

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -  
**UNIVERSITÉ MOHAMMED SEDDIK BENYAHIA - JIJEL -**  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
**FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**



**Département d'électrotechnique**  
**Licence Électromécanique**

# **POLYCOPIÉ**

## **Construction Mécanique**

Présenté par :  
**Dr. DERAÏ Samir**

**Année universitaire 2023/2024**

## Avant-propos

Ce polycopié de cours s'adresse essentiellement aux étudiants de 3ème année licence LMD de la filière Electromécanique. Son objectif est de Connaître les différents montages et composants constituant les systèmes électromécaniques : modes d'assemblage, de transmission de mouvements, ... etc. Savoir utiliser les outils nécessaires pour étudier, analyser et dimensionner des éléments machines.

Ce polycopié s'articule autour de six chapitres. Le premier chapitre traite les règles générales de construction et des notions fondamentales de la procédure méthodique ainsi que des rappels sur les processus de construction.

Ensuite, le deuxième chapitre aborde en détail le choix des matériaux et des nombres normaux ; le calcul de résistance et la rugosité, et ajustement. Dans cette partie, on trouve les constructions sur la base des aspects de fabrication.

Le troisième chapitre concerne les différents types d'assemblage des éléments de machines soit les assemblages démontables par éléments filetés, soit les assemblages non démontables comme le rivetage, le soudage, brassage et le collage.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des guidages des arbres de transmission et les organes d'appui comme les roulements, le but de ce chapitre est de donner aux étudiants les différents types des roulements et de lubrification en se basant essentiellement sur les règles des montages des roulements.

Le cinquième chapitre présente une partie importante qui étudie les différents types d'accouplements permanents et temporaires et l'arrêt du mouvement par un moyen de freinage (frein). Dans cette partie, on trouve les différents types de freins.

Enfin le dernier chapitre est dédié à l'étude des éléments et les organes de transmission de puissance et de couple en calculant les différentes caractéristiques de mouvement étudié soit par friction, courroies, chaînes ou bien par les engrenages.

## **A propos de la matière**

**Semestre : 5**

**Unité d'enseignement : UEF 3.1.1**

**Matière : Construction mécanique**

**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**

**Crédits : 2**

**Coefficient : 1**

**Connaissances préalables recommandées :** Des connaissances sur les matériaux et sur la mécanique générale. Des connaissances en dessin industriel et en calcul de résistance des matériaux.

**Mode d'évaluation :** Examen : 100%.

# Table des matières

<b>Avant-propos.....</b>	<b>i</b>
<b>A propos de la matière.....</b>	<b>ii</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>iii</b>

## Chapitre 1 : Notions fondamentales et méthodologie de conception

Introduction	8
1.1. Règles générales de construction .....	9
1.1.1. Classification.....	11
1.2. Notions fondamentales de la procédure méthodique .....	12
1.3. Processus de construction.....	13
1.3.1. Planification .....	13
1.3.2. Conception .....	13
1.3.3. Projection .....	13

## Chapitre 2 : Introduction au calcul des éléments de machines

Introduction	16
2.1. Choix des matériaux.....	17
2.2. Résistance et contraintes admissibles.....	18
2.2.1. Résistance statique .....	18
2.2.2. Contrainte admissible.....	20
2.3. Nombre normaux.....	21
2.3.1. Généralités.....	21
2.3.2. Dimensions linéaires normalisées .....	21
2.4. Rugosité et ajustements .....	23
2.4.1. Rugosité.....	23
2.4.2. Notion tolérance .....	25
2.4.3. Nécessité des tolérances .....	25
2.4.4. Ajustements .....	27
2.4.5. Types d'ajustements .....	29
2.5. Construction sur la base des aspects de fabrication :	32

2.5.1. Moulage.....	32
2.5.2. Forgeage .....	33
2.5.3. Emboutissage .....	34

### **Chapitre 3 : Assemblages**

Introduction .....	37
3.1. Assemblage permanent .....	38
3.1.1. Collage .....	38
3.1.2. Brasage .....	41
3.1.3. Soudage .....	42
3.1.2. Rivetage.....	46
3.2. Assemblage par éléments filetés .....	49
3.2.1. Généralités.....	49
3.2.2. Définitions .....	50
3.3.3. Assemblage par éléments filetés .....	53
3.2.4. Réalisation des assemblages .....	53

### **Chapitre 4 : Guidage des arbres**

Introduction .....	61
4.1. Arbres .....	62
4.2. Axes et tourillons .....	64
4.3. Lubrification.....	65
4.4. Paliers lisses .....	69
4.5. Roulements.....	71

### **Chapitre 5 : Accouplements et freins**

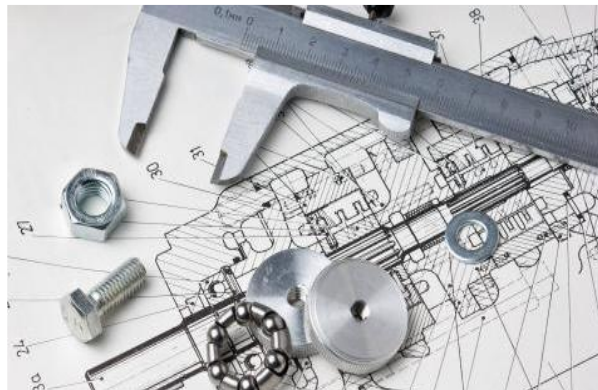
Introduction .....	84
5.1. Accouplements permanents.....	86
5.2. Accouplements temporaires .....	92
5.3. Accouplements spéciaux .....	96
5.4. Freins.....	98

## Chapitre 6 : Transmission

Introduction .....	102
6.1. Roues de friction .....	103
6.2. Chaines .....	108
6.3. Courroies .....	112
6.4. Engrenages cylindriques à denture droite .....	118
6.5. Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale .....	124
6.6. Engrenages coniques à denture droite .....	126
6.7. Roues et vis sans .....	128
 Références bibliographiques .....	 130

# **Chapitre 1.**

## **Notions fondamentales et méthodologie de conception :**



# Table des matières



Introduction .....	8
1. Règles générales de construction .....	9
1.1. Classification .....	11
2. Notions fondamentales de la procédure méthodique .....	12
3. Processus de construction.....	13
3.1. Planification .....	13
3.2. Conception .....	13
3.3. Projection .....	13

# Introduction

La construction mécanique se propose de produire des machines. La visite d'une usine de construction montre différents ateliers dans lesquels de nombreuses machines-outils usinent des pièces, et un atelier de montage où les mécanismes sont formés par l'assemblage ou l'agencement de différentes pièces.

La construction de la machine a cependant débuté avant ces fabrications. L'ouvrier qui exécute une pièce ne prend aucune initiative et se contente de suivre les indications fournies par des plans et des documents écrits.

Le projet de la machine a été établi au bureau d'étude. Ce projet comprend des s dessins de définitions, le dessin ensemble, des calculs, l'évaluation du prix de revient approximatif ; il est établi par un ingénieur. [1]

# Règles générales de construction



La conception des systèmes mécaniques nécessite à la fois des connaissances techniques et des qualités personnelles inhérentes à tout travail de création. Donc une activité à deux dimensions qu'il faut être capable de gérer afin de concevoir le produit optimum dans le délai imparti de l'étude.

Pour atteindre une réussite en construction, le constructeur doit avoir beaucoup de connaissances et d'aptitudes dans plusieurs domaines, dont les plus importants sont : [2]

## ❑ **Dessin :**

Le dessin technique est un outil graphique de conception et de communication. Il permet de représenter l'idée d'un objet ou d'un produit sur un plan, en vue de sa réalisation.

Le dessin technique utilise des règles normalisées. C'est un langage universel et de spécialiste. On distingue deux types : le dessin de définition et le dessin d'ensemble : [3]

## ❑ **Le dessin de l'ensemble :**

Le dessin d'ensemble représente l'ensemble des pièces constituant l'objet technique. Il permet de connaître son organisation, son principe de fonctionnement, ses principales formes et dimensions. [3]

## ❑ **Le dessin de définition :**

Le dessin de définition représente une seule pièce suivant plusieurs vues avec sa cotation. Sa lecture permet de connaître exactement sa forme, sa matière, ses dimensions et spécifications géométriques, et ses états de surface. [3]



Il est non seulement un moyen d'échanger des informations entre le concepteur et le fabricant, mais aussi un contrat. Il est l'unique référence lors de la réception des pièces fabriquées. [3]

#### ❑ **Normalisation :**

Une norme est une feuille (ou un fascicule) où sont consignées essentiellement les règles techniques relatives au dessin, à la désignation et au contrôle des produits industriels. La normalisation et elle seule, qui fait progressivement du dessin le langage commun universel des techniciens. Les formes, les dimensions et la disposition des caractères utilisés pour les dessins techniques sont normalisées. Le but de cette normalisation est d'assurer la lisibilité, l'homogénéité et la reproductibilité des caractères. [4]

#### ❑ **Mécanique :**

Fait appel à plusieurs connaissances professionnelles de l'ingénieur, en particulier aux principes de la mécanique des corps solides, aux propriétés technologiques des matières, aux applications des théories de l'élasticité, de la mécanique des fluides, de la thermodynamique, sans oublier les problèmes de fabrication des pièces et les conditions de montage. [2]

#### ❑ **Résistance des matériaux :**

Elle permet, dans des conditions de sollicitation bien définies, de dimensionner une pièce en fonction du matériau choisi. Ce dimensionnement peut se faire par rapport à un problème de tenue mécanique ; auquel cas on vérifie que les contraintes dans la pièce ne dépassent pas une limite appelée contrainte admissible, ou bien vis à vis d'un problème de rigidité et on vérifie que la déformation de la pièce est inférieure à une limite donnée. [5]

#### ❑ **Science des matériaux :**

La matérialisation d'un objet passe par le choix d'un matériau dont les propriétés doivent satisfaire les exigences du service attendu. Le choix d'un matériau est souvent délicat. Il ne repose jamais uniquement sur des considérations mécaniques; il faut toujours aussi tenir compte des méthodes de fabrication, des coûts, de la résistance aux agressions chimiques, des problèmes d'élimination ou de recyclage après usage. [6]

### ❑ **Procédés de fabrication :**

Lors de la projection d'une machine le constructeur doit donner aux pièces des formes d'usinage faciles et économiques, ce qui nécessite des connaissances en technologie professionnelle, et pratique attentive des travaux d'atelier. [2]

### ❑ **Conception :**

Activité se déroulant au sein d'un bureau d'études, la conception d'un produit a pour but de réaliser un dossier qui définit complètement et sans ambiguïté le produit à partir de l'expression d'un besoin exprimé par un client (la demande client). Une telle activité nécessite à la fois des connaissances techniques et des qualités personnelles inhérentes à tout travail de création. Donc, une activité à deux dimensions qu'il faut être capable de gérer afin de concevoir le produit optimum dans le délai imparti de l'étude. [5]

### **1. Classification :**

Les éléments de machines constituent des parties de mécanismes et remplissent des fonctions mécaniques simples. Un mécanisme est un organisme de transmission du mouvement ou de la puissance d'une pièce du mécanisme à une autre.

Ils sont classés en familles qui possèdent des structures semblables. Les éléments les plus primitifs se composent d'une seule pièce placée entre ou dans d'autres pièces pour former des ensembles plus complexes. Ce sont par exemples les éléments normalisés ou de catalogue comme les goupilles, les clavettes, les ressorts, les vis, les roues dentées, etc. Dans la plupart des cas, deux ou plusieurs pièces jointives forment un élément, comme par exemple les boulons, et génèrent une ou plusieurs fonctions. [2]

# Notions fondamentales de la procédure méthodique



Généralités	12
Processus de construction	13
Planification	13
Conception	13
Projection	13

## 1. Généralités :

Toutes les méthodes de construction présentent les mêmes étapes pour la réalisation d'une machine, d'un appareil ou d'un dispositif. Les étapes sont : conception, projection, calculs et dessins.

Il existe trois types de constructions qui sont :

- ☐ La nouvelle construction : C'est l'élaboration un nouveau principe de solution pour un système (machine, appareil ou dispositif, soit pour le même problème, soit pour un problème changé ou nouveau.
- ☐ La construction adaptative : C'est d'adopter un système connu (le principe de solution reste le même) pour un problème changé pour dépasser de nouvelles limites par exemple.
- ☐ La construction de variantes : C'est faire varier les grandeurs et/ou l'arrangement à l'intérieur des limites du système établi. Les fonctions et le principe de solution restent les mêmes.

Pour des raisons de simplification, on va convenir d'appeler système mécanique tout ce qui peut être machine, mécanisme, appareil, dispositif ou installation.

L'objectif de la construction d'un système est la transformation d'une grandeur. Cette grandeur peut être une énergie, un matériau, un signal, ... etc. [2]

## 2. Processus de construction :

La construction comporte les phases suivantes :

- ☐ Planification.
- ☐ Conception.
- ☐ Projection.

**2.1. Planification :** Elle consiste à choisir les méthodes, les matériaux et la séquence d'événements permettant de construire et de tester une solution. La planification permet d'augmenter la valeur ajoutée à la conception et créer des produits capables d'intégrer des changements répétés, imposés par l'évolution des besoins et le produit soit attractif et robuste.

**2.2. Conception :** La conception est une partie de la construction, qui vient après l'exposé du problème. Grâce à une abstraction, à un établissement de structures fonctionnelles et à une recherche de principes appropriés de solution et leurs combinaisons, la conception fixe la démarche menant à la solution optimale.

**2.3. Projection :** la projection est une étape de construction qui s'occupe de la configuration sur la base des aspects technico-économique et autres, de telle sorte que le passage de la phase des calculs à la fabrication soit rendu sans équivoque. [2]

# **Chapitre 2.**

## **Introduction au calcul des éléments de machines**



# Table des matières



Introduction	16
1. Choix des matériaux.....	17
2. Résistances et contraintes admissibles .....	18
2.1. Résistance statique .....	18
2.2. Contrainte admissible .....	20
3. Nombre normaux.....	21
3.1. Généralités .....	21
3.2. Dimensions linéaires normalisées.....	21
4. Rugosité et tolérance .....	23
4.1. Rugosité .....	23
4.2. Notion tolérance .....	25
4.3. Nécessité des tolérances .....	25
4.4. Ajustements .....	27
4.5. Types d'ajustements .....	29
5. Construction sur la base des aspects de fabrication : .....	32
5.1. Moulage.....	32
5.2. Forgeage .....	33
5.3. Emboutissage.....	34

# Introduction

La construction d'une machine passe par le calcul des dimensions et par la détermination de la nature des matériaux des éléments constitutants. Une première projection de la machine est élaborée en tenant compte des exigences préétablies qui sont entre autres :

- ❑ Conditions de marché : Prix, puissance, rendement, poids, dimensions, longévité, milieu de travail, maintenance, ergonomie.
- ❑ Normalisation. Lois et règles ;
- ❑ Conditions de fonctionnement imposées par l'environnement. [2]

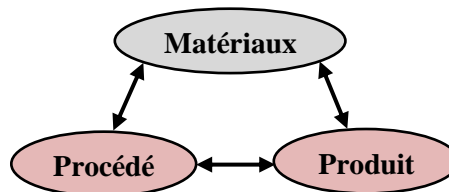
# Choix des matériaux

Dans le choix des matériaux, le principal critère est le degré de satisfaction aux conditions d'utilisation auquel on le destine, tout en limitant les risques de défaillance et en garantissant une durée maximale d'utilisation.

L'ensemble de ces conditions de fonctionnement constitue les exigences fonctionnelles rassemblées dans un cahier des charges.

Le choix d'un matériau ne se fait pas uniquement sur la base des performances attendues, il faut également fabriquer le produit à partir de ce matériau.

Selon les procédés de fabrication, les propriétés du matériau peuvent être altérées ou améliorées. Elles influent directement sur la fiabilité et la longévité du produit.



**Figure1** : Relation « Produit - Matériaux - Procédé ». [3]

En conséquence, le choix d'un matériau est un compromis entre le « **produit** » avec ses exigences fonctionnelles, le « **matériau** » et ses propriétés, et le « **procédé** » regroupant les exigences technologiques comme l'usinabilité, la moulabilité, etc.

Une fois le choix du couple matériau-procédé jugé acceptable vis-à-vis du cahier des charges fonctionnelles, les contraintes économiques, sociales et environnementales jouent un rôle déterminant avant le choix final. [3]

18  
20

A schematic diagram of a cylindrical specimen for a three-point bending test. The specimen is shown in a side view with a central section of diameter  $d_0$  and end sections of diameter  $d_1$ . The total length of the specimen is  $l_t$ . The distance from the end of the specimen to the center of the central section is  $h$ . The central section has a length  $l_c$ . A vertical load  $P$  is applied at the center of the central section, which is at a distance  $l_0$  from each support. The specimen is supported at two points, represented by small circles at the ends of the central section.

18

La base de mesure sur l'éprouvette est  $\ell_0 = 5d$  ou  $\ell_0 = 10d$ .

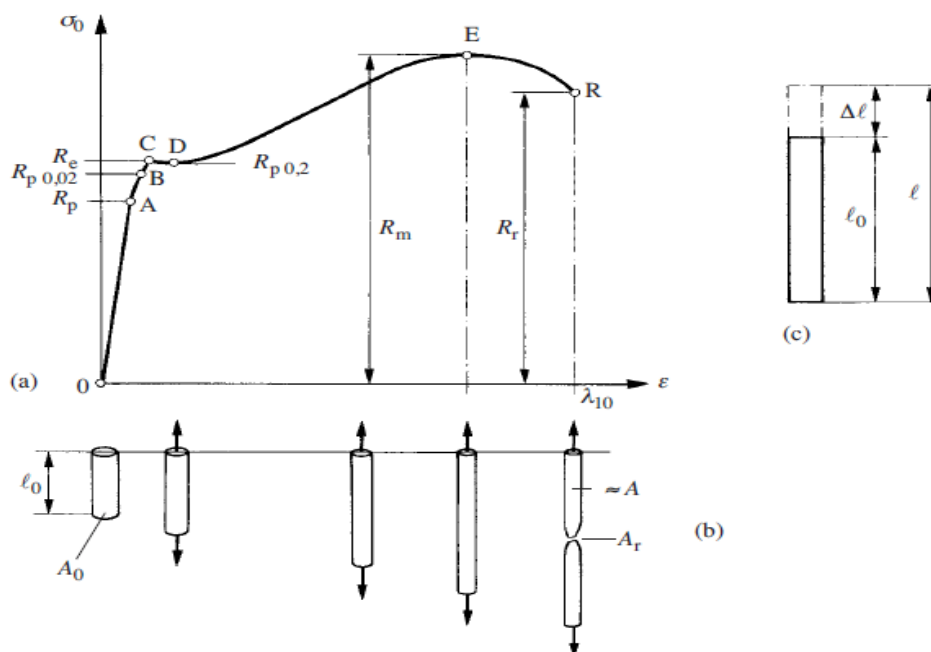
La figure 3 montre le diagramme nominal de traction ( $\sigma_0, \varepsilon$ ) et la déformation d'une éprouvette d'acier doux ou d'un métal ductile présentant un palier d'écoulement marqué. Rappelons les principaux éléments retenus dans les normes pour caractériser le comportement statique des matériaux.

La **limite de proportionnalité  $R_p$**  correspond à la fin du domaine proportionnel (point A).

La **limite apparente d'élasticité  $R_e$**  ou **limite d'écoulement** correspond au seuil d'écoulement plastique plus ou moins marqué du diagramme (point C).

Jusqu'au point C, la déformation est approximativement élastique ; au-delà, elle est plastique. Selon le matériau, le seuil d'écoulement C n'est pas toujours marqué. En outre, il est souvent difficile de situer avec précision la limite de proportionnalité. On définit alors des limites conventionnelles associées à une déformation résiduelle déterminée. Ce sont :

- ❑ La **limite conventionnelle de proportionnalité  $R_{p0,02}$**  correspondant à un allongement rémanent de 0,02% (point B) ;
- ❑ La **limite conventionnelle d'élasticité  $R_{p0,02}$** , dont l'allongement rémanent est 0,2% (point D); on utilise généralement dans les calculs de dimensionnement des éléments de machines la valeur, sauf dans les problèmes de flambage où il est prudent de faire intervenir  $R_{p0,02}$ . [6]



**Figure 3 :** Essai de traction d'un acier doux : (a) diagramme nominal ; (b) forme de l'éprouvette ; (c) longueurs. [6]

Lorsque la charge augmente encore, les déformations s'accroissent fortement. On observe le phénomène de **striction**, c'est-à-dire un étirement local important avec un rétrécissement marqué de l'éprouvette. La contrainte nominale passe par un maximum, point E, lorsque débute la striction. La rupture survient au point R.

La **résistance à la traction** correspond à la contrainte nominale la plus élevée supportée par l'éprouvette (point E).

La **contrainte de rupture** est la contrainte nominale pour laquelle l'éprouvette se casse. [6]

## 2. Contrainte admissible :

La contrainte admissible  $[\sigma]$  ou  $[\tau]$  : Cette contrainte est utilisée lors de la vérification de la résistance d'un élément ; elle est définie comme étant égale à la contrainte limite divisée par un coefficient de sécurité. La contrainte limite, selon les types de matériaux, et sollicitation est :

- La limite élastique ou conventionnelle ou encore la limite d'élasticité par glissement pour les aciers, les aciers alliés, les aciers moulés, l'aluminium et ses alliages, les métaux légers et leurs alliages, d'où :

$$[\sigma] = \frac{(R_e \text{ ou } R_{p0,2})}{S} ; \quad [\tau] = \frac{R_{eg}}{S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Le coefficient de sécurité S est compris entre 1,3 et 1,8 ; on choisit en général S = 1,5.

- La résistance à la rupture pour les fontes grises, les matières plastique, la céramique, c'est-à-dire pour les matériaux n'ayant pas une limite d'écoulement bien marquée, d'où :

$$[\sigma] = \frac{R_m}{S} ; \quad [\tau] = \frac{R_g}{S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Le coefficient de sécurité S est compris entre 1,5 et 2,5 ; on choisit en général S = 2.

Les contraintes admissibles, selon le type de sollicitations, sont :

- Pour la traction :  $[\sigma_T]$
- Pour la compression :  $[\sigma_C]$
- Pour la flexion :  $[\sigma_F]$
- Pour la torsion :  $[\tau_T]$
- Pour le cisaillement :  $[\tau_C]$ . [2]

# Nombres normaux



Généralités	21
Dimensions linéaires normalisées	21

## 1. Généralités

La normalisation se définit comme étant le résultat d'un travail d'unification de fondement d'intérêt général. La normalisation, dont le domaine d'application est très vaste, se rapporte entre autres à :

- ☐ La classification.
- ☐ La planification.
- ☐ Des dimensions d'objets, etc.

Un bienfait de la normalisation est l'interchangeabilité de pièces dans une machine ou dans un appareil. L'interchangeabilité n'a été possible qu'après la normalisation de dimensions. [2]

## 2. Dimensions linéaires normalisées :

### 2.1. Nombres normaux :

Il est préférable, pour les grandeurs (puissances, dimensions, etc.) s'exprimant en chiffres, d'utiliser les nombres normaux. Les nombres normaux supérieurs à 10 sont obtenus en multipliant les nombres normaux principaux par 10, 100, etc. Alors que les nombres inférieurs à 1 en divisant les nombres normaux principaux par 10, 100, etc. Les nombres normaux sont les termes de valeurs conventionnellement arrondies de séries géométriques comportant des puissances entières de 10 et ayant comme raison respectivement :  $(10)^{1/5}$ ,  $(10)^{1/10}$ ,  $(10)^{1/20}$ ,  $(10)^{1/40}$  et exceptionnellement  $(10)^{1/80}$ . Ces séries sont désignées par la lettre R suivi d'un nombre correspondant à la raison choisie (exemple : R5 pour la raison égale à  $(10)^{1/5}$ ).

Dans la pratique lorsque les nombres principaux ne suffisent plus, on utilise des valeurs arrondies que l'on désigne par Ra. [2]

## **2.2. Dimensions linéaires nominales :**

Les Dimensions linéaires nominales sont constituées de nombres normaux. Les dimensions comprises entre 0,1 et 950 mm sont connues. Pour les dimensions supérieures à 1000 mm, on doit utiliser les nombres normaux. [2]

# Rugosité et tolérances

## IV

Rugosité	23
Notion tolérances	25
Nécessité des tolérances	25
Ajustements	27
Types d'ajustements	29

### 1. Rugosité :

L'aptitude d'une pièce, a une fonction donnée, dépend d'un ensemble de conditions, notamment des caractéristiques de ses états de surface.

Si l'on coupe normalement une surface par un plan, on obtient une courbe appelée « **profil de surface** ».

C'est à partir de ce profil que l'on analyse les différents défauts de la surface.

On classe les défauts géométriques en quatre ordres de grandeur.

#### Défauts du premier ordre :

Ce sont des défauts de forme. Par exemple : écarts de rectitude, écarts de circularité, etc.

#### Défauts du deuxième ordre :

C'est une ligne ondulée. Elle est caractérisée par une ligne enveloppe supérieure.

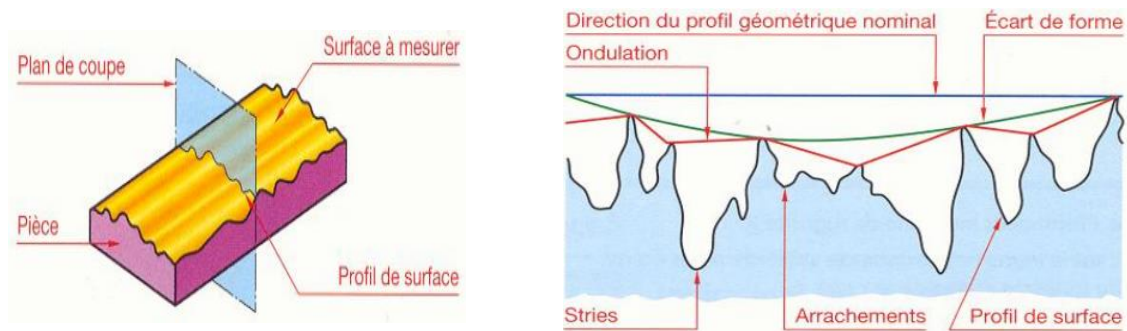
La distance d'irrégularité entre deux sommets est comprise entre 0,5 et 2,5 mm environ.

#### Défauts du troisième et du quatrième ordre :

Ils caractérisent la rugosité de la surface.

Les défauts du troisième ordre sont constitués par des stries ou sillons. La distance entre deux sillons est comprise entre 0,02 et 0,5 mm environ.

Les défauts du quatrième ordre sont des défauts apériodiques constitués par des arrachements, fentes, etc. La distance entre deux pics de ces irrégularités est inférieure ou égale à 20 µm. [7]



**Figure 1 : Analyse d'une surface. [7]**

### 1.1. Paramètre de la rugosité liée aux motifs :

#### □ Profondeur moyenne de rugosité R :

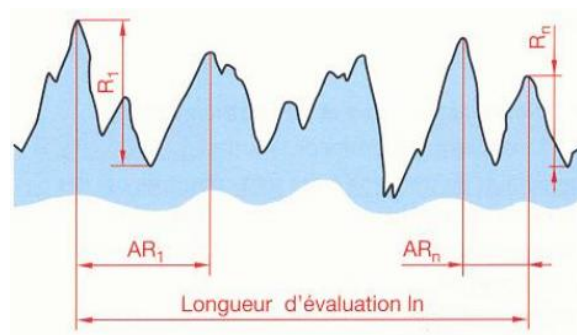
C'est la moyenne des distances saillie-creux des écarts du troisième et quatrième ordre.

$$R \approx \frac{R_1 + \dots + R_n}{n} \text{ avec } n \geq 8.$$

#### □ Pas moyen de rugosité AR :

C'est la moyenne des distances saillie-saillie des écarts du troisième et quatrième ordre. [7]

$$AR \approx \frac{AR_1 + \dots + AR_n}{n} \text{ avec } n \geq 8.$$



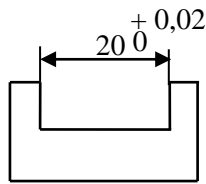
**Figure 2 : Paramètre de la rugosité liée aux motifs. [7]**

## 2. Notion tolérances :

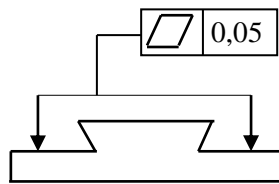
L'imprécision inévitable des procédés d'usinage fait qu'une pièce ne peut pas être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées au préalable. Il a donc fallu tolérer que la dimension effectivement réalisée soit comprise entre deux dimensions limites, compatibles avec un fonctionnement correct de la pièce. La différence entre ces deux dimensions constitue la **tolérance**. [4]

### Exemple :

#### ❑ Tolérances dimensionnelles :



#### ❑ Tolérance géométrique :



## 3. Nécessité des tolérances :

Compte tenu du processus de fabrication choisi et des machines utilisées, une cote réelle mesurant l'une des dimensions d'un objet ne peut être exactement la même que celle (cote nominale).

S'il faut fabriquer une série d'objets identiques, il est impossible à une même forme d'avoir toujours exactement la même dimension d'un objet à l'autre.

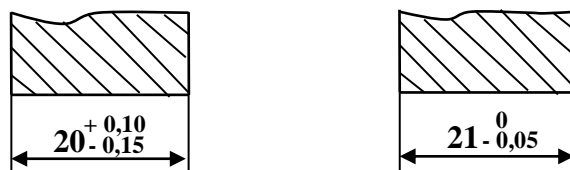
Une cote imposée sera plus facile à réaliser si elle peut varier entre deux valeurs limites : une cote maximale (**C Maxi**) et une cote minimale (**C Mini**). La différence entre les deux s'appelle intervalle de tolérance (**IT**).

### ❑ Tolérances chiffrées :

Inscrire, à la suite de dimension nominale, les valeurs des écarts supérieur et inférieur. Ces valeurs sont déplacées l'une au-dessous de l'autre. Celle correspondant à la limite supérieure étant inscrite la première.

Donner les valeurs des écarts, avec leur signe, dans la même unité que la dimension nominale et mettre à l'un et l'autre le même nombre décimale (figure 3).

Dans le cas d'un écart nul, ne mettre ni signe ni décimale.



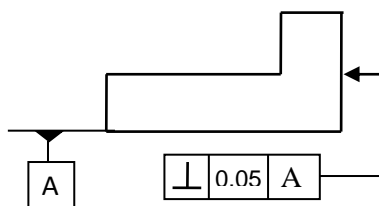
**Figure 3 :** Tolérances chiffrées. [4]

### ❑ Tolérances géométriques :









Les tolérances géométriques (normes internationales : figure 4) permettent de corriger ces défauts et précisent les variations permises. Elles sont toujours restrictives par rapport aux tolérances dimensionnelles. Leur emploi ne doit pas être systématique. Un excès de spécifications amène un surcoût inutile. Les tolérances retenues doivent rester aussi larges que possible. [8]

### ❑ Emplacement des symboles :

La référence est identifiée par une lettre majuscule. Si le cadre de référence peut être relié directement à la référence, la lettre majuscule peut être supprimée. [4]



**Figure 4 :** tolérances géométriques. [4]

Les tolérances géométrique –ISO 1101		
Type de tolérance	Symbole (ISO)	Cas
Tolérances de formes		Planéité
		Cylindricité
Tolérances de positions		Coaxialité
		Symétrie
		Localisation
Tolérances d'orientations		Perpendicularité
		Parallélisme
		Inclinaison

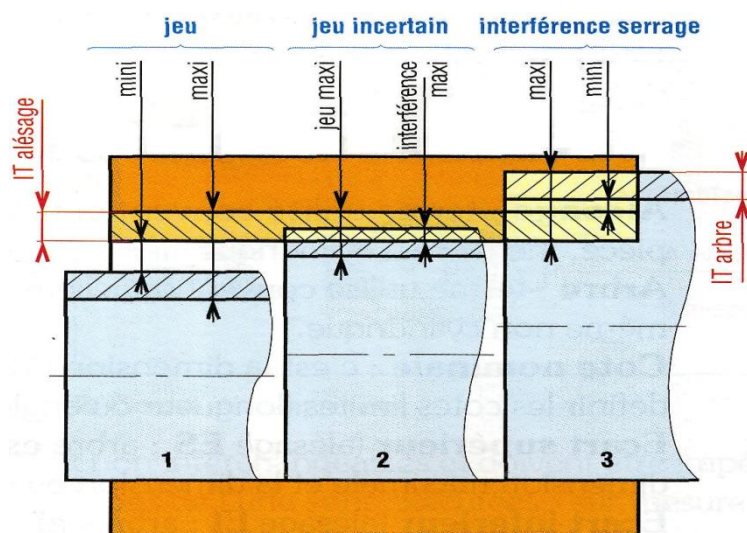
**Tableau 1** : différents symboles de tolérances géométrique. [8]

#### 4. Ajustements :

Un ajustement est constitué par l'assemblage de deux pièces de même dimension nominale. Il est désigné par cette dimension nominale suivie des symboles correspondant à chaque pièce, en commençant par l'alésage.

