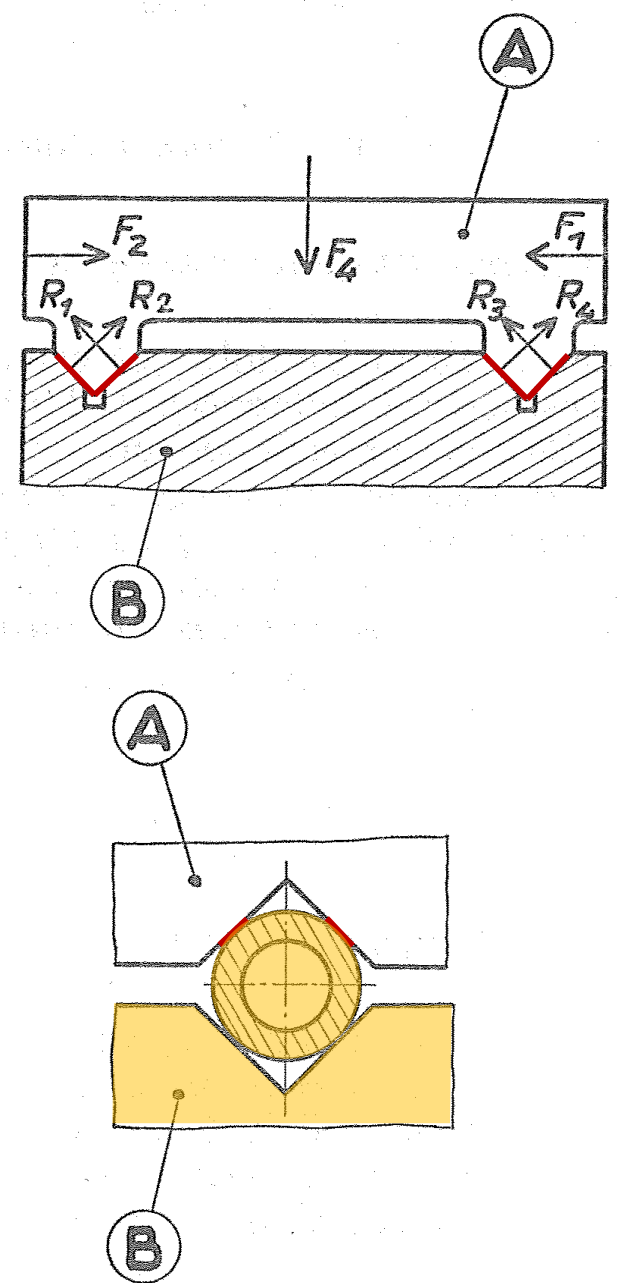


Fig.6

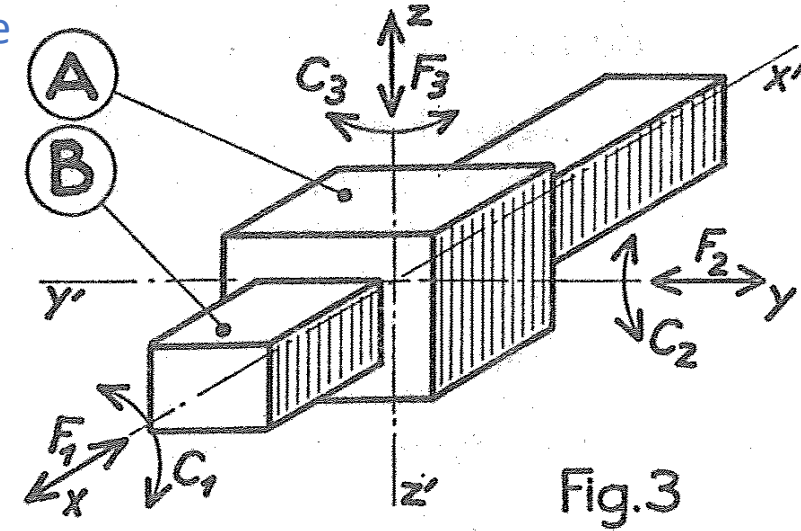
Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

- **Guidage à deux degrés de liberté.** Cas force F_3 est toujours dirigée vers le bas. Un guidage incomplet laissant au coulisseau, outre la possibilité de glissement suivant x , la liberté de déplacement suivant z , vers le haut ; d'où deux degrés de liberté.
- **Guidage par double rainure en V.** 2 rainures : très hyperstatique dans plusieurs directions. **Réalisation difficile** : rainures et languettes parfaitement parallèles ; distances d'axes soient exactement les mêmes, etc. ; permet le rattrapage automatique du jeu, mais pas les dilatations transversales.
- Les rainures et languettes en V peuvent être inversées ; les languettes peuvent être rapportées ; on peut alors utiliser des matériaux plus durs que la fonte du bâti, et plus résistants à l'usure ; l'usinage est plus facile, ainsi que l'ajustage.
- Matière plastique pour surfaces frottantes; celle-ci, mauvaise conductrice de la chaleur, ne transmet pas au bâti la chaleur dégagée par le frottement, réduction des dilatations.
- La forme en V des languettes peut être remplacée par une forme cylindrique, constituée par une barre, pleine ou creuse, fixée par vis sur B et sur laquelle glisse A ; la surface d'appui est très réduite, **emploi pour faibles charges**.

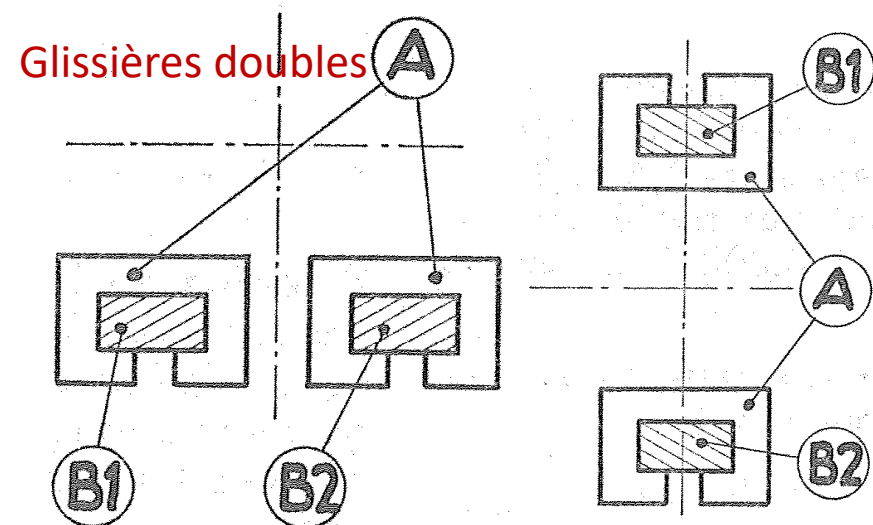
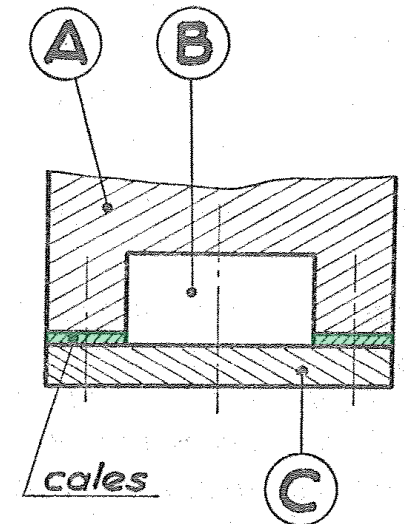


Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

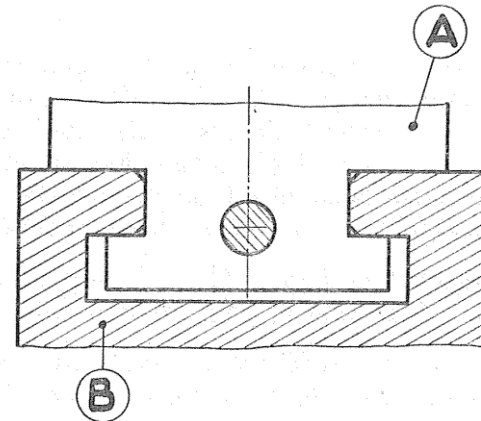
- **Guidage à un seul degré de liberté.** La glissière équilibre les efforts F_2 et F_3 , et les couples C_1 , C_2 , C_3 . Solution complète mais réalisation et ajustement difficiles.
- **Glissière à section rectangulaire.** la glissière peut être en **une** ou **deux pièces** (fig. 3 et 9), simple ou **double**; l'usinage, n'affectant que des plans parallèles ou perpendiculaires entre eux, est relativement facile, mais l'ajustement est difficile. Ces glissières sont utilisées pour le guidage du pied de bielle, notamment sur les locomotives à vapeur. L'**assemblage en T**, similaire à l'assemblage rectangulaire, est aussi utilisé notamment sur certains étaux à mors parallèles.



Glissière simple
en deux pièces



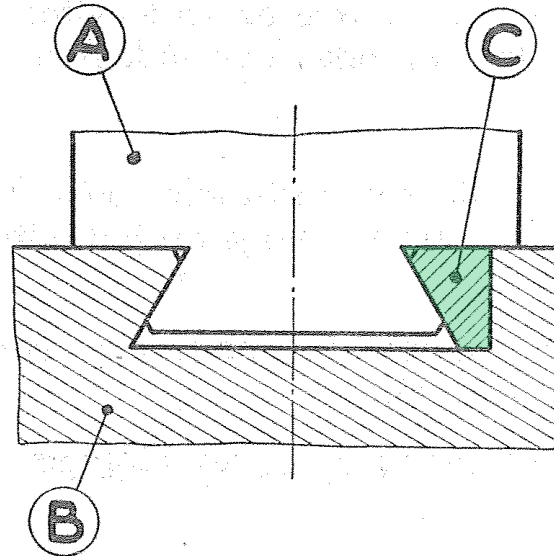
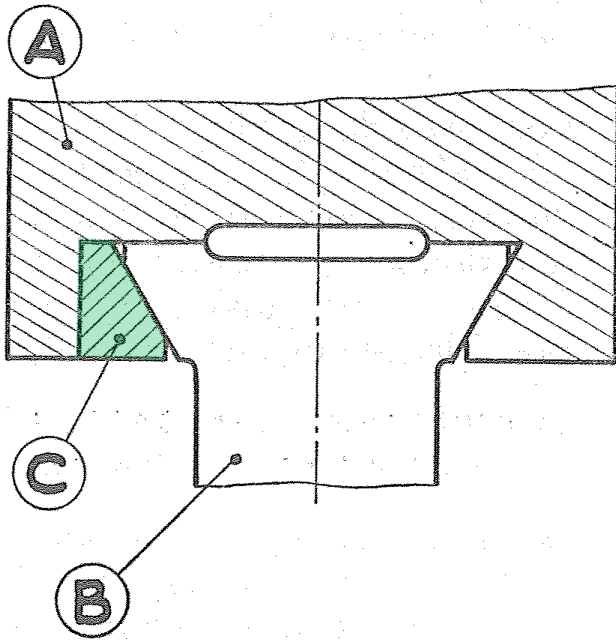
Assemblage en T



Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

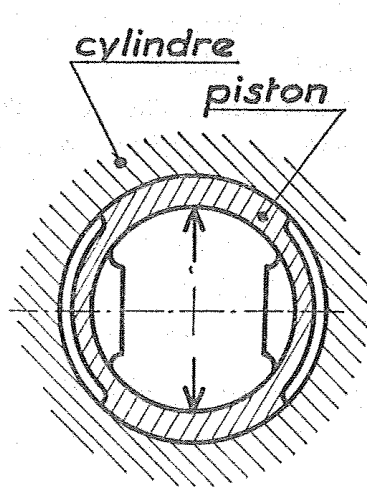
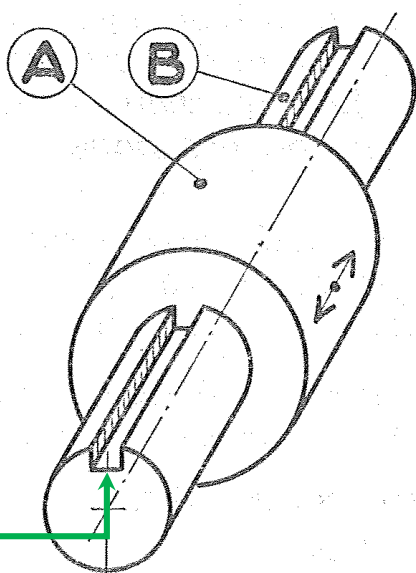
- **Guidage à un seul degré de liberté.** La glissière équilibre les efforts F_2 et F_3 , et les couples C_1 , C_2 , C_3 . Solution complète mais réalisation et ajustement difficiles.
- **Glissière à section trapézoïdale**, « en queue d'aronde » : cette forme, apparemment simple, est en réalité difficile à ajuster ; des **cales** facilitent l'ajustement, permettent le réglage du jeu et le rattrapage du jeu dû à l'usure.

Emploi : guidage des tables de machines-outils, chariots de tour, étaux à mors parallèles, etc.

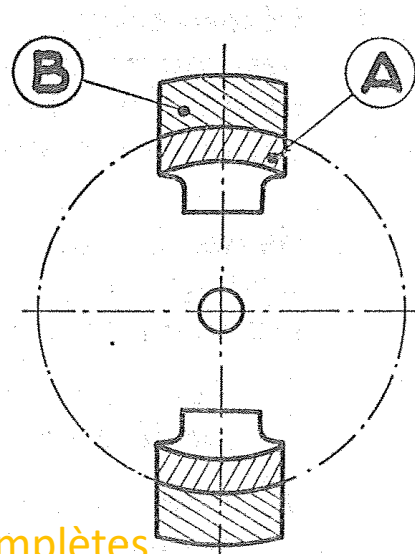


Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

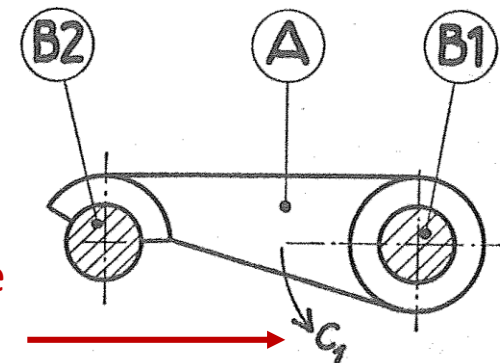
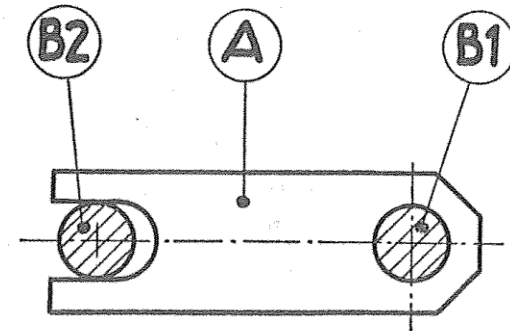
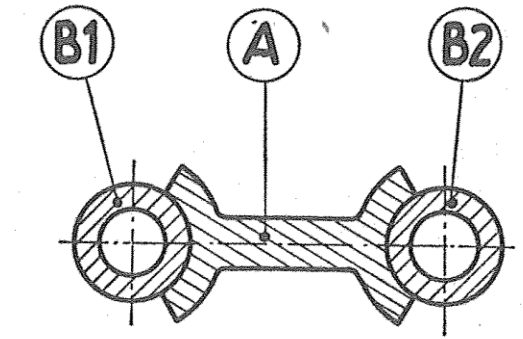
- **Guidage à un seul degré de liberté.** La glissière équilibre les efforts F_2 et F_3 , et les couples C_1 , C_2 , C_3 . Solution complète mais réalisation et ajustement difficiles.
- **Glissière à section circulaire**, elle laisse normalement deux degrés de liberté ; d'où nécessité de prévoir un **obstacle pour s'opposer à la rotation** sous l'effet du couple C_1 : clavette parallèle, arbre cannelé, etc.
- La section circulaire **incomplète** : piston d'automobile, coulisseau de machine à vapeur ;
- **Liaison circulaire double**, ce qui ne laisse plus au coulisseau qu'un seul degré de liberté.



Liaisons incomplètes



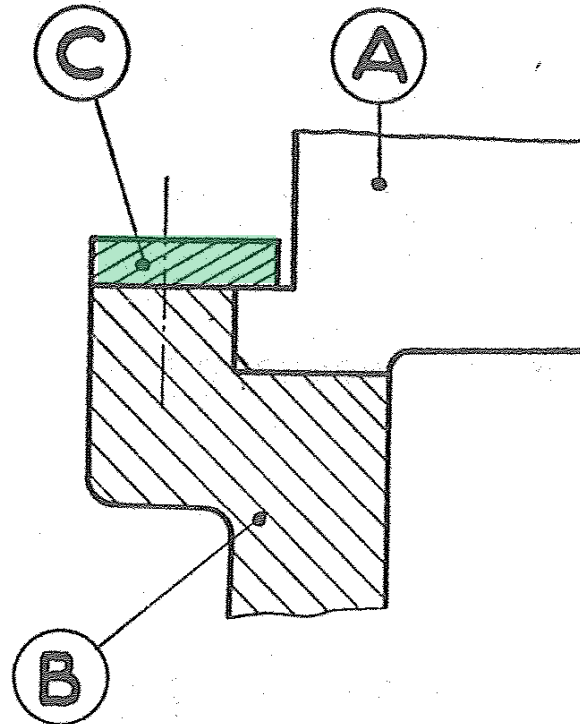
Couple
toujours
dirigé dans le
même sens



Liaisons circulaires doubles

Guidage en translation : forme des surfaces de guidage

- **Guidage à un seul degré de liberté.** La glissière équilibre les efforts F_2 et F_3 , et les couples C_1 , C_2 , C_3 . Solution complète mais réalisation et ajustement difficiles.
- **Adaptation d'une glissière à 2 degrés de liberté :** Ajout de contre-glissières pour s'opposer au soulèvement du coulisseau; contre-glissières fixées par vis → efforts faibles.



Guidage en translation : Précision du guidage

Facteurs de la précision du guidage.

1. Précision de la forme géométrique et des dimensions, résultant de la qualité de l'usinage.
2. Longueur de guidage.
3. Conservation de la forme et des dimensions initiales pendant le fonctionnement, donc déformations mécaniques et thermiques faibles.
4. Conservation de la précision dans le temps, donc usure faible, et dispositifs de rattrapage de jeu.

Guidage en translation : Précision du guidage

Précision de l'usinage.

Requise pour un jeu faible ; jeu : dépend de la tolérance de fabrication et de la position des tolérances de l'arbre et de l'alésage par rapport à la cote nominale

- Choisir des ajustements faibles mais compatibles avec le mouvement et avec les conditions de graissage ;
- Assemblage simple, cylindrique ou prismatique : ajustement H7/g6 ; (jeu de 0,001 à 0,002 d).

Tolérance de forme faible → jeu quasi uniforme & la surface d'appui effective importante.

Guidage en translation : Précision du guidage

Longueur de guidage.

L'inclinaison que peut prendre le coulisseau, par rapport à la glissière, dépend du jeu entre les 2 pièces et de la longueur de guidage;

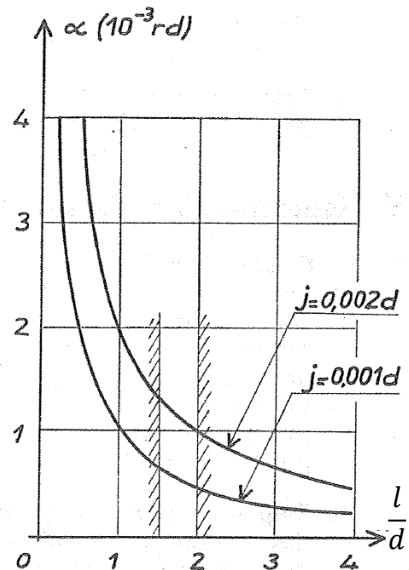
Règle choix longueur de guidage : $1.5 d < l < 2d$.

$\alpha = \text{jeu}/l$ (approximation de la tangente aux petits angles);

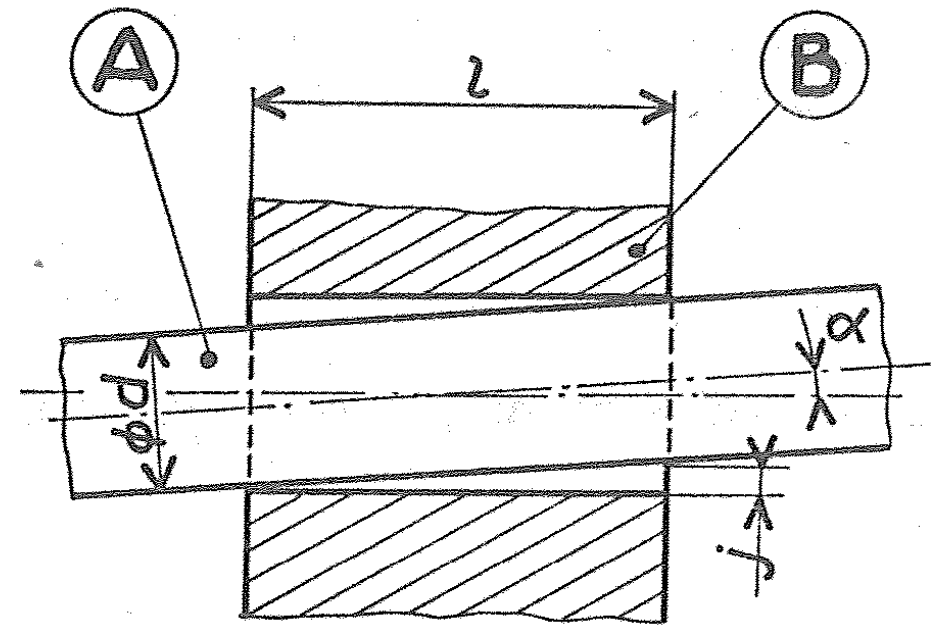
Avec :

jeu = 0,001 à 0,002 d,

$$\alpha = \frac{0,001}{l/d} \text{ ou } \frac{0,002}{l/d}$$



On constate sur le graph que l'angle augmente rapidement lorsque $l/d < 1,5$ et que le gain devient faible lorsque $l/d > 2$.



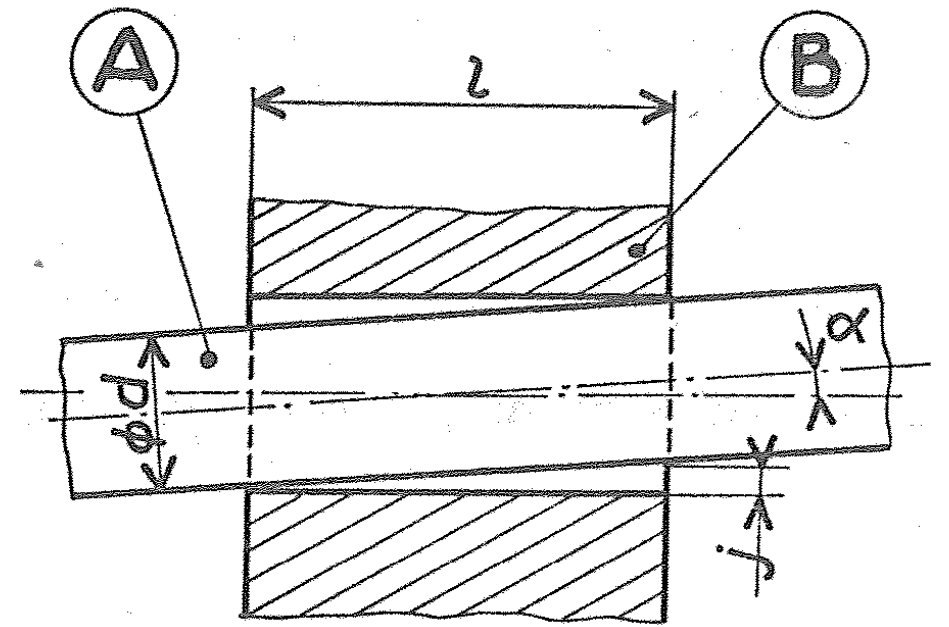
$$\text{tg.}\alpha = \frac{j}{l}$$

Guidage en translation : Précision du guidage

Longueur de guidage.

