



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued  
Faculté de Sciences et de La Technologies  
Filière: Électromécanique

(1<sup>er</sup> master électromécanique)

Support de cours

« Mécanismes Industrielle Et Transmission De Puissance »

Programme détaillé du module

**Chapitre 01 : Généralité**

Liaisons Cinématiques entre pièce mécaniques .  
Normalisation.

**Chapitre 2 : Réalisation de Liaisons**

Assemblage démontable.  
Assemblage Permanent.

**Chapitre 3 : Guidage en Rotation**

Palier Lisses .  
Guidage par interpositions de roulements.  
Palier Hydrostatiques et hydrodynamiques.

**Chapitre 4 : Guidage en Translation**

Guidage par contact direct.  
Guidage par interposition d'éléments roulants.  
Fonction étanchéité et protection des liaisons.

**Chapitre 5 : Organes de transmissions du Mouvements et de  
puissance**

Accouplement.  
Embrayage.  
Frein.  
Transmission par engrenage.  
Transmission par Courroie.

Cours préparé par  
MEZIANE.Assia

## **Objectifs du cours**

A la fin de ce cours l'étudiant sera capable de:

- Fournir les connaissances et les habiletés permettant d'interpréter des normes, des méthodes de travail, des dessins et des schémas.
- ·Connaître les compétences nécessaires pour l'application des techniques de base en montage mécanique et en guidage de mouvement (en rotation et en translation).
- ·Différencier les moyens de transmission du mouvement de certains mécanismes et organes de machine.
- Appliquer les techniques de montage, d'installation et de dépannage des dispositifs de transmission des moteurs et leurs accessoires.
- Créer des réglages nécessaires au bon fonctionnement d'un mécanisme.

## **Pré-requis**

Pour pouvoir tirer le maximum de ce cours il faut connaître :

- Les notions de base du dessin technique.
- Mécanique appliquée.

## 1.Introduction Générale :

La construction mécanique a pour rôle de réaliser des objets techniques nécessaires à la vie de l'homme .Toutes les activités humaines :vivre ,se vêtir, se loger ,se déplacer, communiquer ,... nécessitent l'intervention de l'objet technique ;élément artificiel se substituant aux éléments naturels ou améliorant leurs performances.

Dans sa vie quotidienne ,l'homme d'aujourd'hui utilise couramment des objet techniques :appareils électroménager ;vêtement, habitation ,véhicule ,téléphone ,téléviseur. Le technicien ,créateur de ces objets, doit en avoir la connaissance exhaustive pour les perfectionner afin d'optimiser leur emploi ou en concevoir d'autres plus fiables.

Les machines que l'homme a créés peuvent diriger des processus de production et d'autre opérations conformément aux programmes établis à l'avance ,et parfois même elles assurent automatiquement le déroulement des processus permettant d'obtenir le meilleur résultat possible.

Enfin ; les machines peuvent parfois remplacer certains organes de l'homme tels que les bras (mécanismes des manipulateurs ,prothèses ) ;etc.

D'une manière générale ,on peut dire que la machine est un dispositif que l'homme créé pour découvrir et mettre à profit les lois de la nature ,pour faciliter son travail physique et intellectuel et le rendre plus productifs ;tous ceci en la substituant ,partiellement ou intégralement à son effort ou à un organe.

On peut donner une définition plus concise : la machine est objet qui produit des mouvements mécaniques visant à transformer de l'énergie, de la matière de l'information.

Entre autres outils, l'étude des mécanismes dont l'objectif est l'analyse des mouvements nécessaires des connaissances en mathématiques et en mécanique générale et plus particulièrement les notions de bases de la cinématique.

## 2. Liaisons Cinématiques entre pièces mécaniques :

### 1. Notions sur les couples cinématiques :

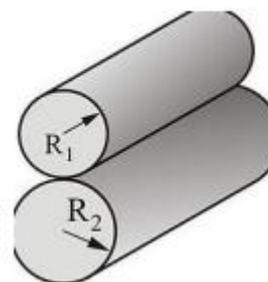
#### 1.1 Définitions d'un couple cinématique :

Un couple cinématique est un assemblage mobile de deux éléments en contact. On peut réunir les éléments en couples cinématiques d'une multitude de façons. La figure suivante (8) montre ; par exemple ; un couple cinématique dit de rotation ; dans lequel l'assemblage des éléments A et B est réalisé par deux cylindres se trouvant en contact permanent. Les collets du cylindre intérieur empêchent le déplacement d'un cylindre par rapport à l'autre suivant l'axe x-x mais ne s'opposent pas à la rotation d'un cylindre par rapport à l'autre.

La deuxième figure (9) montre le mode d'assemblage des éléments, qui limite le mouvement relatif des deux éléments A et B. Ce couple cinématique permet le roulement relatif, le glissement et la rotation. Ainsi donc, le mouvement relatif de chaque élément d'un couple cinématique est assujéti à certaines restrictions qui dépendent du mode d'assemblage des éléments du couple. Ces restrictions imposées aux couples cinématiques seront dites **conditions de liaisons**.



**Figure 1 :** Couple cinématique de Rotation



**Figure 2 :** couple cinématique composé de deux surfaces cylindriques en contact.

#### 1.2 Les liaisons cinématiques :

Une liaison cinématique entre deux solides est caractérisée par les degrés de liberté qu'elle autorise.

A un degré de liberté correspond la possibilité d'un mouvement de rotation ou de translation entre deux solides.

Un solide qui n'a aucune liaison possède six degrés de liberté.

- ✓ Trois degrés de liberté en translation.
- ✓ Trois degrés de liberté en rotation.

Pour établir un schéma cinématique ,on considère :

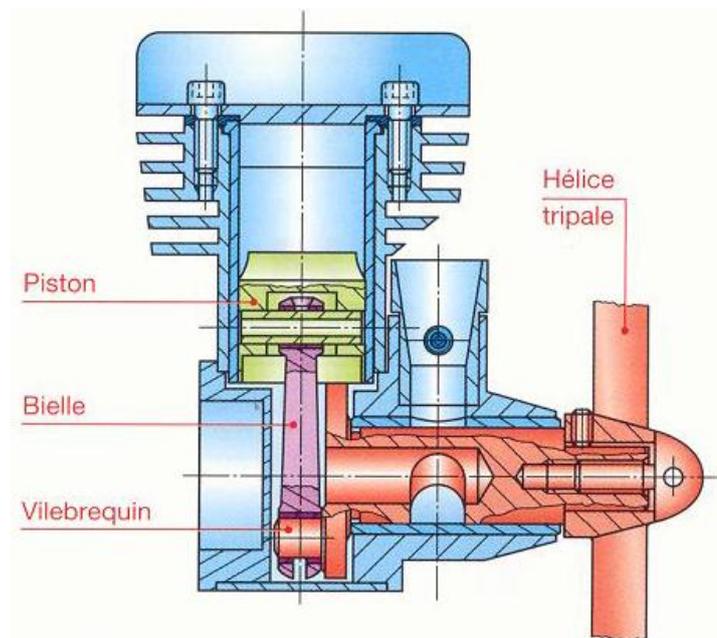
- ✓ Que les surfaces en contact sont géométriquement exact et indéformable.
- ✓ Que les mouvement autorise sont théoriquement en jeu.

### **1.3 Nombre de degrés de liberté d'une liaison :**

C'est le nombre de mouvements de translation et de rotation indépendants que la liaison autorise. Le nombre de composantes d'effort transmises par une liaisons est égale à six moins le nombre de degré de liberté de la liaison.

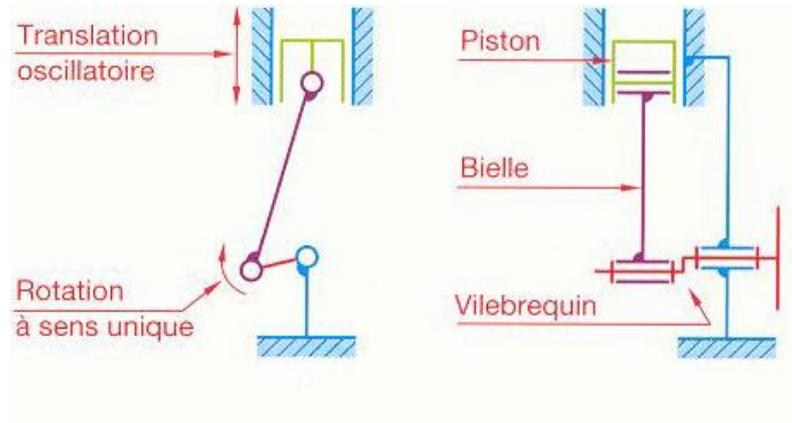
#### **Exemple :** Micromoteur 2 temps

Dessin d'ensemble :



**Figure 3 :** Micromoteurs2 temps

Schéma Cinématique :



**Figure 4 :** schéma Cinématique

**Liaisons parfaite :** Une liaison est dite parfaite si le torseur qui représente l'action mécanique d'un des solides sur l'autre a autant de composantes qu'il y a de degrés de liberté bloqués par la liaison.