La position relative des tolérances détermine :

- ☐ Soit un ajustement avec jeu,
- ☐ Soit un ajustement incertain, c'est-à-dire pouvant présenter tantôt un jeu, tantôt un serrage,
- ☐ Soit un ajustement avec serrage. [4]



**Figure 5** : Types d'ajustements. [8]

### Définitions normalisées ISO :

**Cote nominale :** Elle définit la ligne zéro ou ligne d'écart nul.

**Écart supérieur :** « **ES** » pour un alésage ; « **es** » pour un arbre.

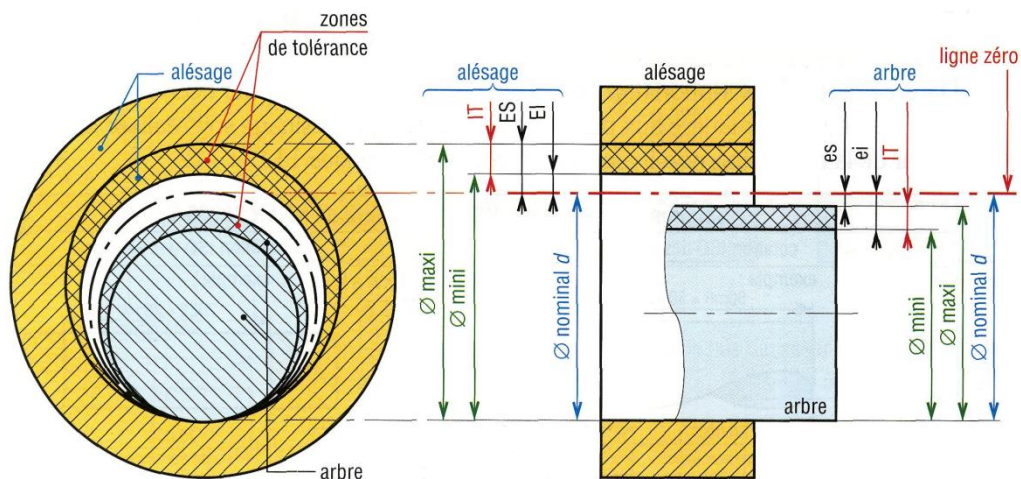
**Écart inférieur :** « **EI** » pour un alésage ; « **ei** » pour un arbre.

Les écarts sont positifs au-dessus de la ligne zéro ; ils sont négatives au-dessous.

**Cote maxi :** Cote admissible la plus grande.

**Cote mini :** Cote admissible la plus petite. [9]

**Intervalle de tolérance (IT) :** C'est la différence entre la dimension maximale et la dimension minimale ou entre l'écart supérieur et l'écart inférieur (valeur absolue sans signe). [8]



**Figure 6 :** Principe des ajustements normalisés ISO. [8]

### Alésage :

Écart Supérieur  $ES = \varnothing \text{ max} - \varnothing \text{ nominal}$

Écart Inférieur  $EI = \varnothing \text{ mini} - \varnothing \text{ nominal}$

Intervalle de Tolérance  $IT = ES - EI$

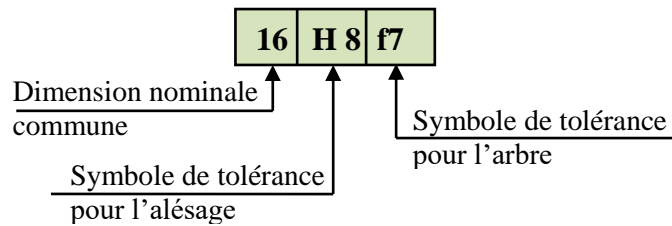
### Arbre :

écart supérieur  $es = \varnothing \text{ max} - \varnothing \text{ nominal}$

écart inférieur  $ei = \varnothing \text{ min} - \varnothing \text{ nominal}$

Intervalle de tolérance  $it = es - ei$

Pour un ajustement, les exigences fonctionnelles définies par le système ISO sont établies à partir du principe de l'enveloppe. [4]



## 5. Types d'ajustements :

### □ Ajustement avec jeu :

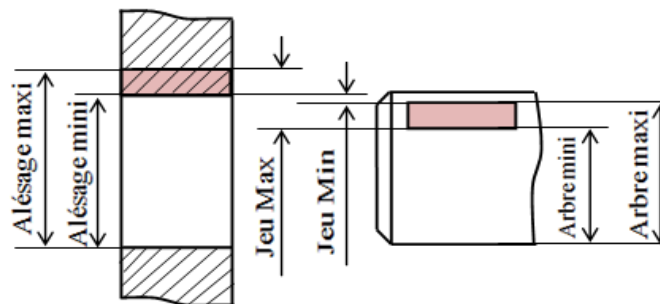
Pour cet ajustement (voir figure 7), toute la zone de tolérance se trouve au-dessus de celle de l'arbre et la cote effective de l'alésage est toujours supérieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi l'arbre pénètre librement et sans résistance dans l'alésage.

$$\text{Jeu maxi} = C_{\text{max}}(\text{alésage}) - C_{\text{min}}(\text{arbre}) = (C_n + ES) - (C_n + ei) = ES - ei$$

$$\text{Jeu mini} = C_{\text{min}}(\text{alésage}) - C_{\text{max}}(\text{arbre}) = (C_n + EI) - (C_n + es) = EI - es$$

$$\text{Jeu mini} \leq \text{Jeu réel} \leq \text{Jeu maxi}$$

$$TA = IT + it \text{ dans ce cas } TA = \text{Jeu maxi} - \text{Jeu mini}$$



**Figure 7 :** Ajustement avec jeu. [9]

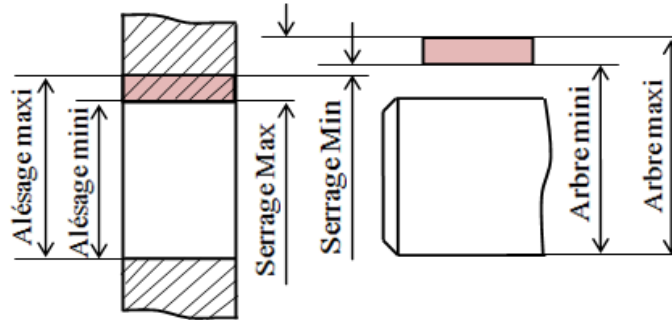
□ **Ajustement avec serrage :** Dans ce cas toute la zone de tolérance de l'alésage se trouve au-dessous de celle de l'arbre (figure. 8). La cote réelle de l'alésage est inférieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi pour effectuer un assemblage de ce type, il faut employer un procédé mécanique ou thermique ou une combinaison des deux.

$$\text{Serrage maxi} = C_{\text{max}}(\text{arbre}) - C_{\text{min}}(\text{alésage}) = (C_n + es) - (C_n + EI) = es - EI$$

$$\text{Serrage min} = C_{\text{min}}(\text{arbre}) - C_{\text{max}}(\text{alésage}) = (C_n + ei) - (C_n + ES) = ei - ES$$

$$\text{Serrage min} \leq \text{Serrage réel} \leq \text{Serrage maxi}$$

$$TA = IT + it = (ES - EI) + (es - ei) = \text{Serrage maxi} - \text{Serrage min}$$



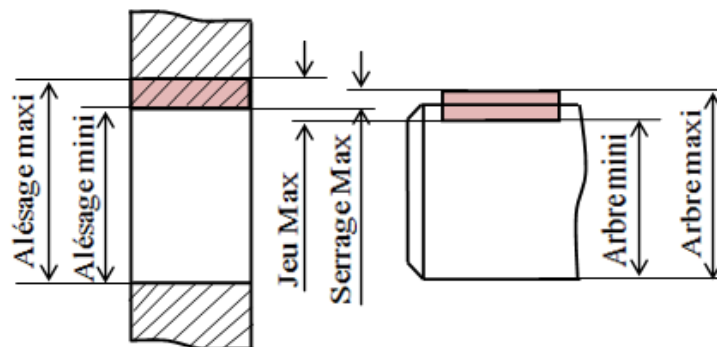
**Figure 8 :** Ajustement avec serrage. [9]

- ❑ **Ajustement incertain :** Pour l'ajustement incertain (figure 9) la zone de la tolérance de l'arbre couvre partiellement celle de l'alésage. L'ajustement obtenu sera soit un jeu soit un serrage. Les intervalles de tolérance se chevauchent.

$$\text{Serrage maxi} = es - EI$$

$$\text{Jeu maxi} = ES - ei$$

$$T_A = IT + it = (ES - EI) + (es - ei) = (ES - ei) + (es - EI) = \text{Serrage maxi} - \text{Jeu maxi}.$$



**Figure 9 :** Ajustement incertain. [9]

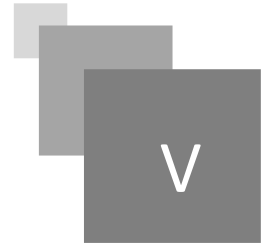
**Exemple :** Soit l'assemblage suivant **16 H8 / f7** : Le diamètre nominal de l'alésage et de l'arbre est de 16mm.

**Alésage** Tolérance **H8** c'est-à-dire  $16^{+0,027}_0$  **Arbre** Tolérance **f7** c'est à dire  $16^{-0,016}_{-0,034}$

	Alésage Ø16 H8	Arbre Ø16 f7
Cote nominale (mm)	Ø16	Ø16
Ecart supérieur (mm)	ES = + 0,027	es = - 0,016
Ecart inférieur (mm)	EI = 0	ei = - 0,034
Cote Maxi (mm) = $D_{nom} + ES$	Alésage <sub>max</sub> = 16,027	Arbre <sub>max</sub> = 15,984
Cote Mini (mm) = $D_{nom} + EI$	Alésage <sub>min</sub> = 16,000	Arbre <sub>min</sub> = 15,966
IT(mm) = Ecart supérieur - Ecart inférieur	0,027	0,018
Jeu maxi = cote Alésage <sub>max</sub> - cote Arbre <sub>min</sub>	Jeu maxi = 16,027 - 15,966 = 0,061	
Jeu mini = cote Alésage <sub>min</sub> - cote Arbre <sub>max</sub>	Jeu mini = 16,000 - 15,984 = 0,016	
$IT_{jeu} = Jeu_{max} - jeu_{min} = IT_{Alésage} - IT_{Arbre}$	$IT_{jeu} = 0,061 - 0,016 = 0,045$	

**Tableau 2 :** ajustement à alésage normal avec jeu 16 H8 / f7.

# Construction sur la base des aspects de fabrication



Moulage	32
Forgeage	33
Emboutissage	34

La projection de pièces de machines dépend des procédés de fabrication. Il sera question dans cette partie de vue constructif les procédés essentiels de fabrication, sans autant aller dans les détails.

## 1- Moulage :

### ❑ Principes généraux :

- a) Faire un modèle en bois, avec des formes et dimensions voisines de celles de la pièce à obtenir,
- b) Utiliser des **châssis** métalliques superposables avec positionnement.
- c) Enrober le modèle dans du sable de fonderie (mélange de silice, argile, et autres corps, légèrement humide).
- d) Le modèle sorti, laisse dans le moule une empreinte de forme complémentaire au solide à obtenir.
- e) Couler dans le moule du **métal fondu**.

### ❑ Opérations successives :

- 1- Châssis inférieur posé sur un marbre - modèle posé sur le marbre remplir le châssis **en sable**;
- 2- châssis inférieur retourné, placer un deuxième châssis, faire le joint (saupoudrer de silice sèche et fine) ; [1]

- 3- Remplir de sable le châssis supérieur, on a préalablement placé un solide tronconique qui formera le trou de coulée, avec une aiguille faire en direction du modèle des trous d'air ;
- 4- Soulever le châssis supérieur et le mettre en attente (à cause du joint de silice, les masses de sable se séparent bien) - enlever le modèle préparer le canal de coulée ;
- 5- Remettre en place le châssis supérieur et charger ce châssis avec des pièces lourdes (faute de quoi la pression du métal liquide soulèverait ce châssis) amener la fonte liquide;
- 6- Après refroidissement, ouvrir le moule en cassant le sable - sortir la pièce  
- casser la coulée.

## 2. Forgeage :

Le forgeage consiste à déformer le métal chauffé et rendu pâteux, pour obtenir par choc **ou** par pression les formes voulues pour la pièce.

Forgeage à la main. La pièce est chauffée dans une forge (foyer). Le forgeage se fait sur l'enclume (lourde masse d'acier). La pièce est prise avec des tenailles (formes très variées) puis forgée au marteau, soit en frappant directement sur le métal porté au rouge, soit en interposant des outils de formes très diverses.

b) Forgeage mécanique par **choc**. De plus en plus on fait appel à des marteaux pilons (à vapeur, à air comprimé), à des martines ou à des moutons.

c) Forgeage mécanique par pression lente. Une *seule* opération amène la pièce à la forme voulue (presse hydraulique, presse à vis, presse à excentrique ou à bielle-manivelle).

Pour obtenir en une seule opération la pièce forgée, *on* utilise d'eux matrices en acier très dur de forme convenable entre lesquelles on amène une ébauche chauffée au rouge.

- a) les former de la pièce projetée
- b) les formes réalisables (dépouille nécessaire)
- c) l'ébauche nécessaire.

Le forgeage se fera sur une **machine** à Forger fonctionnant par choc ou par pression. Dans les deux cas, le métal pâteux est contraint de remplir les creux des deux matrices.

1. Matriçage, On réserve le nom de matriçage à l'opération faite dans deux matrices libres, mais positionnées l'une sur l'autre par des goujons. [1]

2. Estampage. Dans ce cas les deux motrices sont fixées, l'une sur la chabotte ou enclume, l'autre sur la masse frappante. Le positionnement doit être précis pour que les deux matrices arrivent exactement en place au moment du choc.
3. Dans tous les cas, l'ébauche doit contenir un surplus de métal. Les deux motrices comportent un dégagement pour l'excès de matière et il faut ensuite procéder à l'ébavurage de la pièce (découpage).

### 3. Emboutissage :

L'emboutissage donne des formes creuses par déformation d'une tôle à froid. Le métal employé doit **être** très malléable (acier extra doux, aciers spéciaux, certains aciers inoxydables, cuivre, laiton, aluminium, alliages d'aluminium et autres alliages légers,...). Le plus souvent le métal subit **un recuit** qui augmente la maléabilité.

- a) L'outillage de base est un **poinçon** et une **matrice**. Ici, matrice à entrée conique, remarquer le centrage du flan.
- b) Autre matrice avec entrée par un arrondi.
- c) Utilisation d'un **serre-flan**. Ce dispositif maintient la tôle, évite la formation de plis, et facilite la remontée du poinçon.
- d) Emboutissage en plusieurs passes ; il est nécessaire
  - Pour obtenir des emboutis profonds,
  - Pour obtenir des emboutis de formes complexes.

Dans un emboutissage en plusieurs passes, la pièce subira un recuit avant chaque opération, pour supprimer l'écrouissage. [1]

# Chapitre 3.

## Assemblages



# Table des matières



Introduction	37
1. Assemblage permanent .....	38
1.1. Collage .....	38
1.2. Brasage .....	41
1.3. Soudage .....	42
1.2. Rivetage.....	46
2. Assemblage par éléments filetés .....	49
2.1. Généralités .....	49
2.2. Définitions .....	50
3.3. Assemblage par éléments filetés .....	53
2.4. Réalisation des assemblages .....	53

# Introduction :



Tout mécanisme comporte un certain nombre de pièces assemblées les unes aux autres ; certaines d'entre elles sont fixes, d'autres sont mobiles. Ces dernières doivent être reliées aux pièces fixes par des assemblages ayant pour but de les guider et de limiter leur déplacement. D'autre part, les nécessités de fabrication, de montage, de transport, de réparation obligent également le constructeur à prévoir, en plusieurs pièces certains, organes fixes ou mobile, d'où la nécessité de nouveaux assemblages. [10]

On peut classer les solutions constructives en fonction de la possibilité pour l'assemblage, d'être démonté. Nous distinguons deux familles de solution :

- ❑ Les liaisons complètes démontables que l'on peut désolidariser sans détérioration ;
- ❑ Les liaisons complètes permanentes (non démontables) qui ne peuvent pas être désaccouplé sans destruction des pièces.

Donc, il existe deux types d'assemblage : les **démontables** et les **non-démontables** les assemblages non-démontables sont ceux qui sont collés, brasés, soudés, rivetés. Les assemblages démontables sont les quatre types de composants standards filetés : Les vis d'assemblage ou de pression, les boulons et les goujons. [3]

# Assemblage permanent



Collage	38
Brasage	41
Soudage	42
Rivetage	46

Un mécanisme est un ensemble d'organes assujettis à des liaisons. Celles-ci assurent l'immobilisation relative, totale ou partielle, de deux pièces adjacentes.

Pour assurer les liaisons, on utilise dans la plus part des cas, des organes accessoires ou éléments technologiques dont la forme et les dimensions ont été normalisées. [10]

En construction mécanique, on appelle «liaison complète indémontable», un assemblage permanent de pièces ne permettant pas de les désolidariser sans destruction.

Ce type de liaison peut-être réalisé soit par : collage, brassage, soudage et rivetage. [3]

## 1. Collage :

Il permet d'assembler de façon permanente des matériaux différents. C'est un procédé d'assemblage économique. Le principe est très simple pour coller deux pièces ; on enduit les surfaces à assembler au moyen de la colle qui se présente sous forme liquide ou poreuse. Les pièces sont serrées l'une contre l'autre pendant le durcissement de la colle. L'adhésion est le résultat d'une attraction d'origine physique, électrique ou chimique.

Le choix de la colle est fonction des matériaux à assembler. Pour obtenir une bonne adhésion, il faut que les surfaces soient bien propres et le pouvoir mouillant de la colle soit élevé. Le durcissement d'une colle peut s'effectuer de plusieurs façons :

- ☐ Absorption de l'eau ou du solvant de la colle par les surfaces en contact, qui doivent donc être poreuses (papier, carton, bois).
- ☐ Evaporation du solvant, d'où nécessité d'un contact entre l'air et l'adhésif. [10]



- ☐ Oxydation de la colle, d'où nécessité du contact avec l'air.
- ☐ Transformation chimique, nécessitant parfois des catalyseurs incorporés au moment de l'emploi.
- ☐ Polymérisation sous l'action de la chaleur, d'où nécessité d'un chauffage.

Les colles industrielles sont classées selon leur origine en :

### 1- Colle utilisant des produits naturels :

- ❑ Produits d'origine animale :

Elles sont à base de protéines extraites de déchets d'abattage (peaux, os, cornes etc..) ou du lait caféine, destinées pour le collage du bois et du papier

- ☐ Produits d'origine végétale :

A la base d'amidon, fécule, dextrine, résines naturelles (gomme laque, latex, colophane), elles sont destinées pour papeterie, cuir et caoutchouc.

- ❑ Produits d'origine minérale :

A la base de silicate de sodium, borosilicates, chaux, ciments, litharge etc.,...

Ces produits résistent aux hautes températures.

## 2- Produits artificiels :

Produits dérivés de la cellulose (nitrate de cellulose, éthylcellulose etc...) produits dérivés du pétrole (asphalte).

### 3- Produits synthétiques :

- ❑ Résines thermoplastiques :

Résines vinyliques et acryliques, polyamides, polystyrènes, caoutchoucs synthétiques, silicone, etc. Destinées pour papier, bois, cuir, tissus, etc.

- ❑ Résines thermodurcissables :

Phénoplastes, aminoplastes (bois, papier, tissus, métal), époxydes (ARALDITE), (verre, céramique, textiles, bois, béton), polyuréthane (cuir, matières plastiques, métaux etc...

Pour le collage du métal sur métal, les colles qui conviennent sont les résines phénoliques ARALDITE, colles à base de caoutchouc synthétique, de silicones. [10]

En plus les colles résistantes à la chaleur (120°C) sont des colles minérales, les résines thermodurcissables. Les colles à base de résines synthétiques sont résistantes à la plupart des agents chimiques (acides, bases, sels... ) et l'eau et aussi aux intempéries.

### **1.1. Mise en œuvre du collage métal sur métal :**

**1- préparation des surfaces :** D'une façon générale, il faut nettoyer et décaper les surfaces immédiatement avant le collage,

**2- Application de la colle :** Il existe de nombreux procédés, variant suivant l'état physique de la colle : application au pinceau en caoutchouc, à la spatule (pour les colles épaisses), à la brosse (collage des papiers), au rouleau de peintre, au tampon de caoutchouc, au pistolet (pour les colles très fluides) ; bâtonnet frotté sur surface chauffée, etc.

**3- Serrage :** Il s'effectue au serre-joint ou à la presse, chauffante ou non suivant la nature de la colle, temps variable avec la nature de la colle et la température de chauffage

### **3. Avantages et inconvénients du collage :**

Pas de saillies sur les deux faces de l'assemblage (contrairement aux rivures): pas de concentration de contraintes autour des trous (à l'opposé des trous pour rivets); pas de chauffage à température élevée (contrairement au soudage), étanchéité parfaite, possibilité d'assembler des matériaux très différents : métal et plastique, métal et bois, textile sur bois et métal, etc ; emploi d'une main d'œuvre non spécialisée, etc. Mais prix élevé des colles ; nécessité de préparer les surfaces, de presser et chauffer pendant un temps assez long.

### **4. Application :**

De nombreuses applications dans toutes les industries telles que :

- ☐ Industrie alimentaires : Emballage en bois, papier, carton, plastique ;
- ☐ Industrie du bois : Fabrication du contre-plaqué, des produits agglomérés, des panneaux genre « Formica » ; assemblage des meubles et charpentes ;
- ☐ Industrie automobile : Collage de tissus, garniture et caoutchouc sur métal ;
- ☐ Industrie aéronautique : Assemblage des tôles en alliage d'aluminium ;
- ☐ Industrie du bâtiment : Collage du béton, du marbre, du stuc, des charpentes en bois et des charpentes métalliques ;
- ☐ Industrie de la chaussure, du caoutchouc, de la céramique, etc. [10]

## **2. Brasage :**

### **2.1. Généralités :**

En brasage, on cherche à obtenir un assemblage de pièces, généralement métalliques, sans que les parties jointives de ces dernières ne participent à la fusion. Le procédé permet d'assembler des métaux de températures de fusion très différentes. Compte tenu des températures utilisées, il diminue d'amplitude des déformations dues aux retraits. Dans certains cas, il évite une modification de structure obtenue préalablement par un traitement thermique.

### **2.2. Soudo-brasage :**

C'est une forme particulière du brasage où la fusion du métal d'apport, au lieu de s'effectuer simultanément dans l'ensemble du joint, est obtenue de proche en proche à l'aide de la chaleur apportée par un chalumeau soudeur. La forme du dépôt s'apparente à celle d'un cordon de soudure effectuée sur chanfrein. [11]

### **2.3. Conception dans le cas du brasage, du soudobrasage:**

Le brasage tendre est réalisé à moins de 400 °C (métal d'apport : plomb + étain, étain + argent), le brasage fort a plus de 450 °C (alliage d'argent, de cuivre, d'aluminium). Dans les deux cas, les pièces à assembler sont chauffées.

En soudobrasage, les pièces à assembler ne sont pas chauffées et les températures de soudage varient de 600 °C à 900 °C. Métaux d'apport : alliages de cuivre, d'argent, d'aluminium etc.

Les caractéristiques mécaniques du joint sont moins bonnes que dans le cas d'un joint homogène (soudage autogène).

**Le brasage étant une forme de collage, les joints typiques décrits ci-après sont adaptables aux joints collés usuels. [8]**

### 3. Soudage :

#### 3.1. Introduction :

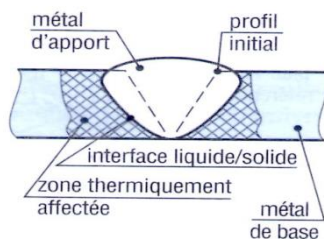
Les procédés de soudage sont largement utilisés pour fabriquer de nombreuses constructions de différents secteurs industriels. Dans certaines sociétés, ils constituent le point-clé de la production. Ces constructions peuvent varier depuis les récipients sous pression jusqu'aux matériels ménagers et agricoles, en passant par les équipements tels que les grues, les ponts et autres constructions soudées.

Pour ces raisons, le soudage exerce une influence profonde sur les coûts clé de la production et sur la qualité du produit. Il est donc important de s'assurer que le soudage est accompli de la manière la plus efficace et qu'une maîtrise est exercée sur tous les aspects de cette opération.

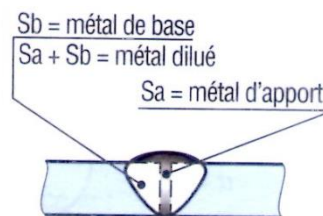
#### 3.2. Définitions :

**La soudure** est un assemblage caractérisé par l'effacement des contours primitifs des bords à assembler. Elle peut être effectuée :

- ❑ sans pression extérieure (figure. 1, 2 et 3), les bords étant portés à la température de fusion et nécessitant le plus souvent l'introduction dans le joint, d'un complément de métal nommé métal d'apport déposé en une ou plusieurs passes; [11]



**Figure 1 :** Soudage en une passe avec préparation.

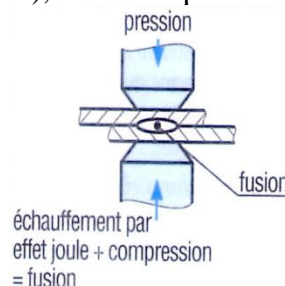


**Figure 2 :** Soudage en une passe sans préparation.



**Figure 3 :** Soudage multipasse.

- ❑ avec pression extérieure (figure. 4), à une température qui peut atteindre la fusion. [11]



**Figure 4 :** Soudage par point. [11]

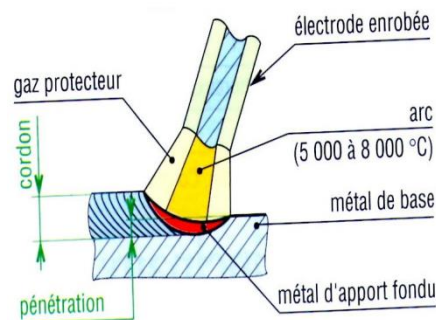
**Le métal de base** constitue les parties à assembler, de même nature ou de nature différente.

**Le métal d'apport** identique ou différent du métal de base peut intervenir partiellement ou en totalité dans l'élaboration du joint.

**Le métal du joint** comprenant le métal déposé et les bords fondus sont dilués. Certains éléments peuvent diffuser dans les parties adjacentes; enfin, au-delà du joint, une zone plus ou moins étendue (dite Z A T), zone thermiquement affectée, peut subir des modifications de structure (figure. 1). [11]

### 3.2.1. Soudage à l'arc électrique :

Ce soudage est le plus utilisé industriellement en soudage autogène. La fusion, très localisée, amène moins de déformation que le chalumeau et une plus grande productivité. Inconvénient : un refroidissement rapide générateur de contraintes internes et de déformations parfois difficiles à corriger. La fusion du métal d'apport et des pièces à assembler est obtenue par un arc électrique jaillissant entre une électrode et les pièces à souder. [8]



**Figure 5 : Principe du soudage à l'arc.** [8]

Les techniques les plus caractéristiques sont :

#### a) Soudage à l'électrode enrobée

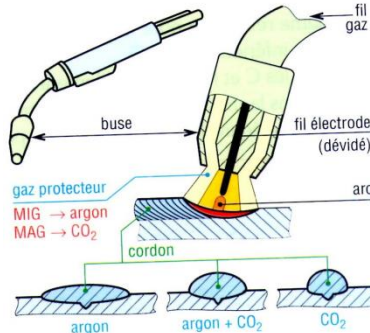
L'électrode, dirigée manuellement, est fusible et fournit le métal d'apport. L'enrobage assure un rôle protecteur et son épaisseur permet de jouer sur la forme du cordon, concave ou convexe. [8]

#### b) Soudage MIG (*Métal Inert Gas*) :

Encore appelé semi-auto, il est très adapté à la petite industrie : facile d'emploi ; arc visible ; pas de laitier ; grande vitesse de soudage ; temps de formation réduit. Il utilise une électrode fusible (fil se déroulant automatiquement) travaillant en atmosphère inerte (gaz protecteur : argon, argon + hélium, etc.) afin de protéger le bain de fusion. [8]

**c) Soudage MAG (*Métal Active Gas*) :**

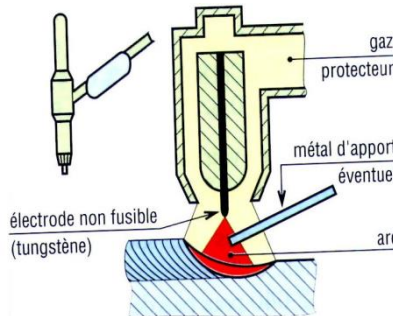
Variante du MIG utilisant un mélange de gaz carbonique  $\text{CO}_2$  et d'argon adaptée au soudage des aciers de construction au carbone. [8]



**Figure 6 :** Principe des soudages MIG et MAG. [8]

**d) Soudage TIG (*Tungsten Inert Gas*) :**

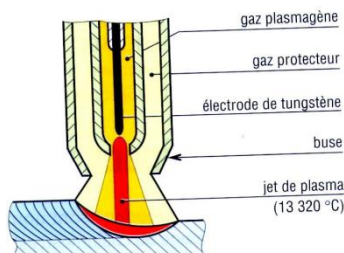
Variante des précédents, plus productive et utilisant une électrode réfractaire ou non fusible en tungstène. Le métal d'apport est amené manuellement (baguette) ou automatiquement (fil déroulé). Il convient bien aux faibles épaisseurs (0,20 à 3 mm) et peut aussi s'utiliser sans métal d'apport et remplacer le soudage par points. [8]



**Figure 7 :** Principe du soudage TIG. [8]

**e) Soudage au plasma :**

Apparenté au TIG, il utilise un arc étranglé dans une tuyère avec un gaz inerte. Le dard obtenu, très brillant et très chaud, permet à la fois le découpage (plus rapide que l'oxycoupage) et le soudage (notamment bout à bout en une seule passe avec des bords droits pour des épaisseurs de 3 à 10 mm). [8]



**Figure.8 :** Principe du soudage au plasma. [8]



#### 4. Rivetage :

La liaison réalisée entre deux pièces est complète non démontable. Les deux pièces sont serrées entre la tête du rivet et une deuxième tête, appelée rivure formée après montage (figure. 11). Ce type de liaison est surtout utilisé en charpente métallique, chaudronnerie, constructions navales. Les rivets sont réalisés en acier, cuivre, laiton, aluminium suivant la nature des pièces à assembler. [10]

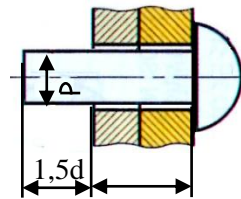


Figure 11 : Rivure. [10]

##### 4.1. Mode d'action :

Le mode d'action diffère suivant le mode de rivetage.