L'inclinaison que peut prendre le coulisseau, par rapport à la glissière, dépend du jeu entre les 2 pièces et de la longueur de guidage;

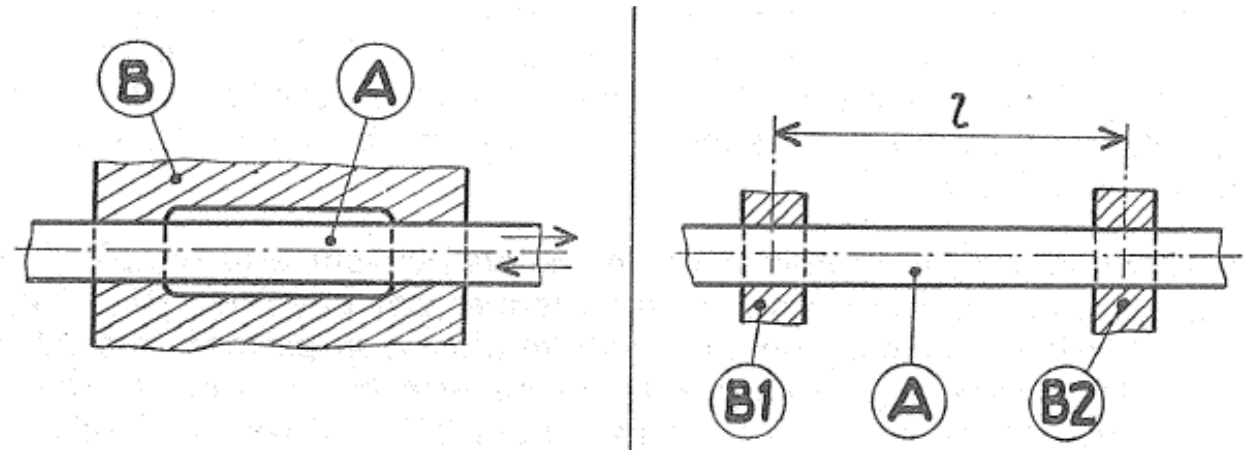
Règle choix longueur de guidage : $1.5 d < l < 2d$.



$$\text{tg}.\alpha = \frac{j}{l}$$

Grands guidages :

Si la longueur de guidage dépasse $2d$, il est préférable d'éviter la glissière ou de prévoir deux guides espacés; c'est notamment le cas lorsque l'on craint **l'arc-boutement** du coulisseau dans la glissière (effort F, désaxé par rapport au coulisseau).



Guidage en translation : Précision du guidage

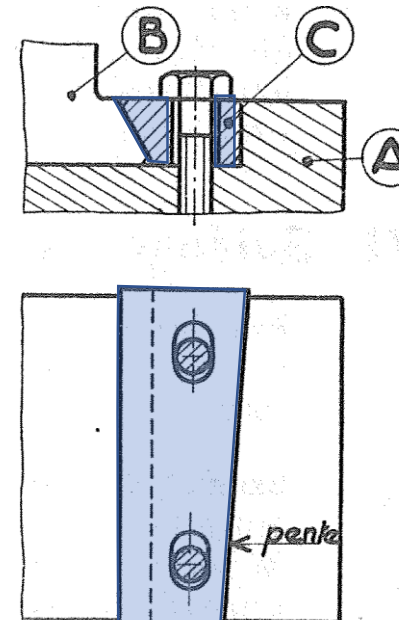
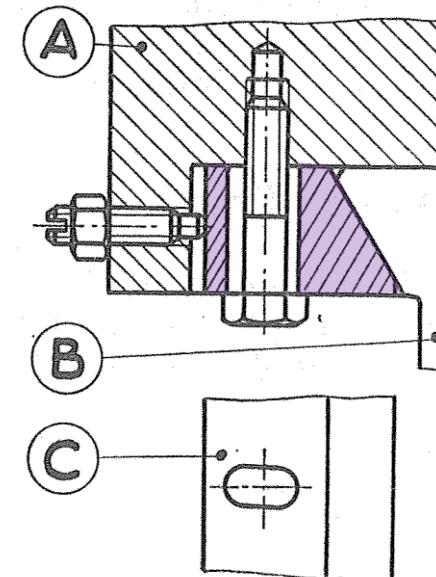
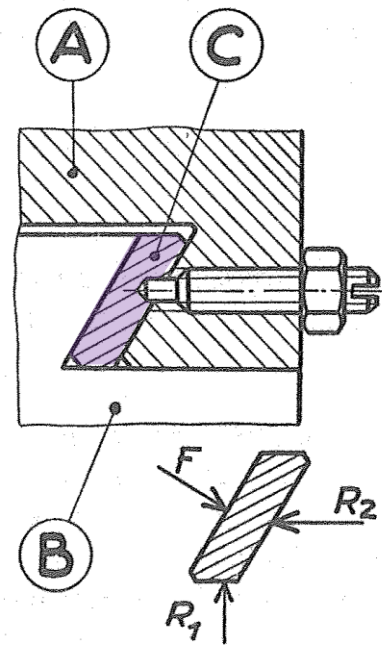
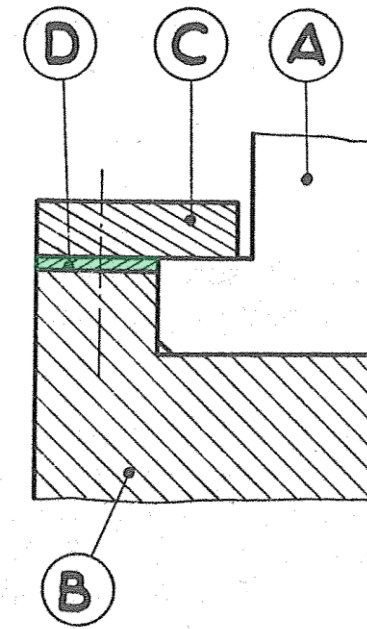
Déformations : **mécaniques** (charges et réactions), ou **thermiques** : (chaleur par frottement)

- Augmentation de la rigidité du coulisseau et du bâti,
- Réduction des frottements et notamment par un bon graissage.

Usure,
Réduction par le choix des matériaux ;

Dispositifs de rattrapage de jeu :

1. Des **cales d'épaisseur réglable**, la variation d'épaisseur pouvant être obtenue par enlèvement de matière par usinage, ou par enlèvement de feuilles de clinquant.
2. Des **cales d'épaisseur constante réglables en position**, et qui sont bloquées après réglage ;
3. Des **cales en forme de coin** agissant à la façon d'une clavette transversale.



Guidage en translation : Réduction des frottements

1. Choix des matériaux.

Pour les glissières et tables coulissantes de machines-outils, on utilise diverses variétés de fonte ; les glissières sont souvent rapportées en acier trempé ou nitruré pour diminuer l'usure ; les surfaces de frottement sont quelquefois en matière plastique ; pour les coulisseaux de locomotive, on utilise également l'acier avec garniture d'antifriction.

2. Amélioration de l'état de surface, par un polissage des surfaces frottantes.

3. Lubrification :

But 1 : Réduire les pertes par frottement et l'usure,
But 2 : Protéger les surfaces de glissement contre l'oxydation,
But 3 : Refroidir le coulisseau et la glissière.

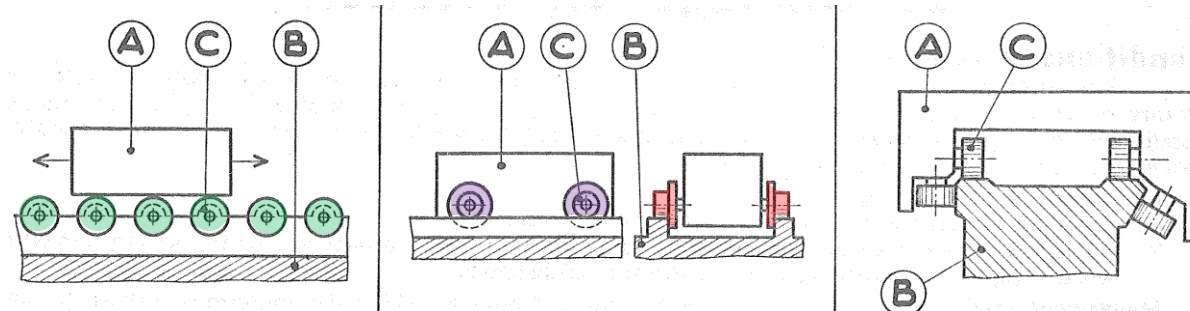
Pour les coulisseaux animés d'une grande vitesse et supportant de lourdes charges, on adopte des dispositifs assurant un graissage hydrodynamique : arrivée d'huile dans une zone de faible pression, rainures de répartition de l'huile, coins d'huile amorçant le film, relais, etc.

Pour les coulisseaux animés d'une faible vitesse, assurer un graissage onctueux : trous de graissage, rainures, etc. ; s'assurer que la pression entre surfaces est insuffisante pour expulser le lubrifiant.

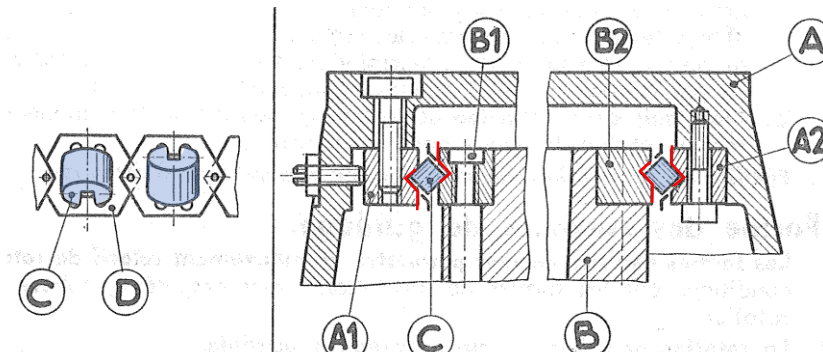
4. Remplacement de la résistance au glissement par une résistance au roulement beaucoup plus faible : guidage sur billes ou sur galets.

Guidage en translation : Guidage sur billes ou sur galets.

- Emploi de galets** : on interpose une série de galets cylindriques entre le coulisseau et la glissière ; les galets sont portés soit par la **glissière fixe**, soit par **le coulisseau formant chariot**; dans les deux cas, il faut assurer le **guidage latéral**; le coulisseau comporte encore deux degrés de liberté.
 Pour obtenir un guidage complet, avec un seul degré de liberté, on monte les galets dans des cages en tôle, et on les place dans des rainures en V, entre coulisseau et glissière, avec alternance de l'inclinaison des galets ;

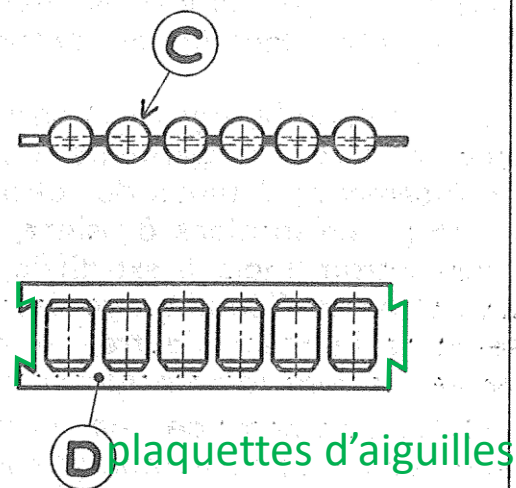
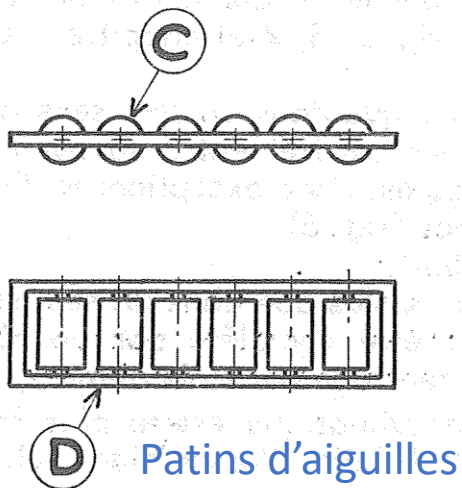


Glissière 1 DDL par galets :
Galets à inclinaison alternée
et rainure en V

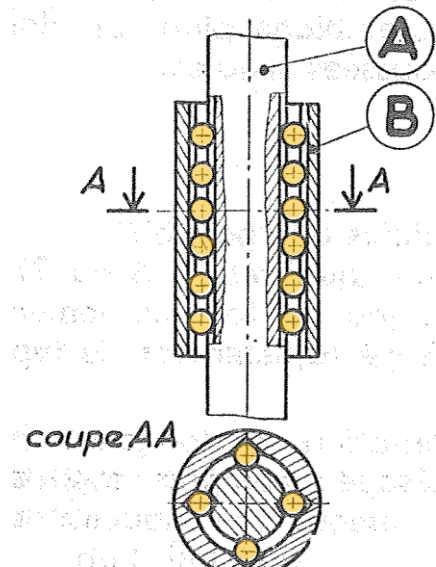
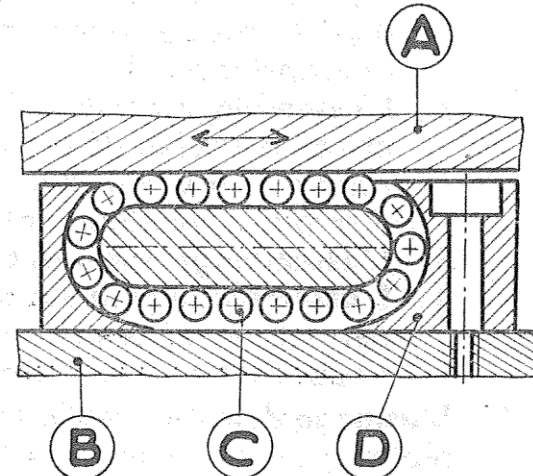


Guidage en translation : Guidage sur billes ou sur galets.

- Emploi de chemins d'aiguilles.** Pour diminuer l'encombrement, galets remplacés par « patins d'aiguilles » comportant des aiguilles maintenues par une cage ou des « plaquettes d'aiguilles » dans lesquels la cage, en matière plastique, permet l'assemblage bout à bout des plaquettes. **Les chemins de roulement doivent être trempés et rectifiés, ou constitués par des bandes d'acier à ressort trempé, et fortement tendues.** On utilise également des patins à rouleaux circulants.
- Emploi de billes, sur glissière cylindrique :** les billes, placées à cheval dans les rainures de la glissière et dans celles du coulisseau, s'opposent à la rotation relative des 2 pièces tout en permettant leur translation.



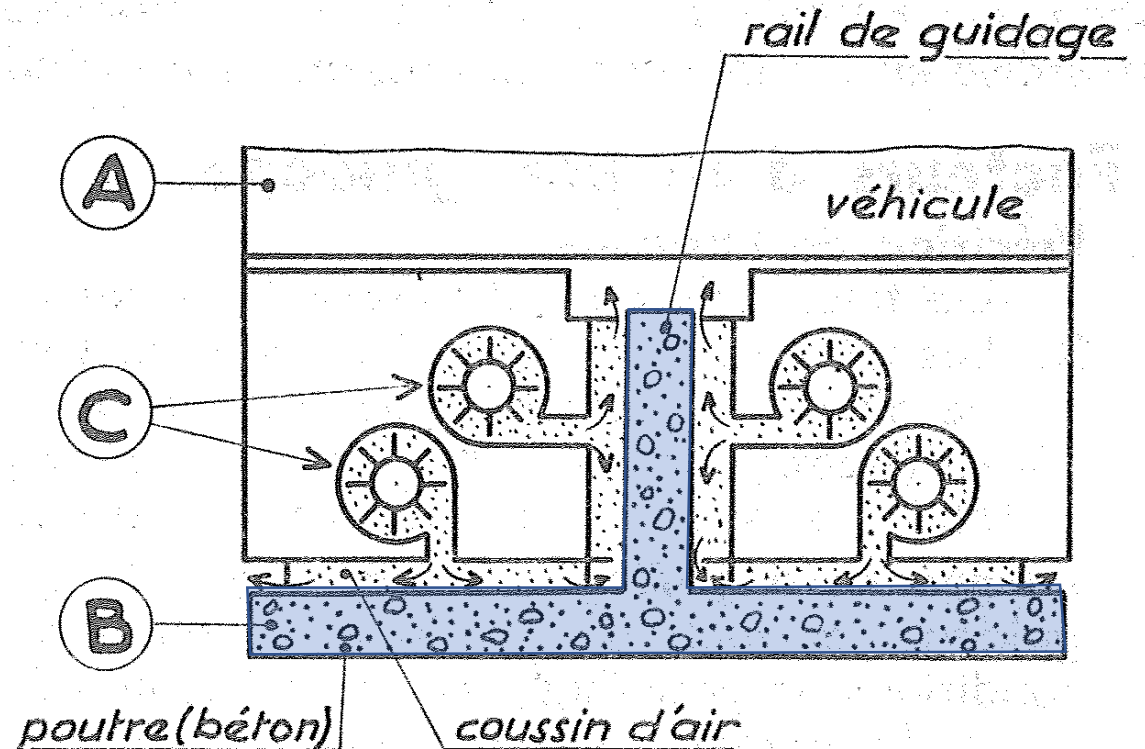
patins à rouleaux circulants



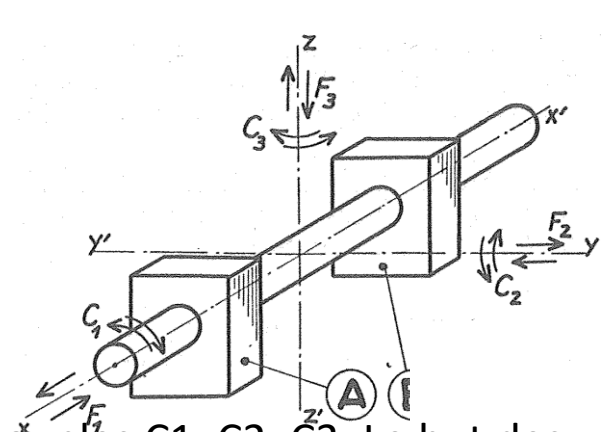
Guidage en translation : Guidage sur coussin d'air.

on interpose un matelas d'air en légère surpression entre le mobile et son guide ; d'où suppression du frottement direct et de l'échauffement ; ce dispositif est à rapprocher du graissage sous pression, le lubrifiant étant ici de l'air.

Exemple de réalisation : aérotrain Bertin. La sustentation est assurée par envoi d'air comprimé entre le véhicule et la voie ; le guidage est effectué par les coussins d'air latéraux entre le véhicule et la poutre verticale ; l'air comprimé est fourni, à la pression effective de 0,05 bar, par les compresseurs. La propulsion est assurée par un moteur à hélice, ou par un moteur asynchrone linéaire. Critique : pas de frottements, pas d'organes mécaniques de transmission, d'où possibilité de grandes vitesses (300 à 400 km/h) .

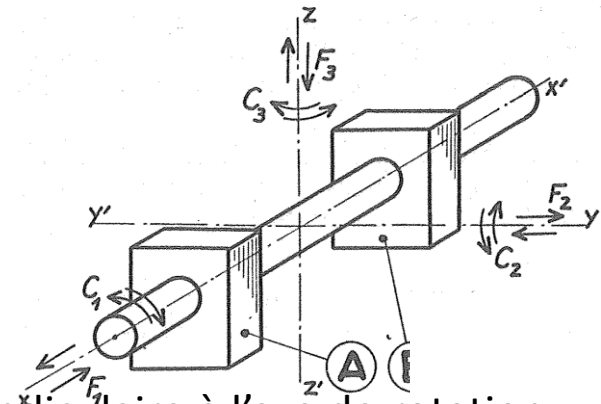


Guidage en rotation



- **Problème** : Soit un arbre tournant dans deux guides et soumis à des forces F_1 , F_2 , F_3 , et des couples C_1 , C_2 , C_3 . Le but des appuis est de guider le mouvement de rotation de l'arbre, c'est-à-dire de rendre ce mouvement possible (C_1), et de s'opposer à tout autre mouvement (F_1, F_2, F_3, C_2, C_3).
1. **Mouvement possible**,
 1. Choix de formes permettant le mouvement de rotation.
 2. Possibilité de décrire la trajectoire (circonférence complète ou partielle) sans rencontrer d'obstacles.
 2. **Mouvement facile** : réduction des frottements : choix des matériaux, graissage.
 3. **S'opposer à tout autre mouvement que le mouvement de rotation** induit par C_1 :
 1. Réaliser une liaison partielle s'opposant à tout mouvement autre que le mouvement de rotation :
 1. par le choix de la forme des appuis ;
 2. par la réalisation d'un assemblage avec faible jeu, ce qui exige un usinage précis ;
 3. par le choix de la longueur de guidage.
 2. Maintenir cette, précision de la liaison pendant le fonctionnement, malgré déformations et dilatations et dans le temps, donc faible usure.
 4. **Facilité de fabrication, de montage, de démontage, d'entretien.**

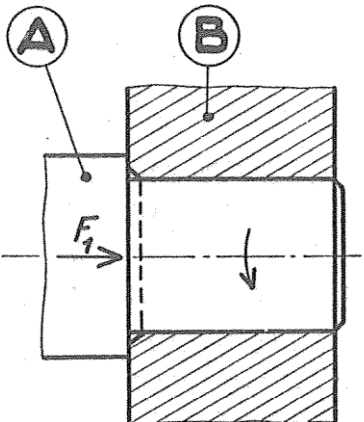
Guidage en rotation : Formes des surfaces de guidage



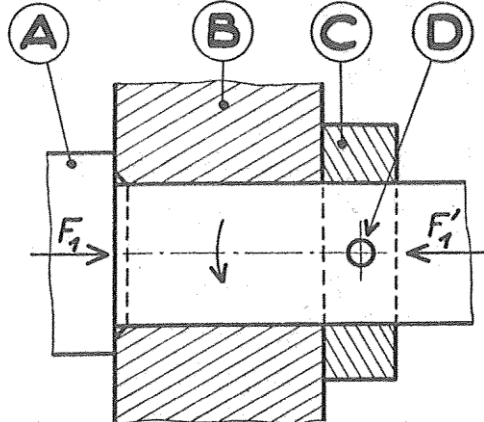
Formes permettant une rotation : Les formes de révolution : cylindre, cône, sphère, plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

1. **L'assemblage cylindrique**, qui laisse deux degrés de liberté, doit être complété par des obstacles s'opposant au glissement de l'arbre dans ses appuis et permettant l'équilibrage des poussées axiales (force F_1) : **butée en bout ou embase** dans le cas où la poussée axiale se produit toujours dans le même sens ; **embase double** dans le cas contraire.
2. **L'assemblage conique** ne permet l'équilibrage des poussées axiales que dans un seul sens, et ces poussées déterminent des forces tangentielles de frottement qui freinent le mouvement de rotation ; il y a risque de coincement ; l'emploi de cet assemblage est donc exceptionnel. Exemple d'emploi : **montage entre pointes de la pièce à usiner, sur le tour**.