**Liaison libre :**

C'est une liaison à 6 degrés de liberté aucun effort transmis. 'liaison à 6 degrés de liberté . Cette « liaison » est en fait une absence de liaison le solide est livré à lui-même « cas d'un satellite dans l'espace, ou d'un projectile balistique ».

**Liaison ponctuelle :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison ponctuelle si au cours de leur mouvement relatif un point  $A_2$  de ( $S_2$ ) reste dans un plan  $P_1$  de ( $S_1$ ). Liaison à 4 degrés de liberté.

**Liaison linéaire annulaire :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison annulaire si, au cours de leur mouvement relatif, un point  $A_2$  de ( $S_2$ ) reste sur une droite  $D_1$  de ( $S_1$ ). Liaison à 4 degrés de liberté .

**Liaison rotule :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison rotule si ,au cours de leur mouvement relatif, un point  $A_2$  de ( $S_2$ ) reste confondu avec un point  $A_1$  de ( $S_1$ ).c'est une liaison à 3 degrés de liberté.

### **Liaison appui plan :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont appui plan si, au cours de leur mouvement relatif, un plan  $P_1$  de ( $S_2$ ) reste confondu avec un plan  $P_1$  de ( $S_1$ ).c'est une liaison à degrés de liberté.

### **Liaison rotule à « doigt » :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison « rotule à doigt » si, au cours de leur mouvement relatif, d'une part un point  $A_2$  de ( $S_2$ ) reste confondu avec un point  $A_1$  de ( $S_1$ ) et d'autre part un point  $B_2$  liée à ( $S_2$ ) reste dans un plan  $P_1$  liée à ( $S_1$ ) et contenant  $A_1$ , c'est une liaison à 2 degrés de liberté.

### **Liaison pivot glissant(ou verrou) :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison pivot glissant si ,au cours de leur mouvement relatif, un droite  $D_2$  liée à ( $S_2$ ) reste confondue avec une droite  $D_1$  liée à ( $S_1$ ) ;c'est une liaison à 2 degrés de liberté.

### **Liaison glissière :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison glissière si, au cours de leur mouvement relatif, d'une part un plan  $P_2$  de ( $S_2$ ) reste confondu avec un plan  $P_1$  de ( $S_1$ ) et d'autre part une droite  $D_2$  liée à ( $S_2$ )et située le plan  $P_2$  reste confondue avec une droite  $D_1$  liée à ( $S_1$ ) et située dans le plan  $P_1$ .C'est une liaison à 1 degrés de liberté.

### **Liaison pivot :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison pivot si au cours de leur mouvement relatif ,deux points  $C_2$  et  $D_2$  de ( $S_2$ ) distants d'une longueur  $L$  restent confondu avec deux points  $C_1$  et  $D_1$  de ( $S_1$ ) distants d'une même longueur  $L$  non nul .C'est une liaison à 1 degrés de liberté.

### **Liaison glissière hélicoïdale :**

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison glissière hélicoïdale si ,au cours de leur mouvement relatif ,d'une part une droite  $D_2$  de ( $S_2$ ) reste confondue avec l'axe  $D_1$

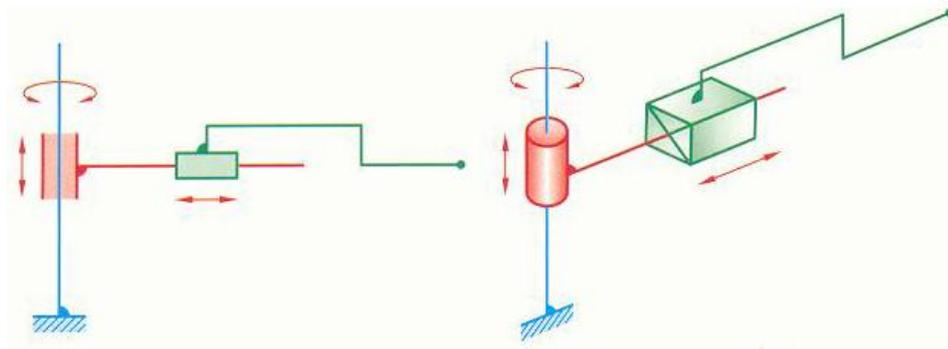
d'une hélice circulaire  $H_1$  De rayon liée à  $(S_1)$  et d'autre part, un point  $A_2$  de  $(S_2)$  situé à une distance  $r$  de  $D_2$  décrit l'hélice circulaire  $H_1$ . Le mouvement relatif de  $S_1$  par rapport à  $S_2$  se décompose en une rotation autour de  $D_2$  associée à une translation suivant  $D_2$ . Ces deux mouvements ne sont pas indépendants, mais suivent la loi où  $x$  est le déplacement suivant de  $S_1$  par rapport à  $S_2$ ,  $p$  le pas de l'hélice,  $\theta$  l'angle de rotation de  $S_1$  par rapport à  $S_2$ . C'est une liaison à 1 degré de liberté.

### Liaison encastrement :

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison encastrement si, au cours de leur mouvement relatif, d'une part une droite  $D_2$  de  $(S_2)$  reste confondue avec une droite  $D_1$  de  $(S_1)$ , et d'autre part un point  $A_2$  de  $(S_2)$  situé à une distance  $d$  non nul de  $D_2$  reste confondue avec un point  $A_1$  de  $(S_1)$  situé à une distance  $d$  non nul de  $D_1$ . La liaison encastrement ne permet aucun mouvement relatif entre les deux solides.

### 2. Exemples application :

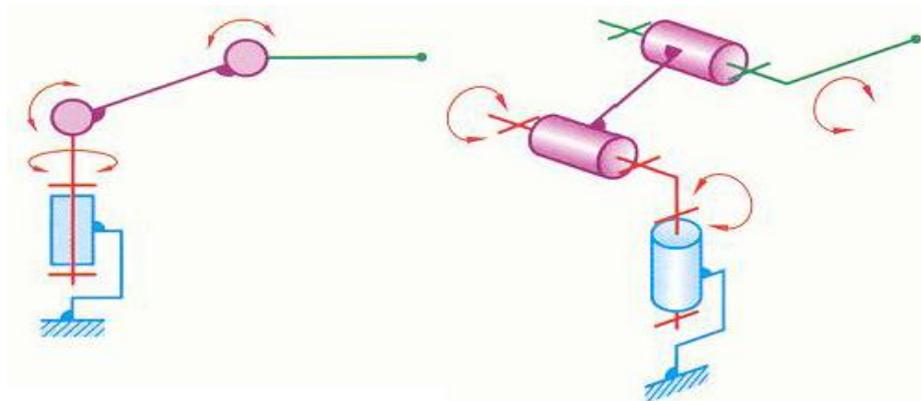
Robot à un degré de liberté en rotation et deux degrés de liberté en translation :



**Figure 5 :** Robot à 2 d.d.l en Rotation

**Figure 6 :** Robot à 2 d.d.l en Translation

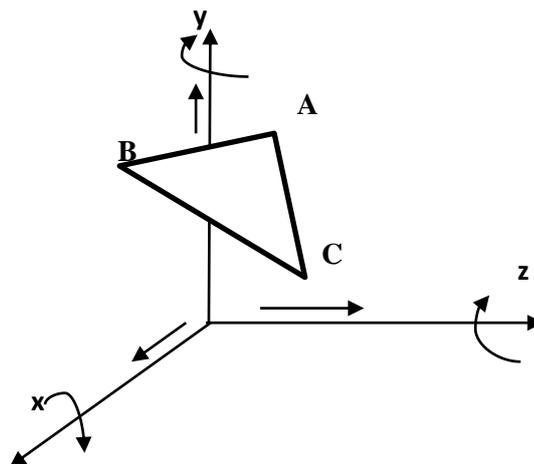
Robot à trois degrés de libertés en rotations :



**Figure 7 : Robot à 3 d.d.l en Rotation**

### 3. Couple Cinématique et degrés de liberté :

On peut toujours représenter le mouvement d'un tel corps comme la rotation autour de trois axes arbitraires réciproquement perpendiculaires X,Y,Z et glissement le long de ces axes. Donc ,dans les cas général, un corps solide placé dans l'espace est libre d'effectuer six mouvements indépendants :Trois rotations autour des axes X,Y et Z et trois translations suivant les même axes. Il s'ensuit que si le mouvement du premier élément du couple cinématique. **(Figure 8).**



**Figure 8 : Pour la détermination de la position d'un corps dans l'espace.**

Comme il a été déjà dit précédemment .lorsqu'un élément constitue un couple cinématique avec un autre, les mouvements relatifs de ces éléments sont assujetties à certaines conditions de liaison .il est évident que le nombre de ces conditions de liaison doit être entier et toujours inférieur à six .car, déjà six conditions de liaison.