###### a- Rivets posés à chaud :

La contraction se produisant en refroidissement engendre une force d'adhérence (produit un serrage énergétique des pièces assemblées) s'opposant au glissement des pièces assemblées (figure 12. a), utilisé dans le cas des rivets en acier où  $d \geq 10$  mm

###### b- Rivets posés à froid :

Dans ce cas le serrage des pièces est faible d'où assemblage par obstacle et sollicitation des rivets au cisaillement transversal, utilisé surtout pour les rivets en Cu. Al ou avec  $d < 10$  mm. (Figure 12.b). Dans certains cas le rivet est sollicité à l'extension, la résistance du rivet est alors celle que la tête s'oppose à l'arrachement (figure 12.c). [10]

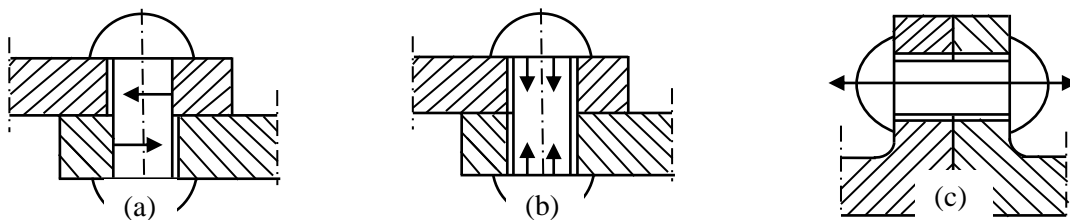


Figure. 12 : Rivets posés à froid. [10]

## 1.1. Formes et dimensions des rivets :

Les différentes **formes** normalisées **des têtes de rivets** sont indiquées sur la figure 13 avec leurs proportions en fonction du diamètre de la tige  $d$ .

### a) Rivets à tête ronde :

Symbole R, R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub>, R<sub>M</sub>.

Utilisés surtout en charpente métallique.

### b) Rivets à tête en goutte de suif :

Symbole G.

Employé en chaudronnerie,

### c) Rivets à tête fraisée :

Plate ou bombée avec angle 60°, 90°, 1 20°

Symbole F/90, FB/90, F/60, FB/60 ...

### d) Rivets à tête cylindrique plate :

Symbole C. [10]

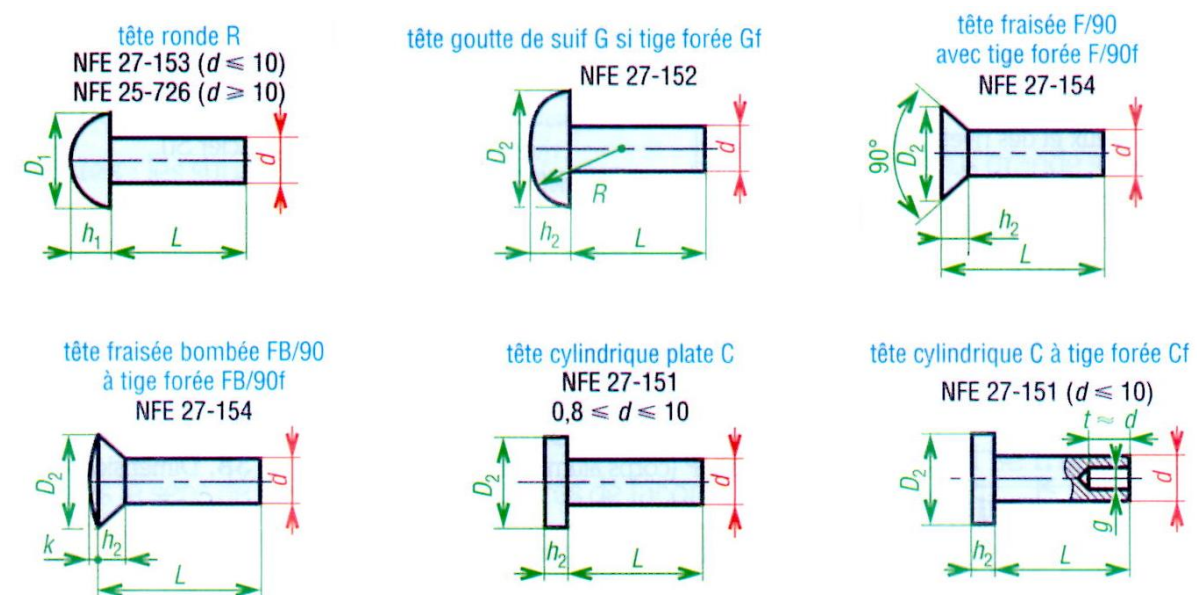
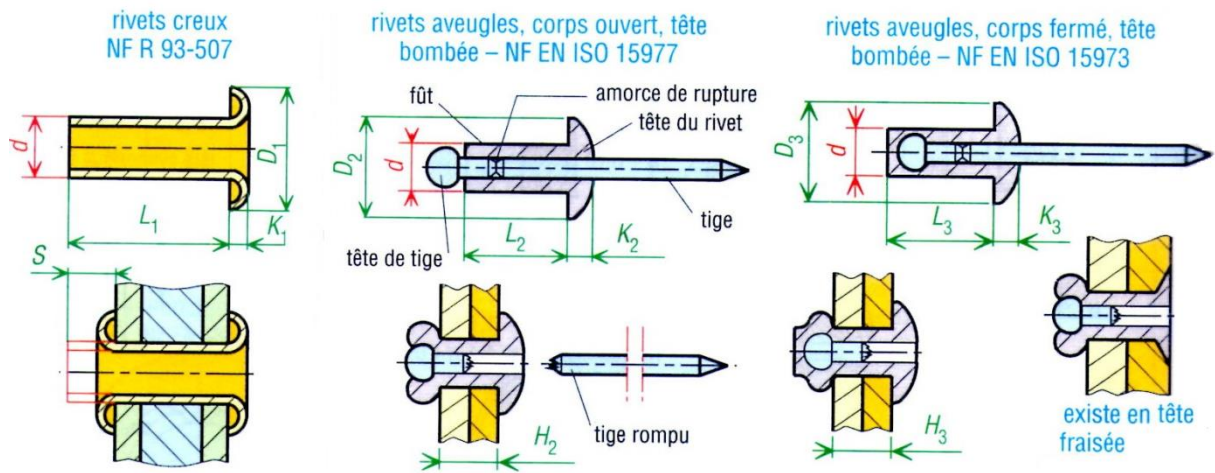


Figure 13 : différentes formes normalisées des têtes de rivets. [8]

Il existe d'autres types de rivets tels que rivets creux ou à tubulure se posant à froid (figure. 14) rivets aveugles (ou rivet pop). Ces derniers offrent l'avantage de riveter des pièces sans qu'il soit nécessaire d'avoir accès des deux côtés de l'assemblage. [10]



**Figure 14 :** Différents types de rivets. [8]

# Assemblage par éléments filetés



Généralité	49
Définitions	50
Assemblage par éléments filetés	53
Réalisation des assemblages	53

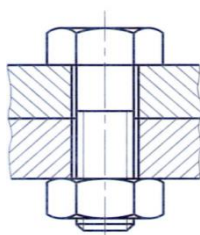
Une liaison démontable c'est une liaison qui peut-être à volonté établi ou supprimée par la séparation des deux pièces sans subir de détérioration. Ce type de liaison est surtout utilisé si le fonctionnement du mécanisme ou de la machine exige une révision ou un remplacement périodique de pièces. [10]

Pour réaliser un assemblage démontable, on utilise généralement quatre types de composants standards filetés : les vis d'assemblage ou de pression, les boulons et les goujons. [3]

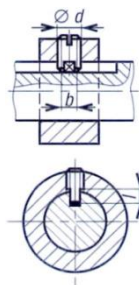
## 1. Généralités :

Les pièces filetées sont d'une utilisation fréquente en mécanique. Un ensemble fileté peut avoir différentes applications :

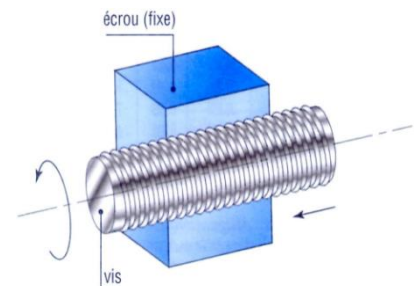
- ☐ Assurer une liaison complète, rigide, démontable entre les pièces, en créant un effort de pression entre celles-ci (figure 15).
- ☐ Assurer une liaison partielle rigide ; par exemple : du type glissière par vis à téton ou à méplats (figure 16) ;
- ☐ Transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation (exemple : vis de micromètre) (figure 17). [12]



**Figure 15 :** Serrage par vis et écrou.



**Figure 16 :** Vis spéciale.



**Figure 17 :** Système vis écrou. [12]

## 2. Définitions :

- ❑ Vis : Pièce constituée d'une tige filetée sur tout ou partie de sa longueur, avec ou sans tête, comportant un dispositif immobilisation ou d'entraînement.
- ❑ Ecrou : Pièce taraudée comportant un dispositif d'entraînement et destinée à être vissée.
- ❑ Boulon : Ensemble constitué d'une vis à tête et d'un écrou et destiné normalement à assurer un serrage entre la face d'appui de la tête et celle de l'écrou.
- ❑ Goujon : Tige comportant un filetage à ses deux extrémités et destinée à assurer un serrage entre la face d'une pièce, dans laquelle l'une des extrémités vient s'implanter à demeure par vissage, et la face d'appui d'un écrou vissé sur l'autre extrémité. [12]
- ❑ Un filetage est l'ensemble d'une ou plusieurs rainures hélicoïdales creusées (filets) le long d'une surface cylindrique. Un filetage désigne également l'opération d'usinage. Il existe plusieurs profils de filet ; le filetage métrique ISO à filet triangulaire, le filet trapézoïdal, le filet rond, ou encore le filet gaz.

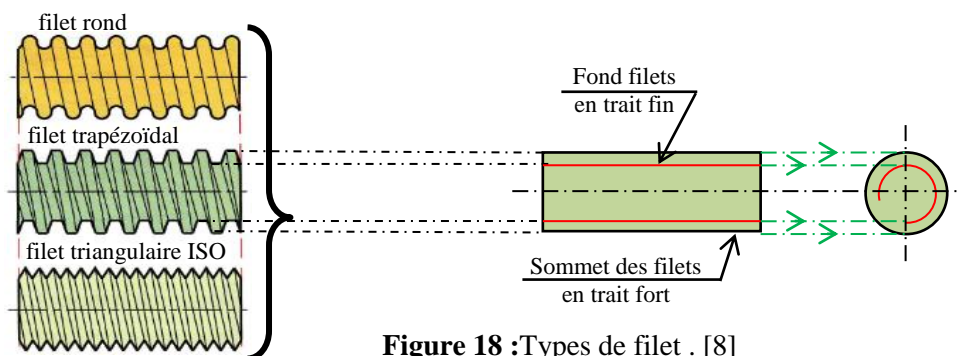


Figure 18 :Types de filet . [8]

- ❑ Un taraudage est un filetage intérieur. Les filets sont usinés dans un perçage.

Il permet de recevoir une pièce filetée, comme par exemple une vis. On distingue deux types de trous taraudés :

- les trous taraudés débouchant qui traversent la pièce,
- les trous taraudés non débouchant sont appelés « trous borgnes ».

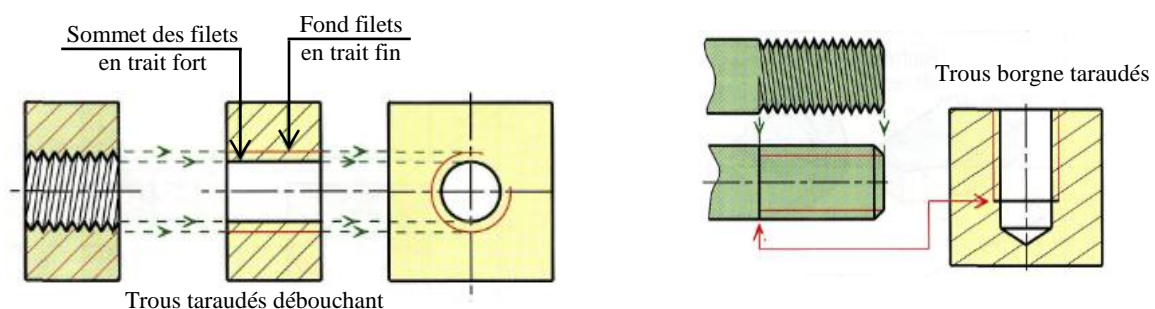


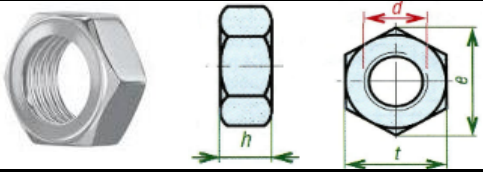
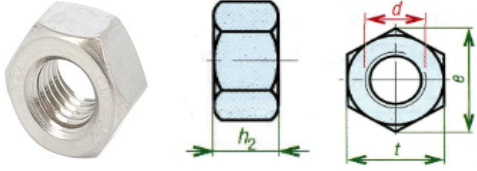
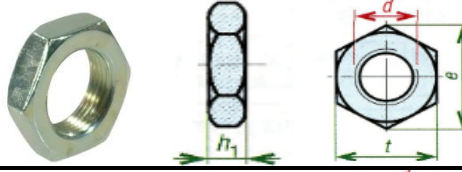
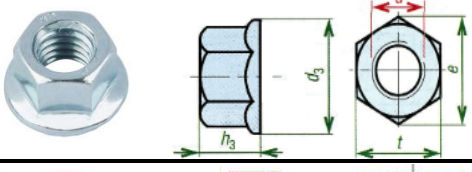
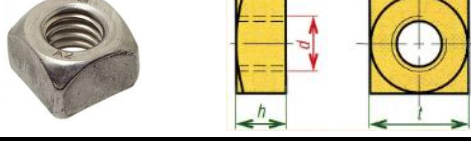

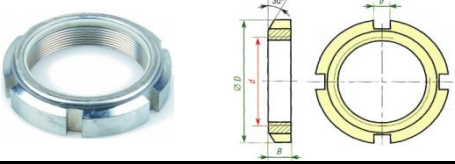
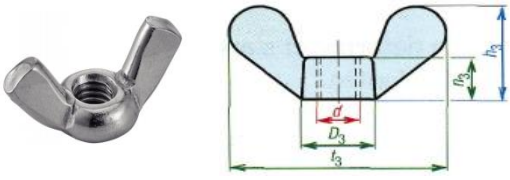
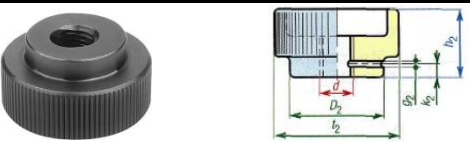
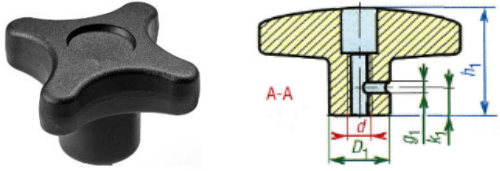
Figure 19 : Types de trous taraudés . [8]

- 

Le filetage de l'extrémité de la vis est obtenu à partir d'un arbre sur lequel ont été réalisées plusieurs rainures hélicoïdales. La partie pleine restante est appelée **filet**. Le filetage est obtenu à partir d'une **filière** (figures 21), sauf pour les filetages roulés où l'arbre est comprimé entre deux matrices qui, par écrasement de la matière, impriment la forme du filetage. Dans certains cas, les filetages sont également usinés sur des tours parallèles. [13]



Il existe un grand nombre d'écrous différents. la liste donnée dans ce chapitre n'est pas exhaustive. Elle énumère simplement quelques-unes des grandes familles d'écrous les plus couramment rencontrées dans le domaine industriel. [13]

Types d'écrous	Domaines d'applications	Nom d'écrous	Désignation d'écrous
<b>Écrous manœuvrés par clés</b>	C'est l'écrou le plus utilisé. Il convient à la majorité des applications.	<b>Écrou hexagonal usuel (H)</b>	
		<b>Écrou hexagonal haut, (H<sub>h</sub>)</b>	
		<b>Écrou hexagonal bas (mince) (H<sub>m</sub>)</b>	
	Utilisés lorsqu'il s'agit d'obtenir une surface d'appui plus importante en l'absence d'une rondelle d'appui	<b>Écrou hexagonal à embase</b>	
	Il s'arrondit moins facilement que l'écrou hexagonal. Il est surtout utilisé dans le bâtiment.	<b>Écrou carré</b>	
	Il protège l'extrémité des vis des chocs et améliore la sécurité et le côté esthétique du montage.	<b>Écrou borgne</b>	
	Ces écrous sont principalement utilisés pour serrer la bague intérieure d'un roulement sur un arbre	<b>Écrou à encoches</b>	
<b>Écrous serrés à la main</b>	C'est l'écrou le plus connu. Il est également appelé « écrou papillon ». Il permet un montage rapide avec toutefois un faible encombrement.	<b>Écrou à oreilles</b>	
	Son contour est moleté afin d'offrir une surface antidérapante.	<b>Écrou moleté</b>	
	Ils sont souvent utilisés dans les montages d'usinages.	<b>Écrou à croisillon</b>	

### 3. Assemblage par éléments filetés :

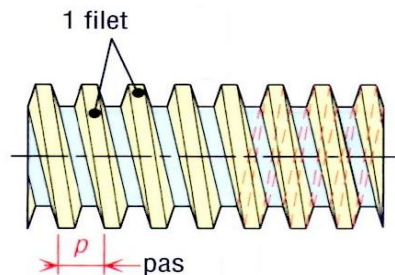
Pour qu'un écrou puisse être monté sur une vis, les deux éléments doivent avoir les mêmes caractéristiques:

- ☐ **pas** identique ;
- ☐ **diamètre nominal** identique ;
- ☐ **profil** du filet identique ;
- ☐ **sens de l'hélice** et **nombre de filets** identiques.

Le système (vis + écrou) permet de réaliser :

- des assemblages normalisés assurant des liaisons démontables ;
- des machines simples capables de transformer un mouvement circulaire en un mouvement rectiligne.

Le **pas** est la distance qui sépare deux sommets (ou deux creux) consécutifs d'une même hélice. Un tour de la vis par rapport à l'écrou correspond au déplacement de la valeur du pas de la vis par rapport à l'écrou. Soit pour une vis M 6 (pas de 1 mm), un tour de vis correspond à un déplacement de 1 mm. [13]



#### 4. Réalisation des assemblages :

Pour réaliser des assemblages rigides et démontables, nous avons plusieurs possibilités :

- par boulonnage;
- à l'aide de vis de fixation ;
- par l'intermédiaire de vis de pression ;
- à l'aide de goujons.

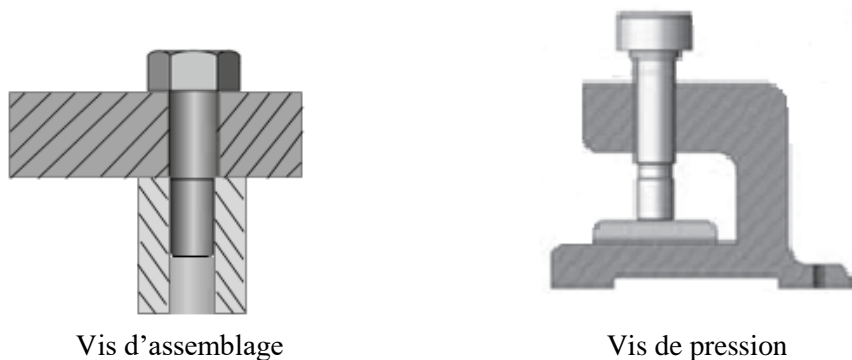
Le serrage de l'écrou provoque une **liaison adhérence** entre les différentes surfaces des pièces. [13]

#### 4.1. Assemblage par vis :

Les vis de fixation permettent d'assembler plusieurs pièces par pression des unes sur les autres.

Deux modes d'action sont utilisés (figure 22) :

- **Vis d'assemblage** : La pression est exercée par la tête de la vis ; la liaison obtenue est **complète, rigide, démontable, par obstacle et indirecte** ;
- **Vis de pression** : La pression est exercée par la tige de la vis ; la liaison obtenue est **complète, rigide, démontable, par adhérence et indirecte**. [13]



**Figure 22** : Assemblage par vis. [13]

##### 4.1.1. Vis d'assemblage :

Les vis d'assemblage sont des éléments filetés munis d'une extrémité qui permet l'entraînement et d'une autre extrémité sélectionnée selon la fonction mécanique à réaliser.

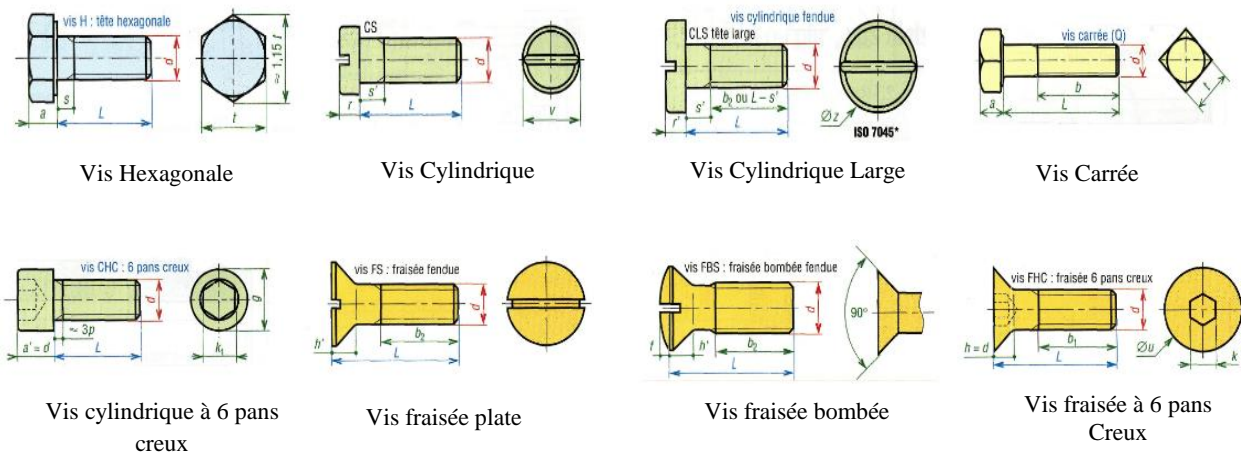
Le Choix du mode d'entraînement et désignation des vis :

**L'entraînement par tête hexagonale** (figure 23) est très utilisé car il permet de fournir un couple de serrage important. [13]



**Figure 23** : Tête hexagonale. [13]

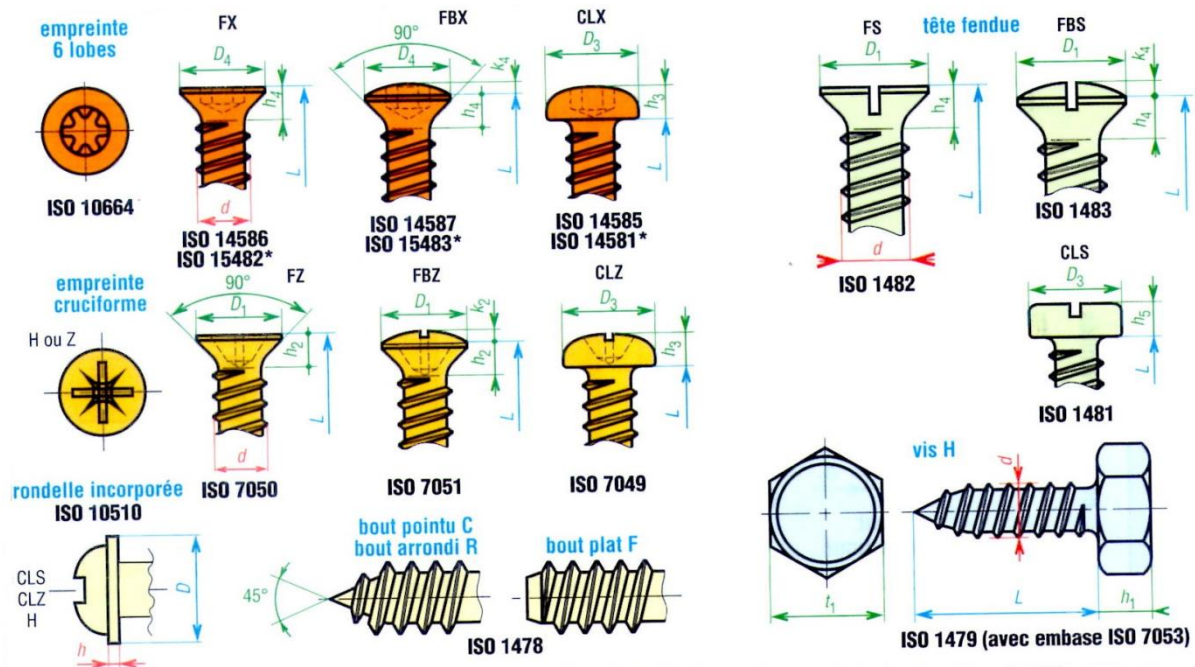
Il existe d'autres formes de têtes ; cylindrique bombée à empreinte cruciforme, cylindrique à 6 lobes ou à empreinte torx, poêlier fendu, etc.



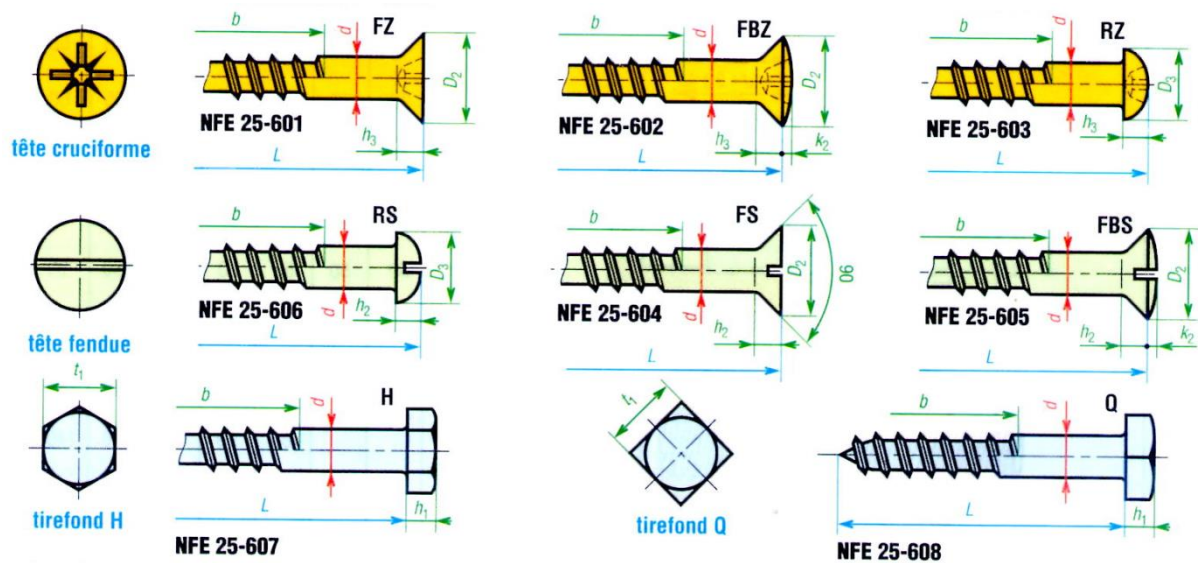
**Figure 24 :** Caractéristiques des vis d'assemblages. [8]

La forme de la tête joue un rôle important pour obtenir un serrage énergétique ( avec clé, tournevis, main) elle doit être suffisamment large.

Pour les pièces minces tôles en bois, on utilise des vis munies d'un filetage spécial, taraudent elles-même un trou après perçage d'un avant trous (figure 25) . [10]



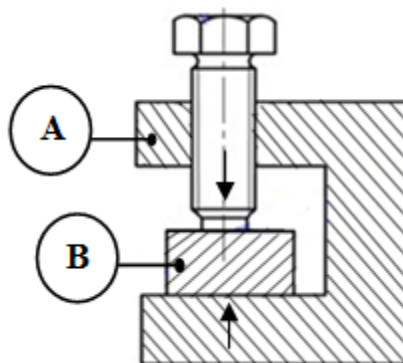
**Figure 25 :** Dimensions des vis à tôle. [8]



**Figure 26 :** Dimensions des vis à bois. [8]

#### 4.1.2. Vis de pression :

Une vis permet de réaliser une liaison complète démontable par son implantation dans la pièce A, et en exerçant une pression de serrage par son extrémité sur la pièce B (figure 27).



**Figure 27 :** Vis de pression. [10]

La tête est utilisée uniquement pour le vissage, donc ses extrémités peuvent être réduites. L'extrémité souvent trempée a une forme permettant un serrage énergétique.

La vis doit être plus souvent filetée sur toute sa longueur.

La figure 28 illustre les différents types de tête et de bouts de vis de pression. [10]

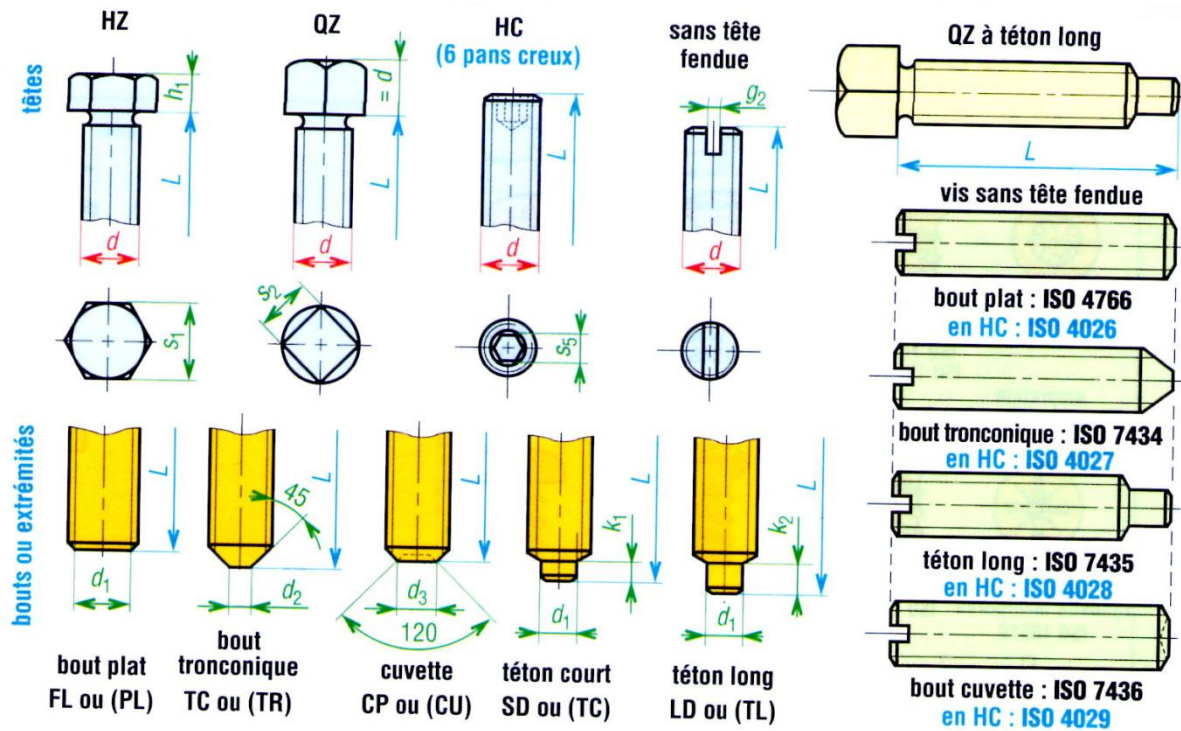


Figure 28. Dimensions des vis de pression. [8]

#### 4.1.3. Assemblage par boulon :

Un boulon est constitué d'une partie cylindrique partiellement ou totalement fileté et d'une tête destinée à l'immobiliser. Le serrage est assuré par un **écrou**.

Le boulon permet de lier par **adhérence** une ou plusieurs pièces mécaniques.

L'**assemblage** ainsi obtenu est **rigide** et **démontable** (figure 29). [13]

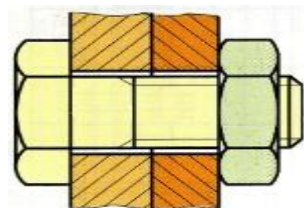


Figure 29 : boulon. [8]

Le corps du boulon étant immobilisé en rotation, la fente ou les six pans creux qui se rencontrent sur une vis n'est plus absolument nécessaire. [13]

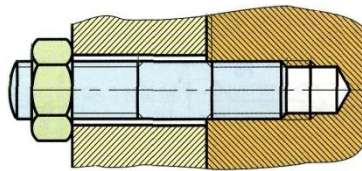
#### 4.1.4. Assemblage par goujon :

L'assemblage par goujon représente la solution la plus appropriée lorsque les pièces assemblées doivent être démontées sans détérioration (cas des pièces en alliage léger : arrachement des filets du trou taraudé). [13]

Un goujon est un composant d'assemblage destiné à unir deux pièces. Il est formé d'une tige cylindrique dont les deux extrémités sont filetées.