Embase simple



Embase double goupillée



Embase double

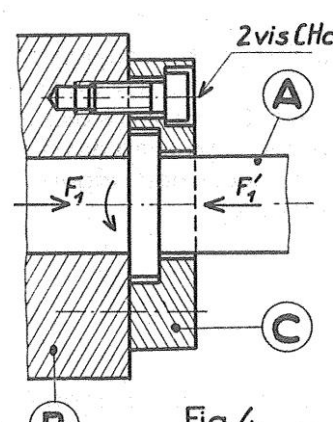
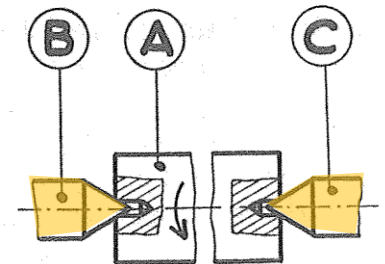
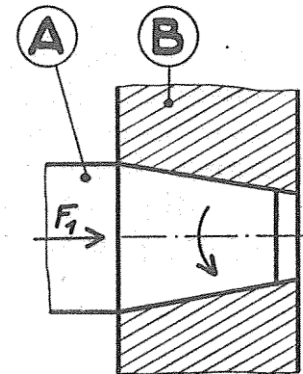


Fig.4

Assemblage conique



Guidage en rotation : Formes des surfaces de guidage

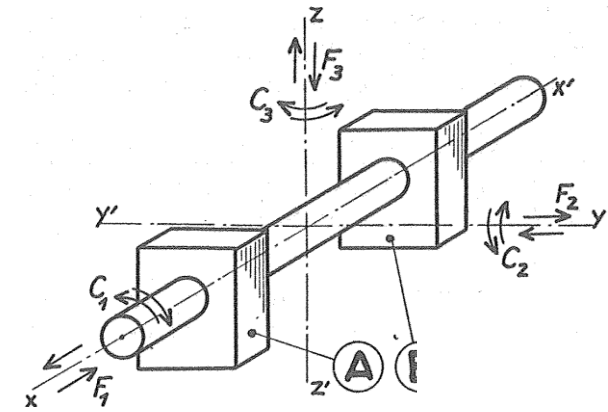
Formes permettant une rotation : Les formes de révolution : cylindre, cône, sphère, plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

3. **L'assemblage sphérique** conviendrait, mais il est difficile à réaliser. .
4. **L'assemblage plan sur plan** ne permet l'équilibrage des poussées axiales que dans un seul sens ; il permet le glissement des plans l'un sur l'autre ; il doit donc être complété par un obstacle s'opposant à ce glissement et assurant la coïncidence des axes (centrage par emboîtement).

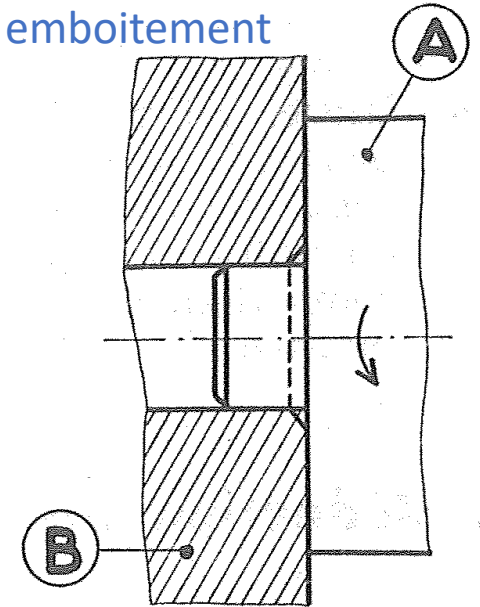
Usinage d'un guidage en rotation : L'usinage doit être facile et précis ; à ce point de vue, l'assemblage cylindrique est le plus facile à réaliser, avec l'assemblage plan sur plan ; l'assemblage conique est difficile ; l'assemblage sphérique, très difficile, est à exclure.

La fabrication doit être économique, donc ne prévoir que le minimum de surfaces d'appui.

En résumé, c'est l'assemblage cylindrique, complété éventuellement par une liaison en translation, qui remplit le mieux toutes les conditions et qui est le plus utilisé ; l'assemblage plan sur plan est utilisé en complément de l'assemblage cylindrique, pour l'équilibrage des poussées axiales.



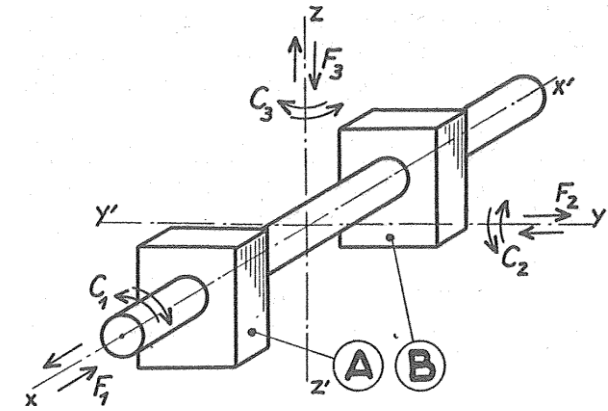
Assemblage plan-plan avec centrage par emboîtement



Guidage en rotation : Comment faire un bon guidage ?

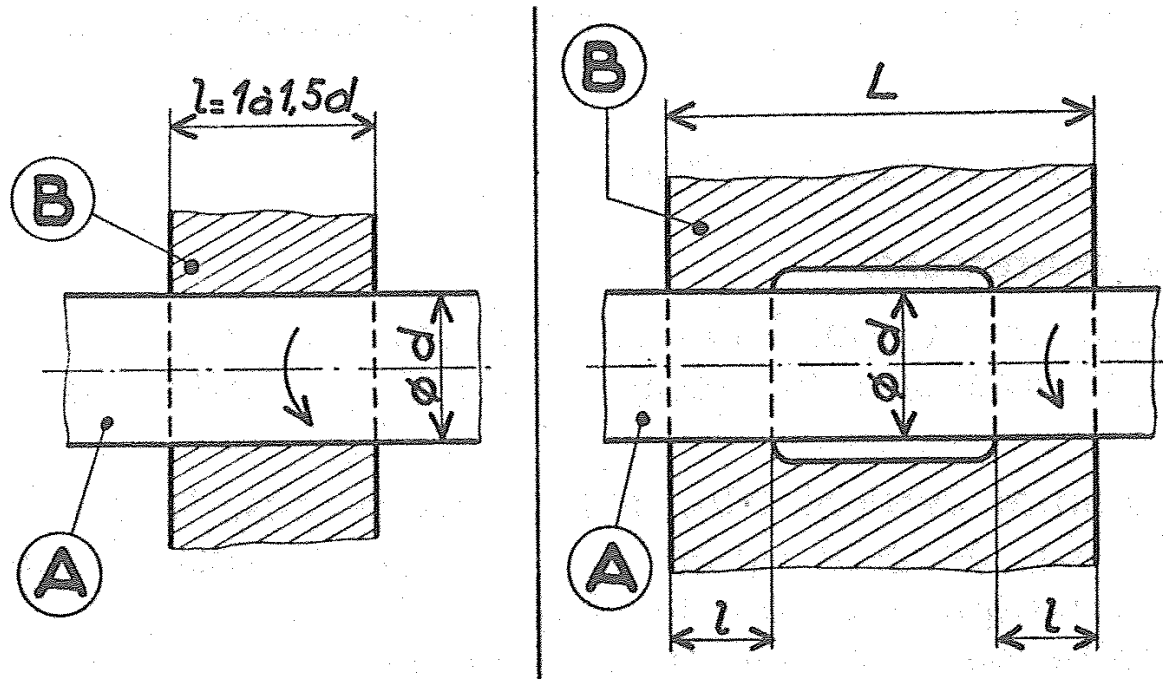
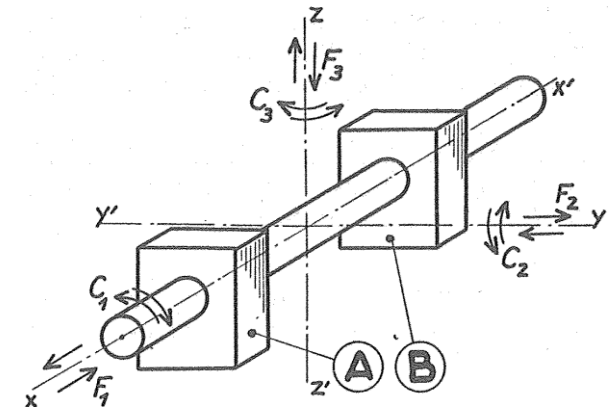
1. Précision de l'usinage.

1. Les tolérances de rectitude de l'axe et de cylindricité doivent être aussi faibles que possible.
2. Les tolérances de dimensions de l'arbre et de l'alésage doivent être faibles (qualités **5, 6 ou 7**) ; de plus, l'ajustement choisi doit laisser entre les pièces assemblées un jeu de fonctionnement suffisant pour la rotation de l'arbre, et pour l'obtention d'un bon graissage (ajustement de type H/f) ; **la valeur moyenne du jeu est de 0,0015 à 0,002 d.**

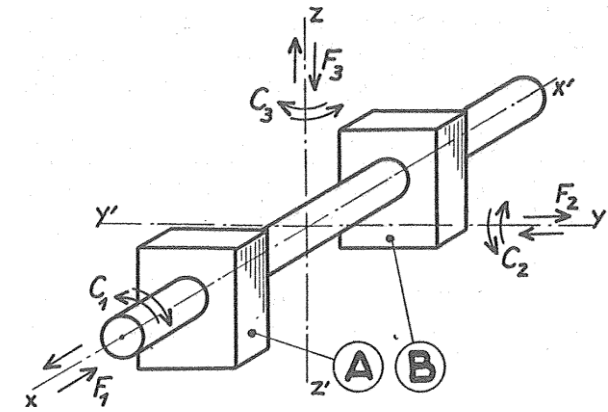


Guidage en rotation : Comment faire un bon guidage ?

2. **Longueur de guidage.** Comme pour le guidage en translation, l'augmentation de longueur du guidage permet de diminuer l'obliquité de l'arbre par rapport à l'alésage ; compte tenu des conditions de graissage, on adopte habituellement $l = 1 \text{ à } 1,5d$; lorsque la longueur des pièces le permet, on fractionne le guidage en deux parties aussi éloignées que possible l'une de l'autre.

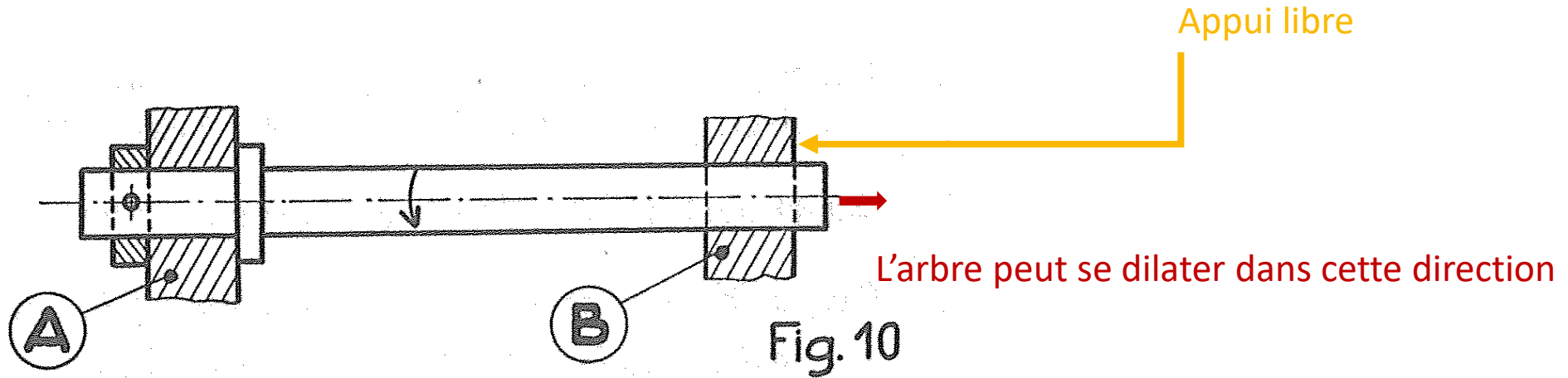


Guidage en rotation : Comment faire un bon guidage ?



3. Prévoir les déformations

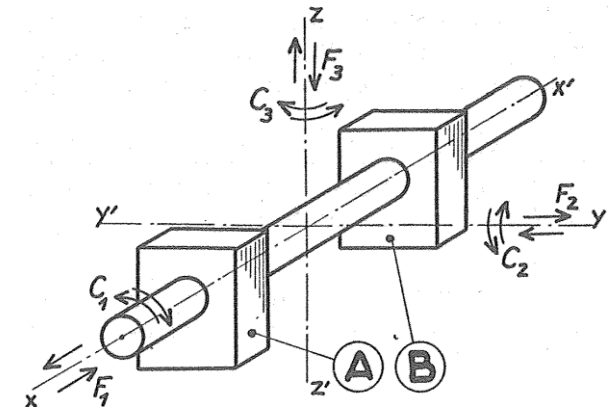
1. Sous l'effet de la chaleur, l'arbre se dilate ; il ne faut pas s'opposer à cette déformation, sous peine de contrainte de compression et risque de flambage ; pour cela, la liaison en translation de l'arbre et du bâti s'effectue sur l'un des appuis ; l'autre appui est libre, ce qui permet la libre dilatation de l'arbre.



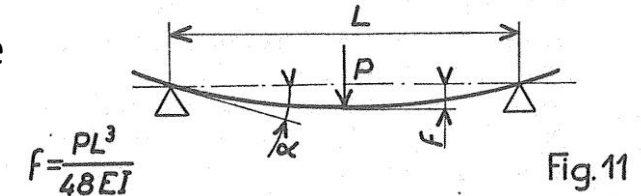
Guidage en rotation : Comment faire un bon guidage ?

3. Prévoir les déformations

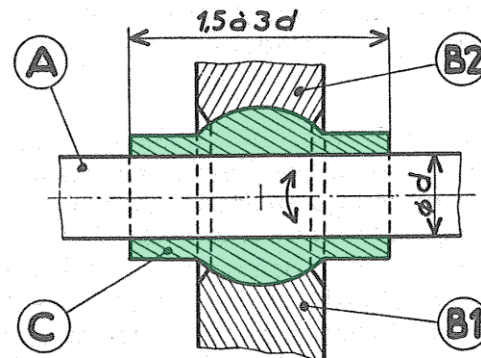
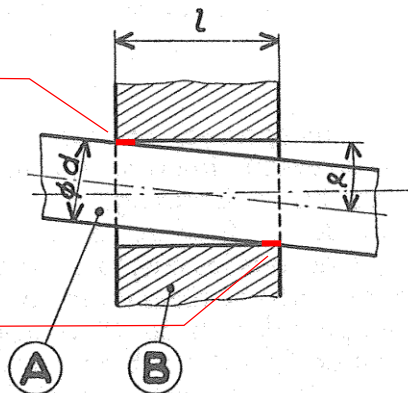
2. Sous l'effet des forces F_2 et F_3 , et des couples C_2 et C_3 , l'arbre fléchit;
 - ➔ mauvais alignement de l'arbre/appuis, ➔ une surface d'appui réduite, ➔ usure inégale
- a) Rapprocher les appuis afin de diminuer la flèche (action sur L).
- b) Augmenter la rigidité de l'arbre. Moment d'inertie I : (augmentation du diamètre d ou adoption d'un arbre creux), Module d'Young E (choix de matériau plus rigide).
- c) Diminuer la longueur des appuis.
- d) **Appuis articulés**, permettant aux coussinets de suivre la déformation de l'arbre. Solution pour arbre est long et fortement chargé ; dans ce cas, choisir $l = 3d$.



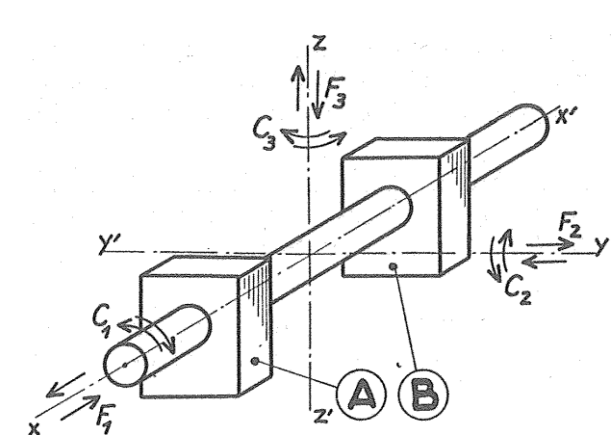
Arbre modélisé comme une poutre



usure

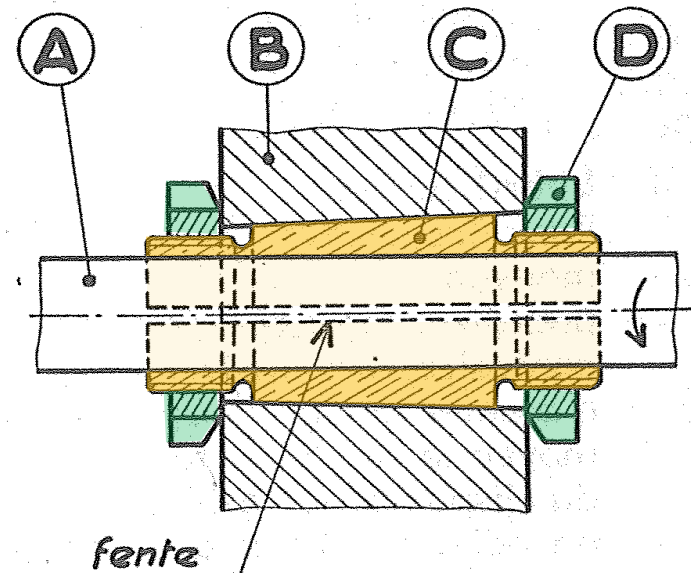


Guidage en rotation : Comment faire un bon guidage ?



4. **Usure.** Utiliser des matériaux durs et résistants à l'usure ; adopter un graissage hydrodynamique, évitant le frottement direct des matériaux en contact.
Le rattrapage du jeu dû à l'usure est difficile à faire, car l'usure ne se produit pas d'une façon uniforme et **les coussinets ont tendance à s'ovaliser** ;

On utilise des **coussinets fendus, coniques** extérieurement, et comportant **2 écrous** pour le réglage du jeu et le blocage.



Guidage en rotation : Réduction des frottements

1. **Choix des matériaux.** Les arbres de transmission de grande longueur sont en acier comprimé ou étiré, de nuance mi-doux ou mi-dur ; Acier traités pour augmenter leur dureté ; les supports, **bagues ou coussinets sont le plus souvent en bronze**, ou en acier avec garniture d'antifriction.

2. **Amélioration de l'état de surface**, par un polissage des surfaces frottantes.

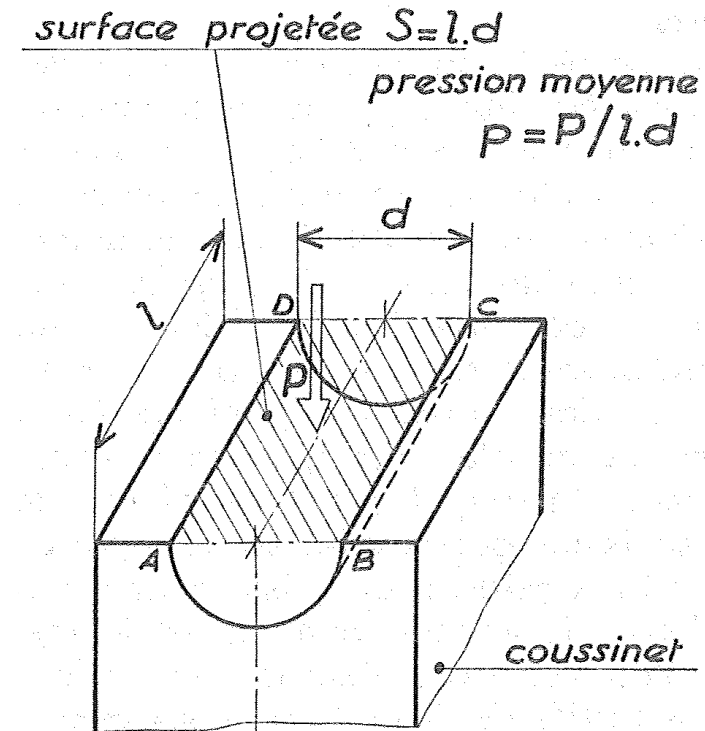
3. **Lubrification :**

Pour les rotation rapides /couple importants : graissage hydrodynamique = présence d'un film d'huile entre les deux pièces.

Pour les rotation faible vitesse ou faible amplitude, assurer un graissage onctueux.

Dans tous les cas, la pression moyenne sur la surface projetée $p = P/ld$, doit être modérée et fixée en fonction du dispositif de graissage, afin d'éviter l'expulsion du lubrifiant ;

exemple : dans le cas d'un arbre en acier sur bronze, avec graissage intermittent, on adopte $p = 1$ à 1.5 MPa ; avec graissage continu : $p = 2$ à $2,5$ Mpa, Attention la température de l'huile $< 80^\circ$;

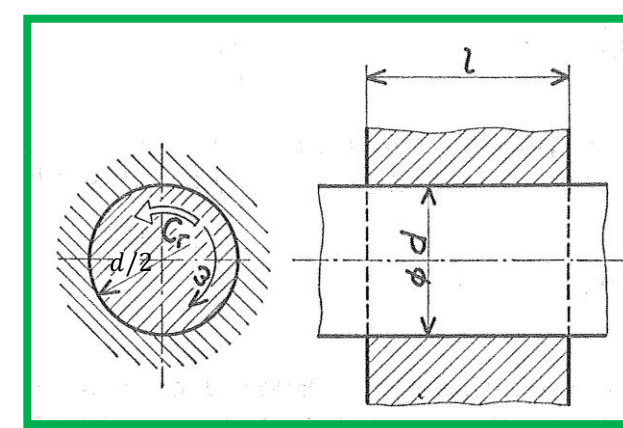


Guidage en rotation : Réduction des frottements

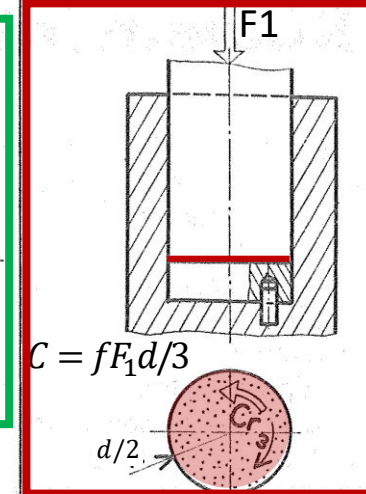
1. Dispositions constructives pour réduire les frottements

- Arbre horizontal et coussinet :** le couple résistant $C = fF_2d/2$ où f est le coefficient de coulomb et F_2 l'effort orthogonal; on ne peut agir que sur f (matériaux en contact).
- Arbre sur butée circulaire.** Exemple : pivot d'arbre vertical ; dans ce cas, le couple résistant $C = fF_1d/3$ (surface frottante : fond de l'arbre); pour réduire C , on peut diminuer f ; on peut aussi réduire la surface d'appui, par utilisation d'un **appui sphérique** ou **conique**; mais la pression de contact est alors très élevée, d'où risque de déformation permanente et difficultés de graissage ; ces dispositifs ne peuvent être utilisés qu'avec des matériaux très durs.
- Arbre sur embase en forme de couronne circulaire :** $C \approx fF_1R_m$, le rayon moyen $R_m = (R + r)/2$; outre l'action sur f , on peut essayer de réduire R , c'est-à-dire R et r ; mais il en résulte une diminution de la surface d'appui, et une augmentation de la pression de contact.