Donc ,le nombre de conditions de liaison **C** imposées au mouvement relatif de chaque élément du couple cinématique ne peut varier que de 1 à 5.

$$\text{Tel que : } \quad \mathbf{1 \leq c \leq 5}$$

Lorsque  $c=0$  , cela indique les éléments a et b sont libres entre eux .Lorsque  $c =6$  ,cela exprime l'impossibilité du mouvement relative entre les éléments du couple c'est-à-dire une liaison rigide (encastrement).

Le nombre de degrés de libertés **N** est un nombre entier il est compris entre 1 et 5 :

$$\mathbf{N=6-C.}$$

Les couples cinématiques se divisent selon Malichev en classes ,la classe d'un couple correspond aux nombres des conditions de liaisons :

$$\mathbf{C=6-N}$$

### **3.1 Exemple de couple cinématiques et leurs classification :**

Donc, il en résulte d'après cette relation , cinq classe des couples cinématiques que nous représentons sur le tableau suivant :

Classe de couple	Mouvements Supprimés	Valeur de N degré de liberté	Mouvements possibles	
			Translations	Rotations
1 <sup>ere</sup> Classe	1	5	2	2
2 <sup>eme</sup> Classe	2	4	1	3
			2	1
3 <sup>eme</sup> Classe	3	3	0	2
			2	1
4 <sup>eme</sup> Classe	4	2	0	2
			1	1
5 <sup>eme</sup> Classe	5	1	0	1
			1	0

#### 4. Liaisons usuelles de deux solides :

Nom de la liaison	Exemple	Symbole	
		Représentation plane	Perspective
<b>Encastrement ou fixe</b>  0 degré de liberté  0 translation 0 rotation			
		* S'il n'y a pas d'ambiguïté	
<b>Pivot</b>  1 degré de liberté  0 translation 1 rotation $R_x$		<p>Symbole admissible</p>	
<b>Glissière</b>  1 degré de liberté  1 translation $T_x$ 0 rotation		<p>Symboles admissibles</p>	
<b>Hélicoïdale</b>  1 degré de liberté  1 translation et 1 rotation conjuguées $T_x = p \cdot R_x$ $p$ : pas de l'hélice		<p>Symbole admissible</p> <p>RH : hélice à droite LH : hélice à gauche</p>	
<b>Pivot-glissant</b>  2 degrés de liberté  1 translation $T_x$ 1 rotation $R_x$		<p>Symbole admissible</p>	

<b>Sphérique à doigt</b>			
2 degrés de liberté			
0 translation 2 rotations $R_Y, R_Z$			
<b>Rotule ou sphérique</b>			
3 degrés de liberté			
0 translation 3 rotations $R_X, R_Y, R_Z$			
<b>Appui-plan</b>			
3 degrés de liberté			
2 translations $T_X, T_Y$ 1 rotation $R_Z$			
<b>Sphère-cylindre ou linéaire-annulaire</b>			
4 degrés de liberté			
1 translation $T_X$ 3 rotations $R_X, R_Y, R_Z$			
<b>Rectiligne</b>			
4 degrés de liberté			
2 translations $T_X, T_Y$ 2 rotations $R_X, R_Z$			
<b>Sphère-plan ou ponctuelle</b>			
5 degrés de liberté			
2 translations $T_X, T_Y$ 3 rotations $R_X, R_Y, R_Z$			

## 5. Schéma cinématique

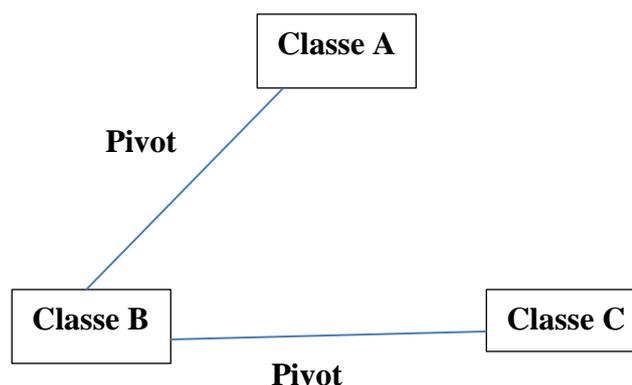
Les pièces qui sont en contact et qui n'ont aucun mouvement relatif possible seront regroupées dans un ensemble appelé classe d'équivalence. Du point de vue cinématique, nous pourrions alors considérer ces pièces comme étant un seul et même solide. Dans un dessin d'ensemble, ces classes d'équivalence seront identifiées par des couleurs spécifiques.

Le schéma cinématique permet d'analyser un mécanisme en faisant apparaître clairement les mobilités entre les différents sous-ensembles qui le constituent. Son élaboration s'effectue en deux étapes:

### 5.1 Graphe des liaisons :

#### ❖ Étapes nécessaires pour le tracé du graphe des liaisons :

- Rechercher les classes d'équivalence ou groupes cinématiquement liés du mécanisme.
- Rechercher les couples de classes d'équivalence en contact et leurs mobilités entre eux.
- A partir de leurs degrés de liberté, déterminer la liaison correspondante.
- Une fois la recherche terminée il est possible de tracer le graphe.



**Figure 9 :** Graphe des liaisons

### ❖ Étapes pour dessiner le schéma cinématique (2D ou 3D) :

- Dessiner le repère absolu.
- Placer les points et les axes des liaisons.
- Dessiner les liaisons indépendamment et en couleur.
- Relier les liaisons en respectant les axes des repères des ensembles cinématiques.

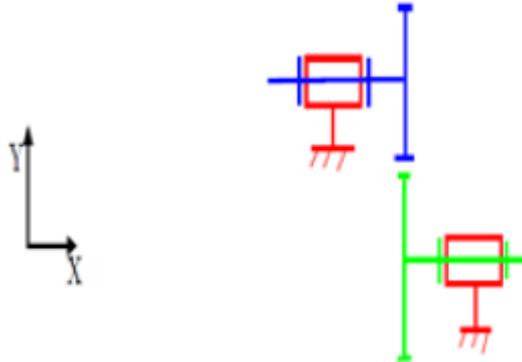


Figure 10 : Schéma cinématique

### 5.2 Exemple:

On s'intéresse dans cet exemple à la liaison entre une pièce et un serre-joint comme indiqué dans la figure ci-dessous :

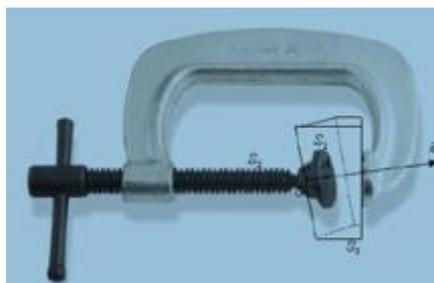
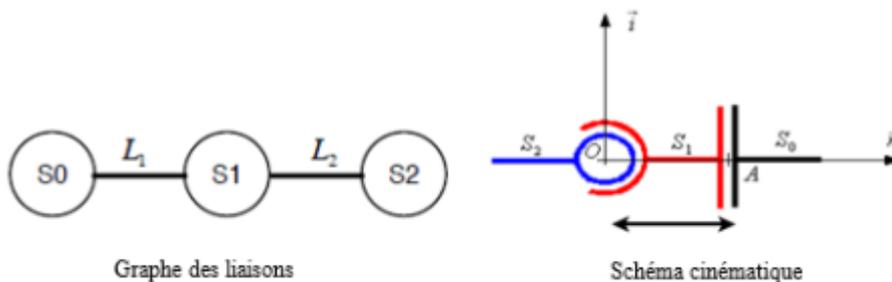


Figure 11 : Serre-joint

Ci-dessous le graphe des liaisons et le schéma cinématique.