Le goujon est utilisé principalement dans le cas de pièces massives lorsque la traversée d'un boulon est difficile, afin d'éviter la détérioration du taraudage lors des opérations de montage et de démontage.

Le goujon est vissé jusqu'au blocage dans la pièce massive. [3]



**Figure 30 :** Assemblage par goujon. [8]

# Chapitre 4.

## Guidage des arbres



# Table des matières



Introduction .....	61
1. Arbres .....	62
2. Axes et tourillons.....	64
3. Lubrification .....	65
4. Paliers lisses.....	69
5. Roulements .....	71

# Introduction

Un arbre est une pièce rotative ou fixe, normalement de section circulaire, qui supporte généralement engrenages, poulies, volants, manivelles, pignons de chaîne ou autres éléments qui transmettent un mouvement ou une puissance. [14]

Un guidage en rotation est un assemblage de pièces permettant un mouvement de rotation autour d'un axe que l'on retrouve dans de nombreux produits industriels : moteurs, boîtes de vitesses, roues de véhicules, etc.

Le guidage en rotation est principalement constitué d'un arbre et d'un alésage. En mécanique, cette solution technique est modélisée par une liaison pivot.

Pour réaliser un guidage en rotation, on cherche de solutions à faciliter le mouvement de rotation et ainsi limiter les pertes énergétiques par frottement. Parmi les solutions constructives, on a :

- ❑ Le guidage par roulement utilise des éléments roulants qui lui confèrent une plus grande performance que les guidages par contact direct entre surfaces.
- ❑ Le guidage en rotation par une bague de frottement facilite le mouvement de rotation. Cette solution permet d'avoir un coefficient de frottement plus faible que celui des pièces directement en contact. [3]

# Arbres



Définition	62
Formes de l'arbre	63

## Définitions :

Un arbre est une pièce rotative ou fixe, normalement de section circulaire, qui supporte généralement engrenages, poulies, volants, manivelles, pignons de chaîne ou autres éléments qui transmettent un mouvement ou une puissance.

L'arbre est l'un des éléments de machine les plus fréquemment utilisés. Son rôle est multiple : En général, il sert à transmettre la puissance d'une partie de la machine à une autre partie, mais il peut aussi servir à assurer le positionnement d'un élément par rapport à un autre. A cause de sa géométrie et de ses fonctions, un arbre peut porter différents noms tels que :

- ❑ Arbre de transmission : il transmet un couple d'un moteur à une machine ou à un élément de machine ;
- ❑ Arbre de renvoi : Il supporte des éléments de machines (engrenages, poulies, etc.) et il transmet un couple entre chaque élément ;

Suivant le rôle qui lui est dévolu, l'arbre est soumis à des contraintes de flexion, à des contraintes de torsion, ou à un chargement complexe de torsion, de flexion, et de charge axiale.

On conçoit un arbre en considérant un ou deux des trois critères suivants, ou encore les trois à la fois : la *résistance*, la *rigidité* et la *vitesse critique*. Le critère choisi dépend de la géométrie et des spécifications imposées par la fonction éventuelle de l'arbre. Par exemple, on devrait calculer un arbre de turbine à gaz de façon à ce qu'il résiste aux charges et qu'il fonctionne sans vibrations. Par contre, on devrait vérifier la rigidité d'un arbre supportant des engrenages de grande précision afin d'assurer le fonctionnement adéquat des engrenages. [14]



**Écoulement :** Changement brusque de la section d'une pièce afin d'

**Cerge :** Dégageant étroit généralement arrondi à sa partie inférieure

**Charnfrais :** Petite surface à section alternée par compression d'une crête

# Axes et tourillons



Les **tourillons** sont les bouts d'arbres ou d'axes en contact avec les paliers dont ils reçoivent principalement les efforts radiaux. Ils existent des tourillons coniques ou sphériques.

Les **axes** servent à la réception de poulies, de roues, etc. On différencie entre les axes fixes sur lesquels tournent les pièces et les axes mobiles tournant dans des paliers et portant des pièces. Les axes fixes présentent l'avantage, par rapport aux mobiles, de n'être soumis qu'à une flexion statique ou dynamique répétée. Les axes mobiles sont soumis à une flexion dynamique alternée. [2]



# Lubrification



Les lubrifiants liquides	66
Les lubrifiants semi-liquides ou graisses	67
Les lubrifiants solides	68

Les raisons essentielles qui conduisent à prévoir une lubrification des surfaces frottantes dans les mécanismes sont la nécessité :

- ☐ D'une réduction des pertes d'énergie mécanique pour abaisser le coefficient de frottement.
- ☐ D'une réduction de l'usure des organes ayant des surfaces frottantes ;
- ☐ D'une protection des surfaces frottantes contre la corrosion ;
- ☐ D'évacuer les impuretés de fonctionnement : dans un moteur Diesel, les résidus solides de la combustion du gasoil doivent être éloignés de la zone des segments pour éviter le phénomène de gommage de ces derniers. C'est la fonction détergente du lubrifiant qui remplit ce rôle ;
- ☐ D'abaisser le niveau sonore.

Les lubrifiants peuvent se présenter sous quatre formes :

- ☐ Gazeuse ;
- ☐ Liquide (huile) ;
- ☐ Semi-liquide (graisse) ;
- ☐ Solide. [15]

### **3.1. Les lubrifiants liquides :**

#### **3.1.1 Huiles minérales :**

Ce sont de très loin les plus utilisées. Obtenues par distillation du pétrole brut, elles sont composées de trois constituants :

- ✓ Les paraffines ;
- ✓ Les aromatiques ;
- ✓ Les naphténiqes.

Du point de vue de leurs propriétés de frottement, elles sont de moins bons lubrifiants que les huiles végétales ou animales. Mais leurs avantages par rapport à ces dernières sont :

- ☐ Une stabilité thermique ;
- ☐ Une bonne résistance à l'oxydation ;
- ☐ Un prix de revient relativement bas.

Des additifs comme le graphite ou bisulfure de molybdène ( $\text{MoS}_2$ ) peuvent être ajoutés pour conférer à l'huile des pouvoirs anti-usure et anti-grippant. D'autres éléments d'addition à base de chlore, de phosphore ou de soufre peuvent accroître les performances des huiles en ce qui concerne les pressions admissibles (on les appelle additifs « extrême pression »). Dans ce cas, ces produits actifs réagissent avec les surfaces frottantes en formant des chlorures, phosphates ou sulfures. [15]

#### **3.1.2. Huiles synthétiques :**

Elles se développent progressivement. Bien que leur tonnage reste modeste par rapport à celui des huiles minérales, elles ont conquis des positions de quasi-monopoles dans certaines applications spécifiques comme l'aviation supersonique par exemple.

Les huiles synthétiques proviennent de la combinaison par des procédés chimiques de dérivés gazeux du pétrole que l'on a pu facilement isoler en constituants purs. Contrairement aux huiles minérales, elles ne comportent qu'une seule structure moléculaire, ce qui leur permet de bénéficier de propriétés constantes.

Des additifs (environ 10 % du volume final) sont destinés à améliorer les qualités du produit de base.

#### **3.1.3. Huiles végétales et animales :**

Ces produits naturels ont une composition qui dépend du lieu de production, de l'année de récolte, de la variété (végétale ou animale). Destinés aussi à la consommation animale ou humaine, leurs prix sont croissants. La tendance actuelle est de leur substituer des huiles minérales ou synthétiques. Elles sont encore utilisées dans le travail des métaux, et la lubrification en milieu marin (bonne tenue dans un environnement d'eau de mer). [15]

Les principales huiles utilisées sont :

- ☐ L'huile de coprah ;
- ☐ L'huile de palme ;
- ☐ Le suif de bœuf ;
- ☐ L'huile de coton ;
- ☐ L'huile de colza.

Ces huiles s'oxydent facilement pendant le service, et de manière incontrôlée. Cette oxydation produit des acides gras recherchés. Il existe un procédé de soufflage qui provoque artificiellement cette oxydation intéressante avant la mise en service de l'huile. Il consiste à faire circuler de l'air dans l'huile portée entre 100 et 120 °C.

### **3.2. Les lubrifiants semi-liquides ou graisses :**

Les graisses naturelles comme :

- ☐ L'allostarine ;
- ☐ La suintine ;
- ☐ Le brais de suint ;
- ☐ Le beurre de karité ;

Sont trop rares pour être utilisées à l'échelle industrielle.

Les graisses artificielles sont composées :

- ☐ D'huile minérale ou synthétique à 80-90 % ;
- ☐ D'agents épaississants, comme :
  - ✓ Le calcium ;
  - ✓ Le sodium ;
  - ✓ Le lithium ;
  - ✓ L'aluminium ;
  - ✓ Le barium ;
  - ✓ Le plomb ;
  - ✓ Le zinc.

Pour 10 à 15 %.

- ☐ D'additifs :
  - ✓ Antioxydant ;
  - ✓ Anti-usure ;

Identiques à ceux utilisés pour les huiles. [15]

### 3.3. Lubrifiants solides :

De nombreux matériaux peuvent être utilisés comme lubrifiants solides sous forme de poudre, à condition qu'ils aient les propriétés principales suivantes :

- ☐ Faible résistance au cisaillement ;
- ☐ Faible dureté ;
- ☐ Bonne adhésion au matériau à protéger ;
- ☐ Sans impuretés abrasives.

La poudre seule ne présente guère d'avantages car le film poudreux entre les surfaces en glissement relatif, s'élimine progressivement.

Aussi, dans la plupart des cas, les lubrifiants solides en poudre sont employés en dispersion de type colloïdal dans un milieu liquide (80 % des particules ont un diamètre inférieur au micromètre).

Il existe aussi des films minces formés d'un liant contenant les particules. Comme pour une peinture, le liant se solidifie après la phase de revêtement des surfaces à lubrifier. Ce revêtement peut être réalisé :

- ☐ Au pinceau ;
- ☐ Par pulvérisation ;
- ☐ Au trempé ;
- ☐ Par dépôt sous vide. [15]

## Paliers lisses

Les paliers lisses ou coussinets ou bagues se présentent sous la forme de tubes massifs ou fins, fendus ou pas, avec ou sans collerette. Ces composants sont montés serrés dans le bâti et réalisent des surfaces de guidage présentant un faible coefficient de frottement avec la pièce en mouvement.

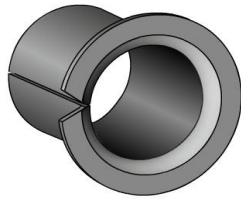
Les coussinets peuvent présenter des rainures internes (dans lesquels le lubrifiant arrive) ou être auto lubrifiant soit par imprégnation, soit par nature même du matériau. [12]

Dans la pratique, on retrouve souvent les termes de coussinet et de palier lisse pour désigner un même composant ; une bague de frottement ou bague antifriction.

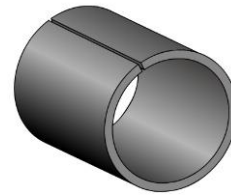
Le terme « coussinet », bien que normalisé, est généralement utilisé pour désigner une bague de frottement en bronze massif ou fritté.

Les paliers lisses quant à eux, désignent une bague de frottement d'encombrement plus réduit que le coussinet. Ils sont réalisés généralement à partir d'une tôle métallique roulée.

Les bagues de frottement de forme tubulaire avec ou sans collerette, sont intercalées entre l'arbre et son logement. Ils sont montés avec serrage dans l'alésage et coulissent sur l'arbre. Les bagues de frottement sont réalisées à partir de matériaux ayant une de bonne qualité frottante (bronze, ...). [3]



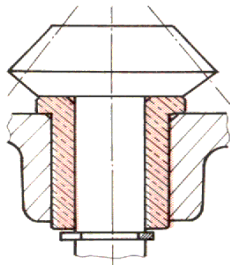
**Figure 2 :** Paliers lisses à collerette. [3]



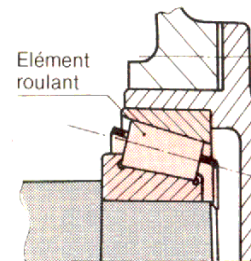
**Figure 3 :** Paliers lisses sans collerette. [3]

D'après la nature du mouvement de l'arbre sur le support, on distingue :

- a) Glissement : Paliers à coussinets ou paliers lisses.
- b) Roulement : Paliers à roulement.



**Figure 4 :** Palier lisse. [16]



**Figure 5 :** Palier lisse à roulement. [16]

Les conditions à remplir par un palier sont :

- ☐ Bon guidage en rotation, qui est obtenu par la précision des formes et dimensions, par une longueur convenable des appuis, par l'adaptation éventuelle de paliers articulés.
- ☐ 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.
- ☐ Bon rendement ; donc, réduction des pertes d'énergie par frottement. On sait que cette réduction est obtenue par choix des matériaux, par un bon état de surface de l'arbre et du support, par l'adoption d'un graissage efficace, éventuellement par le remplacement du frottement de glissement par un frottement roulement.
- ☐ Construction simple et économique, montage et démontage faciles, entretien facile et réduit, usure faible et [17]

# Roulements

  
V

Choix des roulements	72
Justification des règles de montage	74
Règles pour le montage des roulements	75
Lubrification des roulements	81

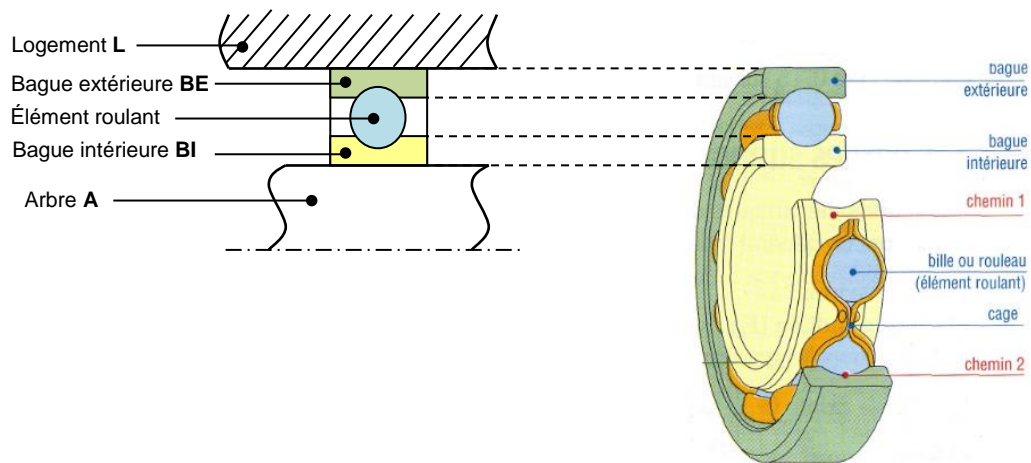
L'étude des arbres a montré que des forces de réaction axiales ou radiales doivent être reprises pour garder l'arbre en équilibre. Les roulements sont conçus pour remplir ce rôle. [14]

Les guidages par roulement utilisent des éléments roulants qui lui confèrent une plus grande performance que les guidages par contact direct entre surfaces ou avec des bagues de frottement. [3]

Le roulement est un organe mécanique qui supporte des charges entre deux solides  $S_1$  et  $S_2$  en liaison pivot, dans des conditions de perte d'énergie minimale.

Un roulement est composé de quatre éléments :

- ☐ La bague extérieure BE, montée dans le logement L, qui peut être fixe ou tournant ;
- ☐ La bague intérieure BI, montée sur l'arbre A qui peut être, lui aussi, fixe ou tournant ;
- ☐ Les éléments roulants (billes, rouleaux cylindriques ou non) qui permettent la rotation d'une bague par rapport à l'autre ;
- ☐ La cage qui maintient en place les éléments roulants (non apparente sur la figure 6) ; [14]



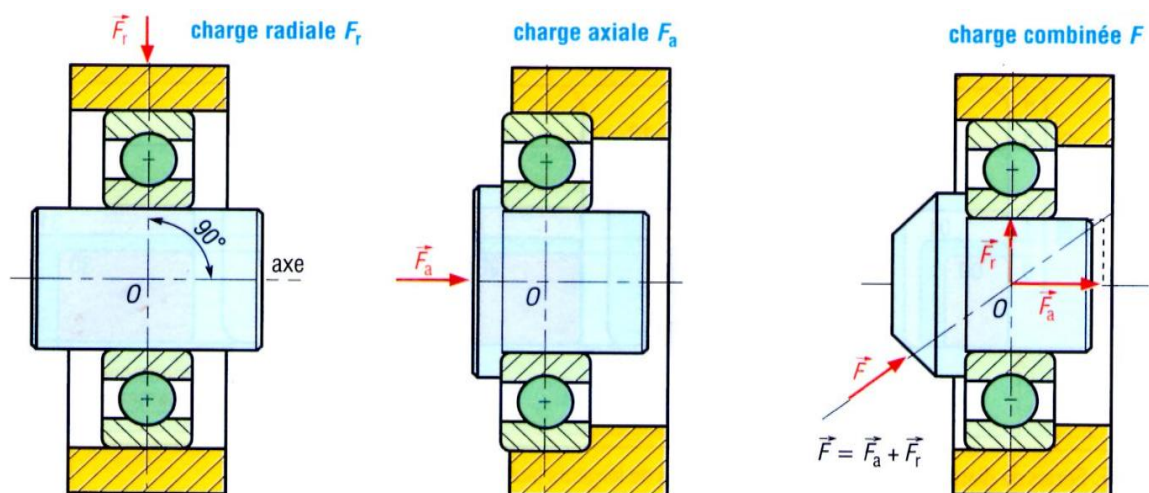
**Figure 6 :** Constitution d'un roulement rigide à bille. [8]

### 1. Choix des roulements :

Deux paramètres conditionnent essentiellement le type de roulement à préconiser pour assurer la liaison pivot d'un palier :

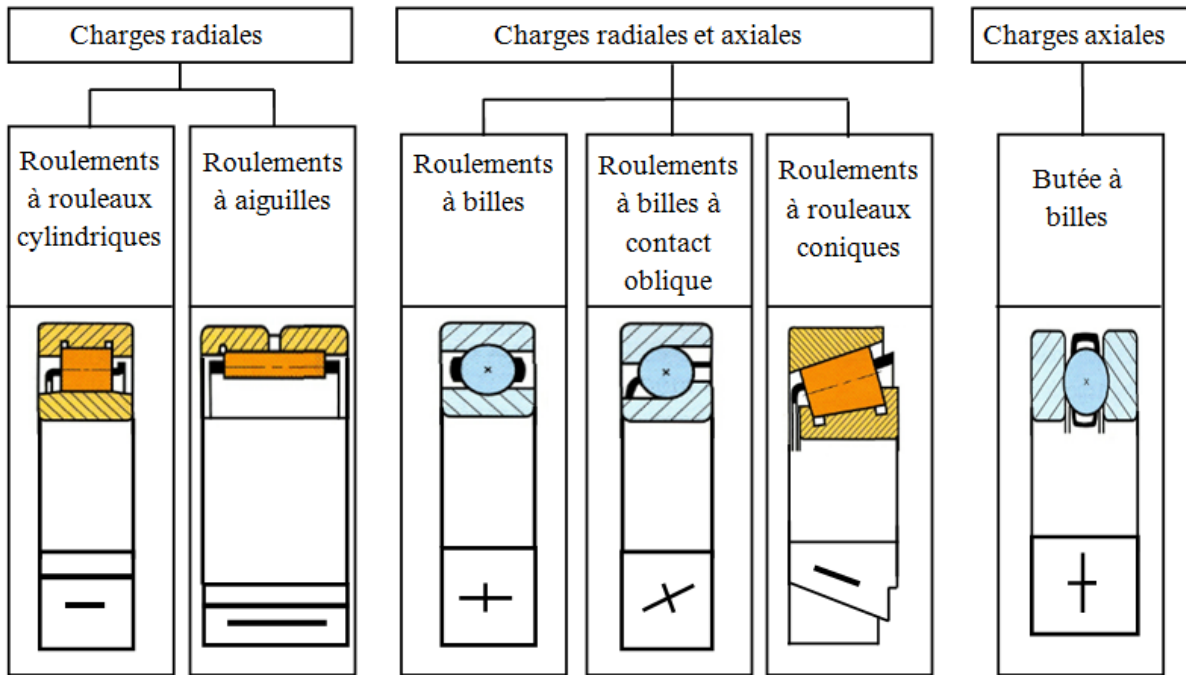
□ La direction de la charge appliquée qui peut être :

- ✓ Radiale ;
- ✓ Radiale et axiale ;
- ✓ Axiale ;



**Figure 7 :** Charges supportées par un roulement. [8]

Il existe différents types de roulements. On peut les classer en fonction du type de charges (Axiale et/ou Radiale) qu'ils peuvent supporter. [15]

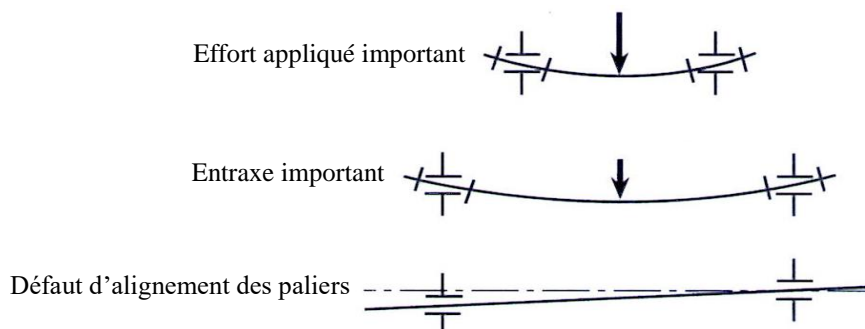


**Figure 8 :** Types des roulements. [15]

- ❑ L'importance du fléchissement de l'arbre qui tend à modifier l'alignement initial des bagues intérieure et extérieure.

Le fléchissement de l'arbre peut résulter (8) :

- ❑ De l'importance de l'effort appliqué à l'arbre ;
- ❑ De l'importance de l'entraxe entre les paliers ;
- ❑ Des défauts d'alignement des paliers. [15]



**Figure 9 :** Fléchissement de l'arbre. [15]

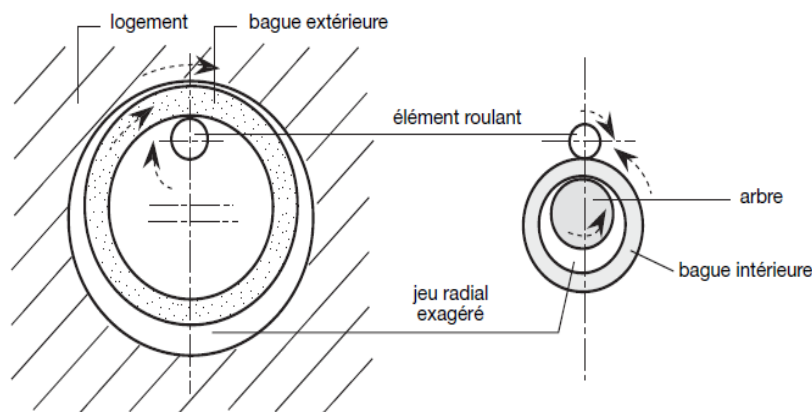
## 2. Justification des règles de montage :

Les règles de montage présentées ici (à partir du paragraphe 3) sont essentiellement dictées par des considérations ayant trait :

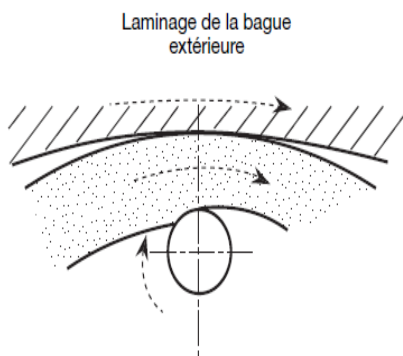
- ❑ À un possible phénomène de laminage des bagues (qu'il faut éviter) ;
- ❑ À un possible positionnement axial hyperstatique (arbre/alésage) qu'il faut éviter ;
- ❑ À une possible variation dimensionnelle de l'arbre et de l'alésage, due aux changements de température en fonctionnement.

### Laminage des bagues :

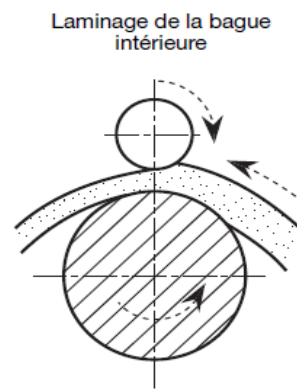
Pendant le fonctionnement, la charge radiale appliquée sur le palier tend à comprimer les bagues entre le logement et les éléments roulants d'une part, et entre l'arbre et les éléments roulants d'autre part. En exagérant le jeu radial prévu dans l'ajustement de ces bagues extérieure et intérieure avec respectivement le logement et l'arbre, on peut mettre en évidence un phénomène de laminage comme l'indiquent les figures 10, 11 et 12. Ce phénomène peut se produire sur la bague qui tourne par rapport à la direction de la charge. [15]



**Figure 10 :** Phénomène de laminage des bagues. [15]



**Figure 11.** [15]



**Figure 12.** [15]

Le laminage conduit à une détérioration progressive du roulement suite à la diminution de l'épaisseur des bagues qui crée un jeu interne. Cela peut être évité en prévoyant des ajustements serrés sur l'arbre et le logement, en supprimant totalement le jeu radial qui est l'origine du phénomène. Cependant, pour préserver toute possibilité de mise en place du roulement, il convient d'adopter un tel ajustement seulement sur l'une des deux bagues, intérieure ou extérieure. Dans les règles de montage, nous préciserons, des deux ajustements, (bague intérieure/ arbre) et (bague extérieure/logement), celui qui doit être l'objet d'un serrage (l'autre restant glissant). [15]

### 3. Règles pour le montage des roulements :

#### 3.1. Montage des roulements à une rangée de bille à contact radial :

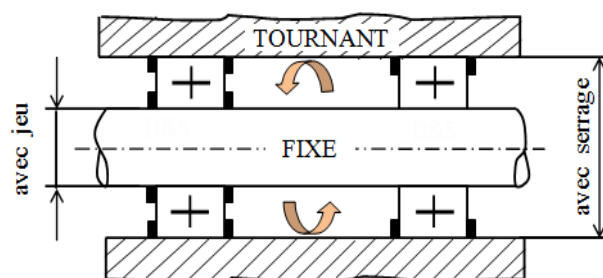
##### 3.1.1. Bagues tournant :

- ☐ Les deux bagues qui tournent par rapport à la direction de la charge doivent être montées avec serrage (sans jeu).
- ☐ Chaque bague doit-être immobilisée axialement (quatre obstacles en translation).

##### 3.1.2. Bagues non tournant :

- ☐ Les deux bagues qui ne tournent pas par rapport à la direction de la charge doivent être montées glissantes (avec jeu).
- ☐ L'ensemble des deux bagues doit-être immobilisé axialement une seule fois dans chaque sens : (deux obstacles en translation). [9]

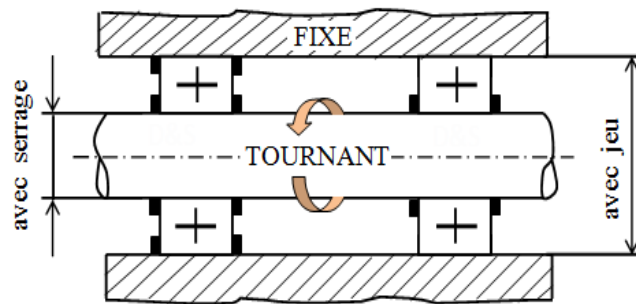
#### Montage moyeu tournant :



**Figure 13 :** Montage des roulements à une rangée de billes à contact radial (moyeu tournant). [9]

- ☐ Les bagues extérieures sont montées avec serrage – quatre obstacles en translation.
- ☐ Les bagues intérieures sont montées avec jeu – deux obstacles en translation. [9]

### Montage arbre tournant :

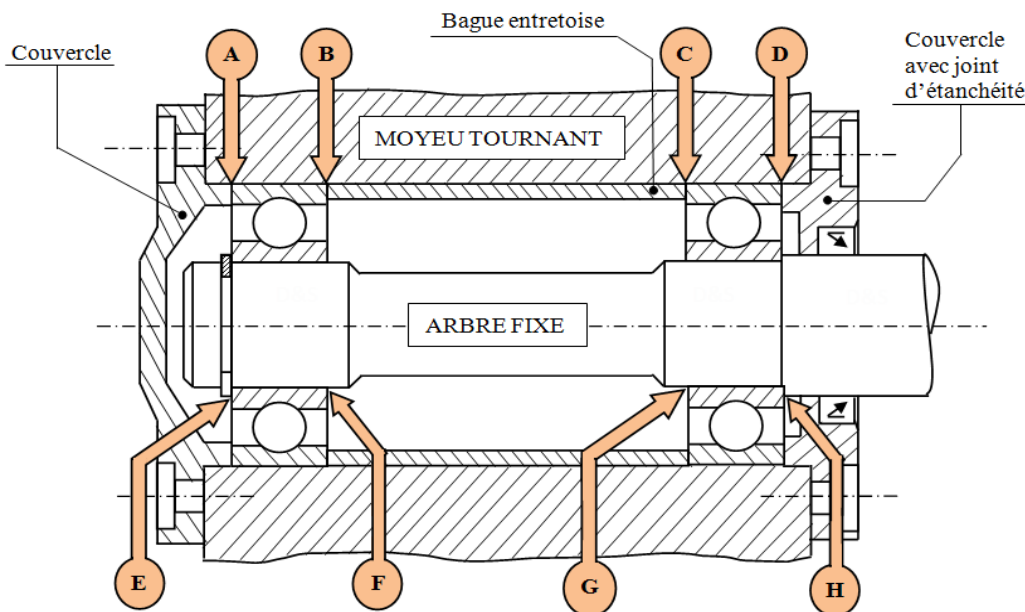


**Figure 14 :** Montage des roulements à une rangée de billes à contact radial (arbre tournant). [9]

- ☐ Les bagues intérieures sont montées avec serrage – quatre obstacles en translation.
- ☐ Les bagues extérieures sont montées avec jeu – deux obstacles en translation. [9]

### Exemple de montage des roulements :

- ☐ Montage « moyeu tournant » :



**Figure 15 :** Exemple de montage à moyeu tournant. [9]

### Les bagues qui tournent :

- ☐ Les deux bagues extérieures des roulements sont montées avec serrage dans l'alésage du moyeu tournant. [9]



### **Les bagues qui tournent :**

Les deux bagues intérieures des roulements sont montées avec serrage sur les portées de l'arbre tournant.

#### **Liaisons en translation**

Liaisons en translation des bagues intérieures avec l'arbre tournant :

- A.** La liaison est obtenue directement avec l'épaulement de l'arbre.
- B.** La liaison est obtenue indirectement par l'intermédiaire des différents éléments situés entre la bague et l'écrou hexagonal lié à l'arbre.
- C.** La liaison est obtenue indirectement jusqu'à l'épaulement de l'arbre.
- D.** La liaison est obtenue indirectement jusqu'à l'écrou hexagonal lié à l'arbre.

### **Les bagues qui ne tournent pas :**

Les deux bagues extérieures des roulements sont montées avec du jeu dans les alésages du moyeu fixe.