- Remplacement de la résistance au glissement par une résistance au roulement beaucoup plus faible :** guidage sur billes ou sur galets.



$$C = fF_2d/2$$



$$C = fF_1d/3$$

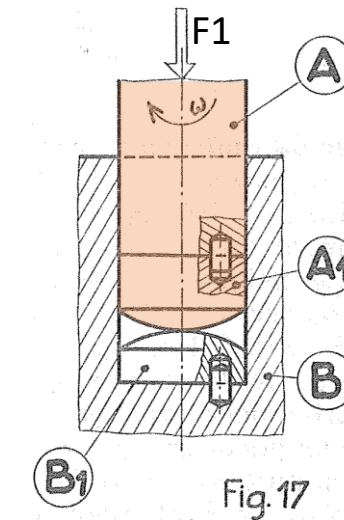


Fig.17

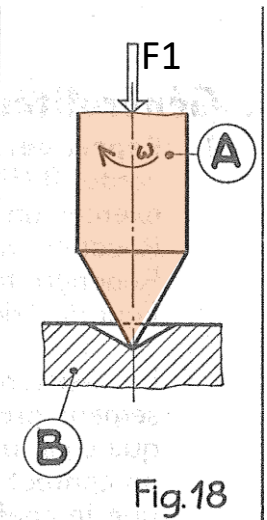
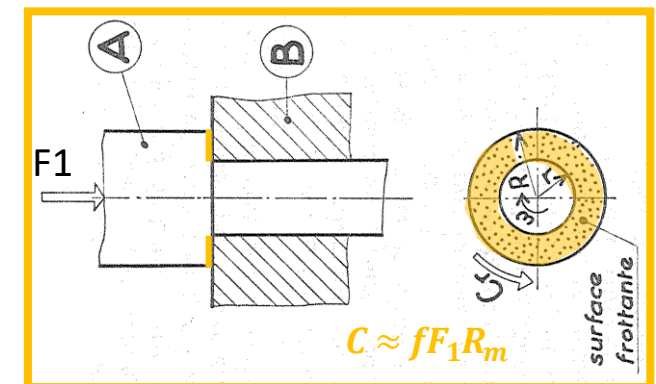


Fig.18



$$C \approx fF_1R_m$$

surface frottante

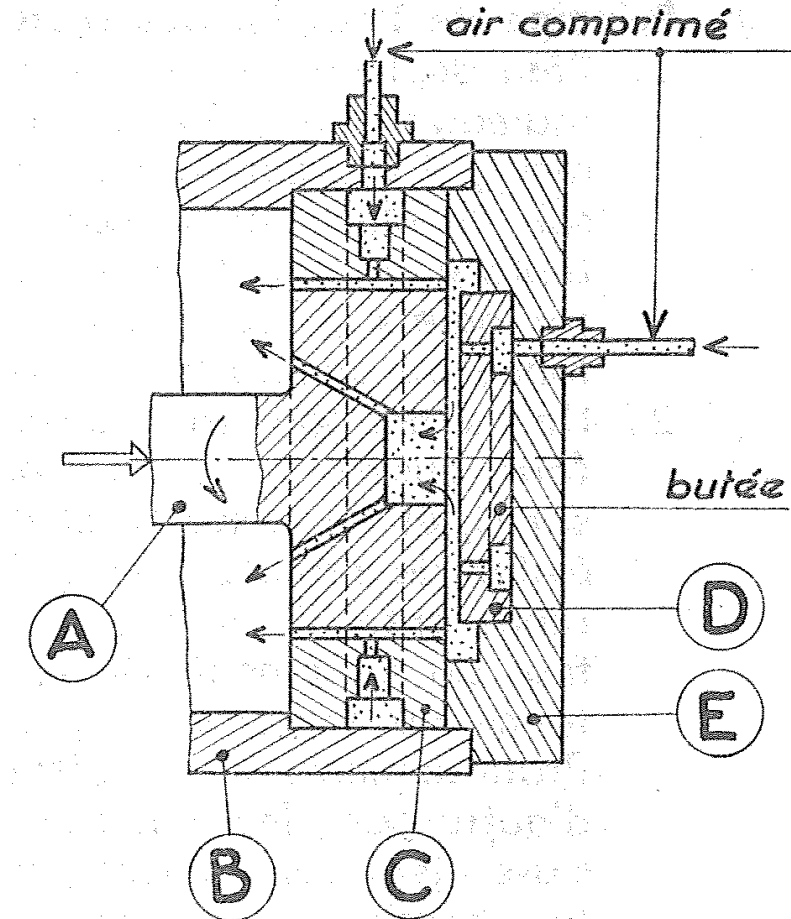
Guidage en rotation : Réduction des frottements

Principe : formation d'un film continu d'air entre l'arbre et son support, d'où suppression de tout contact, de toute usure et de tout échauffement ; le fonctionnement est analogue à celui du palier hydrodynamique, avec formation du film par coin d'air ; d'autre part, l'air porte l'arbre et joue le rôle de lubrifiant.

Critique : l'air est très compressible et sa viscosité est faible ; la capacité de charge d'un palier à air est donc faible ; d'autre part, elle varie avec la vitesse de rotation et s'annule en dessous d'une certaine vitesse nécessaire à la formation du film d'air. On remédie à cet inconvénient par envoi d'air sous pression ; la capacité de charge est alors indépendante de la vitesse, et on peut la faire varier par action sur la pression de l'air comprimé.

Paliers à auto-formation du film d'air : machines tournant à grande vitesse, avec faible charge et fonctionnement continu.

Paliers à air comprimé : machines à rectifier, machines à polir, instruments et appareil de mesure, etc.



Cours 3 : Éléments de construction mécanique

- Roulements
- Paliers
- Articulations

Roulements

Rappel des lois du roulement,

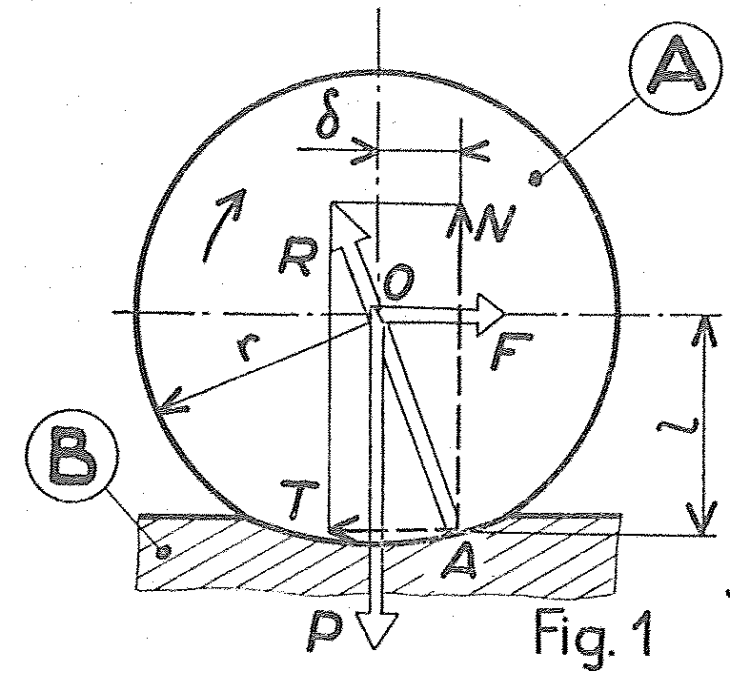
Soit un cylindre A de rayon r , de poids P , reposant sur un plan horizontal B ; par suite de la déformation mutuelle des 2 corps, il faut, pour faire rouler A sur B, exercer un effort F ; les équations d'équilibre donnent :

- **Réaction normale** : $N = -P$;
- **Réaction tangentielle** $T = -F$; c'est la résistance au roulement ;
- **Equation de moments** : $F \cdot l = P\delta$, d'où l'on tire : $F = P \delta / l \approx P\delta / r$.

La résistance au roulement est donc proportionnelle à la charge normale P , proportionnelle à δ , inversement proportionnelle au rayon r ; δ est appelé coefficient de résistance au roulement.

ATTENTION : δ/r est d'autant plus faible que les matériaux en contact sont plus durs.

Pour les mêmes matériaux en contact, le terme δ/r est beaucoup plus faible que le coefficient de frottement à sec f (rapport de l'ordre de 1 à 100) ; la résistance au roulement est donc beaucoup plus faible que la résistance au glissement à sec.



Dispositif	δ/r
roulement à billes	0,001 5
roulement à rouleaux	0,002
roulement à aiguilles	0,004

Roulements

Principe de l'emploi des roulements.

1. Pour déplacer un bloc de pierre, au lieu de le faire glisser sur le sol, le monter sur des rouleaux ; la charge est équilibrée par les réactions des rouleaux ; pendant le mouvement, il y a simultanément roulement du bloc sur les rouleaux et roulement de ceux-ci sur le sol ; le bloc avance donc deux fois plus vite que les rouleaux ; c'est ce principe qui est utilisé dans le guidage en translation par roulement sur galets ou sur roulements à aiguilles ;

La résistance au glissement est remplacée par une double résistance au roulement.

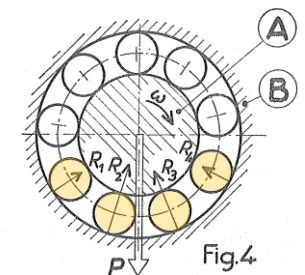
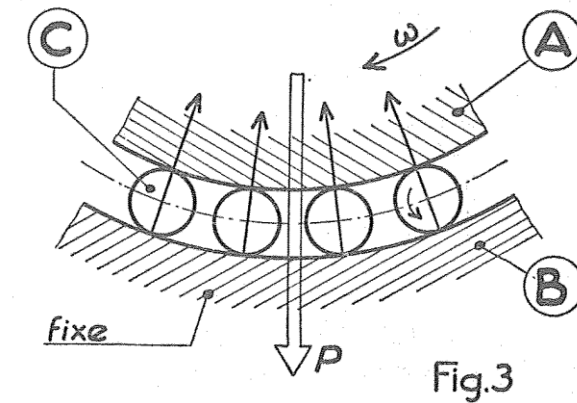
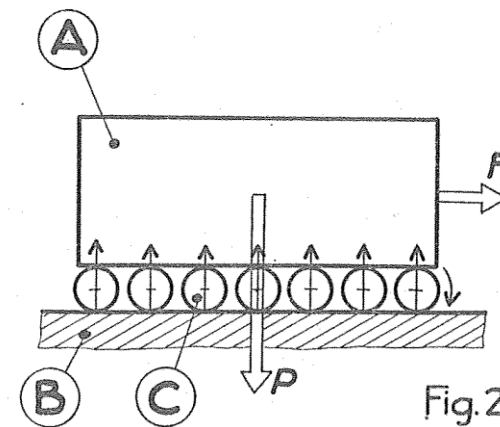
2. Pour faire tourner un arbre dans un support fixe, au lieu de le faire glisser sur le moyeu, le monter sur des rouleaux ; ici encore, double roulement, et l'arbre tourne plus vite que les rouleaux ;

seuls les galets inférieurs supportent la charge, mais ils participent tous au roulement.

La résistance au glissement est remplacée par une double résistance au roulement.

3. En pratique, difficile d'ajuster avec précision les rouleaux entre l'arbre et son support & usure : les matériaux constitutifs arbre/moyeu sont souvent d'une dureté insuffisante. Rouleaux et chemins de roulement extérieur et intérieur fabriqués en même temps, puis d'interposés l'arbre et le moyeu ; cet ensemble constitue un roulement ;

4. Après fixation, le chemin de roulement intérieur est solidaire de l'arbre, le chemin de roulement extérieur solidaire du moyeu.



Roulements : éléments constitutifs

1. Des **éléments de roulement** : billes sphériques, rouleaux cylindriques ou tronconiques, aiguilles, etc.
2. Une **cage**, destinée à maintenir les éléments de roulement à leur écartement et à empêcher tout frottement entre eux.
3. Deux **bagues** (ou rondelles pour les butées), portant les chemins de roulement extérieur et intérieur.

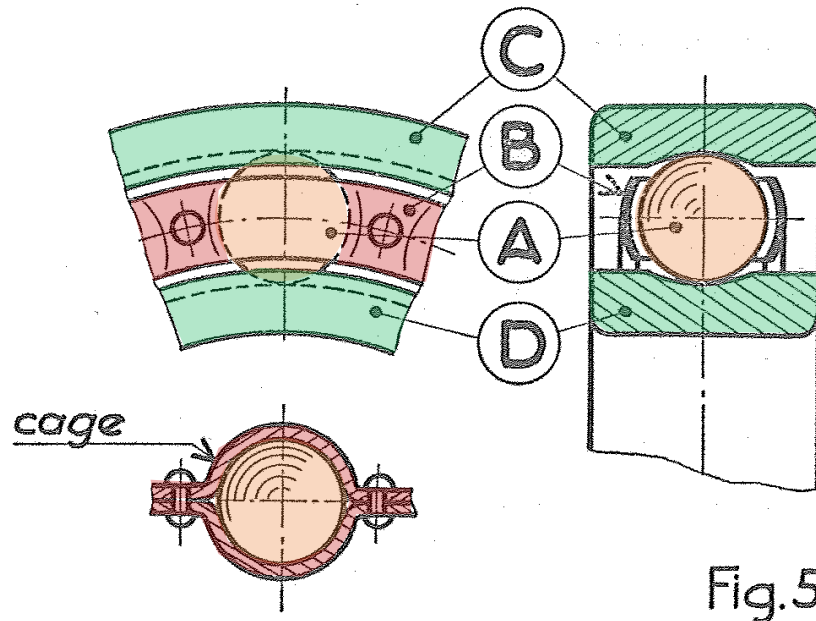
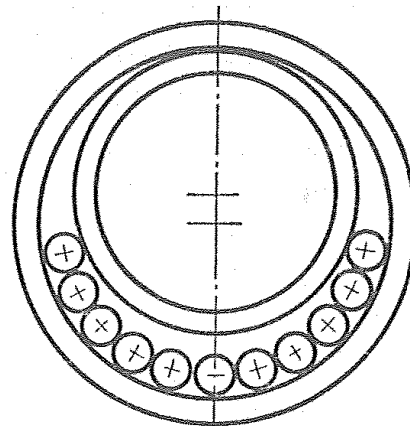


Fig.5

Roulements : construction

- 1. Matériaux :** les éléments de roulement et les bagues sont en acier de grande dureté (HB - 650) contenant environ 1 % de carbone, 1,5 % de chrome, 0,4 % de manganèse, etc. (symbole : 100 C6) ; les cages sont en laiton, en acier doux, en alliage léger ou en matière plastique.
- 2. Usinage : les bagues** sont d'abord tournées ; elles subissent ensuite une trempe suivie d'un revenu, puis elles sont rectifiées et polies ;
billes et rouleaux sont obtenus par tronçonnage dans une barre, estampage à froid, usinage, trempe suivie de rectification, polissage, puis classement au 1/1000 de mm sur le diamètre. Les cages en tôle sont découpées et embouties ; les cages en laiton peuvent être usinées, avec alvéoles forées.
- 3. Montage.** Lorsque les billes ne sont pas jointives, il est possible de les mettre en place par **excentrement** des 2 bagues, puis écartement des billes et mise en place de la cage ; dans le cas contraire, il faut prévoir des **encoches** de remplissage.

Mise en place
par excentrement



Mise en place avec encoches

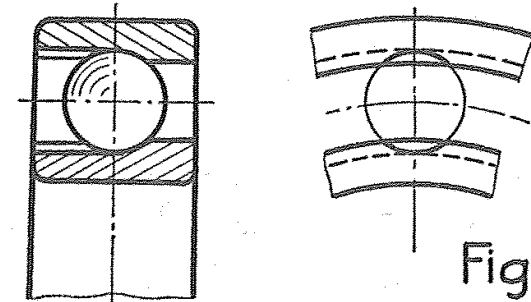


Fig.7

Roulements : conditions d'emploi

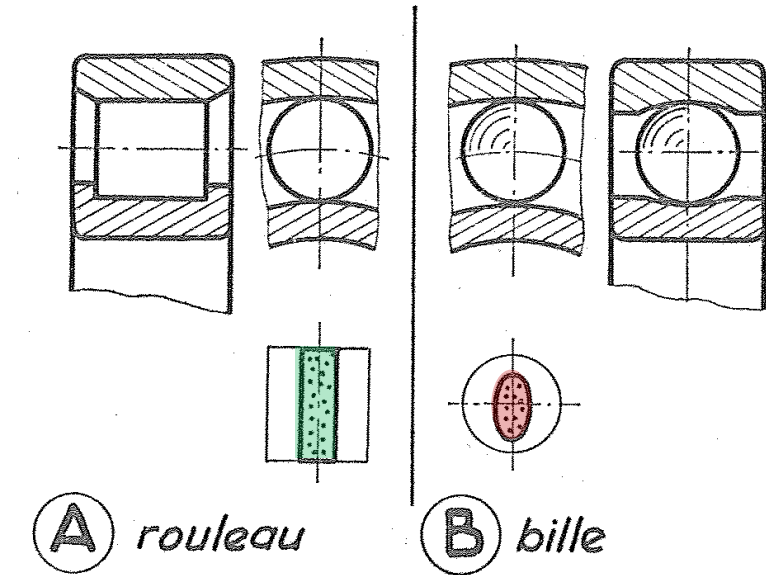
Capacité de charge, (intensité de la charge qui peut être supportée en toute sécurité, soit à l'arrêt, soit en mouvement) ;

1. Varie selon le type de roulement : par exemple, les roulements à rouleaux ont une capacité de charge supérieure aux roulements à billes ; en effet, la surface géométrique d'appui d'un rouleau est un segment de droite, celle d'une bille n'est qu'un point ;

En réalité, déformations élastiques changent les surfaces d'appui. **Rouleau** : rectangle, **Bille** : ellipse (contact de Hertz).

2. Varie également avec les dimensions des roulements (diamètre des éléments de roulement, épaisseur des bagues), avec le nombre de billes ou de rouleaux qui supportent la charge, donc avec l'écartement de ces éléments et avec le nombre de rangées de billes ou de rouleaux.

Les constructeurs ont donc prévu, pour chaque type de roulements, plusieurs calibres de charge différente, et l'utilisateur choisit dans le catalogue le roulement correspondant à la charge envisagée.



Roulements : conditions d'emploi

Direction de la charge. les paliers sont soumis à des charges radiales ou axiales.

Les constructeurs ont donc prévu des roulements pour charge radiale pure, ou pour charge axiale pure, ou pour charges radiale et axiale simultanées ; l'utilisateur doit donc connaître la direction des efforts sur les paliers et choisir les roulements en conséquence.

Sollicitations résultant d'une déformation de l'arbre.

Dilatation thermique (allongement) ou flexion sous l'effet des chargements ;
cas allongement: le montage des roulements doit permettre la dilatation de l'arbre ;
Cas flexion : la bague intérieure du roulement sera sollicitée en rotation autour d'un axe yy' perpendiculaire à l'axe xx' tandis que la bague extérieure restera axée suivant xx'' ; les 2 bagues n'ayant plus même axe, le fonctionnement sera défectueux, Les constructeurs ont donc prévu des roulements permettant ce mouvement relatif des 2 bagues : ce sont les roulements à rotule ; **l'utilisateur doit examiner les possibilités de flexion de l'arbre, suivant la charge et la distance des appuis, et choisir les roulements en conséquence.**

D'autres facteurs interviennent également dans la construction et le choix des roulements : encombrement, vitesse de rotation de l'arbre, température, etc.

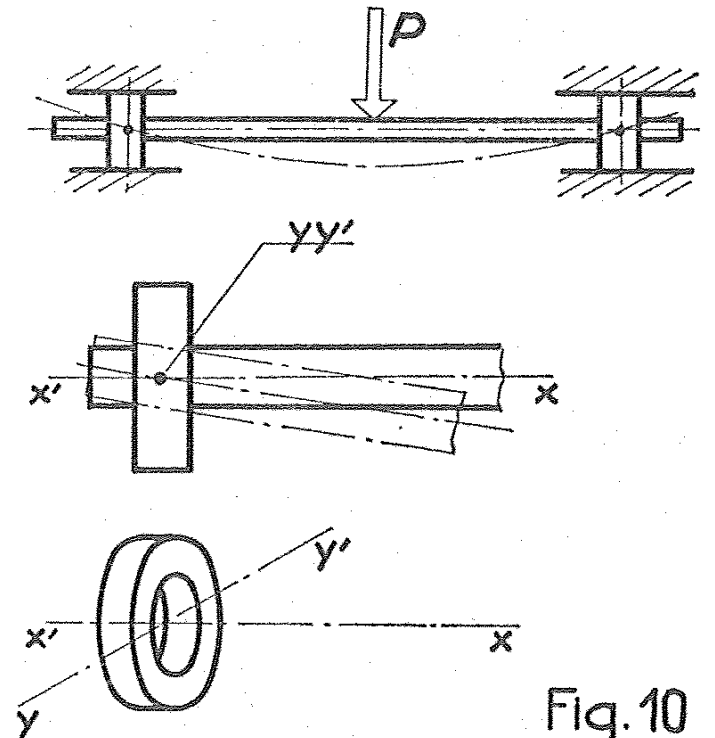
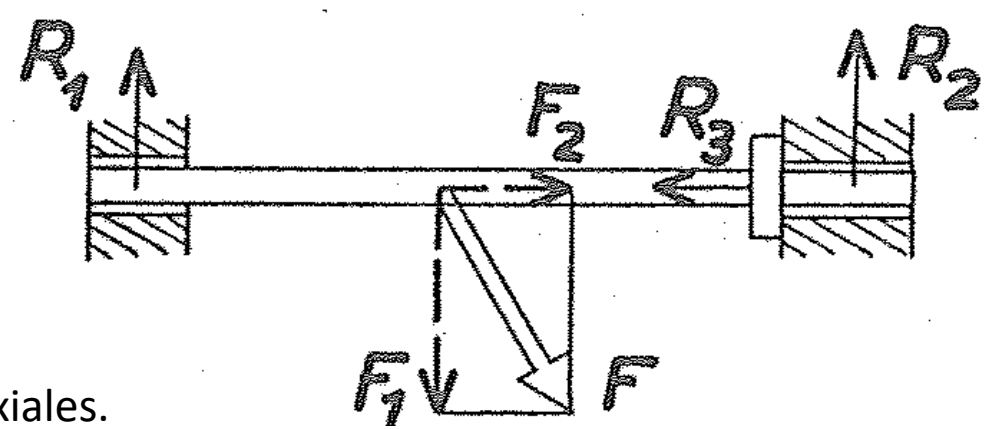


Fig.10

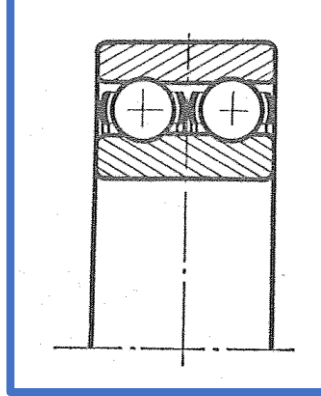
Roulements : classification

D'après la forme de l'élément de roulement : roulements à billes, à rouleaux, à aiguilles, etc.

D'après le mouvement relatif des 2 bagues : roulements rigides ou roulements à rotule.

D'après la direction de la charge principale : roulements ou butées.