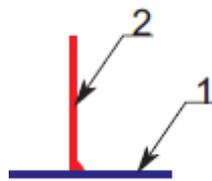
### A . Assemblages démontables :

#### Les assemblages :

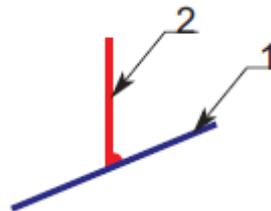
##### 1.Définition :

Le terme assemblage désigne les solutions constructives qui réalisent une liaison encastrement.

Une liaison encastrement est une liaison complète qui consiste à immobiliser deux (ou plusieurs) pièces l'une par rapport à l'autre.



Représentation plane



Représentation spatiale

##### 2. Fonctions assurées par un assemblage :

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

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

##### 3.Indicateurs de qualité d'un assemblage :

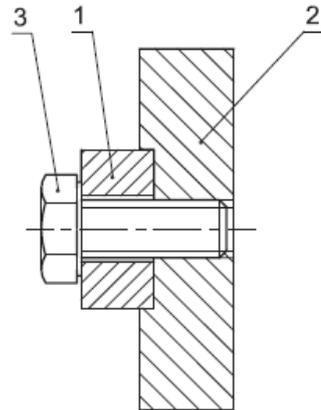
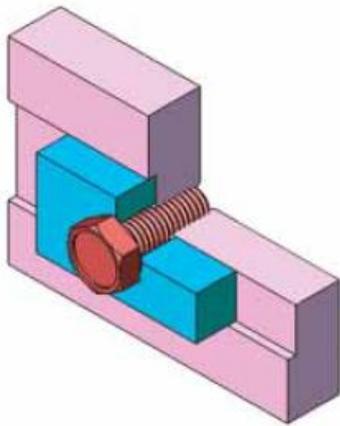
Le choix d'une solution constructive associée à un assemblage se fonde sur les indicateurs principaux suivants :

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

#### 4- Exemples de solutions constructives d'un assemblage :

##### 4.1 Assemblage par obstacles :

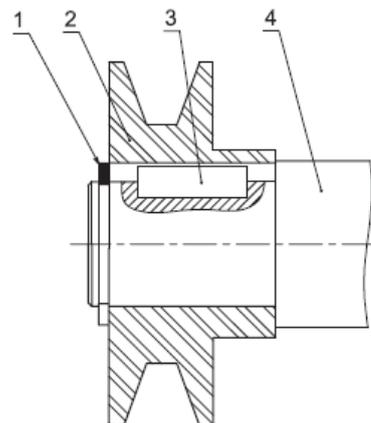
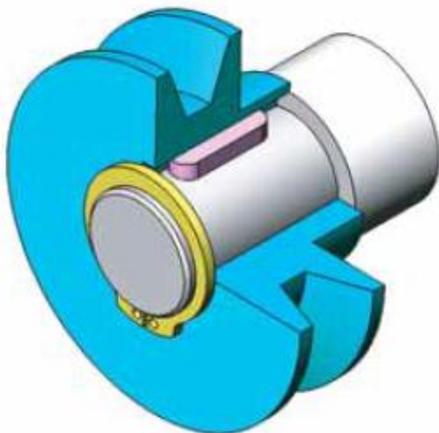
**Exemple 1:** Assemblage des pièces (1) et (2)



**Mise en position :** Surfaces de contact : Planes.

**Maintien en position :** Vis (3).

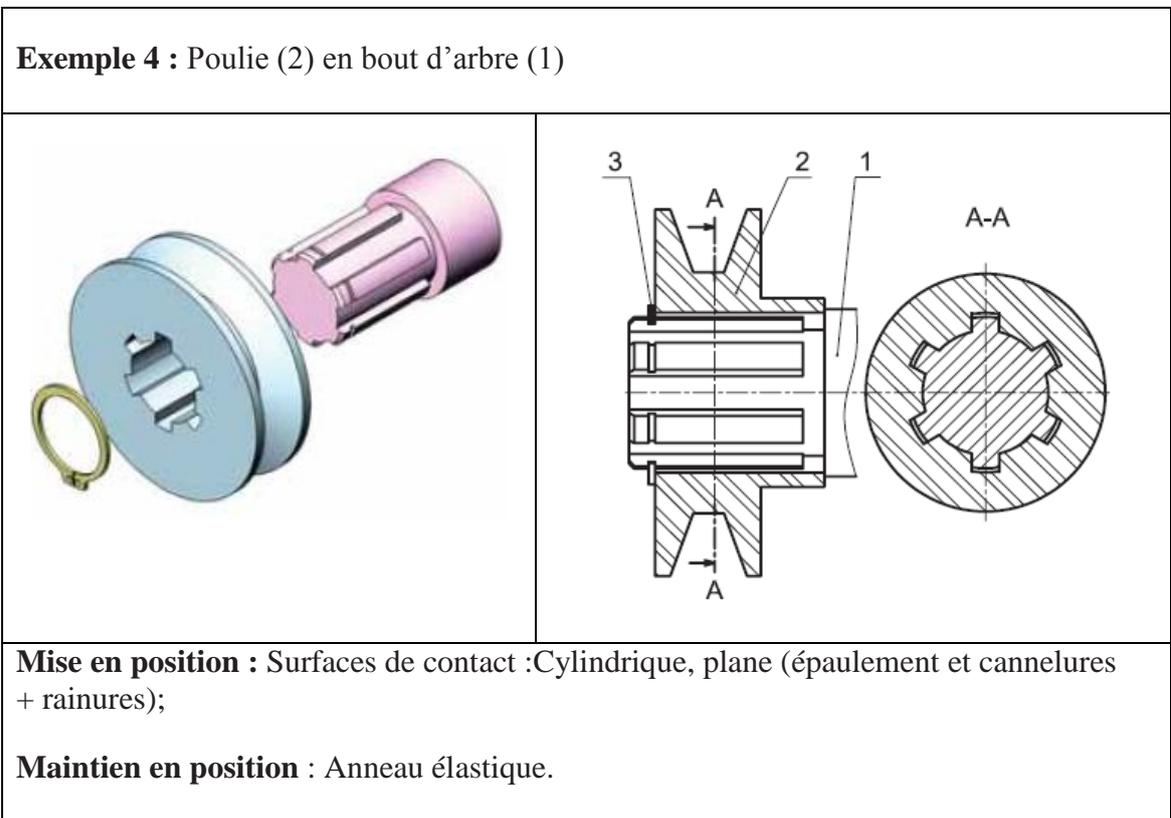
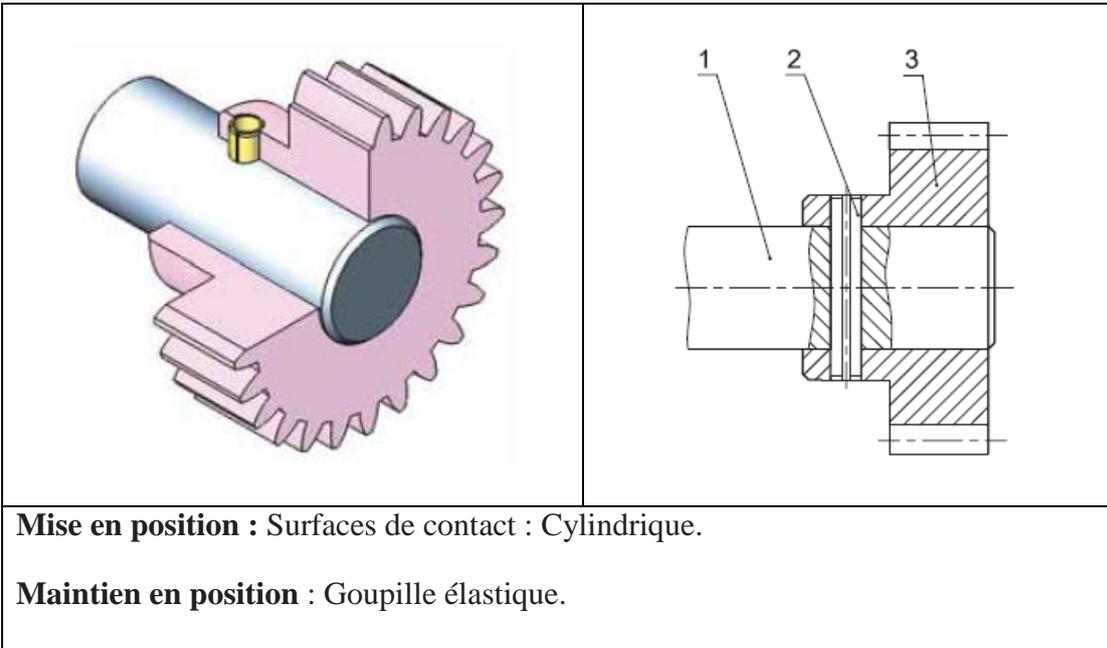
**Exemple 2 :** Poulie (2) en bout de l'arbre (4)