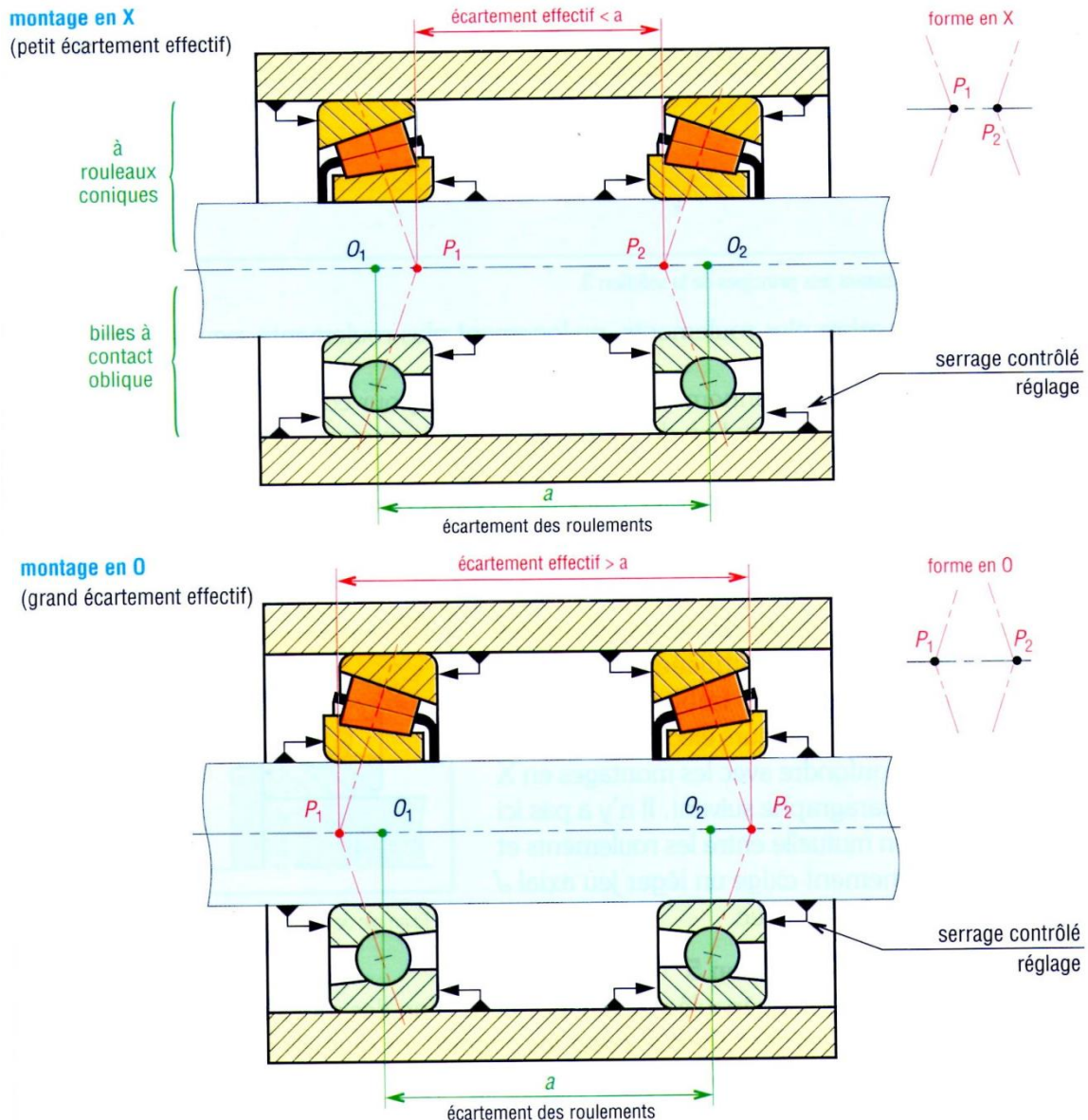
#### **Liaisons en translation**

Les liaisons en translation des bagues extérieures avec le moyeu fixe :

- E.** La liaison en translation de la bague extérieure avec le moyeu fixe est obtenue indirectement par l'intermédiaire d'un circlips.
- F.** La liaison en translation de la bague extérieure avec le moyeu fixe est obtenue directement avec l'épaulement du moyeu.
- G.** Pas de liaison en translation.
- H.** Pas de liaison en translation. [9]

### **3.2. Montages des roulements à une rangée de bille à contacts obliques et à rouleaux coniques :**

Du fait de leur structure particulière, ces roulements doivent être montés par paire et en opposition ; ils travaillent en opposition mutuelle. Les groupements, ou les associations possibles sont indiquées ci-dessous. Particularité : ils exigent des usinages et des réglages précis. [9]



**Figure 17 :** Principes et caractéristiques des montages en X et O. [8]

#### a) Montage en X ou montage direct :

Ce montage amène les solutions les plus simples et les plus économiques : moins de pièces adjacentes et moins d'usinages.

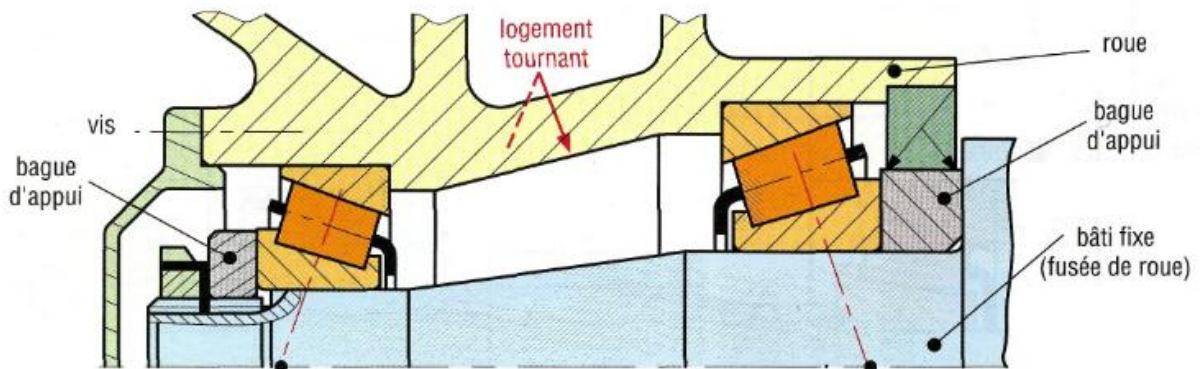
Le montage en X est à préférer dans le cas des **arbres tournants** avec **organes de transmission** (engrenages, etc.) situés **entre les roulements**. Les bagues intérieures, tournantes par rapport aux charges, sont montées serrées et les bagues extérieures montées glissantes.

Le réglage du jeu interne de la liaison est effectué sur les bagues extérieures. Les dilatations de l'arbre ont tendance à charger un peu plus les roulements et à diminuer le jeu interne. [8]

### b) Montage indirect ou montage en O :

C'est la solution à adopter lorsque la rigidité de l'ensemble de la liaison est recherchée ; on est dans le cas du plus grand écart effectif entre roulements. Le réglage est réalisé sur les bagues intérieures.

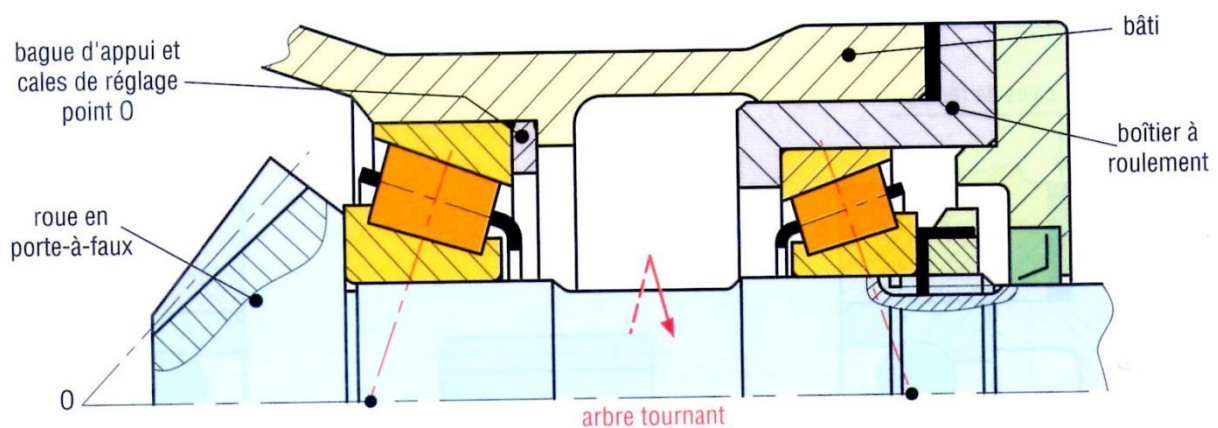
Avec les logements tournants, c'est généralement la solution à préférer. Les bagues extérieures, tournantes par rapport aux charges, sont montées serrées (exemple figure 18). [8]



**Figure 18 :** Montage indirect en O avec logement tournant. [8]

Le montage en O s'utilise aussi avec les arbres tournants lorsque les organes de transmission sont situés en dehors de la liaison (engrenage en porte à faux, figure. 19)

Les bagues intérieures, tournantes par rapport aux charges, sont montées serrées. La dilatation de l'arbre a tendance à diminuer les charges sur les roulements et à augmenter le jeu interne de la liaison, et inversement s'il y a dilatation du logement. [8]



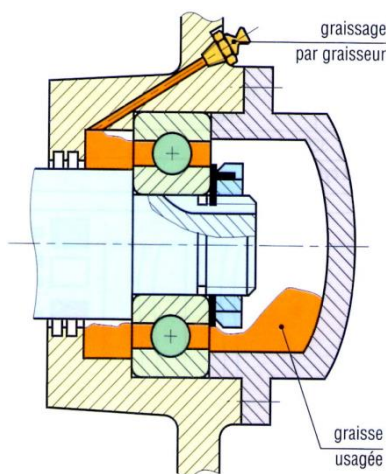
**Figure 19 :** Montage indirect en O avec arbre tournant. [8]

#### 4. Lubrification des roulements :

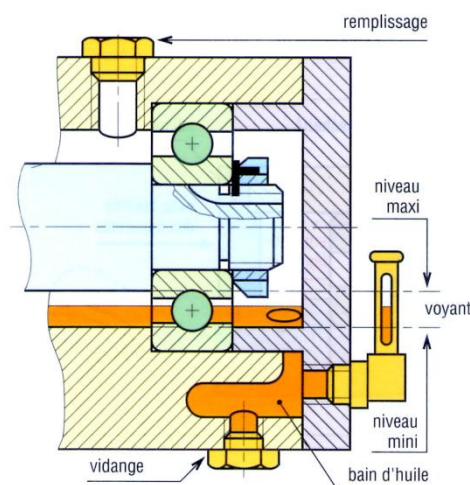
La lubrification des roulements diminue le frottement entre les éléments qui ont des vitesses relatives.

En plus de diminuer le frottement, la lubrification permet d'obtenir une meilleure distribution de température dans le palier, empêche la corrosion et, dans certains cas, prévient l'entrée d'abrasifs dans le roulement.

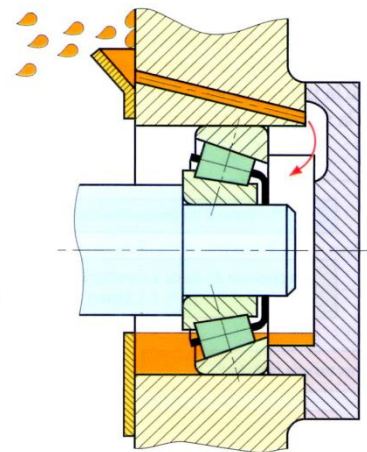
Il existe trois types de lubrification : lubrification par graissage, par bain d'huile, par brouillard d'huile. Le type de lubrification à utiliser dépend beaucoup de la vitesse de rotation du roulement. À de faibles vitesses, on utilise la lubrification par graissage. Dans ce cas, on enduit de graisse les différentes parties du roulement. À des vitesses plus élevées (dans une boîte de transmission par exemple), la lubrification se fait par bain d'huile. Le barbotage des engrenages dans le bain d'huile asperge les roulements d'huile. À haute vitesse ( $N > 15\,000$  tr/min), la lubrification se fait par brouillard d'huile : l'huile est atomisée dans un jet d'air (l'huile lubrifie et l'air refroidit le roulement). [14]



**Figure 20 : lubrification**  
Par graissage. [8]



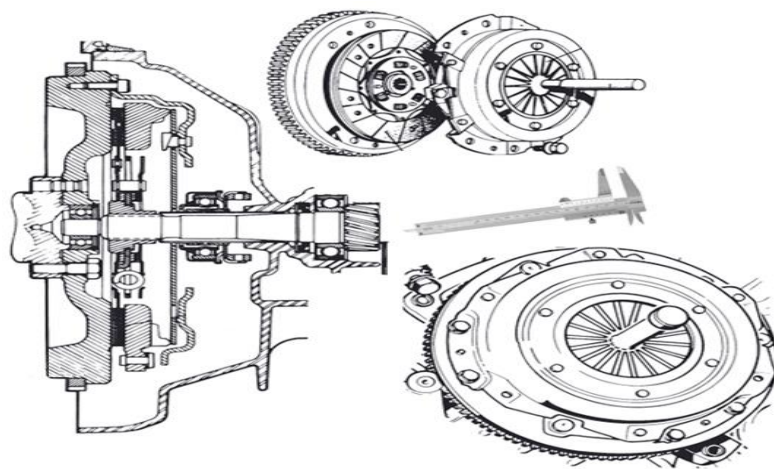
**Figure 21 : lubrification**  
Par bain d'huile. [8]



**Figure 22 : lubrification**  
Par brouillard d'huile. [8]

# Chapitre 5.

## Accouplement et freins



# Table des matières

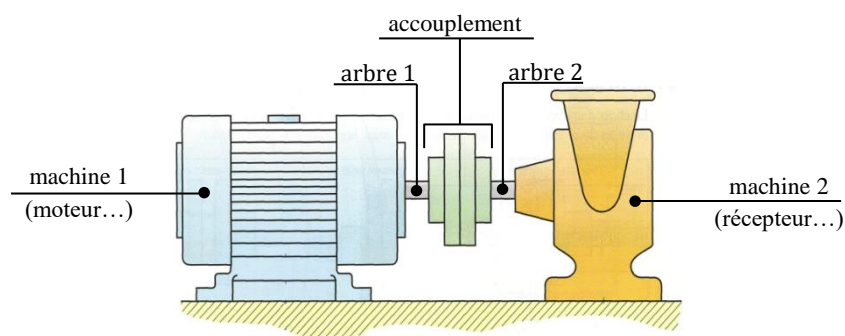


Introduction .....	84
1. Accouplements permanents .....	86
2. Accouplements temporaires .....	92
3. Accouplements spéciaux .....	96
4. Freins .....	98

# Introduction

La transmission de puissance entre deux arbres, sensiblement colinéaires, est réalisable par accouplement.

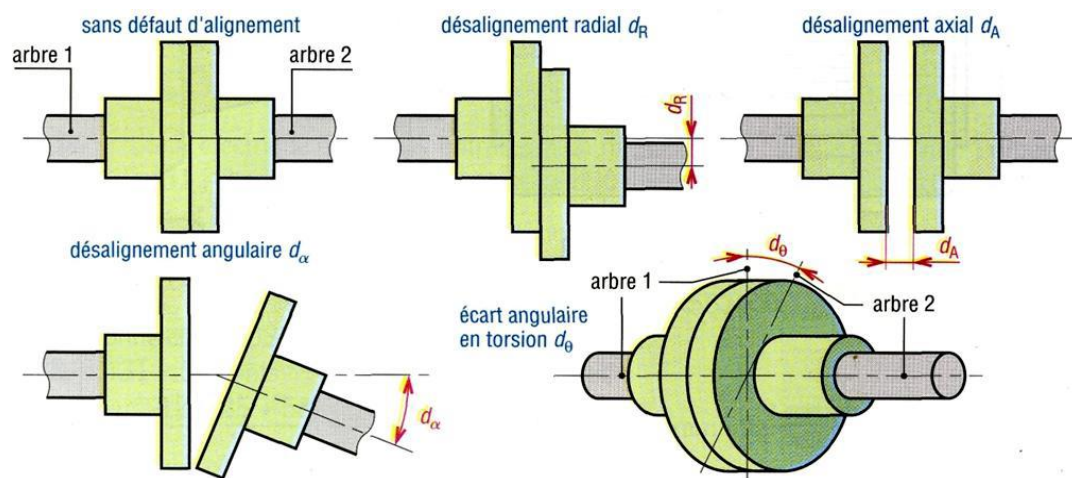
Les accouplements jouent le rôle de jonction entre deux arbres de deux machines. Le cas le plus fréquent est celui de la liaison entre une machine motrice (moteur) et une machine réceptrice (récepteur) (figure 1). [2]



**Figure 1 :** Principe d'accouplement des arbres de transmission. [8]

Les accouplements sont utilisés pour transmettre la vitesse et le couple, ou la puissance, entre deux arbres de transmission en prolongement l'un de l'autre comportant éventuellement des défauts d'alignement. [8]

Le choix d'un type d'accouplement dépend d'abord des défauts d'alignement pouvant exister entre les deux arbres : désalignements radial, axial, angulaire et écart en torsion. (Figure 2).



**Figure 2 :** Principaux défauts d'alignement. [8]

On distingue suivant le type des défauts d'alignement : les accouplements permanents et ceux appelés temporaires.

# Accouplements permanents



Accouplements rigides	86
Accouplements élastiques	88

Dans les accouplements permanents, la liaison ne peut être interrompue. Ils sont répartis en :

- ❑ Accouplements rigides, qui ne rattrapent pas les erreurs d'alignement des arbres.
- ❑ Accouplements élastiques, sont souvent utilisés. Ils tolèrent plus ou moins, suivant le type de construction, des défauts d'alignement limités entre les deux arbres. [2]

## 1. Accouplements rigides :

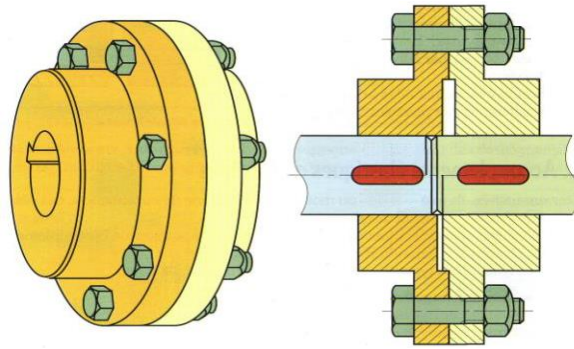
Ils doivent être utilisés lorsque les arbres sont correctement alignés (ou parfaitement coaxiaux).

Leur emploi exige des précautions et une étude rigoureuse de l'ensemble monté, car un mauvais alignement des arbres amène un écrasement des portées, des ruptures par fatigue et des destructions prématurées du système de fixation. [8]

### 1.1. Accouplements à plateaux :

Très utilisés, précis, résistants, assez légers, encombrants radialement, ils sont souvent frettés ou montés à la presse.

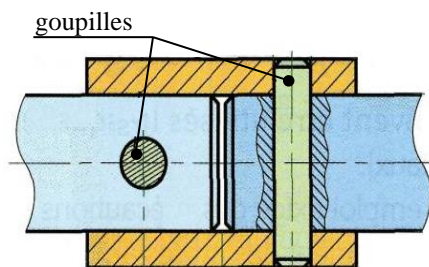
La transmission du couple est en général obtenue par une série de boulons ajustés. En cas de surcharge, le cisaillement des boulons offre une certaine sécurité. [8]



**Figure 3 :** Accouplement rigide à plateaux. [8]

## 1.2. Manchons à goupilles :

Dans le cas des petits accouplements, c'est le plus simple. Les deux goupilles travaillent au cisaillement et offrent une certaine sécurité en cas de surcharge. Le principe de calcul est le même que précédemment. [8]

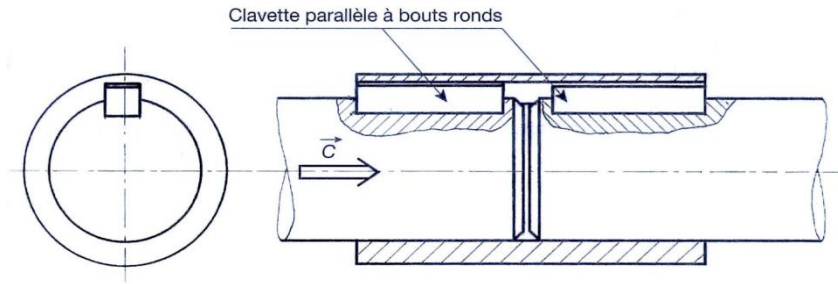


**Figure 4 :** Manchon à goupilles. [8]

Une goupille est une cheville métallique qui sert :

- ☐ Soit à immobiliser une pièce par rapport à une autre : c'est alors une goupille d'arrêt ;
- ☐ Soit à assurer le positionnement d'une pièce par rapport à une autre : c'est alors une goupille de positionnement. [18]

On peut remplacer les goupilles par des clavettes ou des cannelures. L'arrêt en translation du manchon peut être réalisé par une vis de pression agissant sur la clavette, par une goupille passant entre les deux extrémités des deux arbres, par un circlips... [2]



**Figure 5 : Manchon et clavettes. [19]**

## 2. Accouplements élastiques :

Les accouplements élastiques sont des composants de transmission de puissance entre deux arbres ; ils permettent :

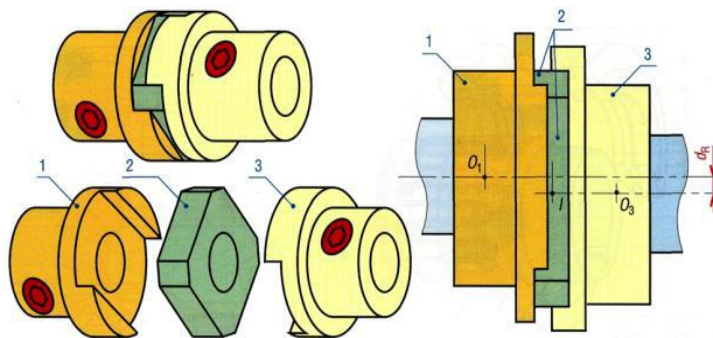
- ❑ D'amortir les phénomènes dus à un couple transmis irrégulier ;
- ❑ D'accepter des défauts d'alignement des arbres (parallélisme et coaxialité).

Ils s'imposent quand les machines sont montées sur supports élastiques. C'est un composant sans jeu, sans graissage.

### 2.1. Accouplements non flexibles en torsion :

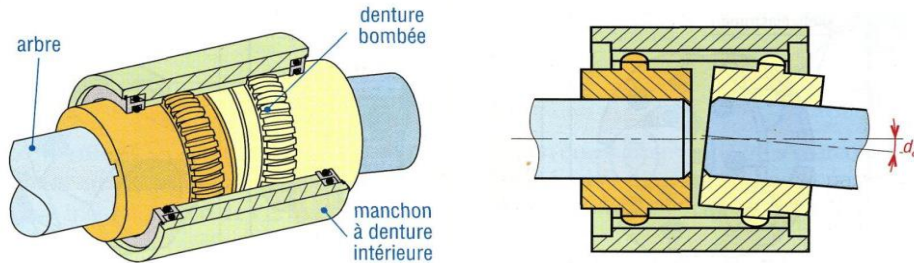
Composés de pièces rigides, ils peuvent corriger un ou plusieurs défauts d'alignement particuliers, mais transmettent le couple intégralement sans amortissement des irrégularités et des chocs de transmission (ni écart ni jeu en torsion :  $d_\theta = 0$ ). Les couples transmis peuvent être très élevés. [8]. Les principaux cas sont :

- ❑ **Joint d'Oldham** : il supporte uniquement des désalignements radiaux ( $d_R$ ) et permet la transmission entre deux arbres parallèles présentant un léger décalage. Le joint est construit autour de deux glissières à  $90^\circ$  ; plusieurs variantes sont possibles.



**Figure 6 : Joint d'Oldham. [8]**

❑ **Accouplements à denture bombée** : Il supporte uniquement des désalignements angulaires ( $d_\alpha$ ) modérés (obtenus grâce à la forme bombée de la denture), plusieurs variantes existent. [8]



**Figure 7** : Accouplements à denture bombée. [8]

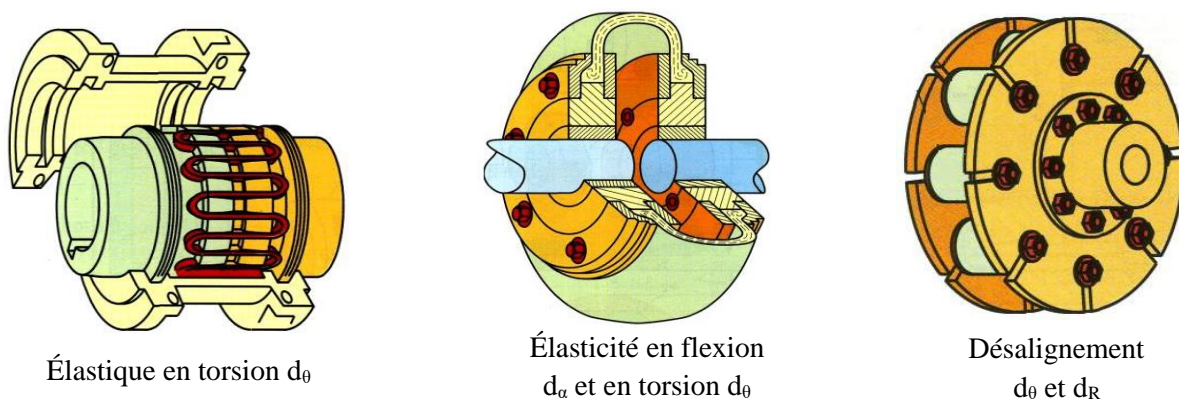
## 2.2. Accouplements élastiques en torsion :

En plus de pièces rigides, ils se composent de parties totalement élastiques, ressorts ou blocs élastomères, permettant la flexibilité en torsion.

Ils sont conçus pour transmettre le couple en douceur (réduisent et amortissent les chocs et les irrégularités de transmission) tout en corrigeant plus ou moins les différents défauts d'alignement.

Les réalisations utilisant des éléments en élastomère (membrane, blocs...) supportent en même temps et à des degrés divers tous les types de désalignements.

Il existe de nombreuses réalisations plus ou moins concurrentes. Seulement quelques cas typiques sont proposés. Seuls les désalignements permis les plus significatifs sont indiqués sur les figures. [8]



**Figure 8** : Accouplements élastiques en torsion. [8]

### 2.3. Joints de cardan et assimilés :

Ils assurent la transmission entre des arbres concourants.

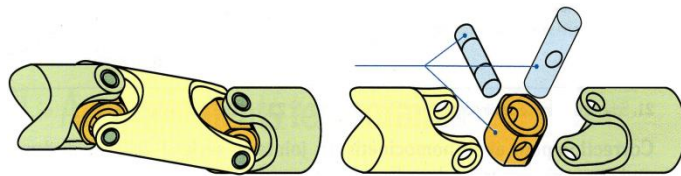
Les accouplements élastiques supportent des défauts angulaires ( $d_\alpha$ ) inférieurs à  $3^\circ$  environ.

Pour des désalignements supérieurs, il faut utiliser les joints de cardans et assimilés ( $d_\alpha$  ou  $\alpha$  jusqu'à  $45^\circ$ ).

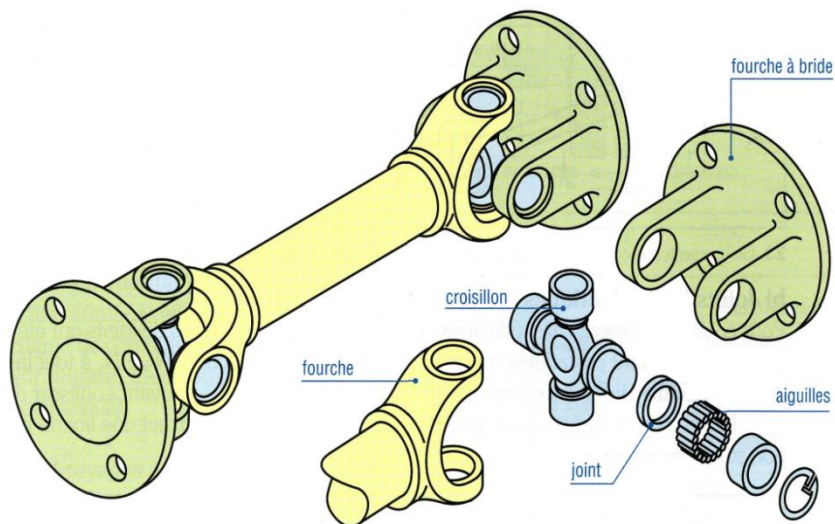
Non flexibles en torsion ( $d\theta = 0$ ), ils peuvent transmettre des couples très élevés. [8]

#### ❑ Joint de cardan :

Encore appelé joint universel ou joint de Hooke. Son invention remonte au XVI<sup>e</sup> siècle (Jérôme Cardan). Le mouvement se transmet par l'intermédiaire d'un croisillon libre en rotation par rapport aux deux arbres (deux liaisons pivots d'axes perpendiculaires et concourants). [8]

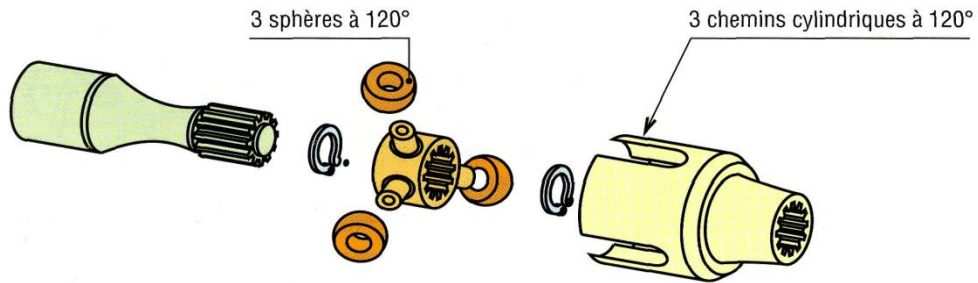


**Figure 9 :** Exemple de cardan pour faible couple. [8]



**Figure 10 :** Exemple de cardan pour couple élevés. [8]

❑ **Joint tripode** : Il est basé sur trois sphères articulées à  $120^\circ$  pouvant coulisser dans trois cylindres coaxiaux parallèles à l'un des arbres. Particularité : il permet une liberté en translation supplémentaire. [8]



**Figure 11** : Joint tripode, vue éclatée. [8]

# Accouplements temporaires



Embrayages	92
Limiteurs de couple	94

## 1. Embrayages :

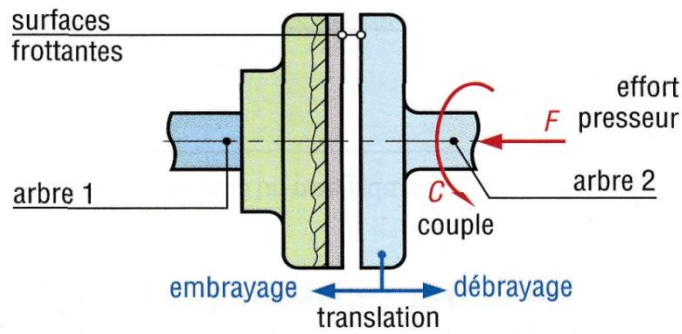
Dans une chaîne de transmission de puissance, l'embrayage est un mécanisme qui se situe entre un organe moteur et un organe récepteur.

Il permet à un opérateur disposant d'une commande extérieure, d'accoupler ou de séparer, progressivement ou non, les arbres respectivement solidaires du moteur et du récepteur. Parmi les avantages offerts par la présence d'un embrayage dans une transmission, nous pouvons retenir :

- ☐ La **sécurité** : l'entraînement du récepteur peut être annulé instantanément sans avoir à intervenir sur la marche de l'organe moteur ;
- ☐ L'économie : par annulation de l'énergie consommée dans le mouvement des organes situés en aval de l'embrayage, quand ces derniers n'ont plus lieu d'être en mouvement ;
- ☐ La **diminution des efforts de contact** : par exemple, entre les roues dentées d'une boîte de vitesses (récepteur), lorsqu'on effectue un changement de rapport ;
- ☐ La **souplesse** de la transmission. [20]

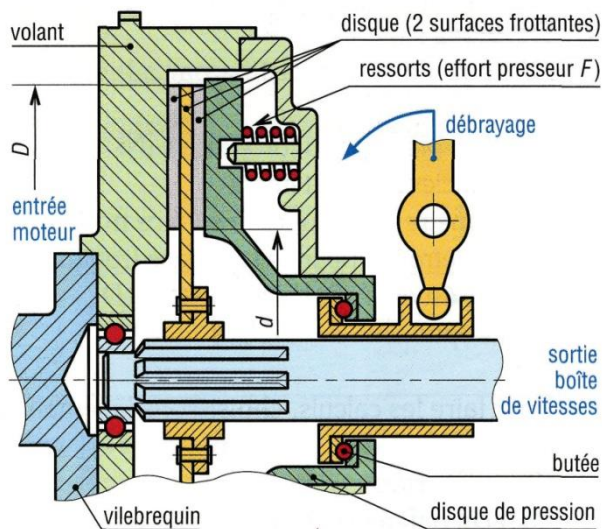
Basés sur les propriétés du frottement, les embrayages réalisent l'accouplement, ou le désaccouplement, de deux arbres au gré d'un utilisateur ou d'un automatisme, après les avoir amenés à la même vitesse de rotation.