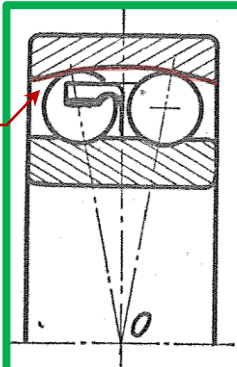
Roulements : Roulements à billes



1. **Roulements rigides**, à une ou deux rangées de billes : supportent une charge radiale importante, une poussée axiale modérée; supportent mal les chocs. Bon fonctionnement si l'arbre et le bâti sont parfaitement alignés, **Emploi : arbres courts et peu chargés.**

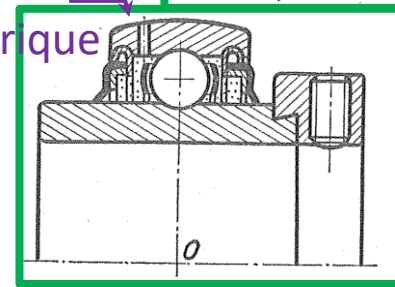
2. **Roulements à rotule**, Roulements à rotule sur double rangée de billes, la **bague extérieure est alésée sphérique** : permet à la bague intérieure et aux billes de pivoter librement autour du centre O → articulation à rotule.

Bague extérieure
alésée sphérique



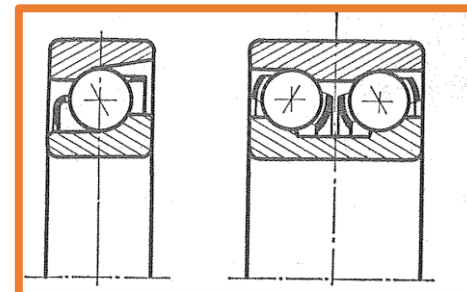
bague extérieure tournée sphérique; montés dans un support à alésage sphérique, ils constituent un palier à rotule ; la bague intérieure est large afin de bien guider l'arbre ; le serrage sur l'arbre est assuré par une bague excentrée, bloquée par une vis de pression. Les roulements à rotule supportent une charge radiale importante, mais une faible poussée axiale ; Emploi : mauvais alignement de l'arbre et du bâti, (**guidage des arbres longs et chargés.**)

Bague extérieure
tournée sphérique



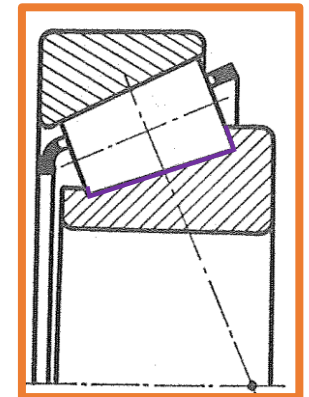
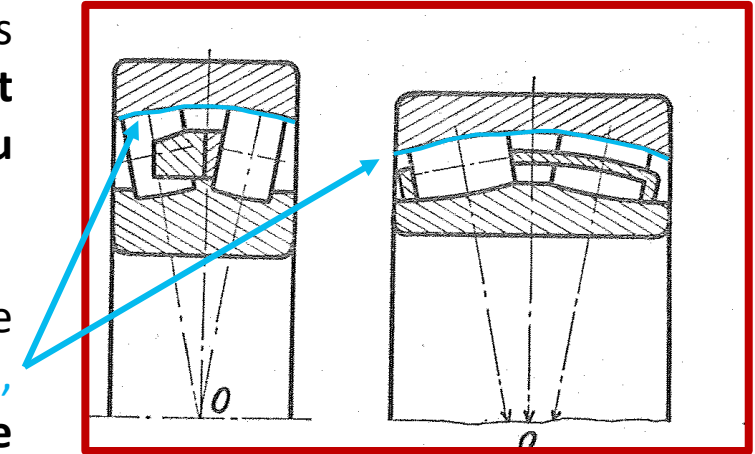
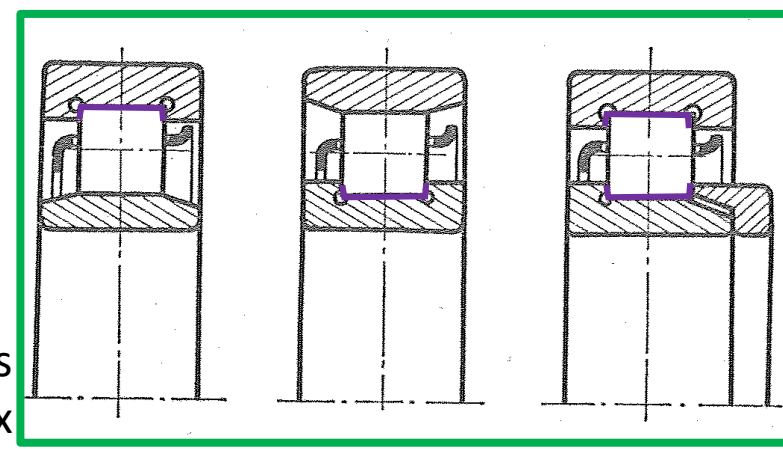
3. **Roulements à contact oblique**, à une ou deux rangées de billes : ils supportent des charges radiales et des charges axiales importantes ;

ATTENTION : les roulements à une seule rangée de billes ne supportent les charges axiales que dans un seul sens ; montés par paire, en opposition, ils supportent les charges axiales dans les deux sens ; les roulements à double rangée de billes supportent également les poussées axiales dans les deux sens.



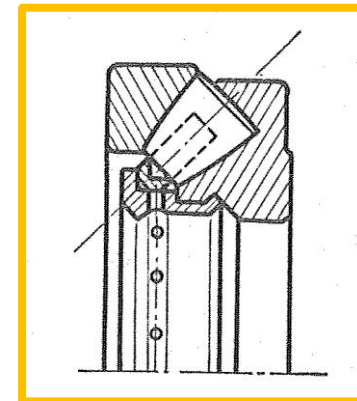
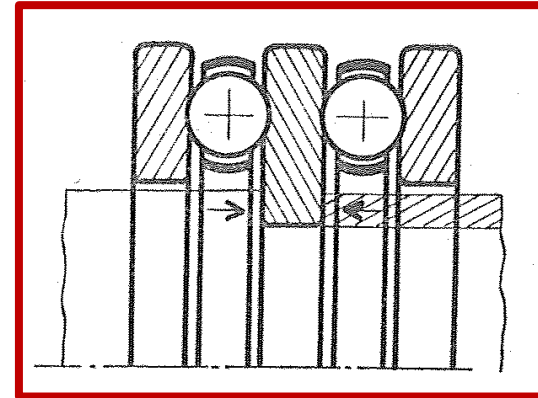
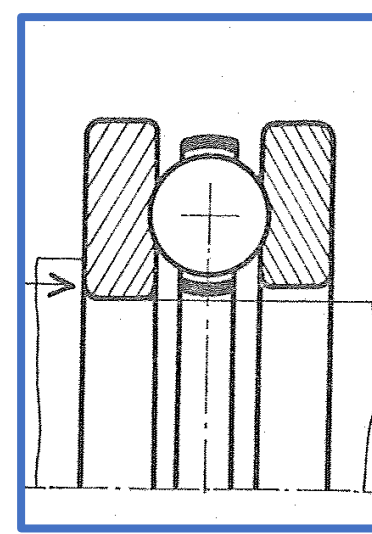
Roulements : Roulements à rouleaux

- Roulements rigides à rouleaux cylindriques** ; pour maintenir et guider les rouleaux, ils comportent des **épaulements soit sur la bague extérieure ou intérieure**; dans les deux cas, ils ne **supportent aucune poussée axiale**. Sur certains roulements, les rouleaux sont maintenus à la fois sur la bague extérieure et intérieure; ils peuvent alors supporter de faibles charges axiales. **Emploi : charges radiales très importantes et s'accommodent des chocs ; mais ils exigent un parfait alignement de l'arbre et du bâti.**
- Roulements à rotule sur rouleaux.** Les rouleaux ont habituellement une forme convexe (forme de tonneau), et ils sont montés à l'intérieur de la **bague extérieure, alésée sphérique** (articulation à rotule) ; **Emploi : forte charge radiale, une poussée axiale modérée ; ils s'accommodent d'un mauvais alignement des axes.**
- Roulements à rouleaux coniques** : les deux bagues sont alésées conique ; les galets sont guidés par deux épaulements de la bague intérieure. Ces roulements supportent une forte charge radiale, et une poussée axiale importante, mais dans un seul sens ; d'où montage de ces roulements par paires, en opposition.



Roulements : Butées

1. **Butées à billes à simple effet** : les billes sont placées entre 2 rondelles sur lesquelles sont creusés les chemins de roulement ; ces butées ne supportent les charges axiales que dans un seul sens, et aucun effort radial.
2. **Butées à billes à double effet** : 2 rangées de billes et 3 rondelles, la rondelle médiane étant solidaire de l'arbre ; elles supportent les poussées axiales dans les 2 sens.
3. **Butées à rotule sur rouleaux** : elles supportent des efforts axiaux très importants, et des efforts radiaux modérés; mauvais alignement des axes possible.



Roulements : Comment choisir un roulement ?

Comparer les conditions de fonctionnement : intensité et direction des efforts, vitesse de rotation, possibilité de flexion de l'arbre, encombrement, etc.,

Effort radial uniquement :

Arbre court et rigide : roulements à billes, simples ou doubles, ou roulements à galets cylindriques.

Arbre long ou fortement chargé, ou mauvais alignement des paliers : roulements à rotule sur billes, ou à rotule sur rouleaux.

Faible encombrement : roulements à aiguilles.

Effort radial important, poussée axiale faible ou modérée : roulements à billes à contact oblique.

Efforts radial et axial importants : roulements à rouleaux coniques, ou roulements et butée.

Effort axial seul : butée, simple ou double.

Roulements : Comment choisir un roulement ?

Comparer les conditions de fonctionnement : intensité et direction des efforts, vitesse de rotation, possibilité de flexion de l'arbre, encombrement, etc.,

Choix des dimensions.

Les catalogues de roulements donnent la capacité de charge statique C_s , la capacité de charge dynamique C_D et la vitesse maximale de rotation N (en tr/mn) de chaque roulement ;

→ Dimensionner C_s , C_D et N .

Capacité de charge statique C_s : Charge maximale supportée au repos par convention, Charge telle que déformation = 0,01% du diamètre de la bille ou du rouleau.

Ex : Calcul par modèle de contact de Hertz

Capacité de charge dynamique C_D : (durée de vie du roulement) ; la capacité de charge C donnée par le catalogue est celle qui permet à 90 % des roulements fonctionnant dans les mêmes conditions d'atteindre une durée de fonctionnement de un million de tours, soit $(10^6/60 N)$ heures (N étant le nombre de tours par minute).

À titre indicatif : Si la charge effective est P , La durée de vie en million de vie est $10^6 \left(\frac{C}{P}\right)^3$

Roulements : Montage

Comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, il s'agit d'assurer le glissement ou inversement, en interposant entre ces 2 pièces des éléments de roulement ajoutés que pour faciliter l'usinage et l'ajustement ; mais la bague intérieure doit être solidaire en rotation du bâti, de façon que la bague extérieure tourne et les billes, d'autre part entre les billes et la bague fixe.

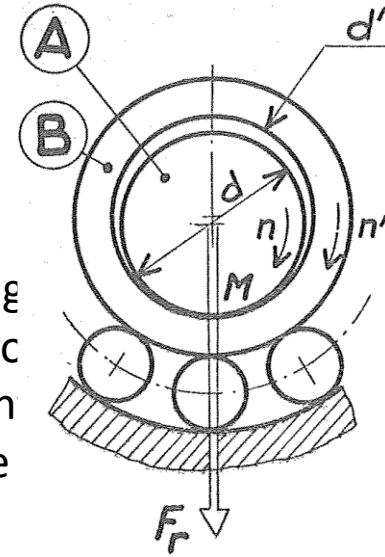


Fig. 27

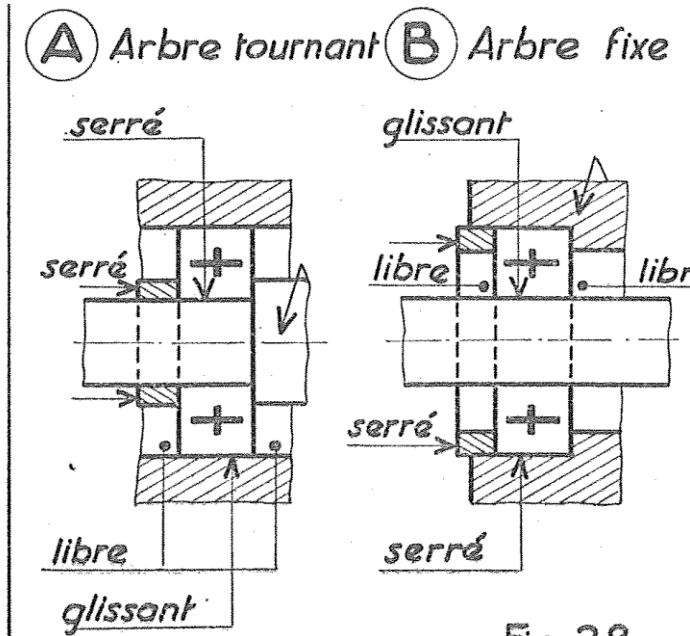


Fig. 28

La bague qui tourne par rapport à la direction de la charge doit être ajustée avec serrage ; en effet, supposons une charge radiale F_r de direction fixe et un arbre tournant (fig. 27) ; la force F_r appuie l'arbre A sur la bague intérieure B au point M ; la rotation de A entraînera la rotation de B par adhérence ; si la rotation s'effectue sans glissement, les vitesses linéaires des 2 pièces, mesurées en M, seront égales, d'où la relation : $x d.n = x d'.n'$; s'il existe du jeu entre A et B,

les diamètres d et d' seront inégaux ; il en sera donc de même pour n et n' , et il se produit une rotation relative entre A et B ; ce phénomène, désigné sous le nom de « laminage », détermine une détérioration rapide des pièces. Nous avons supposé que c'était l'arbre et la bague intérieure qui tournaient par rapport à la direction de la charge (cas d'un palier par exemple) [fig. 28A] ; si c'est le bâti et la bague extérieure qui tournent, celle-ci devra être ajustée avec serrage dans le bâti (cas d'une poulie folle par exemple) [fig. 28B].

Roulements : Montage

Le montage doit être tel qu'aucune cause accidentelle ne puisse entraîner un fonctionnement défectueux du roulement, d'où résulterait une usure rapide ; dans le cas le plus fréquent où l'effort radial est prépondérant (roulements à billes, rigides ou à rotule, roulements à rotule sur rouleaux), il est indispensable que les plans médians des 2 bagues restent parallèles sinon les éléments de roulement risquent d'être coincés ; si donc la bague intérieure est entièrement solidaire de l'arbre, la bague extérieure devra être montée dans le logement de façon que ces 2 pièces soient solidaires en rotation (à l'arbre), mais libres en translation, de façon qu'une poussée axiale imprévue, résultant d'une dilatation, par exemple, détermine un jeu axial dans l'ensemble du roulement, la poussée de la bague intérieure se transmettant à la bague extérieure par l'intermédiaire des billes, On peut faire le même raisonnement dans le cas où la bague extérieure est entièrement solidaire du bâti ; d'où la règle : ;

la bague qui ne tourne pas par rapport à la direction de la charge doit être ajustée « glissant » ; c'est le cas de la bague extérieure lorsque l'arbre est tournant, ou de la bague intérieure lorsque c'est le bâti qui est tournant.

Roulements : Montage

Choix des ajustements : il résulte, d'une part des règles précédentes, d'autre part du fait que le roulement ne pouvant être retouché, l'ajustement de l'arbre dans la bague intérieure sera obtenu par variation de l'arbre, tandis que l'ajustement de la bague extérieure dans le logement sera obtenu par variation de l'alésage du bâti (l'alésage du roulement correspond approximativement à K5, la bague extérieure à h5) ; enfin le serrage doit être d'autant plus grand que la charge est plus élevée.

1. Arbres pour roulements à billes (sauf obliques simples) à rouleaux (sauf coniques).

a) **charge fixe par rapport à la bague intérieure** : g6, j6, h6. ,

b) **charge tournante par rapport à la bague intérieure**, ou charge indéterminée :

Charge faible : j6, k6, n6, suivant diamètre (ordre \ croissant).

Charge modérée : k6, m6, n6, p6, r6, suivant diamètre.

Charge forte : k6, m6, n6, p6, r6, r7 suivant diamètre.

2. Logement.

a) charge fixe par rapport à la bague extérieure :

Roulements à billes : J7

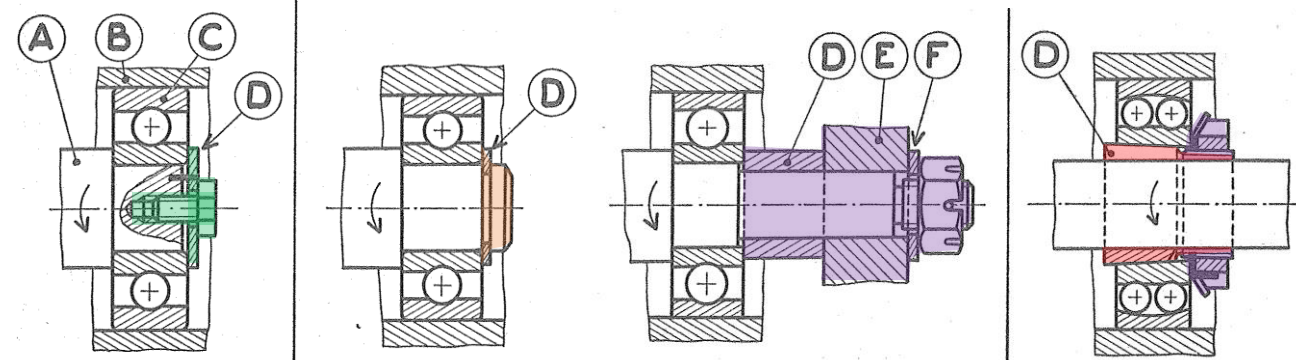
Roulements à rouleaux : K7 ou H7

b) charge tournante par rapport à la bague extérieure, ou charge indéterminée :

Roulements à billes : K7, M7, N7 suivant la charge (ordre croissant).

Roulements à rouleaux : M7, N7, P7 suivant la charge.

Roulements : Montage

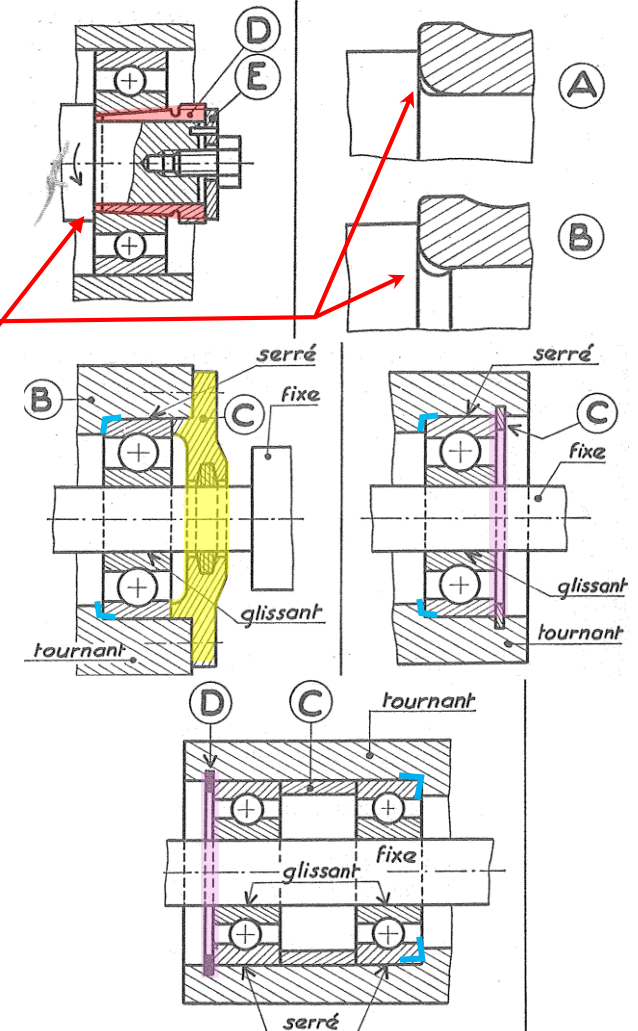


Liaison en translation des bagues extérieure et intérieure.

1. **Bague intérieure** (cas où cette bague est serrée sur l'arbre) ; l'ajustement serré et liaison en translation par rapport à l'arbre.

En bout d'arbre : appui contre un épaulement de l'arbre, serrage par écrou vissé sur bout d'arbre fileté, ou par rondelle fixée par vis, par un circlips ou serrage par une autre pièce par l'intermédiaire d'un tube entretoise, etc.

En un point quelconque de l'arbre : montage sur bague conique fendue. Prévoir les épaulements avec des congés plus petits que les arrondis du roulement.



2. **Bague extérieure** (cas où cette bague est serrée dans le bâti) : liaison en translation par appui contre un rebord du bâti ; serrage par couvercle, par circlips intérieur, par tube entretoise.

Roulements : Montage

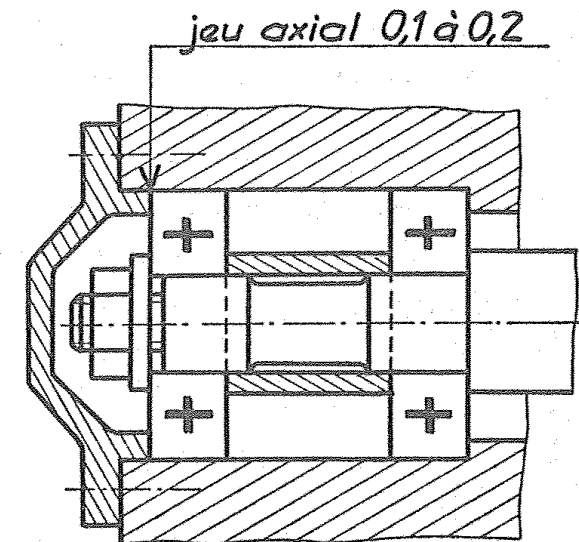
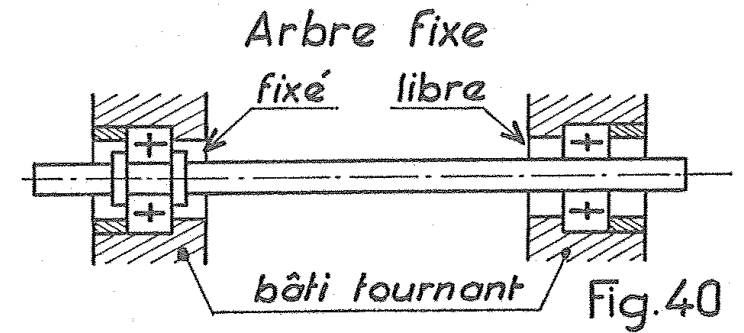
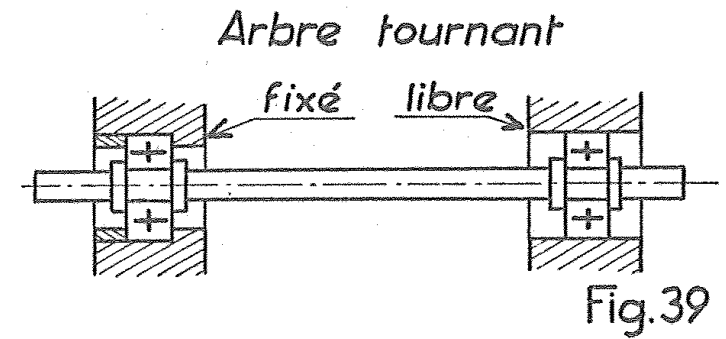
Positionnement longitudinal de l'arbre par rapport au bâti.