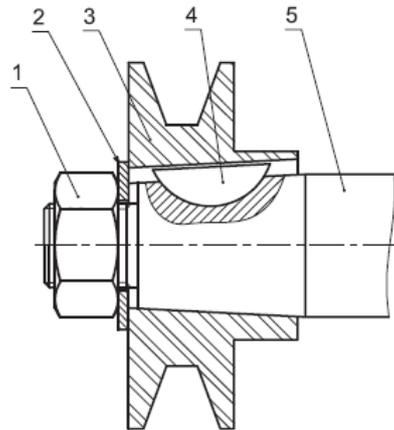
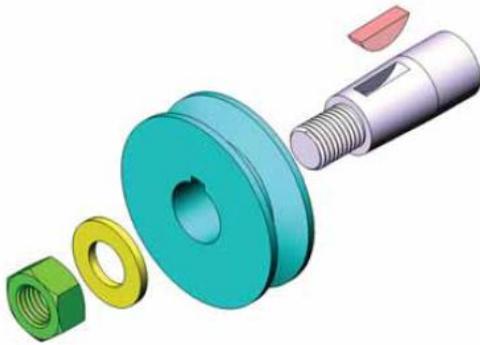
**Mise en position :** Surfaces de contact : Cylindrique, plane (épaulement et clavette + rainure);

**Maintien en position :** Anneau élastique.

**Exemple 3 :** Roue (3) en bout d'arbre(1)



**Exemple 5 : Poulie (3) en bout de l'arbre (5)**



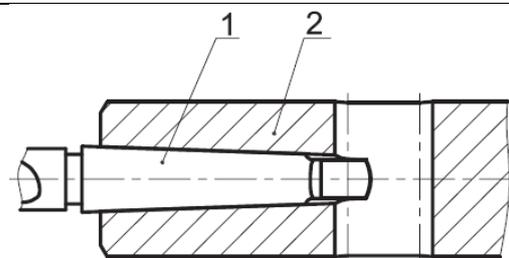
**Mise en position :** Surfaces de contact : conique, plane (clavette(4) + rainure);

**Maintien en position :** Rondelle (2) et écrou (1) .

**4-2 Assemblage par adhérence :**

a- Par coincement :

**Exemple :** liaison du foret de perçage (1) avec la broche (2)



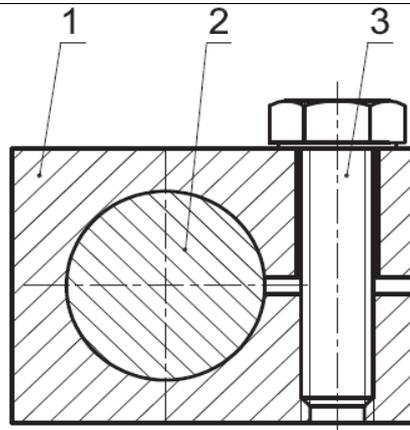
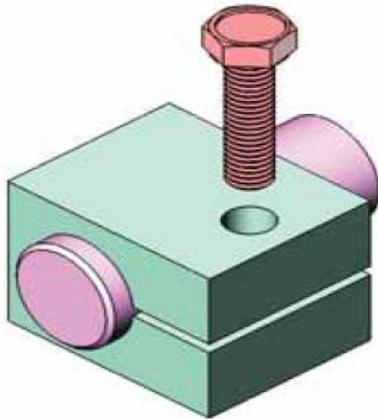
**Mise en position :** Surfaces de contact : conique.

**Maintien en position :** l'adhérence.

b- Par pincement :

**Exemple 1** : Liaison de l'axe (2) avec la pièce (1) (Déformation de la pièce (1))

**Exemple d'utilisation** : - Fixation de la table d'une perceuse sur la colonne;  
- Fixation du comparateur sur le socle...

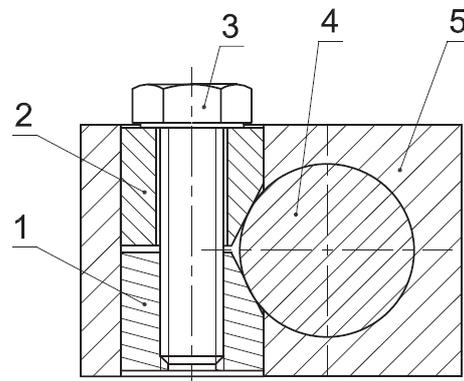
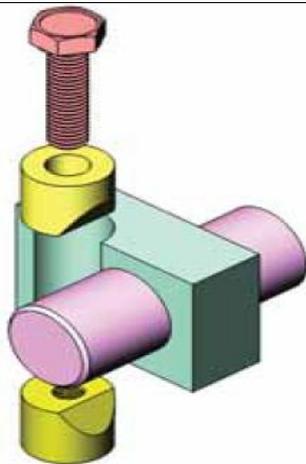


**Mise en position** : Surfaces de contact : cylindrique

**Maintien en position** : l'adhérence .

**Exemple 2** : liaison de l'axe (4) avec la pièce (5)

**Exemple d'utilisation** : Poupée mobile d'un tour



**Mise en position** : Surfaces de contact : cylindrique

**Maintien en position** : l'adhérence

**5. La fiabilité des assemblages démontables :**

**Problème** : Lorsqu'un assemblage vissé est soumis aux chocs ou à des vibrations, il y a risque de desserrage du fait du jeu existant entre la vis et l'écrou.

**La fiabilité** consiste à s'assurer que l'élément de maintien en position ne se desserrera pas.

## **B . Assemblages Permanent :**

### **1. Assemblage Soudés :**

Un assemblage soudé est continué par la liaison permanente de plusieurs pièces maintenues entre elles par l'un des procédés suivants :

#### **Soudage Autogène ou soudage :**

Les pièces ,à souder perdent leurs contours primitifs par fusion ,par écrasement ou par diffusion. Dans le cas du soudage par fusion, la liaison est généralement obtenue par l'intermédiaire d'un matériau d'apport.

#### **Brasage :**

Les pièces est à assemble conservent leurs contours primitifs.

La liaison est obtenue par l'intermédiaire d'un métal d'apport dont la température de fusion  $T$  est inférieure à celle des pièces à souder. On distingue :

- Le brasage fort ( $T > 450^{\circ}\text{C}$  ) .
- Le soudo-brasage ( $T > 450^{\circ}\text{C}$  technique analogue à celle du soudage autogène par fusion).
- Le brasage tendre ( $T > 450^{\circ}\text{C}$  ) .

Le brasage ne donne pas ;en général, les mêmes de résistance mécanique et de résistance à la corrosion que le soudage .

### **1.1 Représentation des soudures :**

Chaque fois que l'échelle du dessin le permet, la soudure doit être et cotée .(fig 1).

Pour les soudures discontinues, on cote la longueur utile d'un élément du cordon et l'intervalle entre les éléments.

La coupe d'une soudure d'angle discontinue n'est jamais hachurée .(fig 2).

Si l'échelle du dessin ne permet pas de dessiner et de coter les soudures ,on utilise une représentations symbolique.