Ils ne supportent pas ou très peu les défauts d'alignement et peuvent être classés à partir de la forme des surfaces frottantes (disque, cylindrique, conique) et de l'énergie du système de commande (mécanique, hydraulique, électromagnétique, pneumatique). [8]

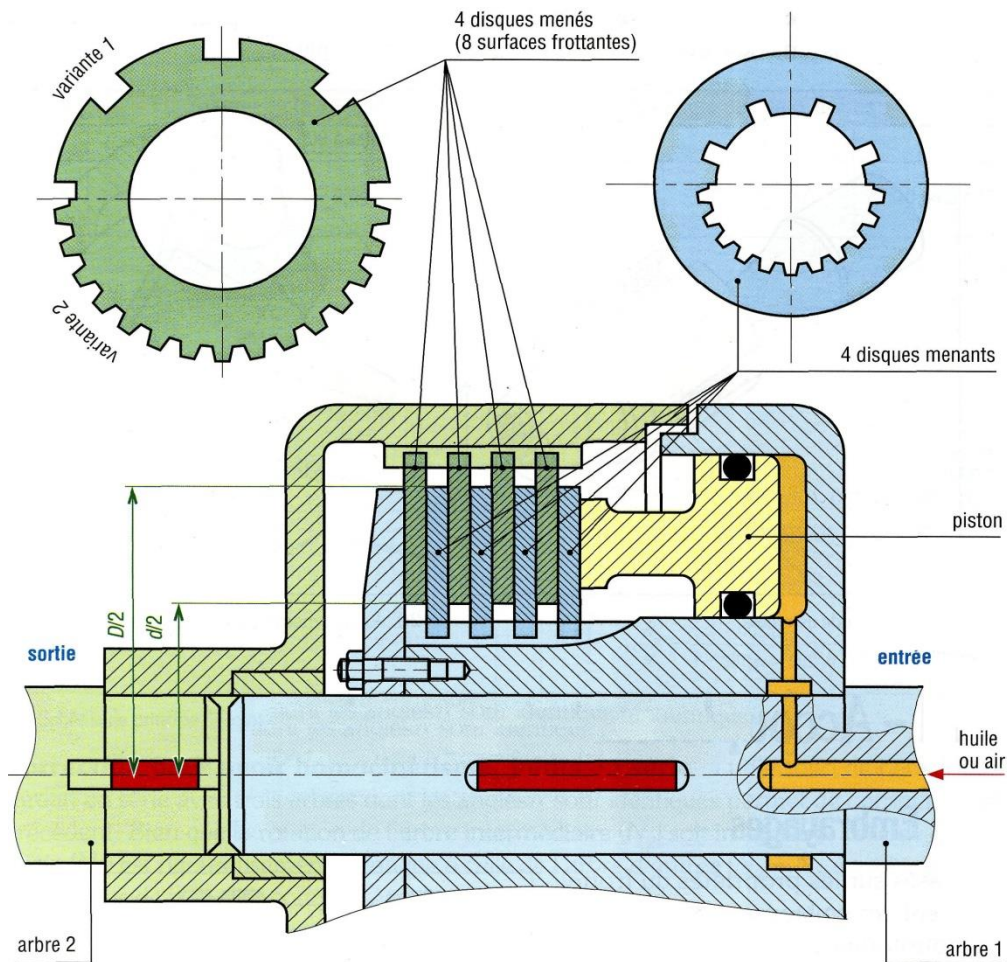


**Figure 12 :** Principe d'un embrayage. [8]

❑ **Embrayages à disques :** Ces embrayages sont les plus utilisés ; le nombre de disques est variable et dépend de l'encombrement ou de la place disponible pour loger l'embrayage. A couple transmis identique, un monodisque sera plus encombrant radialement (plus grand diamètre) et moins axialement (moins large) qu'un multidisque. [8]



**Figure 13 :** Représentation simplifiée d'un embrayage monodisque d'automobile. [8]



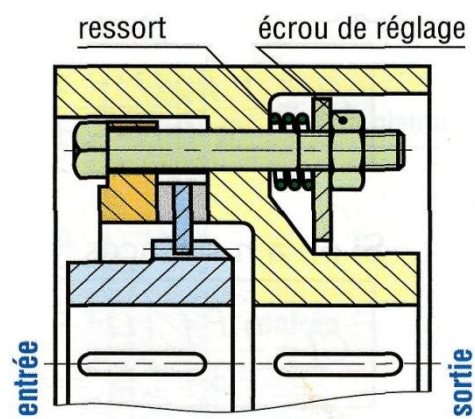
**Figure 14 :** Représentation simplifiée d'un embrayage multidisques à commande hydraulique ou pneumatique. [8]

## 2. Limiteurs de couple :

Un limiteur de couple est un organe réglable qui, intégré à un ensemble mécanique, permet la transmission du mouvement et donc le fonctionnement normal de la machine. En cas d'anomalies (blocage, bourrage, freinage...) entraînant des efforts anormaux et par suite un dépassement du couple de tarage, le limiteur « déclenche » instantanément libérant la partie menée de la partie menante, évitant ainsi la rupture de l'organe le plus faible. [20]

La technologie est la même que celle des embrayages. Il existe de nombreuses variantes : monodisques, multidisques, etc. Rôle : il limite le couple transmissible entre deux arbres afin de protéger le mécanisme contre les surcharges (comme limiter le couple au démarrage) et les blocages.

Le tarage du couple est en général obtenu par un système presseur à ressort. [8]



**Figure 15 :** Limiteur de couple. [8]

# Accouplements spéciaux

Coupleurs  
Convertisseurs

96  
97

## 1. Coupleurs :

Ils remplacent les embrayages dans certaines circonstances.

Le couple transmis, très faible ou nul au démarrage, augmente progressivement avec la vitesse de rotation (varie avec le carré de cette vitesse). Les moteurs peuvent ainsi démarrer à vide ou sans charge.

Sous l'effet de la rotation de l'arbre d'entrée (roue pompe), le fluide intérieur (huile spéciale) est accéléré, l'énergie cinétique acquise est ensuite transmise à l'arbre de sortie (roue turbine) entraînant ainsi sa rotation.

En fonctionnement normal il y a toujours un léger glissement entre les deux arbres (2 à 4 %).

Le fluide, pouvant absorber les chocs, agit également en limiteur de couple. [8]

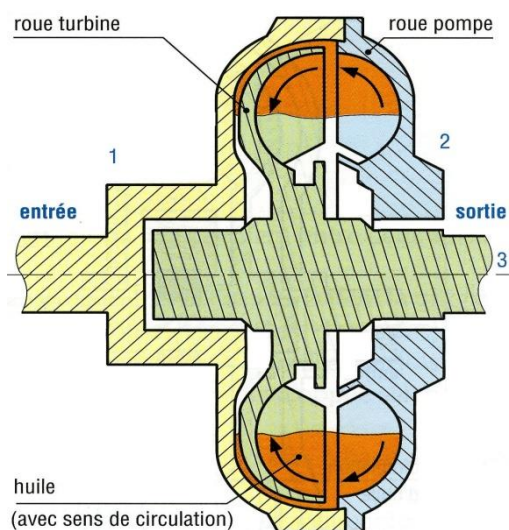


Figure 16 : Principe du coupleur. [8]

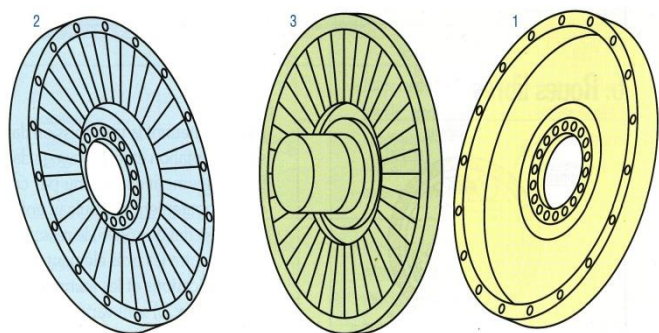


Figure 17 : Éclaté d'un coupleur. [8]

## 2. Convertisseurs :

Ils ne doivent pas être confondus avec les coupleurs. Ils permettent, grâce à un troisième organe (aubages ou ailettes de réaction pouvant modifier le sens de circulation du fluide) de faire varier le couple.

Il y a modification du couple lorsque la roue turbine se bloque ou tourne au ralenti alors que la roue pompe est à sa vitesse maximale. Le couple peut alors être multiplié par deux ou plus. Si la pompe et la turbine tournent à la même vitesse les aubages de réaction tournent eux aussi dans le même sens et le convertisseur fonctionne comme un coupleur, sans amplification du couple.

**Variante 1 :** Elle est souvent installée sur les véhicules routiers avec des boîtes automatiques.

**Variante 2 :** Implantée sur de grosses installations, elle utilise des aubages réglables (par servomoteurs ...) permettant de gommer les différences entre couple moteur et couple récepteur (fonction égalisatrice). Lorsque les aubages mobiles obturent complètement la circulation d'huile, le moteur est presque déchargé. [8]

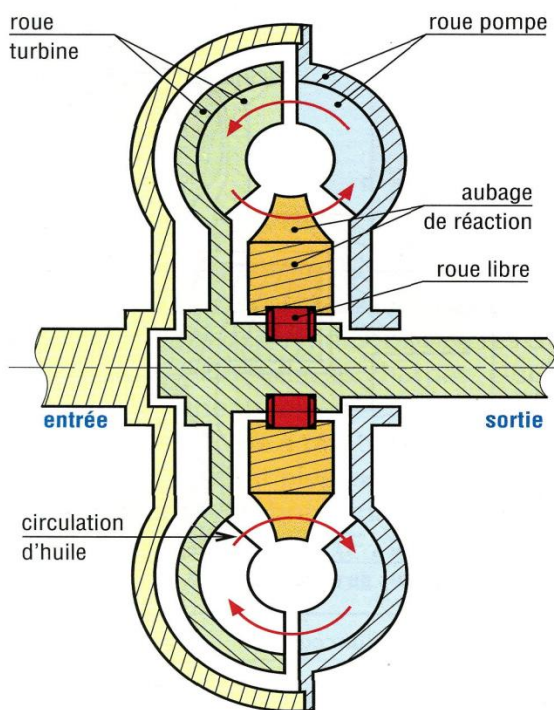


Figure 18 : Variante 1. [8]

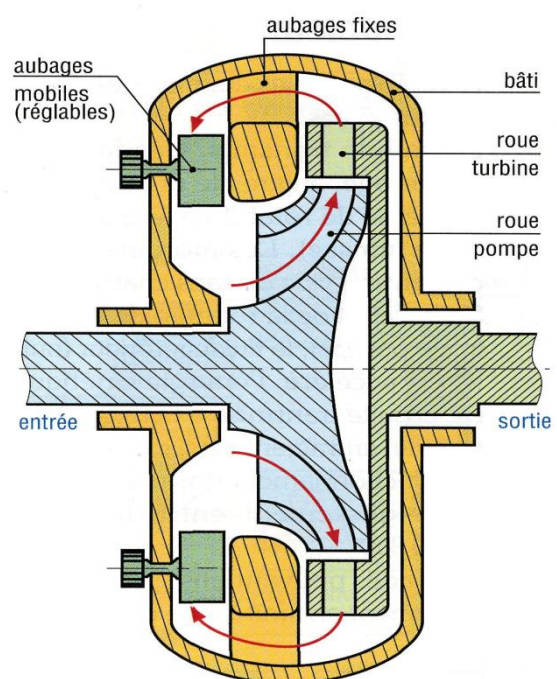


Figure 19 : Variante 2. [8]

# Freins

## IV

Freins à tambours	98
Freins à disques	99

Dans une chaîne de transmission de puissance, le dispositif de freinage est destiné, soit :

- ☐ à ralentir un mouvement établi en lui communiquant une décélération qui abaissera sa vitesse à une nouvelle valeur souhaitée, nulle (arrêt) ou non (ralentissement),
- ☐ à s'opposer à la mise en mouvement d'un organe arrêté.

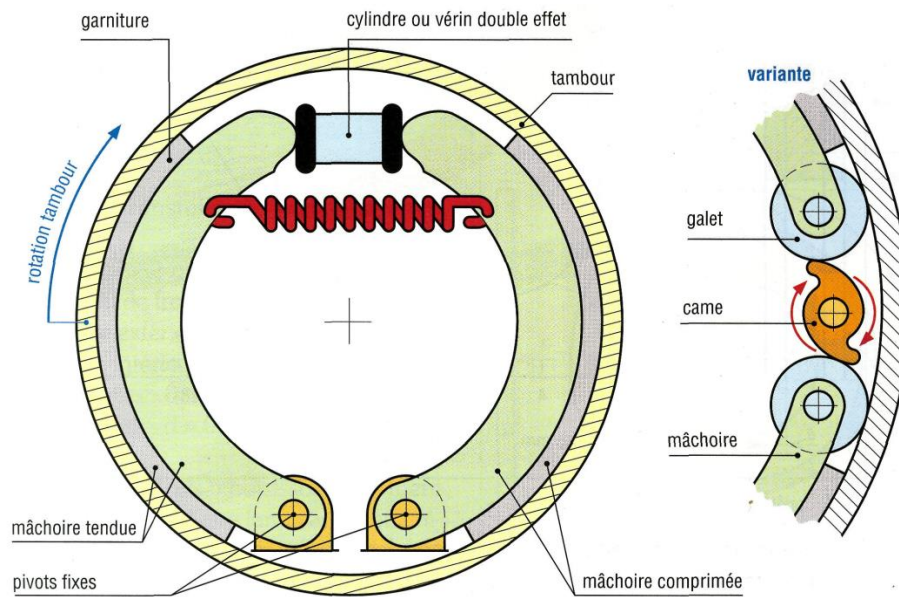
D'une manière générale, tout dispositif de freinage se doit d'être installé à proximité de l'organe récepteur dont il est souhaité le ralentissement ou l'arrêt, ceci afin d'éviter les chocs dans les éléments de transmission lors du freinage. [20]

Les freins fonctionnent de la même manière que les embrayages mis à part que l'un des arbres, fixe, sert de base pour arrêter progressivement le second par absorption de l'énergie cinétique des masses mobiles. Cette énergie est transformée en chaleur puis dissipée dans l'air ambiant. [8]

### 1. Freins à tambour :

Ils ont pour eux une grande puissance de freinage sous un faible effort de commande. Aux vitesses élevées et en usages intensifs on leur préfère les freins à disques. Il existe plusieurs variantes.

La mâchoire comprimée supporte l'essentiel du freinage (environ les 2/3) et de ce fait s'use plus vite. L'effort de freinage peut être fourni par un vérin hydraulique (encore appelée cylindre) ou par un dispositif à came. [8]

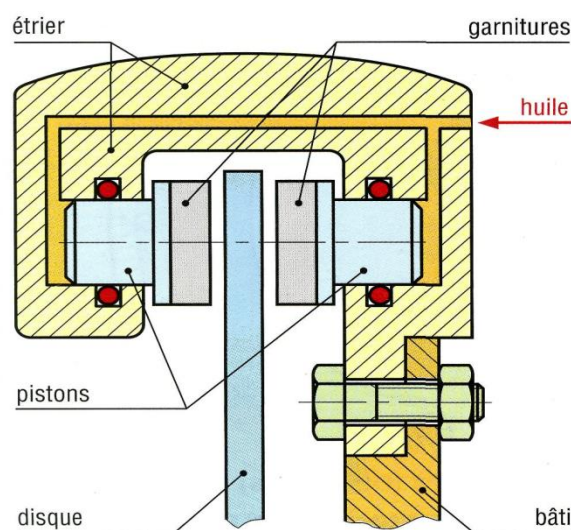


**Figure 20 :** Principe de fonctionnement d'un frein à tambour. [8]

## 2. Freins à disques :

Ils ont pour eux la stabilité du couple de freinage, notamment aux vitesses élevées et une bonne tenue dans des conditions sévères d'utilisation (services intensifs, surcharges, etc).

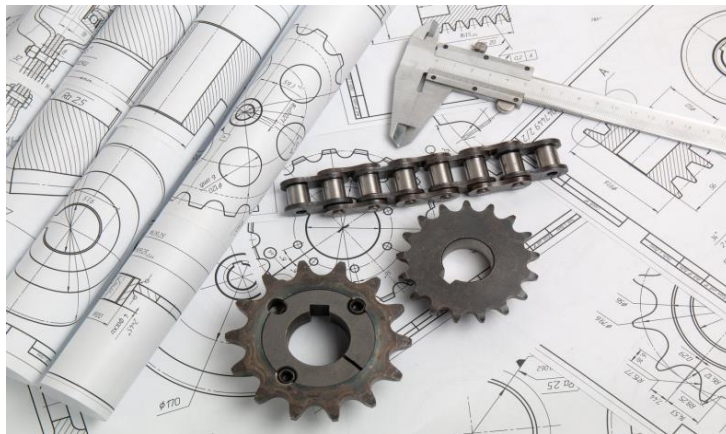
Ils permettent une meilleure évacuation de la chaleur que les freins à tambour, un freinage plus progressif et sont plus faciles à entretenir. Cependant, à encombrement égal et à effort de commande identique (F) leur couple de freinage est deux à quatre fois plus faible. [8]



**Figure 21 :** Frein à disque à deux pistons et étrier fixe. [8]

# Chapitre 6.

# Transmission



# Table des matières



Introduction	102
1. Roues de friction.....	103
2. Chaines .....	108
3. Courroies .....	112
4. Engrenages cylindriques à denture droite.....	118
5. Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale .....	124
6. Engrenages coniques à denture droite .....	126
7. Roues et vis sans fin .....	128

# Introduction



La transmission d'un mouvement de rotation avec changement de vitesse en conservant le type de mouvement entre deux arbres se fait soit par :

1- **Adhérence** : à l'aide d'un :

- ☐ Roue de friction entre deux arbres rapprochés.
- ☐ Poulies-courroies entre deux arbres éloignés.

2- **Obstacle** : à l'aide de :

- ☐ Pignons et chaînes entre deux arbres éloignés parallèles.
- ☐ Engrenages entre deux arbres rapprochés.
- ☐ Roues et vis sans fin entre deux arbres orthogonaux.

# Transmission par roue de friction

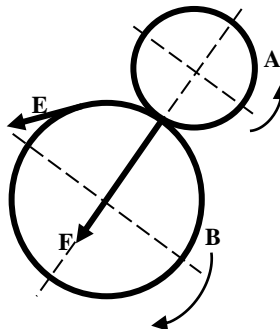
Principe de la transmission	103
Différents types de roues de friction	104
Détails de construction d'une roue de friction	107
Avantage, inconvénients et emplois	107

La roue de friction transmet par adhérence, un mouvement de rotation entre deux arbres rapprochés, avec modification du couple transmis et de la vitesse de rotation.

## 1. Principe de la transmission :

Considérons deux roues cylindriques amenées en contact sur leurs génératrices. La roue A peut-elle entraîner la roue B ?

Il faut d'ailleurs pouvoir transmettre un couple donné pour que le mécanisme présente un intérêt pratique : il s'agira ici de faire tourner la roue B, malgré un effort résistant E.



La roue A peut, dans ces conditions :

- ✓ Soit ne pas entraîner B (donc glisser sur B) ;
- ✓ Soit entraîner B par adhérence.

La condition d'adhérence, elle dépend de la **force pressante** et du **coefficient de frottement** entre A et B.

Si  $E > F$ , f Transmission par glissement.

Si  $E < F$ , f Transmission par adhérence.

F : force pressante.

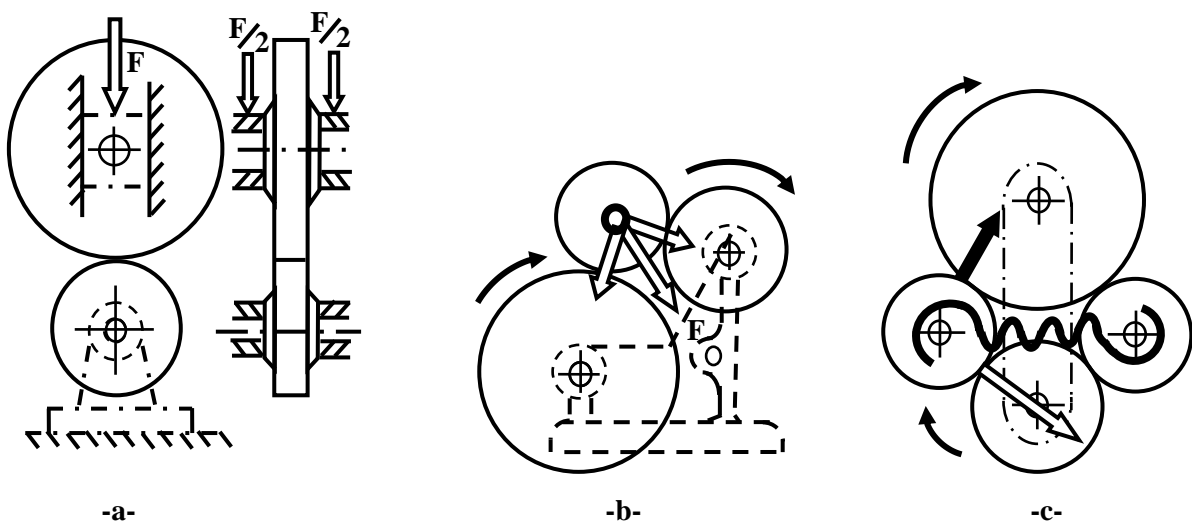
f : coefficient de frottement. [21]

La force pressante est exercée par un ressort (à boudin ou à lame) par la pesanteur, ou par tout autre dispositif.

- ✓ Nous constatons la nécessité d'une force pressante  $F$ .
- ✓ Nous pourrions réduire cette force  $F$  si le coefficient de frottement est grand.
- ✓ Le mécanisme doit permettre un déplacement relatif des deux arbres pour que cette force  $F$  existe. [21]

## 2. Différents types de roues de friction :

### 2.1. Roues de friction cylindriques :



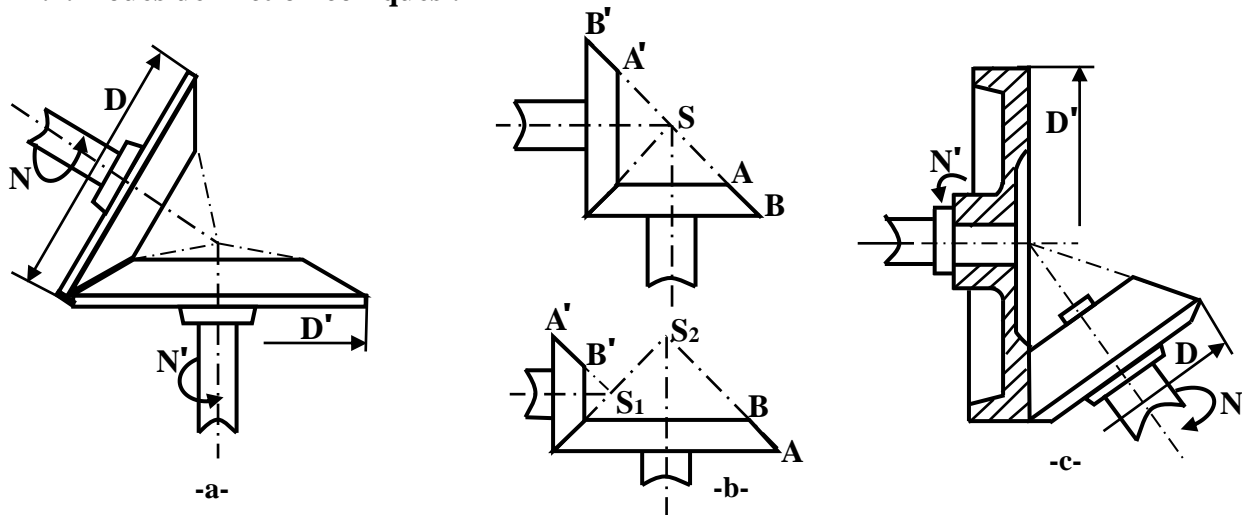
**Figure 1 :** Roues de friction cylindriques. [21]

**Exemple a :** Possibilité de déplacement de l'une des roues pour avoir une force pressante  $F$ .

**Exemple b :** Les deux arbres peuvent avoir une position fixe si la transmission utilise un **galet intermédiaire**. Ce galet aura une possibilité de déplacement. En outre, il donne le **même sens de rotation** pour les deux arbres.

**Exemple c :** En utilisant deux galets, on **double la** puissance transmise, et les poussées sur les arbres sont partiellement équilibrées. [21]

## 2.2. Roues de friction coniques :



**Figure 2 :** Roues de friction coniques. [21]

Le roulement d'un cône sur un autre cône se fait sans glissement si les sommets des deux cônes sont confondus avec le point de concours des axes.

Dans l'exemple b, si les points A et A' ont même vitesse linéaire, les points B et B' auront également la même vitesse, il n'y aura pas de glissement tout le long de la génératrice commune.

Au contraire, il y a glissement en c, donc frottement.

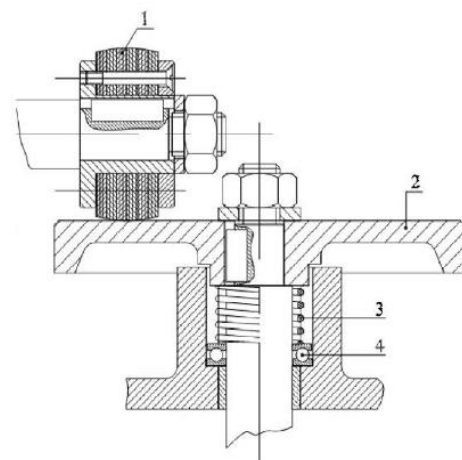
Exemple. La transmission reste géométriquement correcte, le plan n'est que la position limite d'une surface conique. En tous les cas la transmission exige comme précédemment :

- La force pressante entre les deux roues.
- La possibilité de déplacement d'une roue.
- Le choix judicieux des matériaux pour  $f$  élevé. [21]

## 2.3. Transmission par plateau et galet :

Selon la figure 3, cette transmission se compose de :

- (1) Un galet en cuir en férodo
- (2) Un plateau en fonte ;
- (3) Un ressort 3 pour assurer l'effort presseur
- (4) Un roulement buté



**Figure 3 :** Galet cylindrique et plateau.

Un galet cylindrique et un plateau à surface plane permettent une liaison entre arbres perpendiculaires, figure 3.

Toutefois, la transmission est géométriquement incorrecte. En effet, les points A et B du galet ont obligatoirement la même vitesse linéaire, et sont en contact avec des points du plateau animé de vitesses différentes. Il en résultera des pertes par frottements, et une usure rapide.

Pour réduire ces inconvénients fonctionnels, on donne au galet une forme non cylindrique qui réduit la largeur de la zone de contact, Le mécanisme exige toujours :

- ☐ Force pressante  $F$  ;
- ☐ Possibilité de déplacement du galet au du plateau ;
- ☐ Coefficient de frottement  $f$  élevé. [21]

#### 2.4. Roues de friction à gorges :

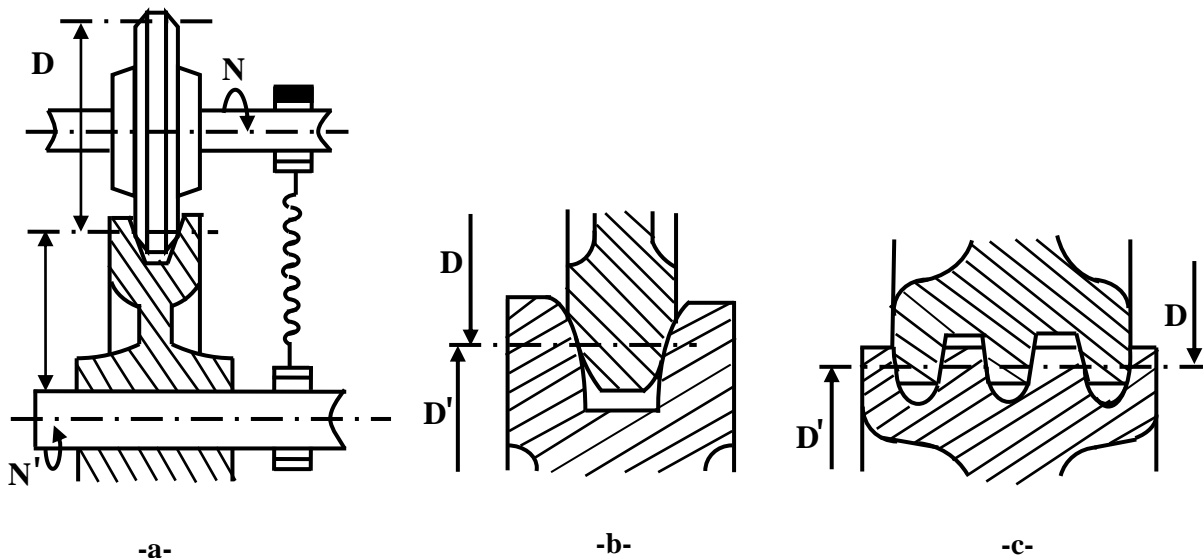


Figure 4 : roues de friction à gorges. [21]

##### a) Galet biconique et une roue à gorge :

Nous pouvons remplacer les roues cylindriques par un galet biconique et une roue à gorge.

**Avantage :** La force pressante  $F$  exerce sur les surfaces en contact des forces  $X$  plus grandes ; ou peut transmettre un couple plus grand.

**Inconvénient :** Le dispositif est incorrect géométriquement. Puisque des points en contact sur les deux roues ont des vitesses linéaires différentes. Il y a donc des frottements nuisibles, et de l'usure. [21]

b) **Roues à coins améliorées** : Les inconvénients signalés précédemment sont réduits en réalisant sur le galet et sur la roue à gorge des **profils curvilignes** qui seront théoriquement en contact ponctuel seulement,

c) **Roues à gorges multiples** pour transmettre une puissance plus grande : l'usinage doit être très précis pour que les contacts soient bons sur les différentes gorges. [21]

### 3. Détails de construction d'une roue de friction:

- ☐ On obtient une bonne adhérence par l'emploi d'une roue en fonte avec une roue garnie de bois, cuir, papier, etc.
- ☐ La roue en fonte aura sa surface fonctionnelle façonnée soigneusement.
- ☐ **Les galets en cuir** sont formés par l'empilage de rondelles découpées. Le tout est fortement serré ; même réalisation en papier comprimé.
- ☐ Des tambours en bois cylindriques ou coniques sont obtenus par l'assemblage de secteurs découpés.
- ☐ Pour garnir de cuir la jante d'un volant, on peut enrouler à plat une lanière dans une saignée peu profonde. Le coefficient de frottement est bien plus élevé avec du cuir sur champ, on réalise des garnitures formées par des lanières rivées. Cette garniture n'est pas fixée sur le volant, ce qui lui permet un faible glissement au démarrage qui protège le mécanisme. Ce glissement fonctionnel d'autre part, répartit la force adhérente entre volant et garniture sur toute la surface de contact.

### 4. Avantage, Inconvénients et emplois :

- ☐ Les transmissions par roues de friction sont silencieuses, simples et économiques. Elles réalisent un dispositif limiteur de couple et par conséquent protègent le mécanisme.
- ☐ Le rendement de ces transmissions est médiocre à cause des fortes poussées sur les paliers. Par suite du glissement, il y a usure assez rapide.

On ne peut naturellement pas envisager l'emploi de roues de friction lorsqu'un rapport de vitesses précis est demandé.

- ☐ Les roues de friction sont intéressantes pour transmettre de petites puissances à vitesse assez élevée. [21]

# Transmission par chaines



Les chaines	106
Divers types de chaînes	107
Conditions de fonctionnement des chaines	108
Avantages et inconvénients des chaines	109

La transmission de mouvements entre un arbre moteur et un ou plusieurs arbres récepteurs est assurée par une roue et une chaîne. Elle s'effectue par obstacle, ce qui interdit tout glissement relatif.