Pour éviter le déplacement longitudinal de l'arbre /bâti,

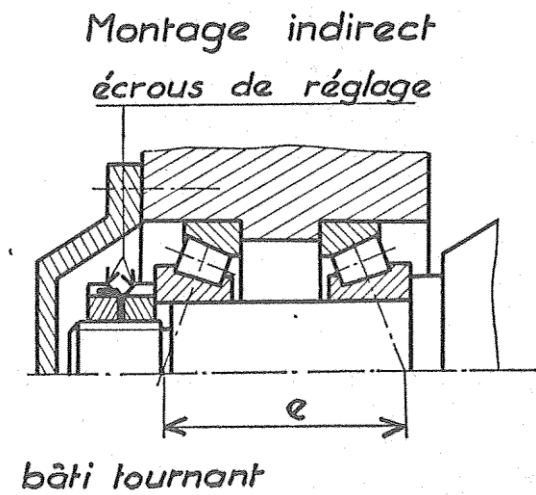
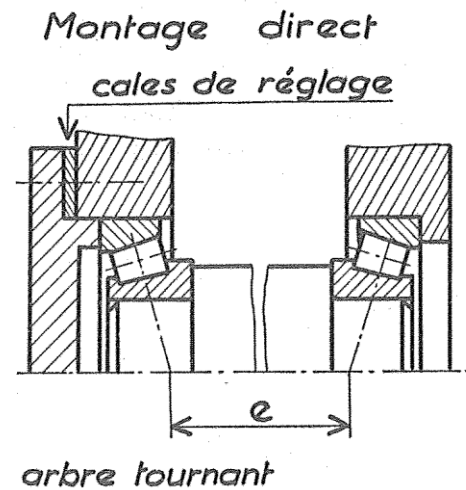
Arbre tournant : 1 bague extérieure de l'un des roulements est liée en translation au bâti,

Moyeu tournant : la bague intérieure de l'un des roulements est liée en translation à l'arbre

Il peut y avoir exception lorsque 2 roulements sont voisins l'un de l'autre ; l'un peut alors être arrêté latéralement d'un côté, l'autre de l'autre ; il est bon alors de prévoir un léger jeu (0,1 à 0,2 mm) entre le roulement et l'obstacle latéral.



Roulements : Montage



Montage des roulements à rouleaux coniques.

Roulements montés par paires, de façon à équilibrer les poussées axiales dans les deux sens

1. montage direct
2. montage indirect

L'écartement théorique e étant plus grand dans le deuxième montage, celui-ci sera préféré lorsque les roulements sont très rapprochés.

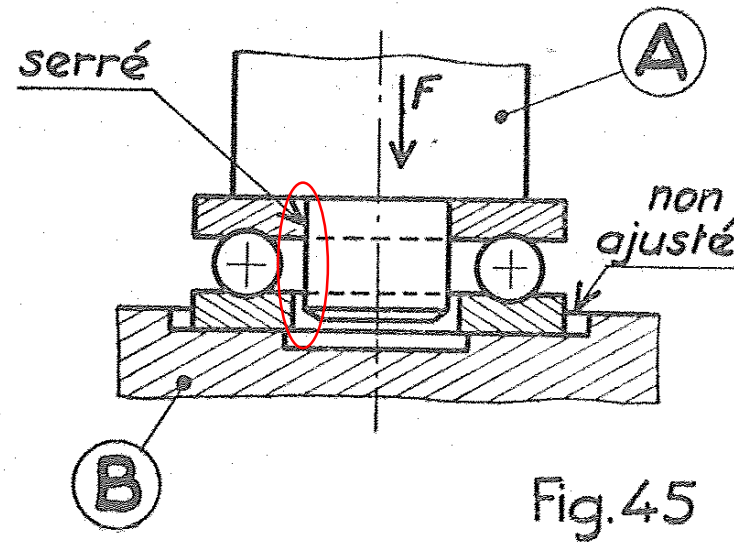
Ajustement difficile : réglage du jeu au montage, en agissant sur une bague non tournante de préférence (ajustement glissant),

Montage direct ➡ arbre tournant,

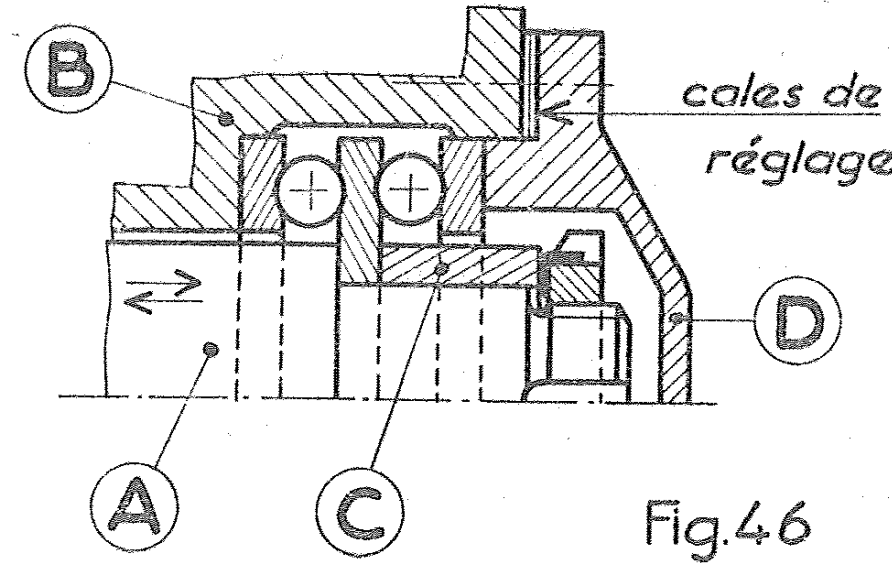
Montage indirect ➡ bâti tournant

Roulements : Montage

Butée à simple effet



Butée à double effet



Montage des butées

1. **Butée à simple effet.** Le diamètre intérieur de l'une des rondelles est inférieur au diamètre intérieur de l'autre ; la première rondelle doit être ajustée serrée sur l'arbre et appuyée contre un épaulement ; la deuxième, libre par rapport à l'arbre, est appuyée contre le bâti : la surface d'appui doit être bien perpendiculaire à l'axe.
2. **Butée à double effet.** La rondelle centrale, dont le diamètre intérieur est plus faible, doit être montée serrée sur l'arbre, et doit être serrée entre 2 obstacles solidaires de l'arbre (épaulement, bague, etc.) ; les 2 autres rondelles, libres par rapport à l'arbre, s'appuient l'une sur le bâti, l'autre sur une pièce rapportée solidaire du bâti.

Roulements : Graissage et Protection

Graissage

But : assurer la protection du roulement contre la corrosion et contre les poussières ; réduire les frottements entre les billes ou les rouleaux et la cage.

Lubrifiants utilisés :

Graisse : emploi général pour les vitesses faibles et moyennes, inférieures à 1000 tr/mn.

Huile minérale : emploi pour les grandes vitesses, et pour certains cas particuliers : graissage des butées à rotule sur rouleaux par exemple.

Dispositifs de graissage :

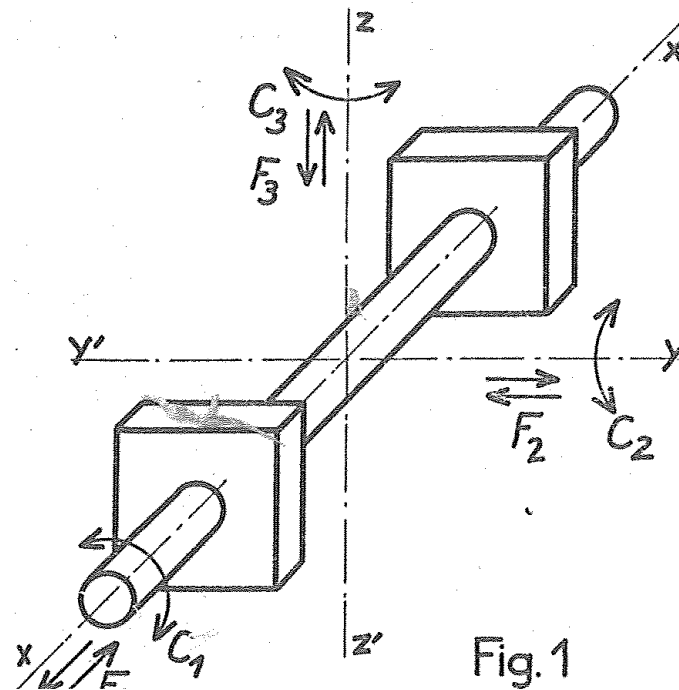
Graisse : pas de dispositif particulier si la fréquence de graissage est faible et palier accessible : graissage par démontage du couvercle ; dans le cas contraire, prévoir un graisseur permettant l'introduction de graisse sous pression ;

Huile : graissage par barbotage (bain d'huile), ou par projection de brouillard d'huile.

Paliers

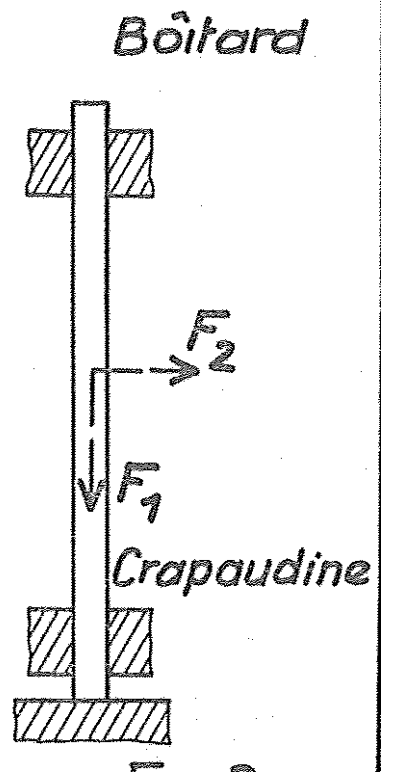
Pour le guidage en rotation :

1. Permettre l'équilibrage des forces et couples appliqués à l'arbre sauf couple C_1 .
2. Guider ce mouvement de rotation.



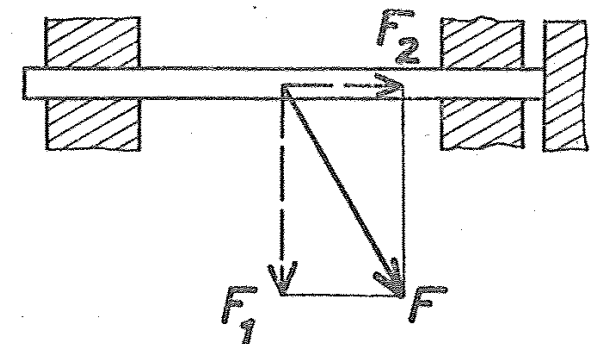
Conditions à remplir :

1. **Bon guidage en rotation** : Précision des formes et des dimensions, Longueur convenable des appuis, par l'adoption éventuelle de paliers articulés.
2. **Équilibrage des efforts supportés par l'arbre** : la forme et la disposition des paliers dépendent du sens et de l'intensité de ces efforts, qui se réduisent à des charges radiales et à des poussées axiales.
3. **Bon rendement** = réduction des frottement. Choix des matériaux, Bon état de surface de l'arbre et du support, lubrification efficace, éventuellement par le remplacement du frottement par un roulement.
4. **Construction simple et économique**, montage et démontage faciles, entretien facile et réduit, usure faible, etc.



Palier

Palier de butée



Paliers : classification

D'après la position de l'arbre et le sens de l'effort.

1. Arbre horizontal,

Effort radial seul : palier.

Effort radial et axial : palier de butée.

2. Arbre vertical,

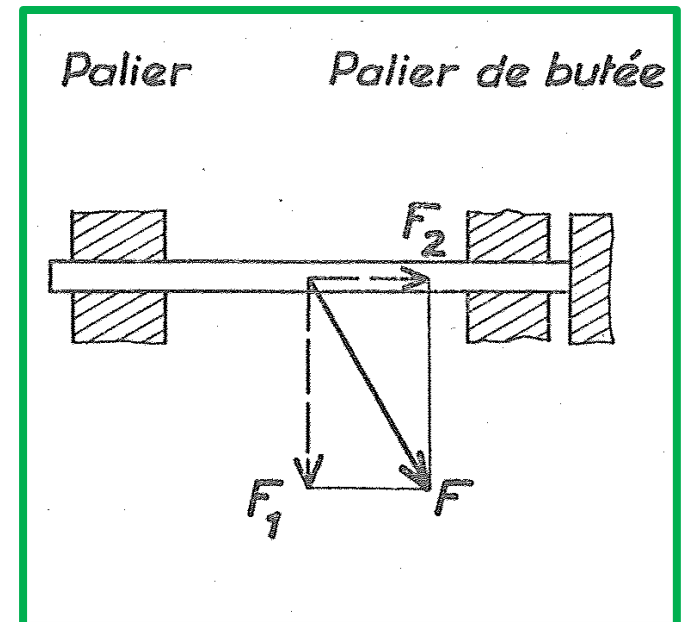
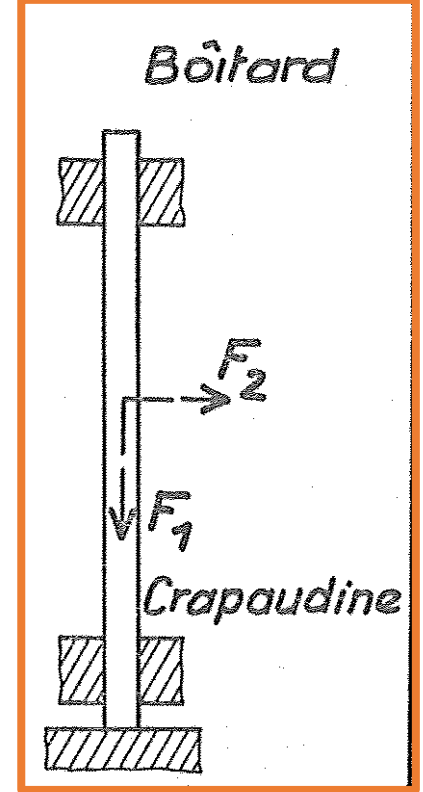
Effort radial seul : palier vertical ou boîlard.

Effort radial et axial : crapaudine ou pivot.

D'après la nature du mouvement de l'arbre sur le support.

1. **Glissement** : paliers à coussinets ou paliers lisses.

2. **Roulement** : paliers à roulement.



Paliers : Arbres horizontaux

Constitution d'un palier lisse.

- 1. Coussinet** : c'est la pièce qui supporte directement l'arbre et qui le guide ; il est en général rapporté à l'intérieur du support, ce qui présente les avantages suivants
 1. Choix de matériaux différents
 - pour le coussinet : matériau de faible coefficient de frottement et résistant au grippage.
 - pour le support du coussinet : matériau résistant aux efforts mécaniques et économique.
 2. Report de l'usure sur le coussinet seul, dont le remplacement est facile ; (mieux que remplacement du palier entier).
 3. Usinage, montage et démontage plus faciles. Pour faciliter le montage, le coussinet est le plus souvent en 2 pièces, avec joint diamétral ; sa forme dépend de sa liaison au bâti (rigide ou articulée) et du dispositif de graissage choisi.
- 2. Bâti** : Support de charges que lui transmet le coussinet, et de les transmettre au support de palier ; le bâti joue également un rôle dans le graissage comme réservoir d'huile, un rôle de protection du coussinet, etc. Souvent en 2 pièces assemblées par boulons.
- 3. Dispositif de graissage** : il est très variable, suivant l'importance de la charge et de la vitesse de rotation ;
 - Graissage par coussinet autolubrifiant.
 - Graissage onctueux, à lubrifiant perdu.
 - Graissage fluide, avec dispositif à coin d'huile pour amorcer le film d'huile.

Paliers : Arbres horizontaux

Coussinets.

Matériaux constitutifs :

Arbre :

1. **Acier** doux ou mi-dur ;
2. en acier non allié de nuance mi-dure à dure, avec traitement thermique,
3. en acier allié au Ni et au Ni- Cr.

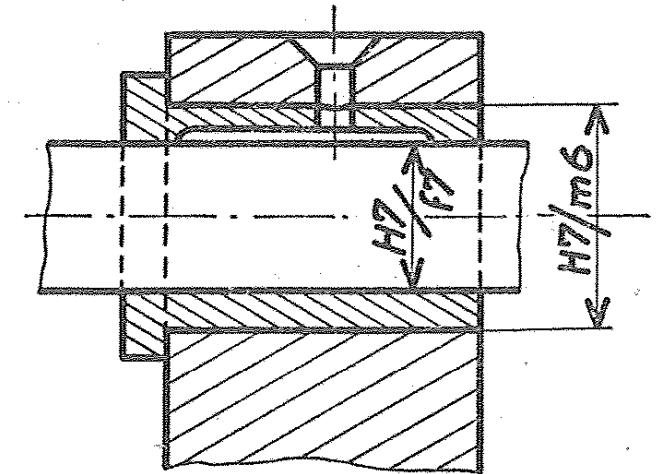
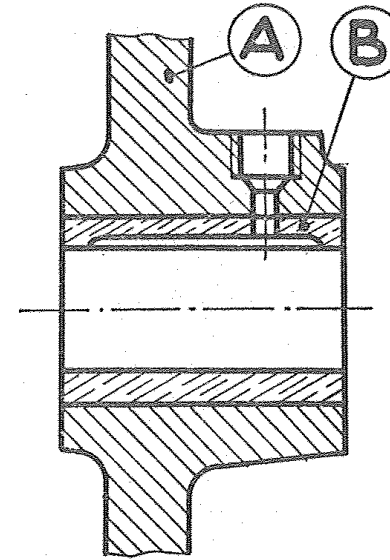
Coussinets :

1. **Bronze**, bronze phosphoreux, bronze au plomb.
2. En fonte ou en acier avec garniture d'antifricition.
3. En matériaux frittés autolubrifiants.
4. En résine synthétique : stratifiés phénoplastes, nylon, téflon, etc.

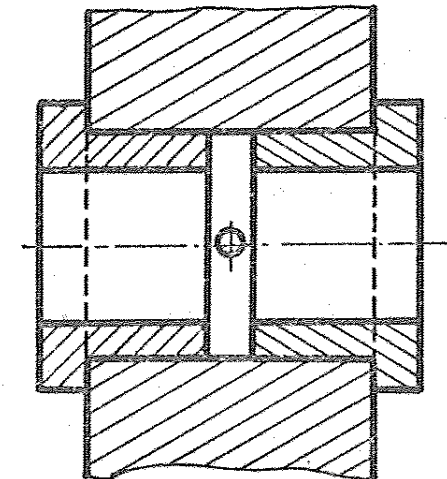
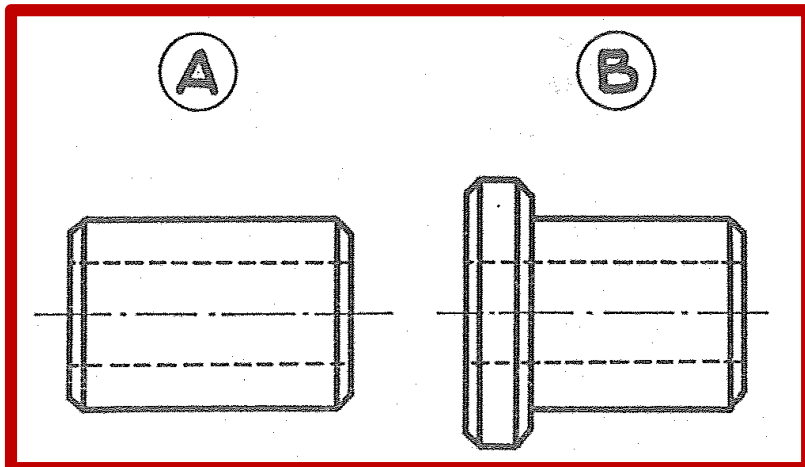
Paliers : Arbres horizontaux

Types de Coussinets.

1. **Coussinets en une seule pièce** : simple bague, immobilisée en rotation et translation par emmanchement forcé, embase simple, ou double, vis entre cuir et chair, vis de pression latérale, etc.;
Trou pour graissage à la burette ou pour vissage d'un graisseur ; quelquefois, rainures pour répartition de l'huile
Graissage du type onctueux.



2. **Bague autolubrifiante**, simple ou avec collerette.



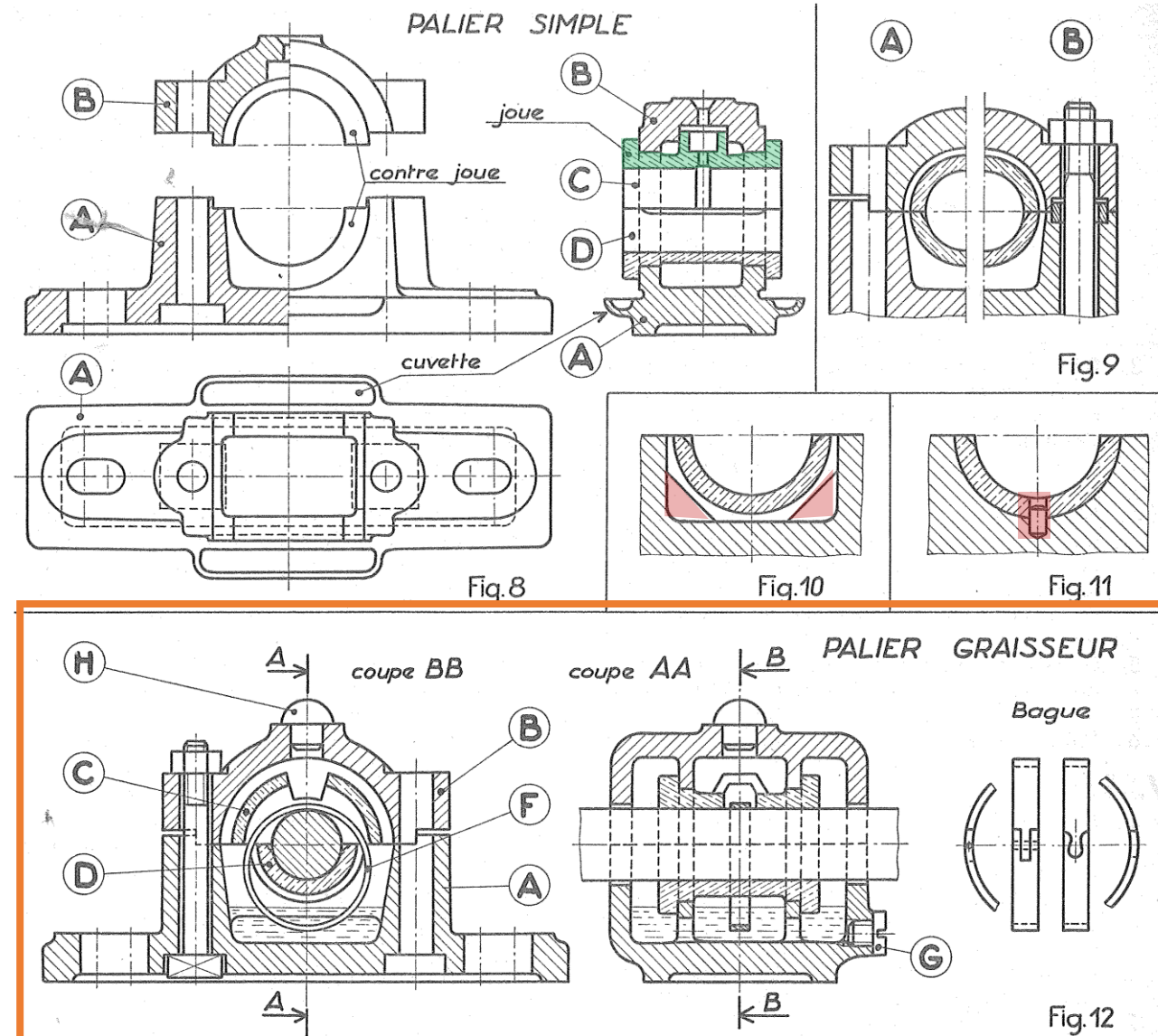
Paliers : Arbres horizontaux

Types de Coussinets.