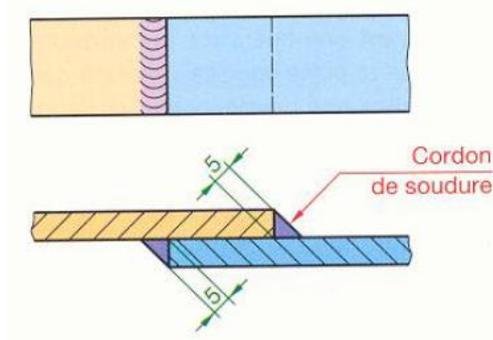


Figure 1 :Soudure continue

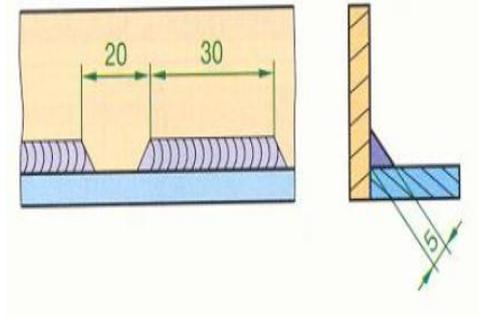


Figure 2 :Soudure discontinue

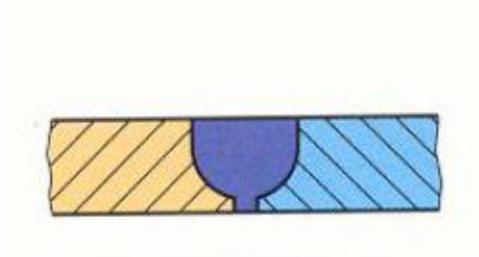


Figure 3 :Représentations simplifiée

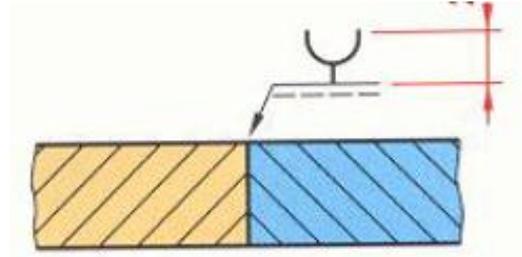


Figure 4 :Représentations Symbolique

#### ❖ Représentations Symbolique :

Les symboles rappellent la forme de la soudure réalisée ,mais ils ne préjugent pas du procédé de soudage employé. Ils doivent mesurer au moins 2.5 millimètres de hauteur.

A chaque joint de soudure ,la représentation symbolique comprend obligatoirement :

- ✓ Une ligne de repère.
- ✓ Une ligne de référence.
- ✓ Une ligne d'identification (Sauf soudures symétriques).

On peut adjoindre le cas échéant :

- ✓ Un symbolique supplémentaire.
- ✓ Une cotation conventionnelle.
- ✓ Des indications complémentaires.

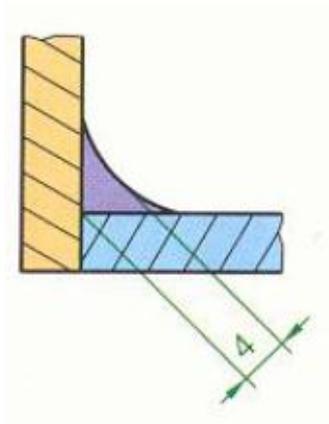


Figure 5 : Représentations simplifiée

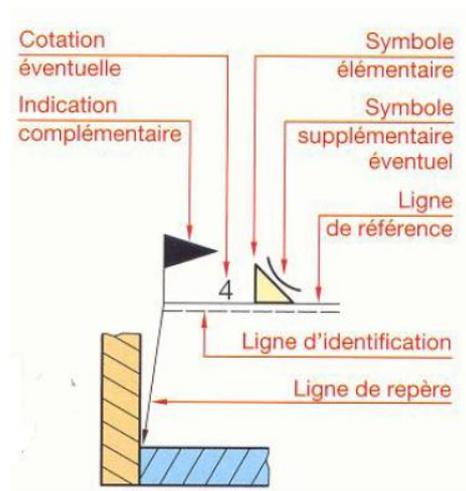


Figure 6 : Représentations Symbolique

### 1.2 Types d'assemblage soudés :

N°	Désignation	Représentation simplifiée	Symbole	N°	Désignation	Représentation simplifiée	Symbole
1	Soudure sur bords relevés complètement fondus*			8	Soudure en demi-U (ou en J)		
2	Soudure sur bords droits			9	Reprise à l'envers		
3	Soudure en V			10	Soudure d'angle		
4	Soudure en demi-V			11	Soudure en bouchon (ou en entaille)		
5	Soudure en Y			12	Soudure par points		
6	Soudure en demi-Y			13	Soudure en ligne continue avec recouvrement		
7	Soudure en U (ou en tulipe)						

### 2. Assemblages rivetés :

Les assemblages rivetés permettent d'obtenir économiquement une liaison encastrement indémontable d'un ensemble de pièces par refoulement ou par expansion de matière d'un élément malléable ( aluminium, alliages d'aluminium, cuivre, laitons, aciers doux, aciers inoxydables, alliages de zinc...).

On distingue essentiellement le rivetage avec ou sans rivet rapporté ;le sertissage et le clichage.

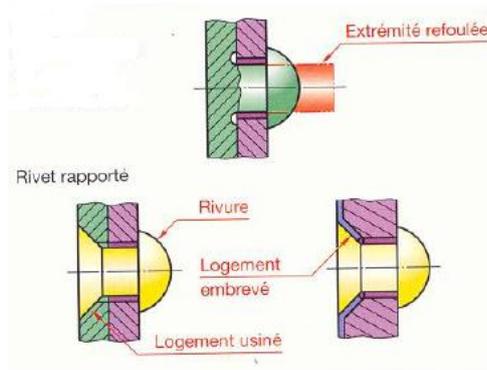


Figure 7 : Type de rivetages : Rivet venant dans masse

### 3. Assemblage Collés :

Les assemblages collés réalisent une liaison encastrement d'un ensemble de pièces en utilisant les qualités d'adhérence de certaines matières synthétiques.

Intérêt du collage :

- ✓ Conservation des caractéristiques des matériaux.
- ✓ Assemblages possible de matériaux très différents.
- ✓ Etanchéité et anticorrosion de la liaison.
- ✓ Suppression des couples galvaniques entre métaux différents.
- ✓ Procédé rapide pour un grand nombre de collages.
- ✓ Bon aspect des pièces.

Le collage nécessite une préparation des surfaces en fonction des matériaux à assembler (décapage mécanique ou chimique, dégraissage..).

Certains matériaux nécessitent l'application d'un primaire pour améliorer l'adhérence .



Figure 8 : Collage d'un haut-parleur de téléphone mobile.

## Chapitre 3 : Guidage en Rotation

### 1. Généralités Guidage en Rotation :

Un guidage en rotation est destiné à assurer une liaison pivot entre deux pièces ou sous-ensembles. Le seul degré de liberté restant est un mouvement de rotation. Un guidage en rotation comporte au minimum deux composants : L'arbre L'alésage, appelé aussi le moyeu.

### 2. Fonction à assurer le guidage en rotation :

doit assurer les fonctions suivantes :

- Positionner l'arbre et le logement : notions de jeu et de précision de guidage ;
- Permettre un mouvement relatif (rotation) : notions de rendement et de vitesse de rotation ;
- Résister au milieu environnant : fiabilité, matériaux, étanchéité, protection, etc...
- Etre d'un encombrement adapté (voire minimal) ;
- Minimiser les niveaux de bruit et de vibrations.

### 2-Les solutions constructives :

#### **2.1 Guidage en rotation par contact direct Aspect technique:**

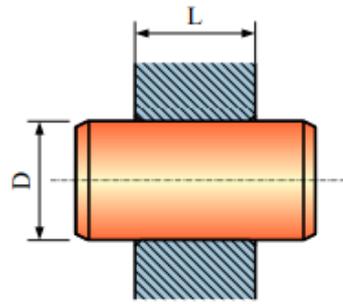
C'est la solution la plus simple, mais la plus rudimentaire. Les deux éléments sont directement en contact. La qualité de la liaison dépend: - des matériaux en contact (coefficient de frottement, lubrification) - du choix de l'ajustement entre les pièces (jeu) - de la qualité de fabrication (rugosité, géométrie) .

Ajustement généralement préconisé: glissant juste, du type H7 g6

**Avantages:** - simplicité du mécanisme (nombre de pièces réduit) - prix de revient

**Inconvénients :-** mécaniquement peu performant (frottements; usure; vitesse de rotation réduite)

• **Aspect technologique, modélisation** : Lors de la modélisation d'un contact surfacique cylindrique, il est important de prendre en compte le rapport entre  $L$  (longueur du contact) et  $D$  (diamètre) pour déterminer la liaison correspondante.