La transmission de puissance par chaîne est particulièrement bien adaptée lorsque les axes des arbres sont parallèles avec un entraxe important et pour un couple élevé à transmettre. Cette transmission possède un bon rendement (98 %). Elle fonctionne dans des conditions sévères de choc et de température ainsi que dans des environnements difficiles (humide, corrosif...). [3]

## 1. Chaines :

Les chaînes, sont des éléments flexibles qui permettent la transmission de la puissance entre deux arbres parallèles mais éloignés l'un de l'autre. Puisqu'elles sont composées de maillons articulés faits d'aciers de haute résistance, les chaînes peuvent être soumises à des conditions d'utilisation plus difficiles.

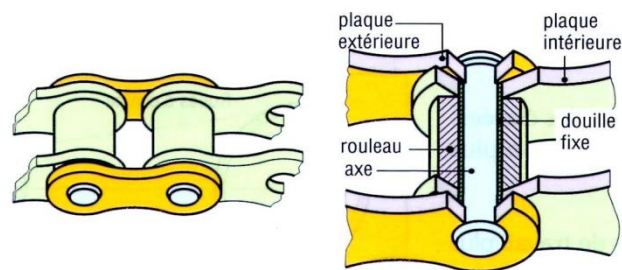
Les chaînes sont des éléments normalisés sur le plan international et fabriqués en série par des firmes spécialisées. Les fabricants publient des catalogues et autres documents destinés à guider le concepteur qui doit choisir le plus judicieusement possible les divers paramètres géométriques d'une transmission par chaîne. [14]

## 2. Divers types de chaînes :

On classe les chaînes en deux grandes catégories : les *chaînes de transmission*, utilisées pour la transmission de la puissance, et les *chaînes de manutention*, utilisées principalement dans les convoyeurs à chaînes pour la manutention et le transport dans les usines. Dans ce chapitre, nous n'étudierons que les chaînes de transmission. Les types de chaînes les plus utilisés pour la transmission de la puissance sont les chaînes à rouleaux et les chaînes silencieuses. [14]

### 2.1. Chaînes à rouleaux :

Appelées également chaînes de précision ces chaînes sont sans contredit les plus répandues dans l'industrie. Ces chaînes sont constituées de maillons (figure. 5), qui peuvent être extérieurs ou intérieurs. [14]

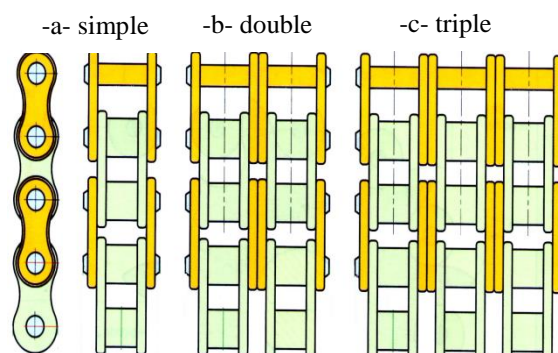


**Figure 5 :** Composition d'une chaîne à rouleaux. [8]

Les *maillons extérieurs* sont formés de deux plaques extérieures reliées entre elles par deux axes sertis, tandis que les *maillons intérieurs* sont formés de deux plaques intérieures reliées entre elles par deux douilles serties.

Pour faciliter l'engrènement des chaînes sur les pignons, on place deux rouleaux sur les douilles, avec un ajustement libre mais très précis. Ces rouleaux permettent de réduire et d'uniformiser l'usure des dents des pignons.

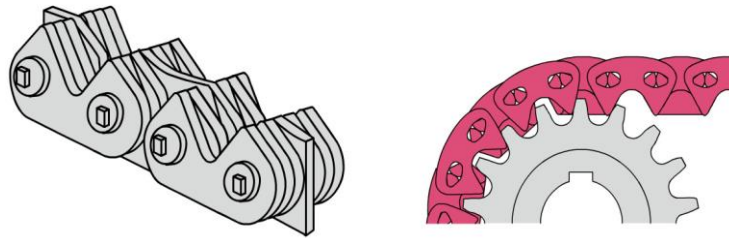
Les chaînes à rouleaux peuvent être constituées d'un maillage simple (figure.6. a), double (figure.6. b), triple (figure.6.c) ou quadruple, et même supérieur (en cas de commande spéciale). [14]



**Figure 6 :** Chaînes à rouleaux :a- simple, b- double, c- triple. [8]

## 2.2. Chaînes silencieuses :

Appelées également chaînes à dents renversées, ces chaînes sont constituées de plaques en forme de double dent articulées sur des douilles longues, lesquelles forment les coussinets destinés à recevoir les axes en acier durci et rectifié (figure.7). [14]



**Figure 7 : Chaînes silencieuses. [3]**

Ces chaînes sont caractérisées par :

- ☐ Un engrènement plus doux et plus silencieux que celui des autres types de chaînes ;
- ☐ Des chocs plus faibles ; ce qui permet de les utiliser aux grandes vitesses ;
- ☐ Un rendement plus élevé (qui peut atteindre 99 % à pleine charge). [14]

## 3. Conditions de fonctionnement des chaînes :

Pour réaliser une transmission par chaîne qui soit fiable et sécuritaire et dont le rendement soit optimal, le concepteur doit s'assurer que certaines conditions géométriques et physiques sont satisfaites.

- ☐ En général, les arbres doivent être parallèles.
- ☐ Pour éviter le contact répété des mêmes maillons avec les mêmes dents du pignon, on recommande de choisir pour ceux-ci un nombre impair de dents lorsque cela est possible.
- ☐ En ce qui concerne le nombre de dents de la roue, on recommande de se limiter à 110 afin de réduire les risques d'allongement prématuré et excessif des maillons de La chaîne.
- ☐ L'angle d'enroulement doit être au moins 120°.
- ☐ L'entraxe doit se situer entre 30 et 50 maillons. Cependant on peut cependant accepter une valeur maximale qui arrive à 80 maillons. [14]

## 4. Avantages et inconvénients des chaînes :

Le fait que les chaînes soient constituées de maillons articulés qui s'engrènent sur des roues dentées leur confère les avantages suivants :

- ☐ Un rapport de vitesse précis, grâce à l'absence de glissement ;
- ☐ Un rendement élevé, lorsque la chaîne est bien choisie et bien entretenue ;
- ☐ Une durée de vie assez longue, avec une grande fiabilité ;
- ☐ La possibilité d'entraîner plusieurs arbres à partir de la même source de puissance ;
- ☐ Un montage et un entretien plus simples ;
- ☐ La possibilité de fonctionner dans des conditions d'utilisation plus difficiles que celles appliquées aux courroies (températures plus élevées, charges plus importantes, chocs plus sévères, etc.).

Par contre, les chaînes présentent tes inconvénients suivants :

- ☐ Un niveau sonore plus élevé que celui des courroies ;
- ☐ L'absence d'amortissement des chocs ;
- ☐ La nécessité d'une lubrification appropriée pendant leur durée d'utilisation ;
- ☐ Une masse linéique élevée. [14]

# Transmission par courroies



Les courroies	112
Disposition des courroies	112
Matériaux des courroies	113
Catégories de courroies	115
Importance d'un montage correct	117

Les courroies sont des éléments flexibles qui permettent de transmettre la puissance lorsque l'arbre moteur et l'arbre entraîné sont éloignés l'un de l'autre. Une transmission par courroies constitue une solution plus simple et plus économique. Par ailleurs, l'élasticité de ces éléments permet d'absorber des chocs et des vibrations, ce qui contribue à rendre la transmission silencieuse et à augmenter leur durée de vie. [14]

La transmission de puissance par poulie - courroie est particulièrement bien adaptée pour un couple moyen à transmettre et lorsque la distance entre les axes des arbres est importante. Elle permet également un fonctionnement silencieux et sans lubrification, un entretien limité, une grande durée de vie, un bon rendement et un coût réduit. [3]

## 1. Courroies :

Les poulies courroies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre. L'entraînement est réalisé par l'adhérence de la courroie sur les poulies. [4]

## 2. Disposition des courroies :

### 2.1. Arbres parallèles :

Les courroies peuvent être montées de deux façons :

- ☐ Courroie droite pour les arbres qui tournent dans le même sens, voir figure 8-a- ;
- ☐ Courroie croisée pour les arbres qui tournent en sens contraire, voir figure 8-b- ;

## 2.2. Arbres quelconques :

La condition de fonctionnement est que la ligne médiane de chaque brin de courroie doit être située dans le plan médian de la poulie sur laquelle il vient s'enrouler.

Cette condition est généralement réalisée en utilisant des galets de renvoi. Le plan médian de chaque galet de renvoi est tangent aux deux poulies (figure 8-c-).

- ❑ La transmission du mouvement est possible quel que soit le sens de rotation.
- ❑ Il est possible de supprimer les galets de renvoi, mais la position respective des poulies doit être conforme à la condition de fonctionnement. Il n'y a plus qu'un sens de rotation possible (figure 8-d-). [4]

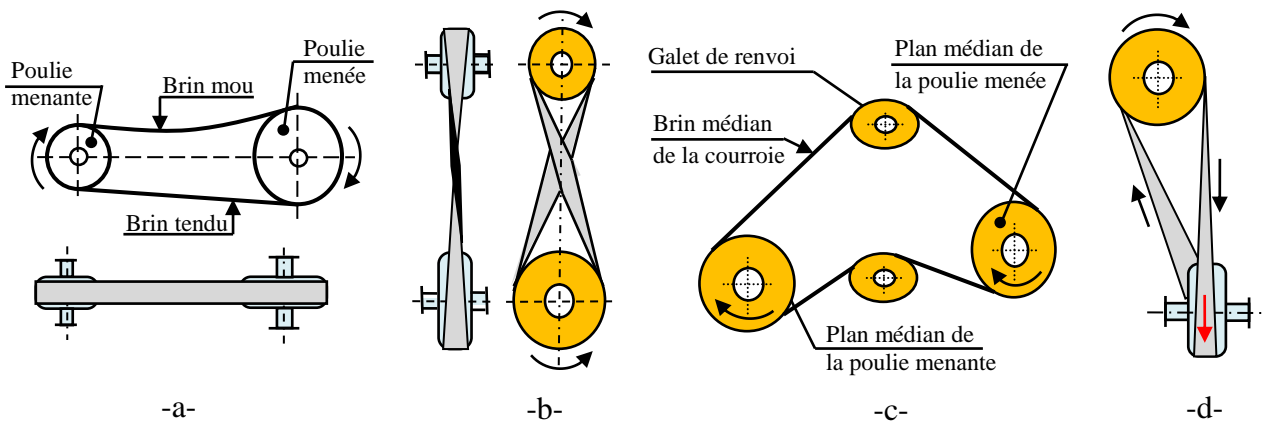


Figure 8 : Disposition des courroies.

## 3. Matériaux des courroies :

Les premières courroies étaient faites de matériaux naturels (cuir, tissu fort, caoutchouc). Alors qu'aujourd'hui, on rencontre presque exclusivement des courroies faites de matériaux composites synthétiques. Les principaux matériaux utilisés pour la fabrication des courroies sont : le cuir, les tissus caoutchoutés et les caoutchoucs ou élastomères renforcés.

**3.1. Cuir :** Matériau classique des premières courroies. Le cuir n'est pratiquement plus utilisé aujourd'hui à cause de son prix élevé et de sa vulnérabilité aux conditions atmosphériques. Toutefois, pour remplacer le cuir naturel, on utilise des composites cuir-perlon, cuir-nylon ou cuir-reslan, caractérisés par leur grande durabilité. L'utilisation du cuir est en fait limitée aux petites et moyennes vitesses. [14]

**3.2. Tissus caoutchoutés :** Ce sont des textiles en fibres de coton, de nylon ou autre, imprégnés de caoutchouc, ce qui augmente leur coefficient de frottement. Les courroies faites de tissus caoutchoutés n'étant disponibles qu'en rouleaux, il faut relier par un joint les extrémités du morceau coupé.

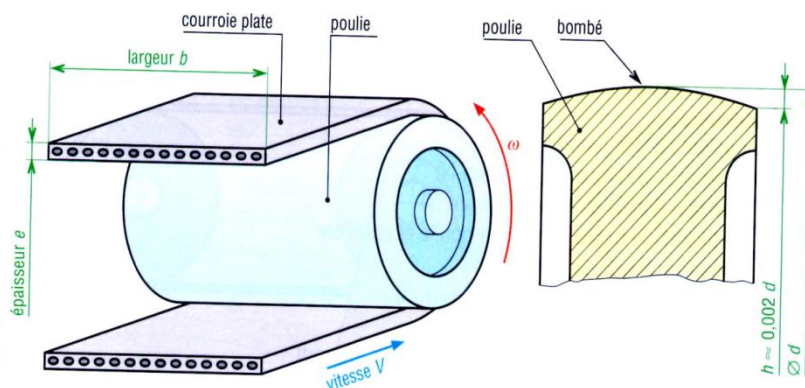
**3.3. Caoutchoucs ou élastomères renforcés :** Ces composites sont utilisés pour fabriquer des courroies sans fin et des courroies en rouleaux, avec lesquelles on fabrique des courroies plates avec joints vulcanisés ou encollés. Pour augmenter leur résistance à la traction, on renforce ces composites avec des fils de nylon, des fibres de verre, d'acier ou de carbone. Ces composites peuvent transmettre une puissance pouvant atteindre 30 kW par cm de largeur de courroie à des vitesses allant jusqu'à 20 m/s. [14]

#### 4. Catégories de courroies :

D'une manière générale, il existe deux grandes catégories de courroies, définies selon la forme de leur section : les courroies plates et les courroies trapézoïdales (dites aussi courroies en V). Mais selon la transmission, on trouve d'autres catégories qui ont la même forme de section mais avec des spécifications de géométrie.

##### 4.1. Courroies plates :

Ces courroies ont des sections rectangulaires dont la largeur est beaucoup plus grande que l'épaisseur, ce qui permet d'obtenir une grande surface de contact entre les courroies et les poulies et une grande flexibilité des courroies. Dans cette catégorie de courroies, on trouve : les courroies plates ordinaires, les courroies plates minces et les courroies crantées. [14]



**Figure 9 :** Transmission par courroie plate. [8]

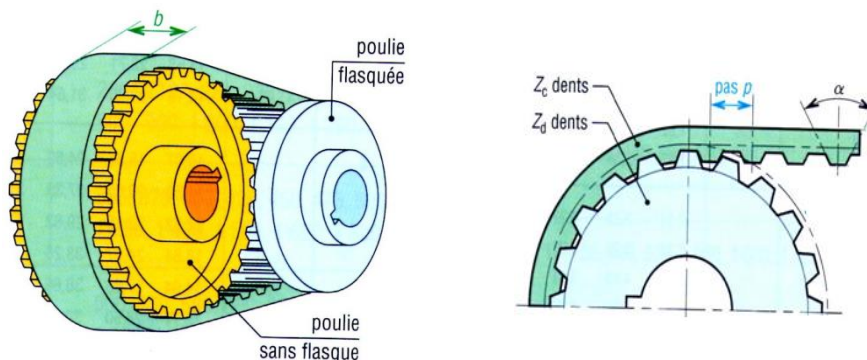
**4.1. Courroies plates ordinaires :** Ces courroies sont fabriquées en cuir multicouches ou en matériaux synthétiques renforcés ou non. Pour les courroies fournies en rouleaux, il faut relier

les extrémités du morceau coupé en les cousant ou en utilisant des agrafes ou de la colle. Dans tous les cas, cette jonction diminue la capacité de charge de la courroie et augmente le niveau sonore du fonctionnement. Pour pallier ces inconvénients, on peut se procurer des courroies plates synthétiques sans fin, de longueurs normalisées.

**4.1.2. Courroies plates minces :** Ces courroies sont en général fabriquées en matériaux synthétiques de faible épaisseur (0,125 à 0,4 mm). Elles sont conçues pour des utilisations sous faible charge et spécialisées : instruments, électronique, domaine médical, etc.

**4.1.3. Courroies crantées (synchrones) :** Ce sont des courroies plates dont la face interne est pourvue de dents transversales qui s'engrènent avec les crans d'une poulie crantée (figure 10). On utilise ces courroies lorsqu'on veut éliminer le glissement entre les courroies et les poulies pour obtenir une transmission synchronisée, c'est-à-dire pour que le rapport de vitesse demeure constant et précis.

Fabriquées en caoutchouc ou en matériaux polymériques (nylon ou néoprène) et renforcées de fibres de verre, ou même de fils d'acier, les courroies crantées allient les avantages des courroies à la précision de la transmission par chaînes ou par engrenages. Ces courroies peuvent transmettre une puissance pouvant atteindre 200 kW à des vitesses allant jusqu'à 80 m/s. [14]



**Figure 10 :** Transmission par courroie crantée. [8]

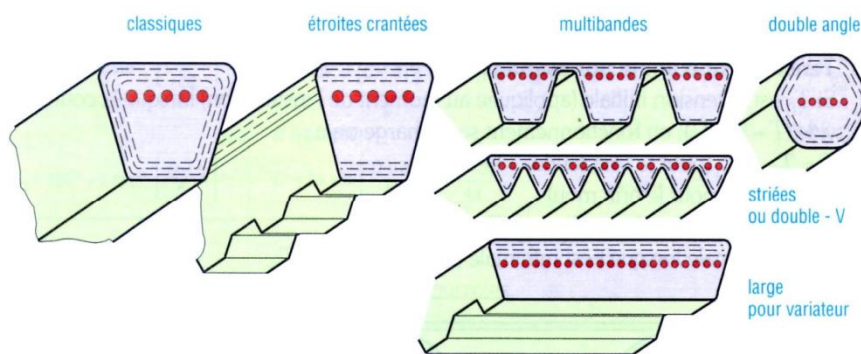
## 4.2. Courroies trapézoïdales :

Les courroies trapézoïdales sont les plus utilisées dans l'industrie. Elles furent d'abord mises au point pour répondre aux besoins de l'industrie automobile, certains mécanismes d'automobile exigent, des courroies de faible encombrement, très résistantes à la traction et pouvant fonctionner dans des conditions d'utilisation difficiles avec une grande fiabilité. Ces courroies sans fin sont fabriquées en caoutchouc moulé autour d'un noyau de traction situé à l'axe neutre et recouvert d'un tissu résistant imprégné de caoutchouc. [14]

Les courroies trapézoïdales sont caractérisées par :

- ❑ Une grande résistance à la traction due à leur mode de construction ;
- ❑ Une résistance au fluage élastique due aux propriétés des fibres de renfort (notamment, leur faible rigidité) ;
- ❑ Un rendement élevé (pouvant atteindre 95 %) lorsque le système de transmission est bien conçu et entretenu ;
- ❑ Une durée de vie raisonnable (bonnes résistances à la fatigue et à l'usure).

Il existe différentes formes de courroies trapézoïdales (Figure 11) : crantées pour un meilleur rendement, multi-bandes pour des couples plus importants, double angle pour des poulies de chaque côté de la courroie, striées pour des vitesses plus importantes. [14]

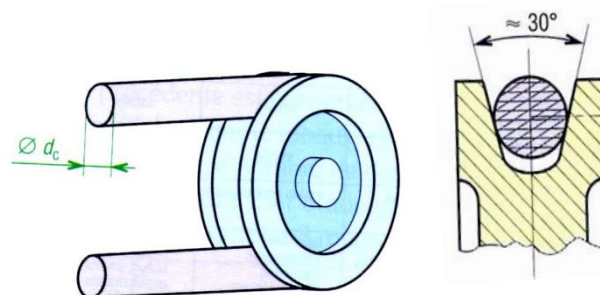


**Figure 11 :** Différents types des courroies trapézoïdales. [14]

#### 4.3. Courroies rondes :

Les courroies rondes sont commodes pour les petits mécanismes, la courroie étant maintenue par les gorges des poulies. On rencontre ces courroies en cuir plein pour les petites dimensions et en cuire roulé (droit ou torse) pour les diamètres un peu plus grands. La gorge des poulies est à fond arrondi, mais telle que la courroie porte sur les flancs.

Actuellement on utilise souvent la courroie ronde en nylon, qui a une très grande résistance et une grande durée de vie. [3]



**Figure 12 :** Transmission par courroies ronde. [8]

## **5. Importance d'un montage correct :**

Un mauvais choix du type de courroie amène de mauvais rendements des organes vite usés, et des remplacements coûteux.

Une bonne courroie, mal montée, donne les mêmes ennuis :

### **5.1. Courroie trop tendue :**

- ☐ Fatigue anormale de la courroie ;
- ☐ Charges trop fortes sur les paliers.

### **5.2. Courroie pas assez tendue :**

- ☐ Transmet un couple trop faible ;
- ☐ Patinage et usure sous les surcharges.

### **5.3. Poulies trop petites :**

- ☐ Perte d'énergie due à la raideur de courroie ;
- ☐ Détérioration rapide de la courroie.

### **5.4. Mauvais alignement des poulies :**

- ☐ Déformation de la courroie ;
- ☐ Adhérence moins bonne. [3]

# Transmission par engrenages

## IV

Engrenages cylindriques à dentures droites	118
Engrenage parallèle à denture hélicoïdale	124
Engrenages coniques	126
Engrenage roue et vis sans fin	128

Les engrenages sont un des éléments de machines les plus utilisés dans la construction mécanique. Le rôle des engrenages est de transmettre un mouvement ou une puissance entre deux arbres, avec un rapport de vitesse constant. Les matériaux utilisés varient en fonction des utilisations, mais les plus couramment employés sont l'acier et la fonte. Les matériaux plastiques sont toutefois de plus en plus employés pour transmettre des faibles puissances. [3]

Les mécanismes de transmission de puissance par engrenages sont présents dans une grande variété de produits industriels : boîte de vitesses, réducteur, renvoi d'angle, boîtier de direction, poignet de robot.

Les engrenages utilisés sont de différents types : cylindrique à denture droite ou hélicoïdale, conique à denture droite, vis sans fin, etc. [22]

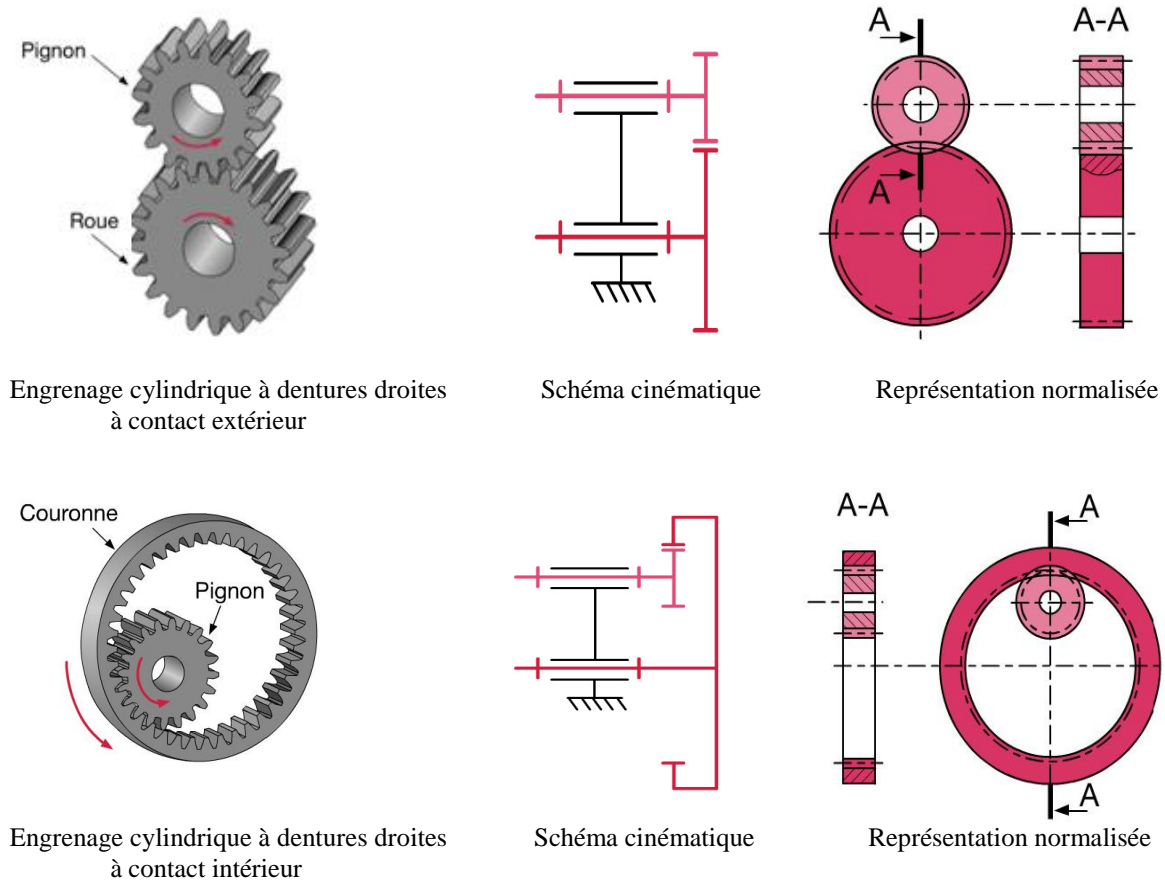
### 1. Engrenages cylindriques à dentures droites :

Un engrenage cylindrique à dentures droites est un engrenage qui permet de transmettre une puissance par obstacle grâce aux contacts entre les dents dont les flancs roulent et glissent les l'un sur les autres ce qui occasionne de l'usure au niveau des contacts.

Dans le cas d'un contact extérieur, la roue tourne dans le sens inverse du pignon. Pour conserver le sens de rotation du pignon, une solution consiste à intercaler une roue intermédiaire qui inverse le sens de rotation sans changer le rapport de transmission.

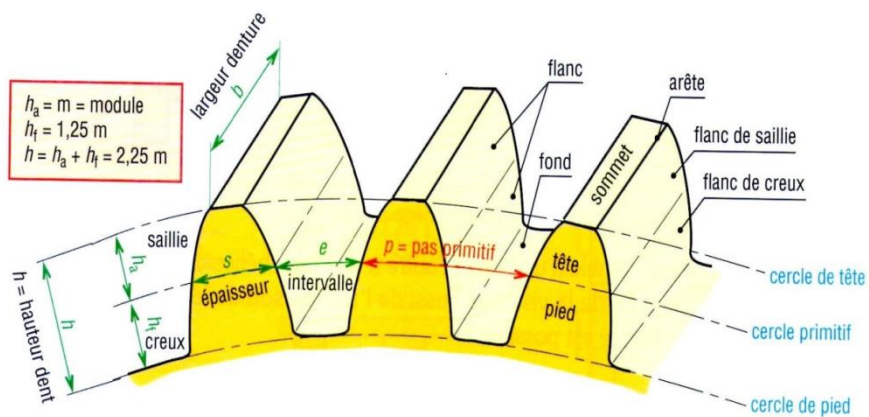
Dans le cas d'un contact intérieur réalisé avec un pignon et une couronne, les deux éléments tournent dans le même sens. [3]

## 1.1. Représentation : [3]

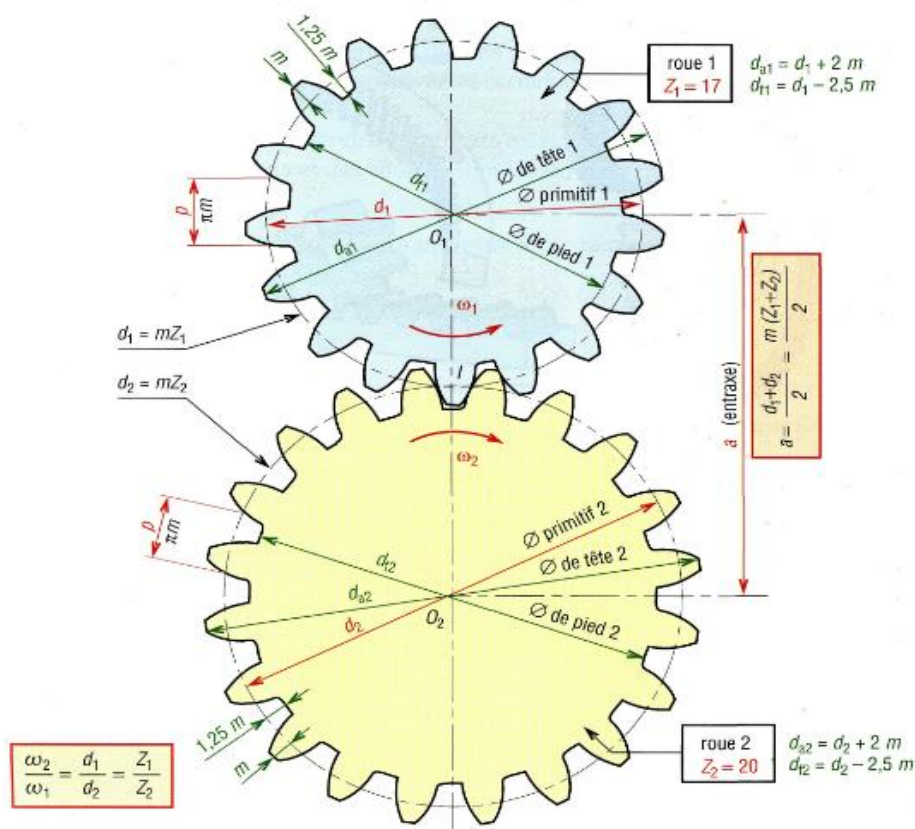


## 1.2. Caractéristique géométrique :

Les caractéristiques de ce type d'engrenage sont présentées sur la figure 13 qui récapitule les relations principales pour ce type d'engrenages.