3. Coussinets en deux pièces,

Immobilisation en rotation par **forme polygonale**, ou plus simplement par **un ergot**; immobilisation en translation par **joues** s'ajustant dans le bâti;

4. **Coussinets pour paliers-graisseurs à bague**: le demi-coussinet supérieur comporte un évidement circulaire pour le logement de la bague ; si c'est nécessaire, le demi-coussinet inférieur comporte 2 encoches latérales permettant le passage de la bague.

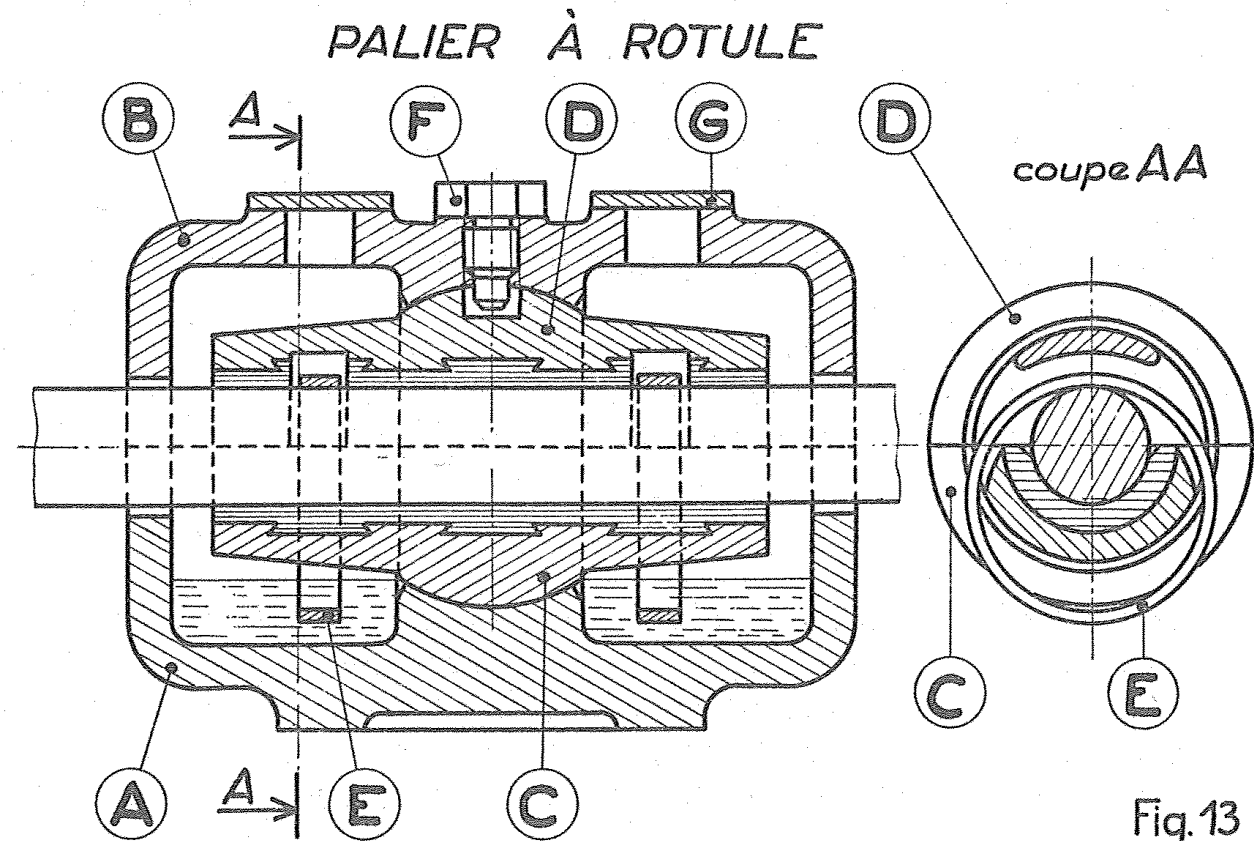


Paliers : Arbres horizontaux

Types de Coussinets.

5. Coussinets à rotule : la partie centrale, de forme sphérique, est ajustée dans un alésage de même forme du bâti, obligatoirement en 2 pièces ; immobilisation en rotation par ergot ou vis à téton. Emploi pour arbres mal alignés, ou pour arbres longs et fortement chargés.

6. Coussinets à garniture d'antifriction : ils comportent une coquille en fonte ou en acier à l'intérieur de laquelle est coulée une couche mince d'antifriction ; l'épaisseur de cette couche est égale ou supérieure à 3 mm pour les paliers courants ; la liaison à la carcasse est obtenue grâce à des rainures longitudinales et circulaires en queue d'aronde ; dans les paliers modernes, l'épaisseur de la couche d'antifriction est inférieure à 1 mm, avec liaison physico-chimique à la carcasse.



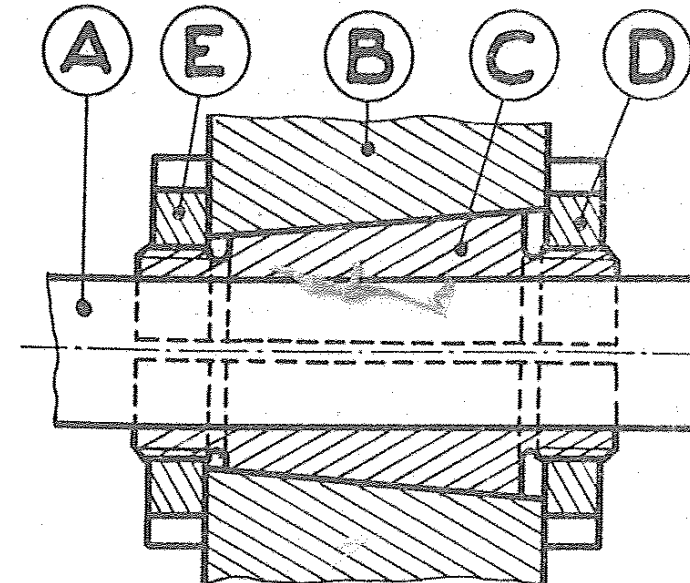
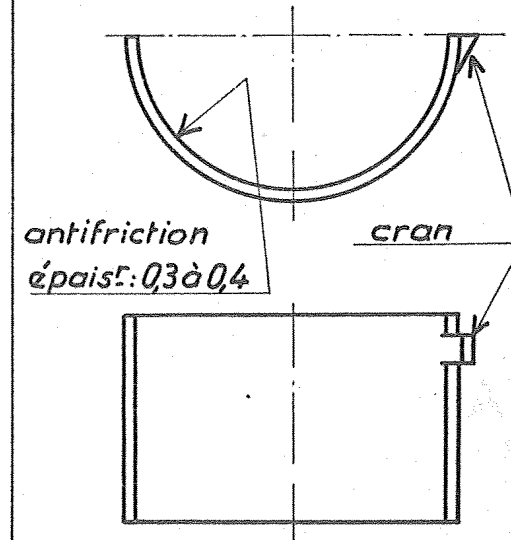
Paliers : Arbres horizontaux

Types de Coussinets.

7. Coussinets minces : en tôle roulée, de 1 à 5 mm d'épaisseur, avec couche intérieure de régule de 0,3 à 0,4 mm d'épaisseur ; le positionnement du coussinet dans le bâti s'effectue par un cran embouti placé dans une encoche ; ces coussinets épousent la forme du logement dans lequel ils sont serrés ; ils sont économiques et peu encombrants.

8. Coussinets à rattrapage de jeu : une fente longitudinale permet le resserrage sur l'arbre ; un écrou et un contre-écrou permettent le réglage du jeu et le blocage.

Coussinet mince



Paliers : Arbres horizontaux

Dimensions des coussinets

1. Diamètre d'alésage.

1. Par la condition de résistance de l'arbre ;
2. Par la condition de graissage ; pour éviter l'expulsion du lubrifiant, la pression $p = P/l.d$ est limitée à une valeur fixée par l'expérience et qui dépend du mode de graissage ; pour les coussinets rigides en bronze, on peut adopter :
 1. p — 10 à 15 bars dans le cas d'un graissage discontinu ;
 2. p — 20 à 25 bars dans le cas d'un graissage continu ; -
 3. p — 40 à 90 bars lorsque le graissage s'effectue sous pression.
3. Par la condition de limitation de température : la puissance perdue par frottement étant proportionnelle à la pression $p = P/ l.d$ et à la vitesse circonférentielle V au contact arbre/coussinet, on limite le produit $p.V$ à une valeur fixée par l'expérience par exemple, (pour p en bars et V en m/s) :
 1. $p.V < 30$ dans le cas d'un refroidissement naturel, pièces immobiles ;
 2. $p.V < 50$ lorsque le refroidissement s'effectue par déplacement d'air ;
 3. $p.V < 90$ dans le cas de refroidissement par circulation forcée d'huile
 4. $p.V < 120$ lorsque le refroidissement s'effectue par circulation forcée d'eau.

2. **Jeu entre l'arbre et le coussinet**, Un jeu très réduit est souhaitable en vue d'un bon guidage ; mais il faut tenir compte des conditions de graissage (formation du coin d'huile par excentrement de l'arbre) et de dilatation
Jeu de l'ordre de 0,001 à 0,002 d ; l'ajustement H/f, de qualité 6 ou 7.

3. **Longueur** : elle est choisie en vue du guidage.

Paliers : Arbres horizontaux

Bâti.

Matériau : fonte grise de moulage ou en acier moulé.

En 2 pièces, avec plan de joint diamétral, pour faciliter le montage de l'arbre et du coussinet (corps et le chapeau). La forme de ces 2 pièces dépend du mode de liaison du coussinet au bâti (liaison rigide ou articulation à rotule).

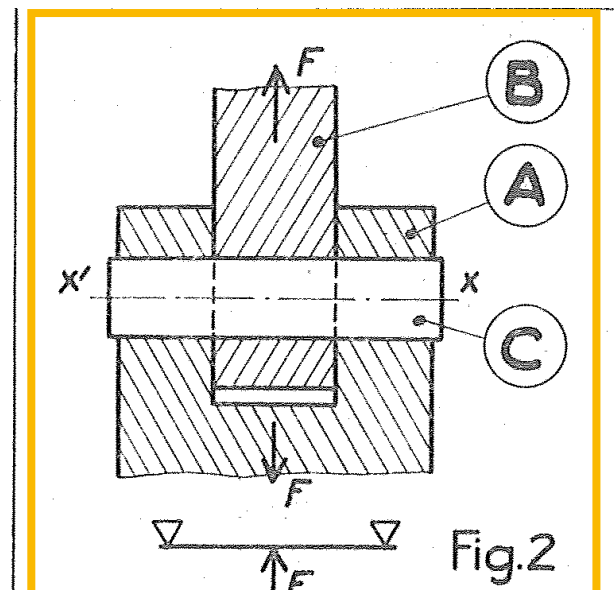
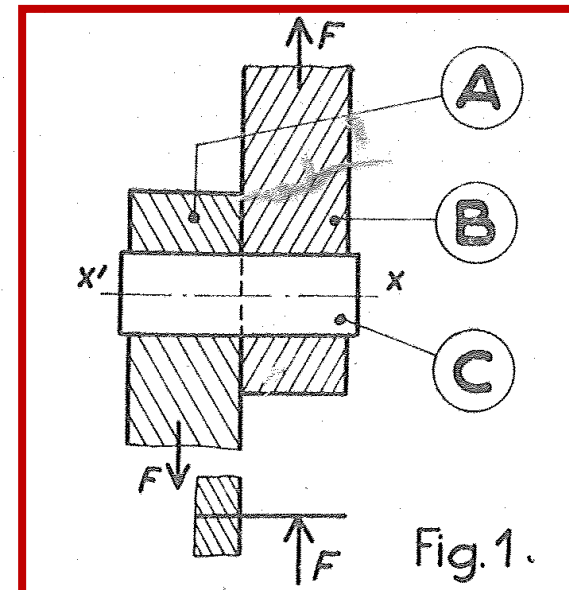
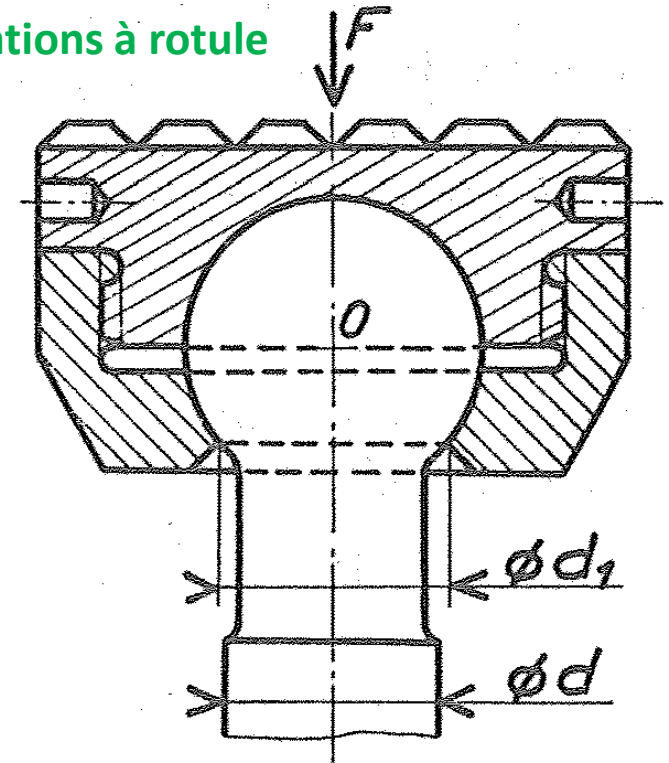
Le corps et le chapeau sont emboîtés l'un dans l'autre, pour éviter tout déplacement latéral, ou centrés par bagues de cisaillement ; ils sont serrés au moyen de 2 ou 4 boulons/goujons.

Le bâti repose sur son support, soit par une semelle horizontale, soit par une semelle verticale.

Articulations

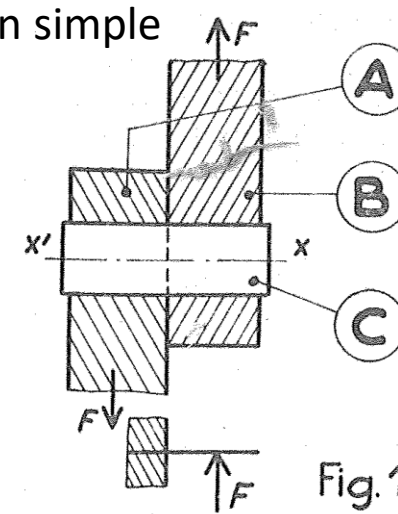
1. **Définition.** Les articulations sont des assemblages laissant aux 2 pièces assemblées :
 1. Soit une possibilité de rotation ou d'oscillation autour d'un axe (articulations cylindriques) ;
 2. Soit une possibilité d'oscillation autour d'un point (articulations à rotule).
2. **Constitution.** la rotation de la pièce mobile s'effectue autour d'une pièce cylindrique appelée « axe d'articulation » ; on trouvera donc, dans une articulation, une pièce fixe, une pièce mobile, un axe d'articulation.
3. **Classification.** D'après la position relative de la pièce fixe A et de la pièce mobile B, on distingue :
 1. **L'articulation simple, ou en porte à faux** (fig. 1), dans laquelle les pièces A et B sont juxtaposées.
 2. **L'articulation à chape** (fig. 2), dans laquelle l'extrémité de la pièce mobile B vient se loger dans l'extrémité de la pièce fixe A, qui a la forme d'une fourche ou chape.

articulations à rotule

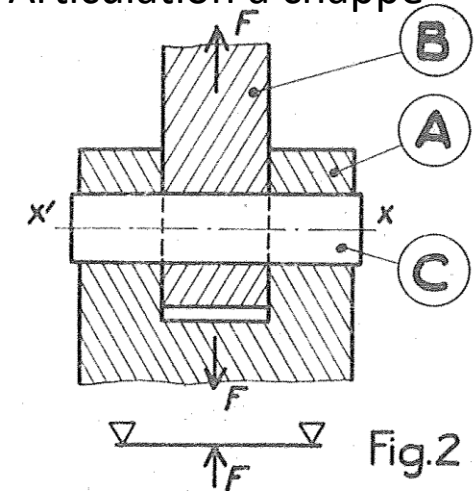


Articulations : conditions d'emploi

Articulation simple



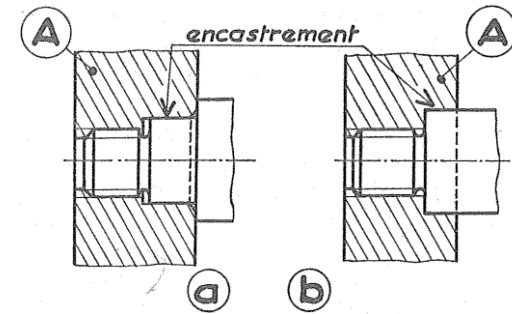
Articulation à chappe



1. **Montage de l'axe.** Axe d'articulation fixé sur la pièce fixe (meilleure rigidité de l'ensemble) ; c'est une liaison complète, le plus souvent démontable.
2. **Montage de la pièce mobile sur l'axe.** La pièce doit pouvoir tourner sur l'axe, sans possibilité d'aucun autre mouvement :
 1. Permettre cette rotation, en prévoyant l'espace nécessaire à la rotation complète ou à l'oscillation.
 2. Faciliter cette rotation par le choix des ajustements, par le choix de la longueur de guidage, par une réduction des frottements (choix des matériaux et de l'état de surface, graissage), par une réduction de l'usure (choix des matériaux, graissage). Immobiliser la pièce mobile en translation, par rapport à la pièce fixe ou par rapport à l'axe.
3. **Résistance de l'axe aux efforts exercés par les 2 pièces :**
 l'axe peut être considéré comme un solide encasté à une extrémité, dans le cas d'une articulation simple, ou reposant sur deux appuis, dans le cas d'une articulation à chappe : dans les 2 cas, l'axe est sollicité à la flexion et au cisaillement transversal ; **l'axe porté par 2 appuis étant beaucoup plus résistant que l'axe encasté à une extrémité, il faudra choisir l'articulation à chappe chaque fois que cela sera possible** ; quand ce n'est pas possible, il faut diminuer le plus possible le porte-à-faux, donc adopter un axe court ; dans tous les cas, donner à l'axe un diamètre suffisant (le calculer si possible) et un jeu diamétral réduit ; adopter un acier résistant (acier dur souvent trempé, quelquefois cémenté pour diminuer l'usure) ;

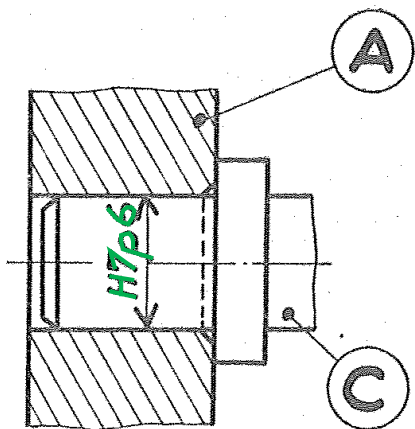
Articulation simple

Axe directement
vissé dans le bâti



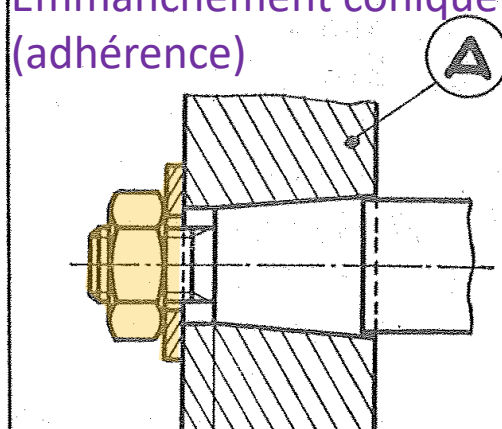
Montage de l'axe sur la pièce fixe. Cet assemblage doit être particulièrement rigide par suite du porte-à-faux de l'axe ; d'où les dispositions suivantes :

1. **Centrage** : Emmanchement cylindrique bien ajusté (H7/g6 ou H7/h6) ou emmanchement conique .
2. **Liaison en rotation** : elle est obtenue par **emmanchement forcé**, par **ergot**, par **vis entre cuir et chair**, par **adhérence**.
3. **Liaison en translation**. Dans le cas d'un emmanchement Cylindrique, elle est obtenue en serrant la pièce fixe entre un épaulement de l'axe et **une rondelle serrée par écrou**, ou entre un **épaulement et une rivure**, etc. Dans le cas d'un emmanchement conique, il suffit de serrer en bout par rondelle et écrou, par exemple. L'axe est quelquefois **vissé dans le bâti**; mais il y a intérêt à encastrement partiellement l'axe dans la pièce fixe A (meilleur centrage, et renforcement de la section d'encastrement) ; d'autre part, il faut s'opposer au dévissage de l'axe.