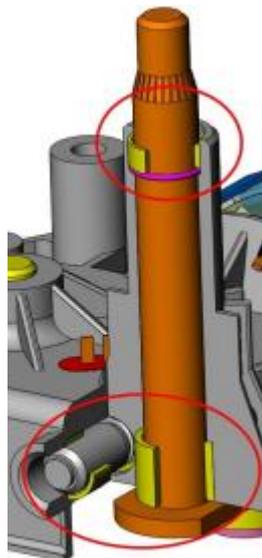


## 2.2- Guidage en rotation par bague de frottement Aspect technique:

On interpose entre les deux éléments en rotation une bague de frottements Son but est de réduire les pertes par frottements lors du fonctionnement On trouve différents types de bagues selon les cas d'utilisation. - bagues en bronze ou en laiton (cas ci-contre) - bagues polymères - bagues auto-lubrifiées.

**Avantages:** - simplicité de mise en œuvre - guidage précis - prix de revient

**Inconvénients** :- ne convient pas pour les fortes charges - ne convient pas pour les vitesses de rotation élevées.



### 2.3 Guidage par interposition d'éléments roulants :

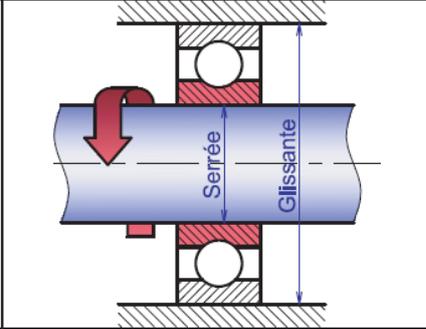
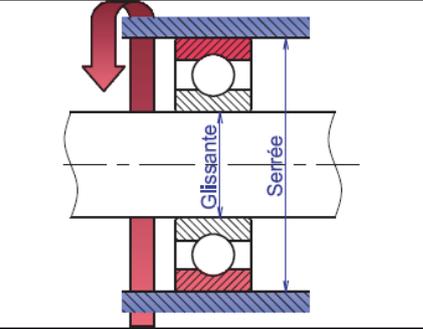
En remplaçant le frottement de glissement par du roulement, on diminue la puissance dissipée par le guidage. Le rendement est alors meilleur.

Pour cela, on place des éléments de roulement (billes, rouleaux ou aiguilles) entre deux bagues. L'une (la bague intérieure) est ajustée sur l'arbre, l'autre (la bague extérieure) est ajustée sur l'alésage.

#### 2.3.1 Règles de montage des roulements :

##### Règle 1

- La bague **tournante** par rapport à la direction de la charge est montée **serrée** sur sa portée.
- La bague **fixe** par rapport à la direction de la charge est montée **glissante** (avec jeu) sur sa portée.

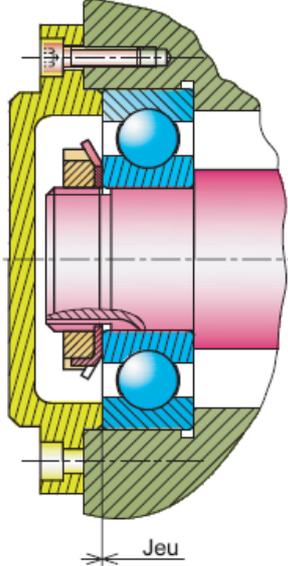
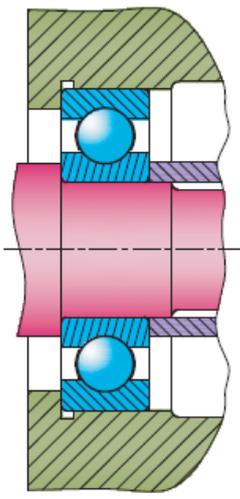
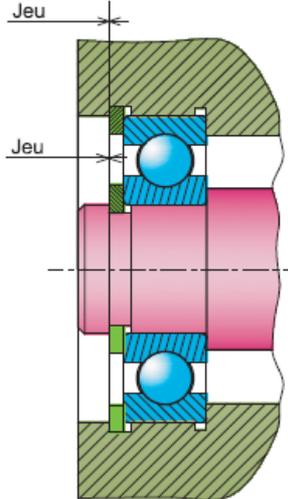
Montage ARBRE TOURNANT	Montage ALESAGE (moyeu) TOURNANT
	
La bague intérieure tournante est montée <b>SERREE</b> La bague extérieure fixe est montée <b>GLISSANTE</b>	La bague intérieure fixe est montée <b>GLISSANTE</b> La bague extérieure tournante est montée <b>SERREE</b>

##### Règle 2

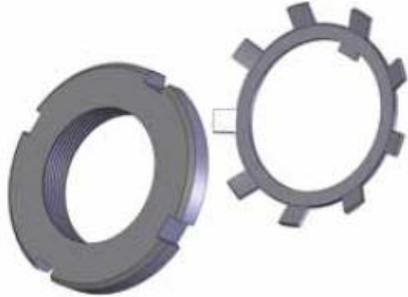
- Les bagues montées **serrées** doivent être fixées latéralement ou «épaulées» **des deux côtés**.
- La fixation latérale des bagues montées avec **jeu** doit :
  - Eliminer toutes les translations possibles de l'arbre par rapport à son logement .
  - Eliminer la translation d'un roulement ou d'une bague séparable sous l'action des charges.
  - Supporter au mieux les charges axiales.



## Solutions constructives pour la fixation latérale des bagues d'un roulement

		
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arrêt axial par épaulement usine dans le logement.</li> <li>-Arrêt axial de la bague extérieure par couvercle centre maintenu par des vis.</li> <li>-Arrêt axial de la bague intérieure par écrou a encoches et rondelle frein.</li> <li>-Arrêt axial par épaulement usine sur l'arbre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arrêt axial par épaulement usine dans le logement</li> <li>-Arrêt axial par épaulement usine sur l'arbre.</li> <li>-Arrêt axial de la bague intérieure par entretoise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arrêt axial par épaulement usine dans le logement.</li> <li>-Arrêt axial de la bague extérieure par anneau élastique pour alésage.</li> <li>-Arrêt axial de la bague intérieure par anneau élastique pour arbre.</li> <li>-Arrêt axial par épaulement usine sur l'arbre.</li> </ul>

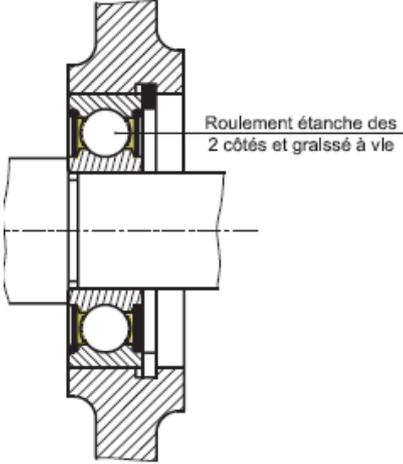
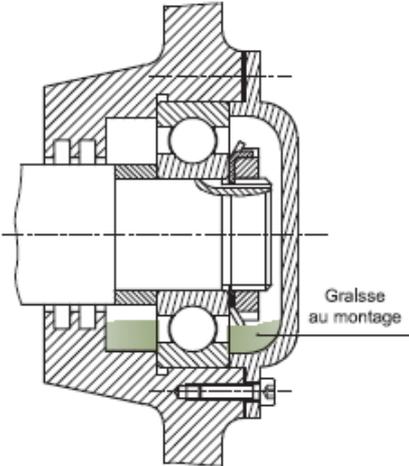
### Exemple de composants standards utilisés comme obstacle