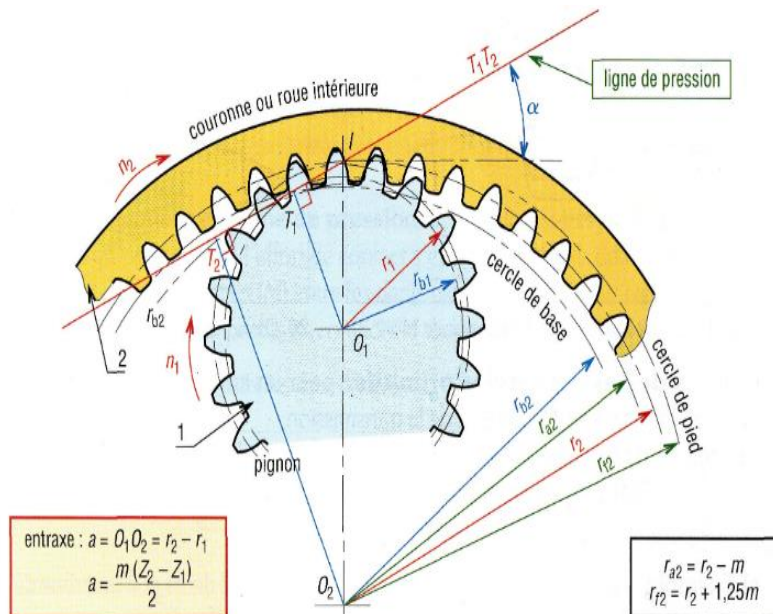
**Figure 13 :** Symboles et vocabulaire utilisés pour décrire la forme de la denture (denture normale). [8]



**Figure 13 :** Entraxe, diamètres, pas et m module normalisé (denture normale). [8]

Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite		
Caractéristiques	Symboles ISO	Observations et formules usuelles
Vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = (\pi.n)/30 \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
Nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
Module	$m$	Valeurs normalisées
Pas primitif	$p$	$p = \pi.m = 3,14159m$ (avec $p=p_1=p_2$ )
Nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
Rayon primitif	$r$	$r_1$ (roue 1) et $r_2$ (roue 2) ; $r = d/2$
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
Entraxe entre les 2 roues	$a$	$a = r_1 + r_2 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
Largeur de dent	$b$	$b = k.m$ ( $7 \leq k \leq 12$ )
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25m$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25m$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m$
Rayon de tête	$r_a$	$r_a = r + m = d_a / 2$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m$
Rayon de pied	$r_f$	$r_f = r - 1,25m = d_f / 2$
Épaisseur de la dent	$s$	$s_1 = e_2 = s_2 = e_1 = \pi m / 2$ (avec jeu nul)
intervalle	$e$	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$
Angle de pression	$\alpha$	Valeur usuelle $\alpha = 20^\circ$
Rayon de base	$r_b$	$r_b = d_b / 2$
Diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cdot \cos \alpha$
Pas de base	$P_b$	$P_b = p \cdot \cos \alpha$

Indice normalisés utilisés	
indice	observations
1	relatif au pignon
2	relatif à la roue
a	de tête
b	de base
f	de pied
n	réel (ou normal)
t	apparent (ou tangentiel)

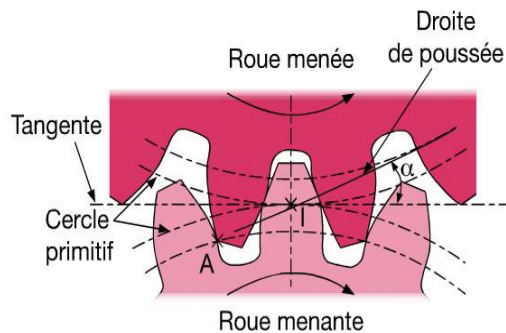


**Figure 14 :** Cas d'un pignon et d'une roue intérieure. [8]

### 1.3. Caractéristiques mécaniques :

#### □ Droite de poussée :

Au cours du mouvement, un point I de contact entre deux dents se déplace suivant une droite appelée « droite de poussée ». Elle représente la direction (ou support) de l'action mécanique transmissible entre les deux roues dentées. Dans un engrenage, l'angle de pression est l'angle entre la tangente des deux cercles primitifs et la droite de poussée en I. Pour une denture normalisée, l'angle de pression est de 20°. [3]



#### □ Engrenage parallèle à denture droite :

Au point de contact I entre deux dents, on peut modéliser les actions mécaniques transmissibles par une force  $\vec{F}$  (1 → 2). On peut l'exprimer avec une composante radiale ( $F_r$ ) et une composante tangentielle ( $F_t$ ) par projection dans les différentes bases, tel que :

$$\vec{F} \text{ (1} \rightarrow \text{2)} = F_t + F_r$$

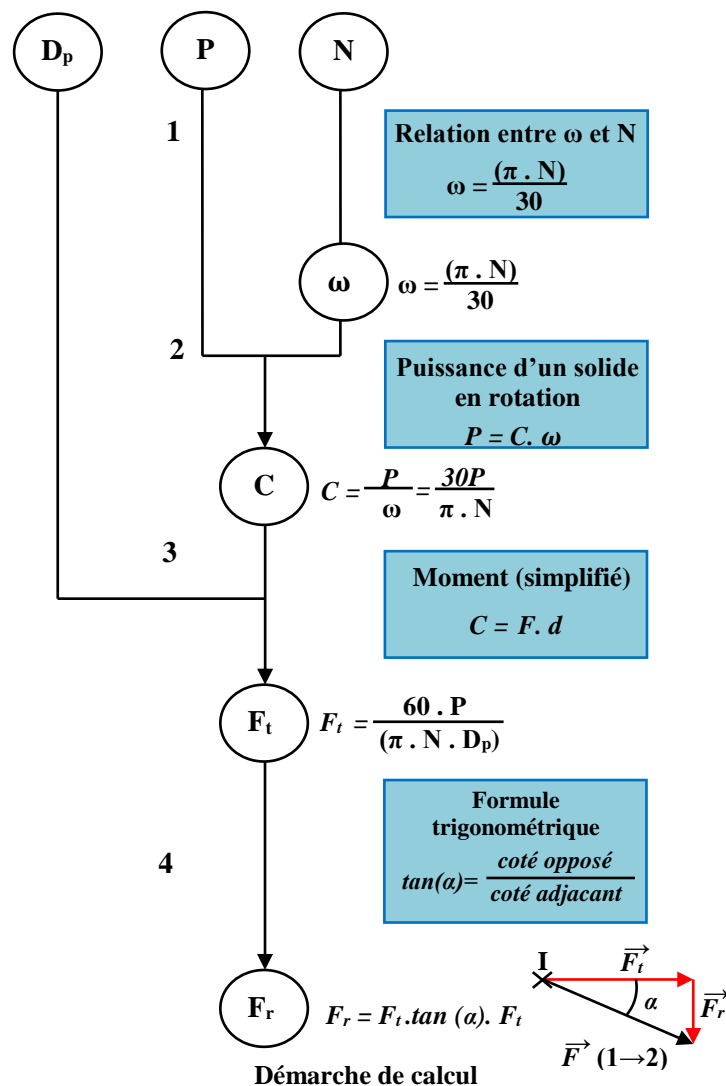
Pour calculer les composantes, on néglige les pertes dues au frottement entre les dénis. On considère ainsi que la puissance motrice est égale à la puissance réceptrice.

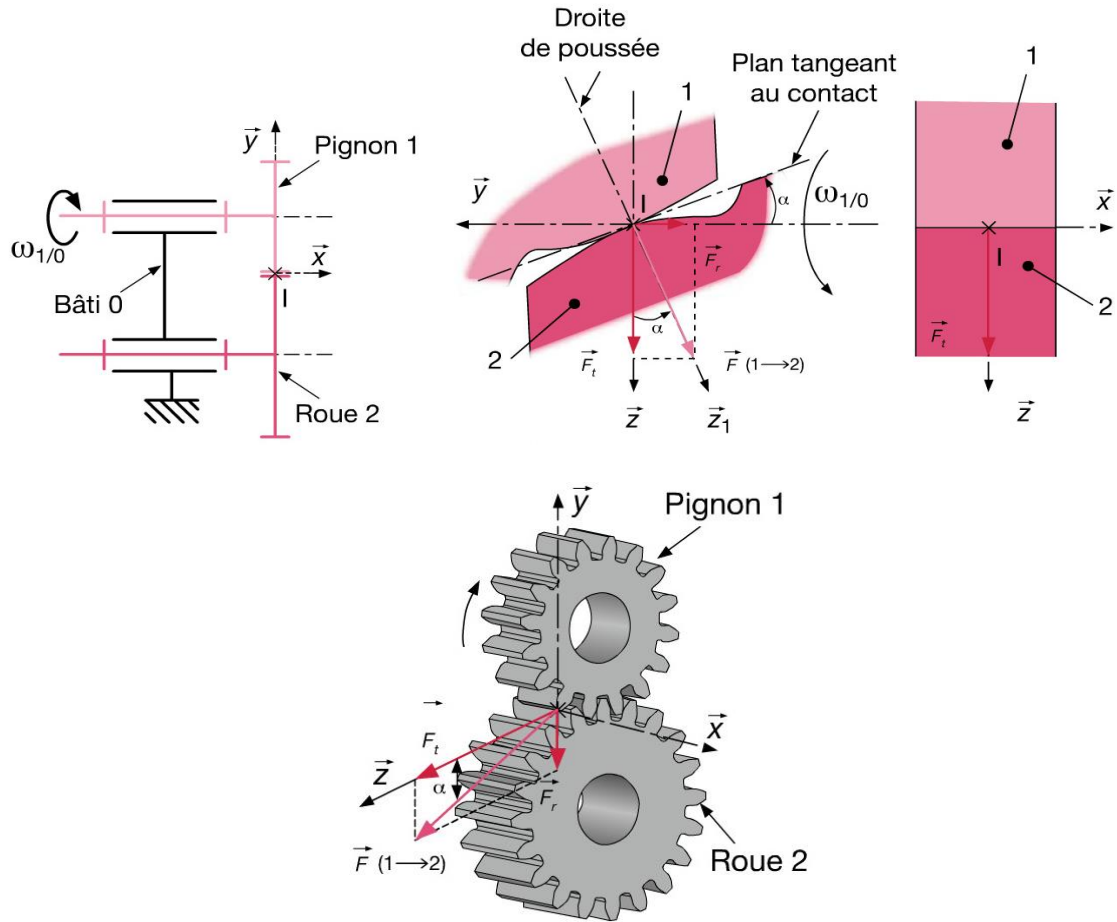
**Remarque :**

En réalité le glissement entre les dents génère une perte énergétique sous forme de chaleur, en raison des frottements. Un engrenage a un rendement énergétique de l'ordre de 0,95 à 0,98.

Avec cette hypothèse, on pourra calculer les composantes de l'action mécanique de la manière détaillée ci-après, sachant que :

- ❑ P : puissance à transmettre (Watt)
- ❑ C : couple à transmettre (N.m)
- ❑ N : Fréquence de rotation (tr/min)
- ❑  $\omega$ : vitesse angulaire (rads)
- ❑  $D_p$ : diamètre primitif de la roue dentée (mm). [3]





On obtient ainsi le torseur d'action mécanique transmissible pour un engrenage à denture droites.

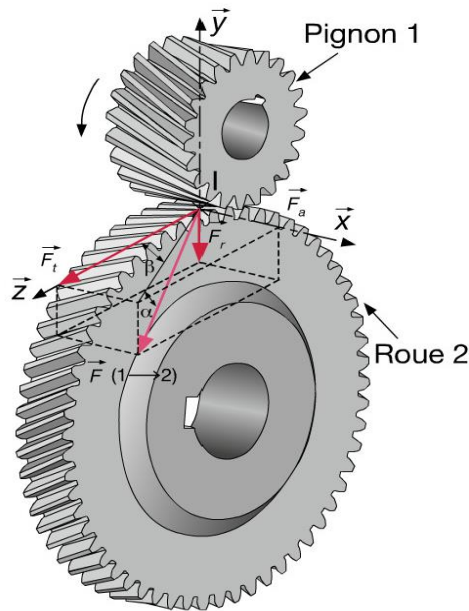
$$\{T(1 \rightarrow 2)\}_I : \begin{Bmatrix} \vec{F} = F \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_I = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -F_r & 0 \\ F_t & 0 \end{Bmatrix}_I \begin{matrix} \vec{x} \\ \vec{y} \\ \vec{z} \end{matrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -F_t \cdot \tan(\alpha) \\ \frac{60 \cdot P}{\pi \cdot N \cdot D_p} \\ 0 \end{Bmatrix}_I \begin{matrix} \vec{x} \\ \vec{y} \\ \vec{z} \end{matrix}$$

#### □ Engrenage parallèle à dentures hélicoïdales :

Au point de contact I entre deux dents, on peut modéliser les actions mécaniques transmissibles entre les dents par une force  $\vec{F}(1 \rightarrow 2)$ . On peut l'exprimer avec une composante radiale ( $F_r$ ), une composante tangentielle ( $F_t$ ) et une composante axiale ( $F_a$ ) par projection dans les différentes bases, tel que :

$$\vec{F}(1 \rightarrow 2) = \vec{F}_t + \vec{F}_r + \vec{F}_a$$

À partir de la même hypothèse que précédemment, on pourra calculer les composantes de l'action mécanique en s'inspirant de la démarche ci-dessus. [3]



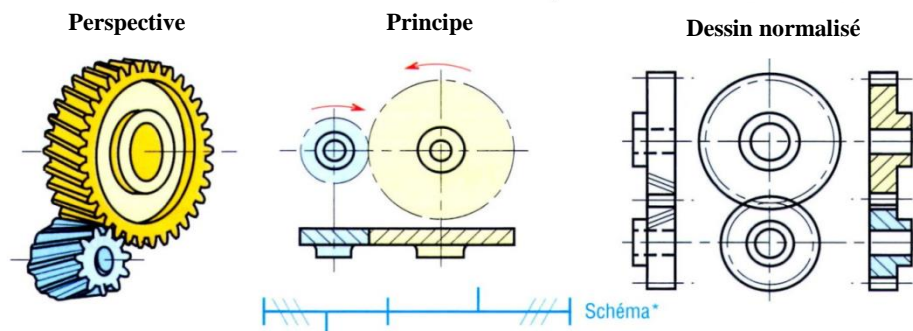
$$\{T(1 \rightarrow 2)\}_I = \begin{Bmatrix} F_a & 0 \\ -F_r & 0 \\ F_t & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} F_t \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta)} & 0 \\ -F_t \cdot \tan(\beta) & 0 \\ \frac{60 \cdot P}{\pi \cdot N \cdot D_p} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

## 2. Engrenages cylindriques à dentures hélicoïdales :

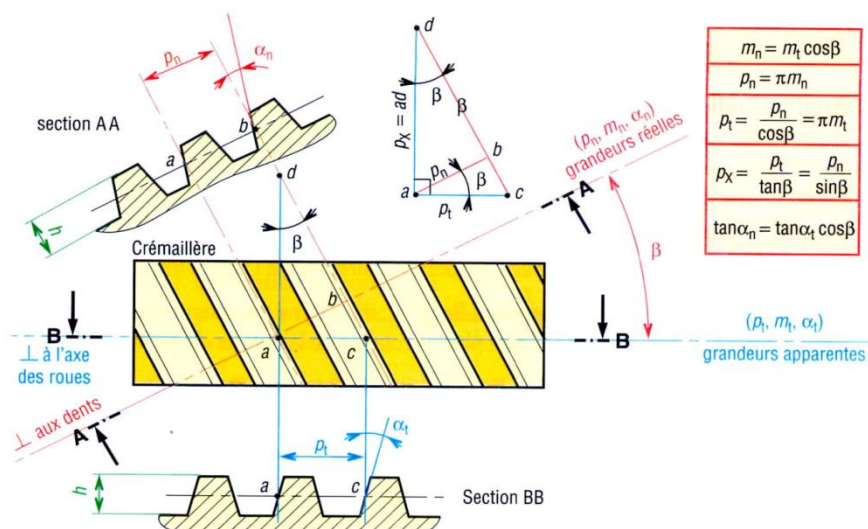
Une denture hélicoïdale offre une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement. Très utilisée en transmission de puissance, elle est, à taille égale, plus performante que les engrenages à denture droite pour transmettre un couple, mais aussi plus silencieuse.

Dans une denture hélicoïdale, les dents inclinées génèrent un effort axial dans le guidage en rotation (Figure 15).

Ils transmettent le mouvement entre deux arbres parallèles. L'angle d'inclinaison de la denture, l'angle d'hélice, est le même pour les deux roues, mais en sens inverse. [3]



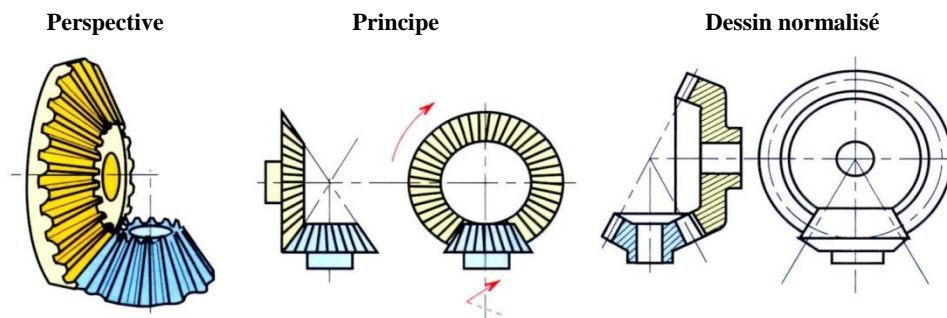
**Figure 15 :** Engrenages droits à dentures hélicoïdales pour arbres parallèle. [3]



Principales caractéristiques des engrenages cylindriques à dentures hélicoïdales		
Caractéristiques	Symboles ISO	Observations et formules usuelles
Angle d'hélice	$\beta$	Valeurs usuelles : $15^\circ < \beta < 30^\circ$
Sens d'hélice		Si la roue 1 a une hélice à droite, alors la roue 2 a une hélice à gauche
Module réel	$m_n$	$m_n$ est à choisir dans la série des modules normalisés
Pas réel	$P_n$	$P_n = \pi \cdot m_n$
Module apparent	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$ (augmente avec $\beta$ )
Pas apparent	$P_t$	$P_t = \frac{P_n}{\cos \beta} = \pi \cdot m_t$
Vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités rad/s)
Nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue2)
Nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue2)
Diamètre primitif	$d$	$d_1 = m_t Z_1$ et $d_2 = m_t Z_2$
Entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_t (Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n (Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}$
Saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
Creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m_n$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m_n$
Diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cdot \cos \alpha_t$
Angle de pression réel	$\alpha_n$	Valeur la plus usuelle : $\alpha = 20^\circ$
Angle de pression apparent	$\alpha_t$	$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cdot \cos \beta$
Pas de base réel	$P_{bn}$	$P_{bn} = P_n \cdot \cos \alpha_n$
Pas de base apparent	$P_{bt}$	$P_{bt} = P_t \cdot \cos \alpha_t$
Pas axial	$P_x$	$P_x = \frac{P_t}{\tan \beta} = \frac{P_n}{\sin \beta} = \frac{P_z}{Z}$
Pas de l'hélice primitive	$P_z$	$P_z = \frac{\pi \cdot d}{\tan \beta} = Z \cdot p_x$
Longueur de dents	$b$	$b > \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta} = 2p_x$

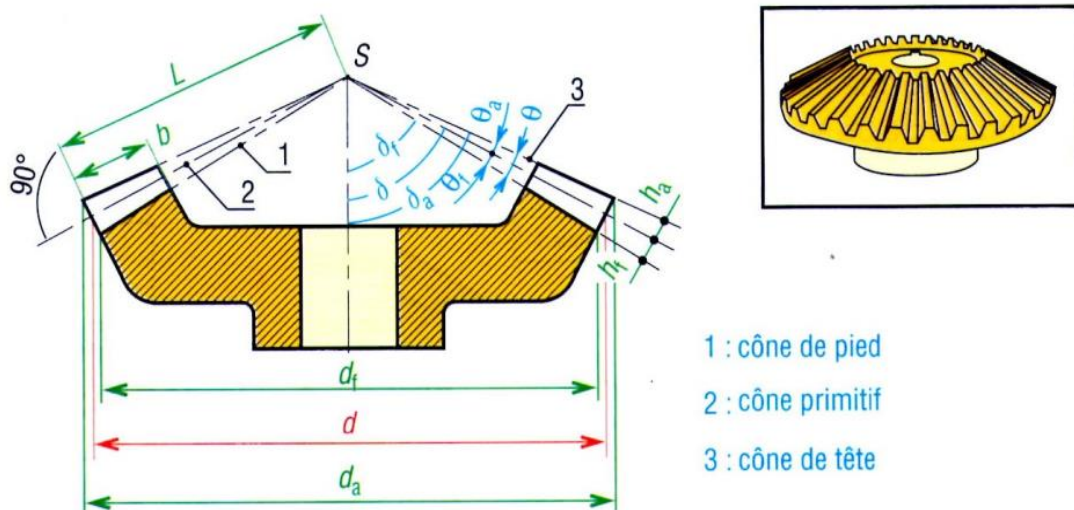
### 3. Engrenages coniques :

Les engrenages coniques à dentures droites sont des engrenages concourants. Il s'agit d'un ensemble composé de deux roues coniques dentées dont les axes sont concourants, le plus souvent perpendiculaires mais peuvent avoir des dentures différentes. On distingue essentiellement les engrenages spiroconiques dont les roues coniques sont à dentures hélicoïdales (ou à spirales). Cette géométrie permet de réduire les bruits et vibrations à grande vitesse mais entraîne également un effort axial. [3]

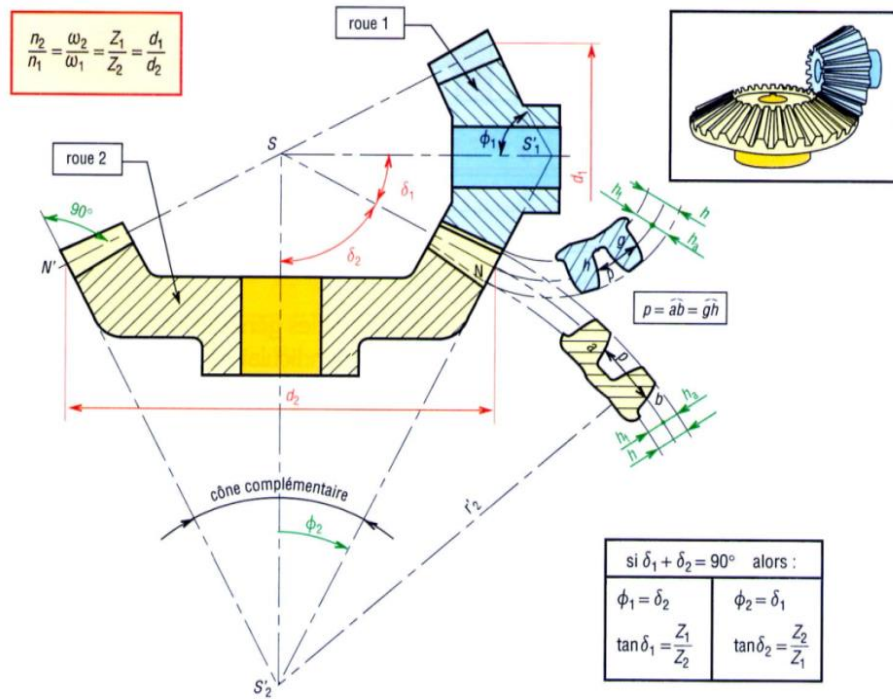


**Figure 16 :** Engrenages coniques à dentures droites pour arbres concourants. [3]

Les caractéristiques de ce type d'engrenages sont présentées sur la figure 17 qui récapitule les relations principales pour ce type d'engrenages.



**Figure 17 :** Principaux paramètres des roues coniques. [3]



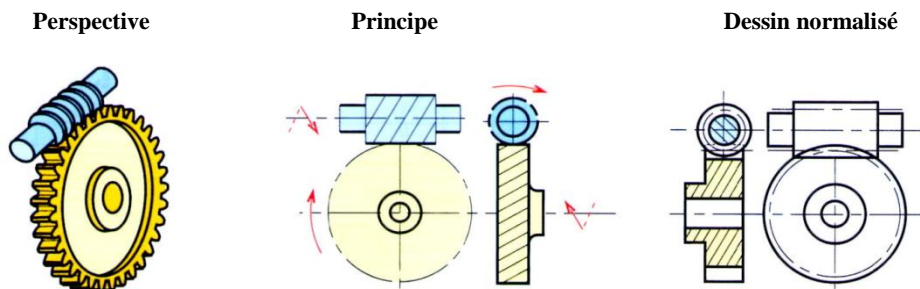
**Figure 18 : Cas d'arbres perpendiculaires. [3]**

Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite		
Caractéristiques	Symboles ISO	Observations et formules usuelles
Vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = (\pi.n)/30 \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
Nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
Module	$m$	Valeurs normalisées mesurée sur cône complémentaire
Pas primitif	$p$	$P = \pi.m = 3,14159m$ (avec $p=p_1=p_2$ )
Nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
Angle primitif	$\delta$	$\delta_1$ (roue 1) $\delta_2$ (roue 2)
Angle de pression	$\alpha$	Valeur usuelle $\alpha = 20^\circ$
Angle de tête	$\delta_a$	$\delta_a = \delta + \Theta_a$
Angle de creux	$\delta_f$	$\delta_f = \delta - \Theta_f$
Angle de saillie	$\Theta_a$	$\tan \Theta_a = 2m.\sin \delta/d$
Angle de creux	$\Theta_f$	$\tan \Theta_f = 2,5m.\sin \delta/d$
Angle de hauteur	$\Theta$	$\Theta = \Theta_a + \Theta_f$
Longueur génératrice primitive	$R_e$	$L = d_1/2.\sin \delta_1 = d_2/2.\sin \delta_2$
Longueur de dent	$b$	$L/4 \leq b \leq L/3$ (raisons de taillage)
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m$
Diamètre de dent	$d_a$	$d_a = d + 2m.\cos \delta$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m.\cos \delta$
<b><math>\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ</math></b>		
$\phi_1 = \delta_2$ $\phi_2 = \delta_1$ $\tan \delta_1 = Z_1 / Z_2$ $\tan \delta_2 = Z_2 / Z_1$	<b><math>\delta_1 + \delta_2 &lt; 90^\circ</math></b>	
	$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{Z_1/Z_2 + \cos(\delta_1 + \delta_2)}$	
	<b><math>\delta_1 + \delta_2 &gt; 90^\circ</math></b>	
	$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}{Z_1/Z_2 - \cos[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}$	

#### 4. Engrenage roue et vis sans fin :

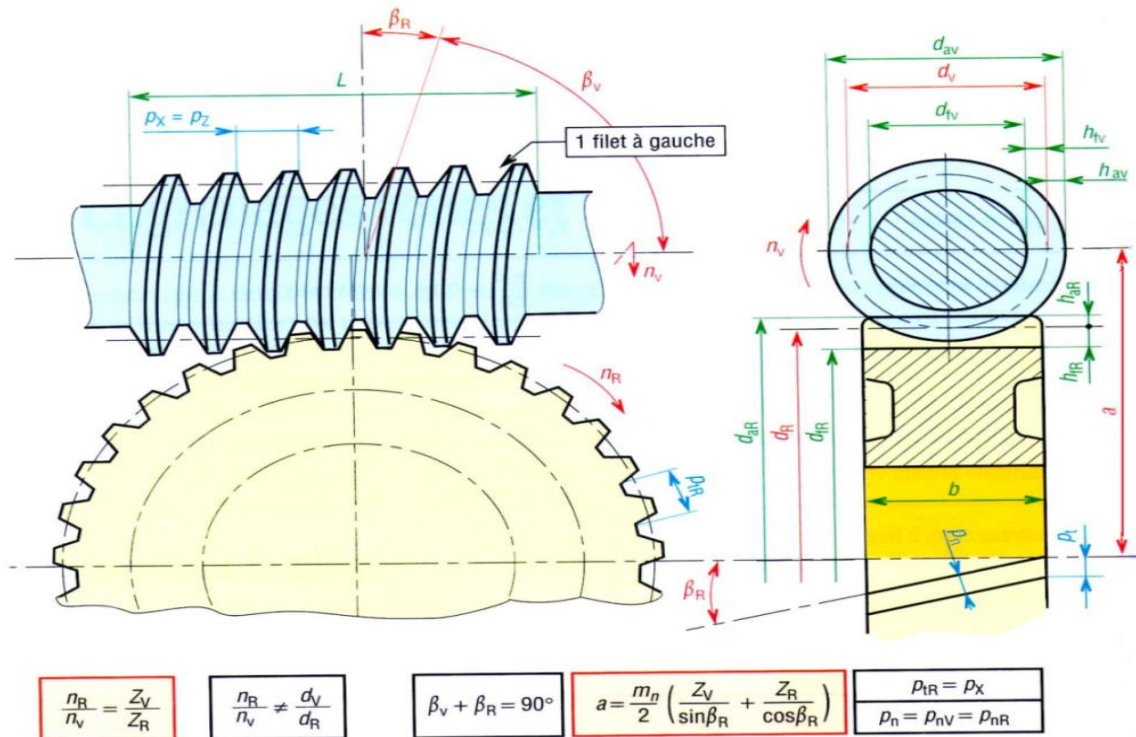
Un engrenage roue et vis sans fin est un dispositif de transmission de puissance effectuée entre deux arbres orthogonaux où la vis est généralement motrice.

Ce dispositif permet d'obtenir des réductions importantes et offre des possibilités d'irréversibilité pour un encombrement réduit. C'est un engrenement silencieux et sans choc. Le glissement et le frottement de la vis sur la roue lui confèrent un rendement souvent faible (0,3 à 0,7). Un couple de matériaux avec un faible frottement (par exemple : vis en acier et roue en bronze) et une lubrification sont indispensables. [3]



**Figure 19 :** Engrenages roues et vis sans fin entre arbres orthogonaux. [3]

Les caractéristiques de ce type d'engrenage sont présentées sur la figure 20 qui récapitule les relations principales pour ce type d'engrenages.



**Figure 20 :** Principaux paramètres du système roue et vis sans fin. [3]

Principales caractéristiques des engrenages roue et vis sans fin		
Caractéristiques	Symboles ISO	Observations et formules usuelles
Nombre de filets vis	$Z_V$	
Nombre de dents roue	$Z_R$	$Z_R + Z_V > 40$
Angle d'hélice vis	$\beta_V$	Irréversibilité $\beta_V < 6^\circ$ à $10^\circ$
Angle d'hélice roue	$\beta_R$	$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$
Sens des hélices		Le sens (à droite ou à gauche) est le même pour la vis et la roue
Module réel roue	$m_n$	$m_n$ (le même pour la vis et la roue)
Module axial vis	$m_x$	$m_x = \frac{P_x}{\pi} = \frac{P_n}{\cos \beta_R} = \frac{m_n}{\sin \beta_V}$
Pas réel roue	$P_n$	$P_n = \pi \cdot m_n$
Pas apparent roue	$P_t$	$P_t = \frac{P_n}{\cos \beta_R} = \pi \cdot m_t$
Pas axial vis	$P_x$	$P_x = P_t$ (Pas axial vis = pas apparent roue)
Pas de l'hélice	$P_z$	$P_z = Z_V \cdot P_x$
Vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unité rad/s)
Nombre de tours/minute	$n$	$n_V$ vis et $n_R$ roue
Diamètre primitif roue	$d_R$	$d_R = m_t \cdot Z_R$
Diamètre primitif vis	$d_V$	$d_V = \frac{P_z}{\pi \cdot \tan \beta_R}$ et $\frac{a^{0,875}}{3} \leq d_V \leq \frac{a^{0,875}}{1,7}$
Entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_V + d_R}{2}$
Saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
Creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f$
Diamètre de tête vis	$d_{aV}$	$d_{aV} = d_V + 2 m_n$
Diamètre de pied vis	$d_{fV}$	$d_{fV} = d_V - 2,5 m_n$
Angle de pression réel	$\alpha_n$	Commun à la vis et à la roue. Valeur : $14^\circ 30'$ , $20^\circ$ , $25^\circ$ et $30^\circ$
Angle de pression axial vis	$\alpha_x$	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
Longueur de vis	$L$	$L \approx 5P_x$ ou $6P_x$

## Références bibliographie

- [1]. Poignon Pierre. « Construction des Machines ». Tome 1, 17<sup>éd</sup>, de la technique moderne, 1968.
- [2]. Mansouri Mohamed. « Construction mécanique », publication de l'université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2004.
- [3]. Pascal Lussiez. « Maxi fiches - Construction mécanique et de dessin industriel », Dunod, Paris, 2012.
- [4]. Chevalier André. « Guide dessinateur industriel », Hachette technique, 2<sup>éd</sup>, 1988.
- [5]. Philippe boisseau. « La conception mécanique : Méthodologie et optimisation», Paris, Dunod, 2011.
- [6]. Georges Spinnler. « Conception des machines : Principes et applications », Vol.3, Presses polytechniques et universitaires Romandes, 1998.
- [7]. Chevalier André. « Guide du dessinateur industriel », Hachette technique, 2004.
- [8]. Jean-Louis Fanchon, « Guide des sciences et technologies industrielles », AFNOR, Nathan, 2015.
- [9]. André Ricordeau. « Code élémentaire du dessin technique », Casteilla, Paris, 1995.
- [10]. S. Bensaada, D. Feliachi. « Le dessin industriel », Tome 1, Office des publications universitaires, 2008.
- [11]. J.-P. Trotignon, T. Coorevits, J.-M. David, R. Dietrich, G. Facy, E. Hugonnaud, M. Nicolas, M. Pompidou. « Construction mécanique », Tome 2, Projet-Méthodes, Production, normalisation, AFNOR, Nathan, 2006.
- [12]. R. Quatremer, Jean-Pierre Trotignon, M. Dejans , H. Lehu. « Construction mécanique », Tome 1, Projet-études, Composants, Normalisation, AFNOR, Nathan, 2006.
- [13]. Guillaume Sabatier, François Ragusa, Hubert Antz. « Manuel de technologie mécanique », Dunod, 2009.

- [14]. Gilbert Drouin, Michel Gou, Robert Vinet, Pierre Thiry. « Eléments de machines », Ecole Polytechnique de Montreal, 1986.
- [15]. Francis Esnault. « Construction mécanique - Transmission de puissance », Tome 1, 3éd, Dunod, 2009.
- [16]. H. Longeot, L. Jordane. « Construction industrielle », Paris, Dunod, 1982.
- [17]. S. Bensaada, D. Feliachi, « Le dessin industriel », Tome 2, Office des publications universitaires, 2008.
- [18]. Youde Xiong. « Formulaire de mécanique: Pièces de construction », EYROLLES, 2007.
- [19]. Francis Esnault. « Construction mécanique - Transmission de puissance », Tome 3, 2éd, Dunod, 2009.
- [20]. Francis Esnault. « Construction mécanique - Transmission de puissance », Tome 2, 3éd, Dunod, 2009.
- [21]. Poignon Pierre. « Construction des Machines », Tome 3, 14éd, de la technique moderne, 1971.
- [22]. Michel Aublin, René Boncompain, Michel Boulaton, Daniel Caron, Émilie Jeay, Bernard Lacage, Jaky Réa. « Systèmes mécaniques : Théorie et dimensionnement », Paris, Dunod, 1993.