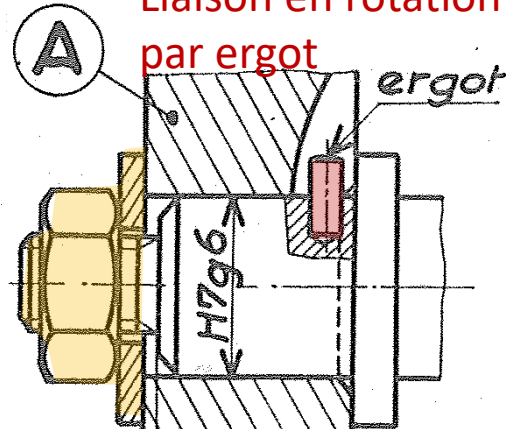
Emmanchement forcé

Emmanchement conique
(adhérence)

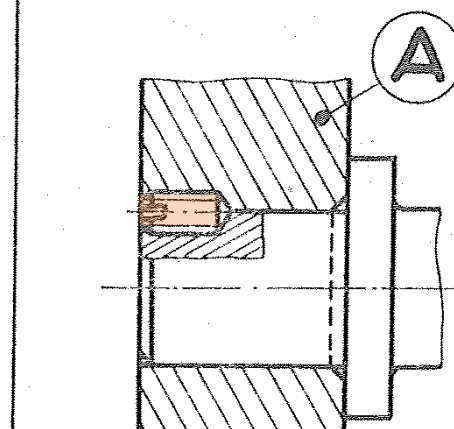


serrage

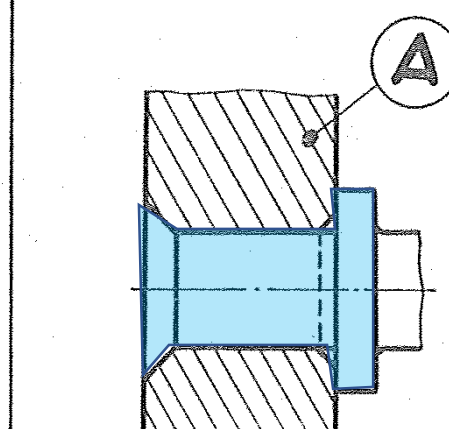
Liaison en rotation
par ergot



serrage



Liaison en rotation par
vis entre cuir et chair

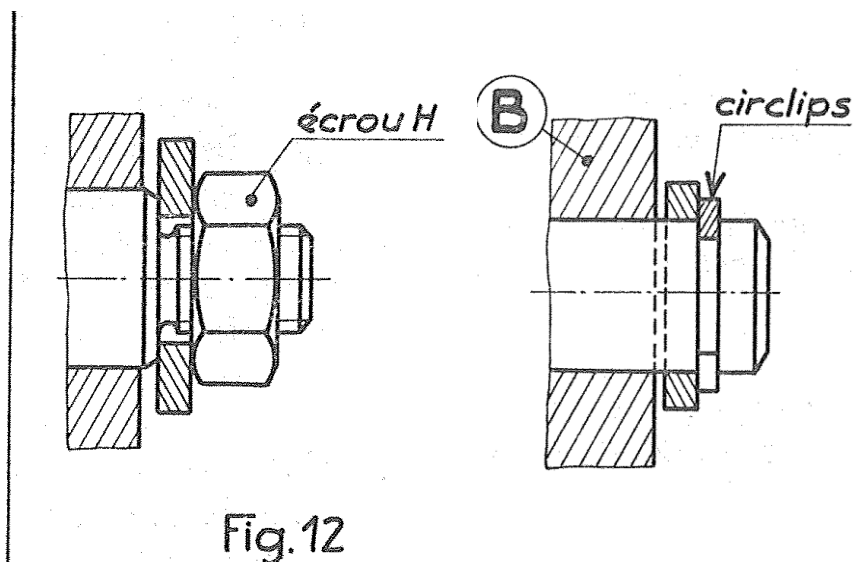
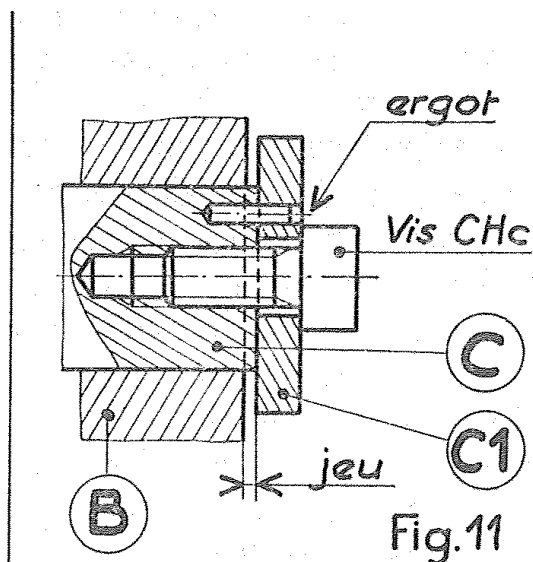
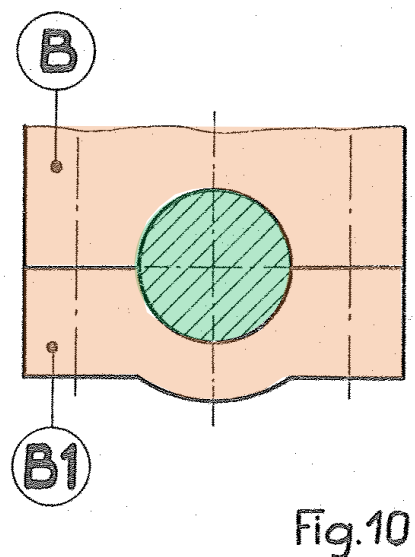
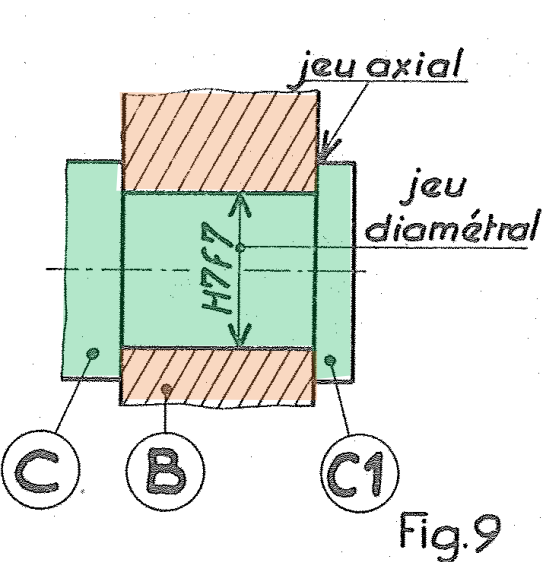


épaulement/rivure

Articulation simple

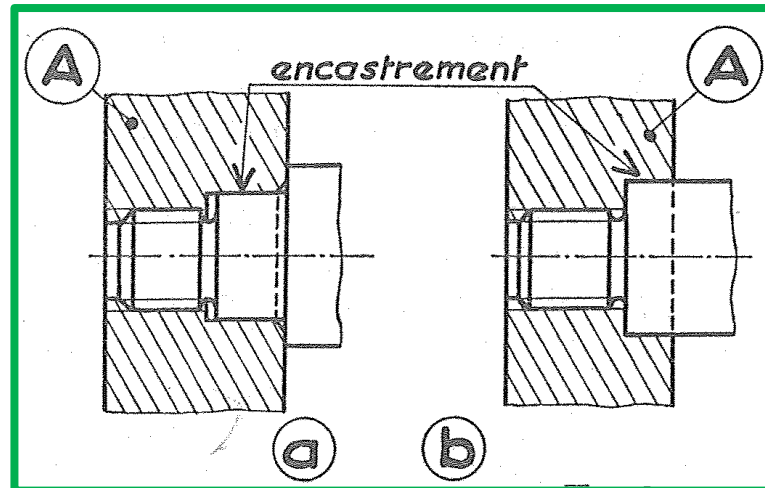
Montage de la pièce mobile sur l'axe.

1. **Rotation.** Prévoir le jeu diamétral nécessaire au mouvement relatif des 2 pièces (ajustement du type H7/f7 par exemple), la longueur nécessaire au guidage ($1 \text{ à } 2 d$) ; éventuellement prévoir une bague en bronze, un dispositif de graissage.
2. **Immobilisation en translation.** La pièce mobile doit être maintenue latéralement, sans blocage ; on y parvient soit par une **double embase de l'axe**, ce qui nécessite **une tête mobile en 2 parties**, soit par une embase d'un côté, de l'autre par une rondelle fixée par vis ou par écrou ou par circlips, etc. ; dans tous les cas, le mouvement relatif nécessite un léger jeu axial.



Articulation simple

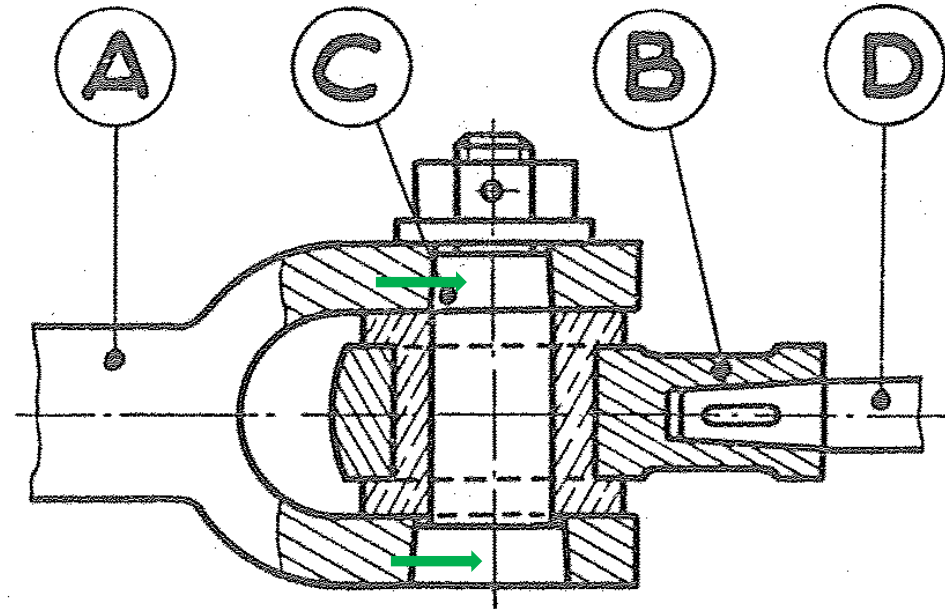
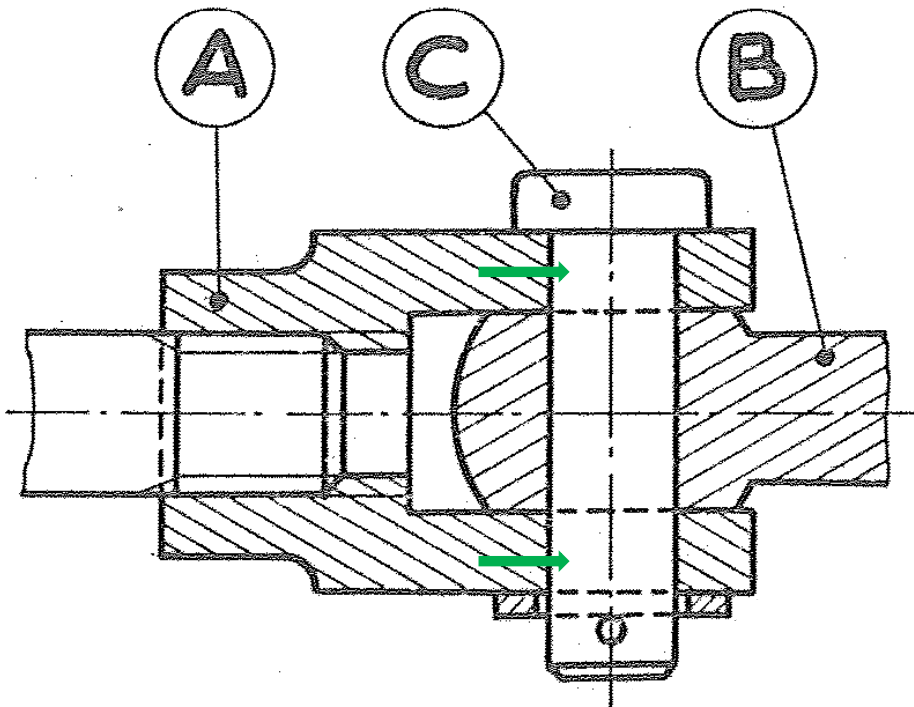
- **Résistance.** L'axe est en porte à faux, position très défavorable pour la résistance ; prévoir un axe gros et court, fixé bien rigidement ; renforcer au besoin la section d'**encastrement** .



Cet assemblage est simple ; il permet une rotation complète de l'organe mobile ; mais le montage est défavorable au point de vue de la résistance.

Articulation à chape

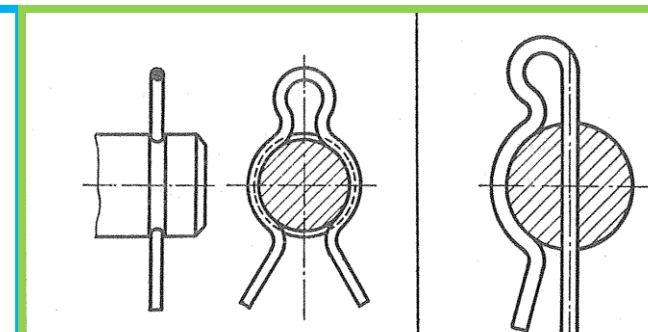
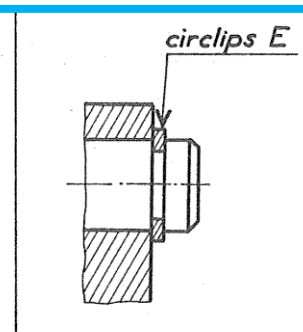
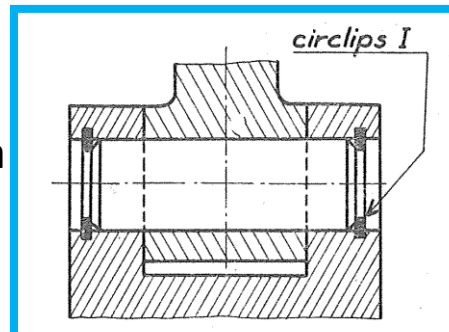
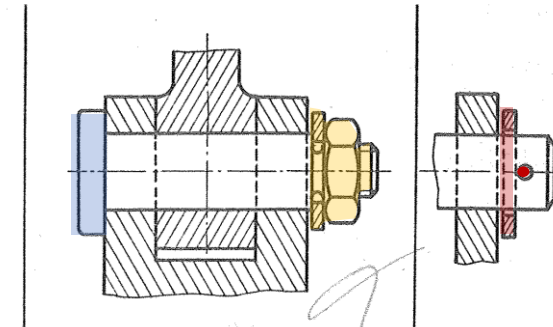
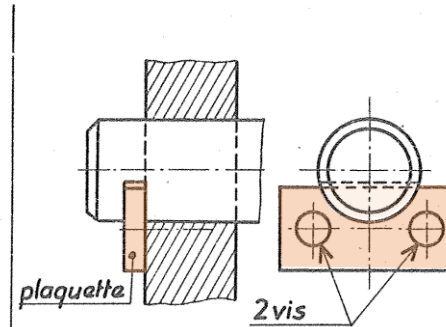
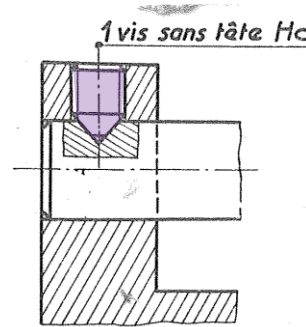
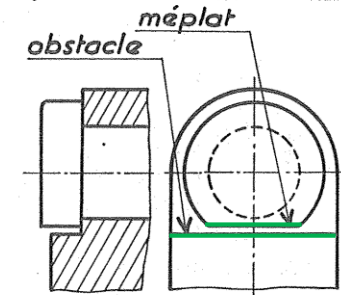
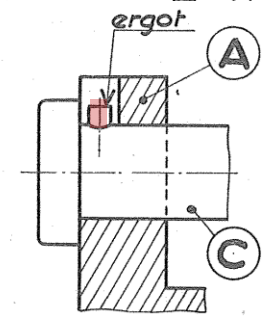
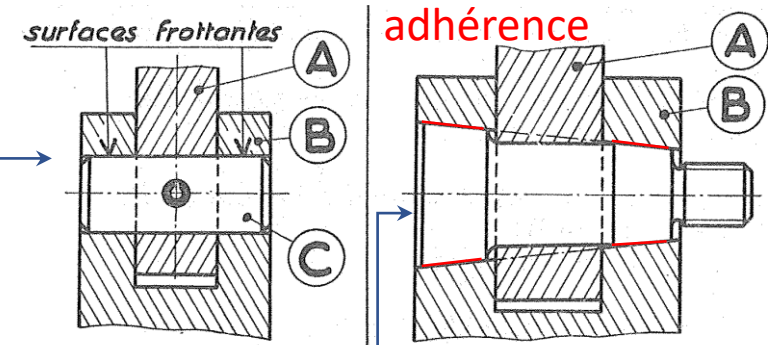
Constitution. L'extrémité de la pièce mobile vient se loger dans la pièce fixe, qui a la forme d'une fourche ou chape ; pour simplifier la construction, cette chape peut être rapportée à l'extrémité de la pièce fixe ; quelquefois c'est la pièce mobile qui forme chape ou qui porte une chape rapportée .



Articulation à chape

Montage de l'axe sur la chape.

- Centrage** : Emmanchement cylindrique ou conique; pour assurer l'appui simultané des 2 parties coniques : **même cône**.
- Liaison en rotation** : elle est obtenue par **adhérence**, par emploi d'un **ergot**, par appui d'un **méplat de la tête contre un obstacle**, par verrouillage au moyen d'une **vis de pression** ou d'une **plaquette logée dans une saignée** de l'axe, etc. Exceptionnellement, l'axe peut être solidaire de la pièce mobile.
- Liaison en translation** : l'axe peut comporter une embase; la liaison en translation est complétée à l'extrémité libre par un **écrou vissé** sur le bout d'axe, par une **rondelle maintenue par goupille**; on peut également utiliser des **circlips** intérieurs (fig. 24) ou extérieurs (fig. 25), des **goupilles Cavalier** (fig. 26 et 27), etc. ; remarquer que les montages des figures 20 et 21 réalisent simultanément la liaison en rotation et en translation.

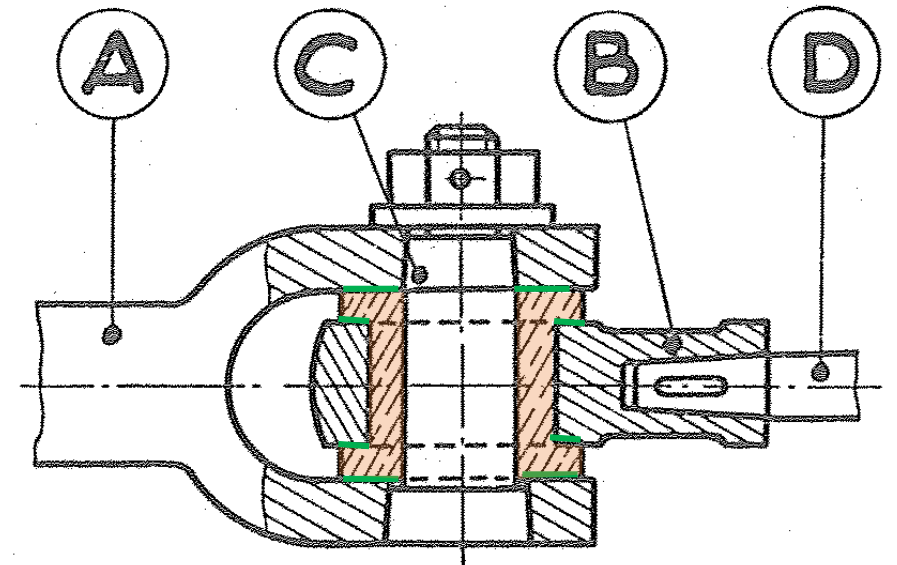
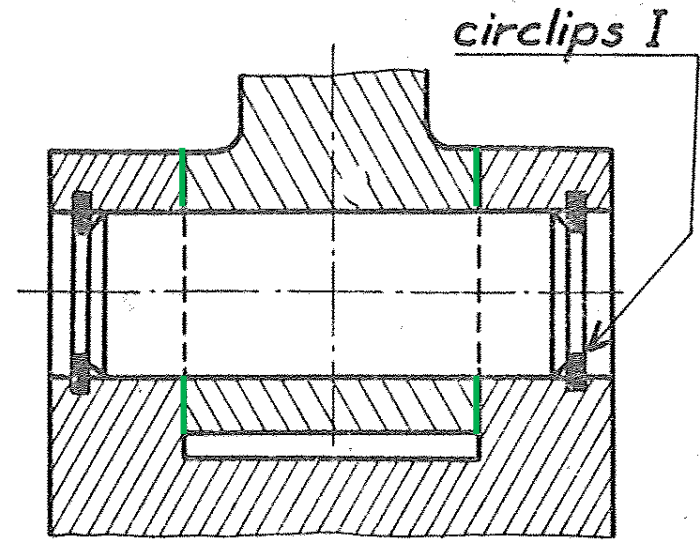


Articulation à chape

Montage de la pièce mobile sur l'axe.

1. **Rotation.** On voit que la pièce mobile ne peut effectuer une rotation complète, sauf si cette pièce a une forme de révolution (galet par exemple) ; la rotation sera facilitée par le choix de l'ajustement, le graissage, etc.
2. **Immobilisation en translation :** par ajustement entre les **faces intérieures de la chape**, ou entre les **2 joues** de la **bague de frottement**.
3. **Résistance.** L'axe est porté par 2 appuis, ce qui est favorable à une bonne résistance ; il peut donc supporter des efforts importants ; on le calculera à la flexion comme une **poutre reposant sur 2 appuis**.

L'effort sur la pièce mobile est dans l'axe de la pièce fixe ; le montage est à préférer chaque fois que le mouvement de la pièce mobile le permettra.

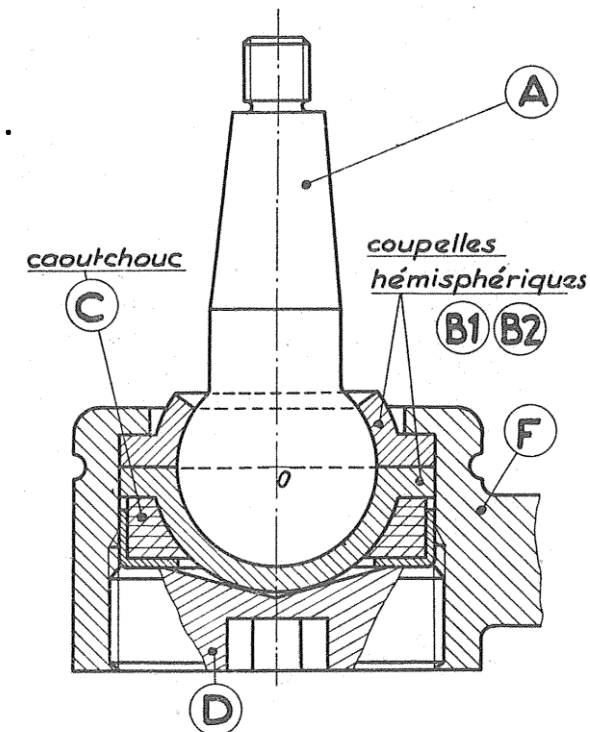
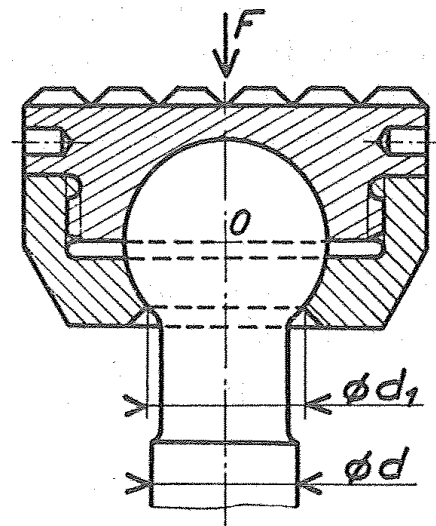
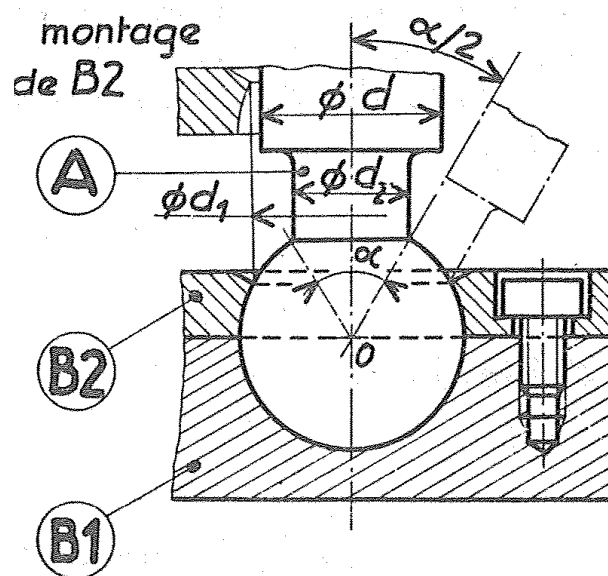


Articulation à rotule

L'une des pièces, se termine par une portion de sphère ; l'autre pièce, présente un évidement sphérique dans lequel se loge l'extrémité de la pièce mobile, pivot dans toutes les directions, autour du centre O de la sphère.

Conditions à remplir.

1. Les 2 pièces ne peuvent être assemblées que si la pièce femelle est elle-même en 2 pièces pour que l'assemblage puisse être monté (1/2 sphère maximum). Il faut de plus que $d_1 > d$.
2. L'effort principal doit porter sur le socle, le couvercle n'étant prévu que pour compléter la liaison.



1. L'amplitude du mouvement faible, limitée à l'angle α correspondant au contact.
2. L'usinage et l'ajustement sont difficiles.