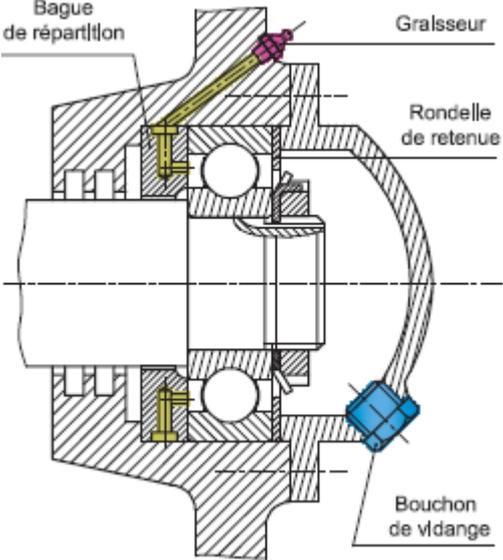
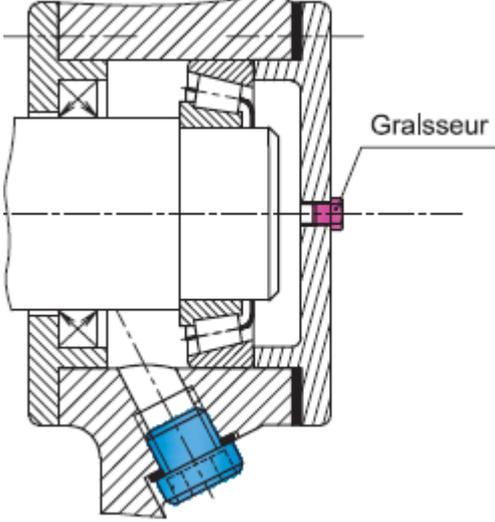
		
<b>Anneau élastique pour arbre</b>	<b>Anneau élastique pour alésage</b>	<b>Écrou à encoches et rondelle frein</b>

### 3-Lubrification des roulements :

#### 3-1 Lubrification à la graisse :

Elle protège les roulements contre la corrosion, assure une certaine étanchéité en s'opposant à l'entrée des impuretés et permet un démarrage doux.

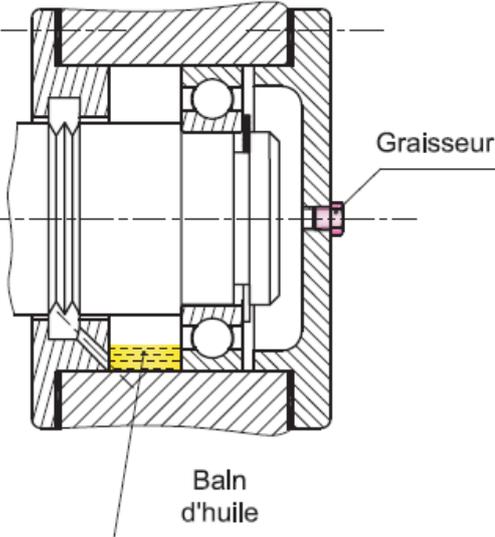
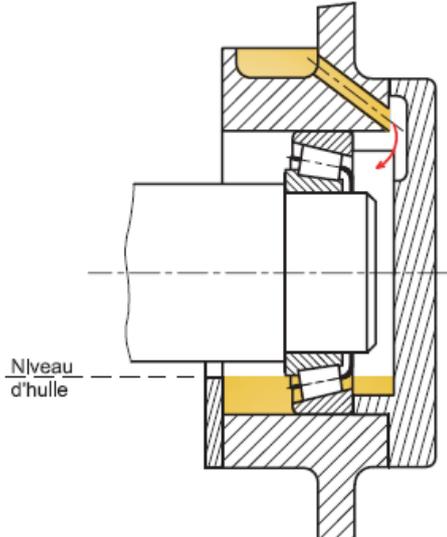
Graissage à vie	Graissage au montage
	
<p>Graissage a vie pour plusieurs années: Ce mode de graissage convient pour des appareils domestiques, des petits moteurs électriques, etc.</p>	<p>Le graissage est effectué au montage ou lors des révisions d'entretien. Un dispositif de graissage est inutile.</p>

Graissage par graisseur	
	
<p>On prévoit un dispositif de "graissage". Il permet à la graisse de déboucher de préférence à la partie inférieure du roulement. On prévoit un logement pour la graisse usagée et la possibilité de l'évacuer après plusieurs graissages.</p>	<p>Pour les roulements a rouleaux coniques, l'arrivée de la graisse se fait du cote du petit diamètre des galets. On assure ainsi une circulation automatique de la graisse, sous l'effet de pompage, due aux surfaces coniques du roulements.</p>

### 3-2 Lubrification à l'huile :

La lubrification à l'huile est utilisée dans les cas suivants :

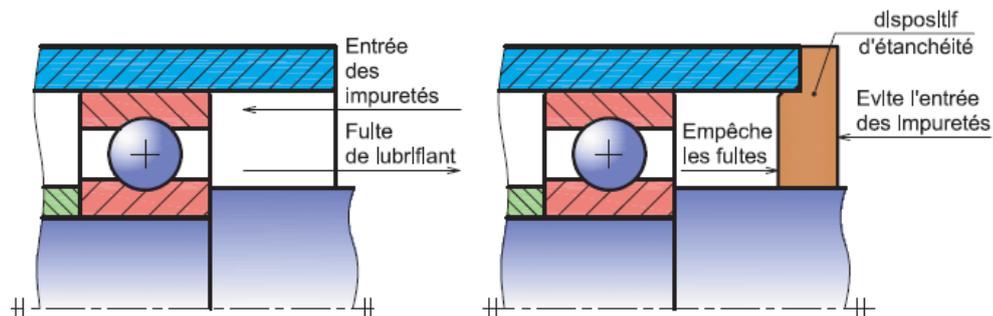
- \* vitesse très élevée.
- \* paliers très chargés.
- \* température très élevée.

Lubrification par bain d'huile	Lubrification par projection d'huile
	
<p>Pour éviter un échauffement trop important des paliers, on limite le niveau d'huile au voisinage du centre de l'élément roulant le plus bas.</p>	<p>Des organes mécaniques en mouvement se chargent d'huile par «barbotage» dans un carter. Sous l'action de la force centrifuge, l'huile est soit projetée directement sur les roulements, soit recueillie dans un larmier qui amène l'huile aux roulements.</p>

### 4- Etanchéité des roulements :

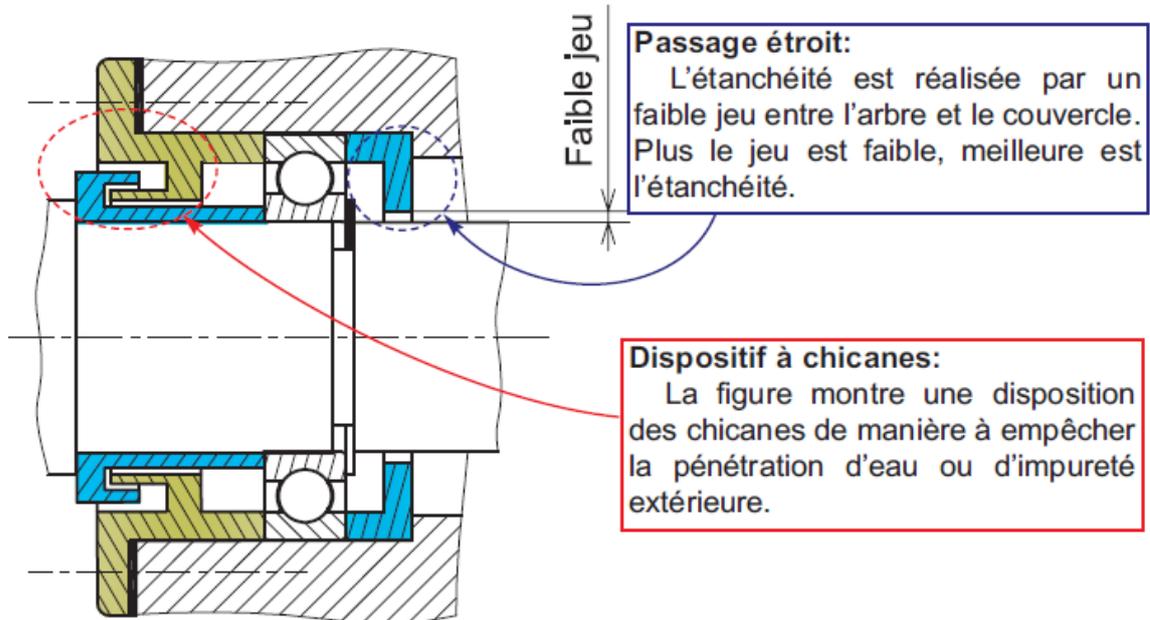
Pour fonctionner correctement, les roulements doivent être protégés des substances granuleuses dures (poussière, sable), de l'eau...

Le dispositif d'étanchéité empêche la fuite du lubrifiant.



#### 4-1 Principaux dispositifs d'étanchéité :

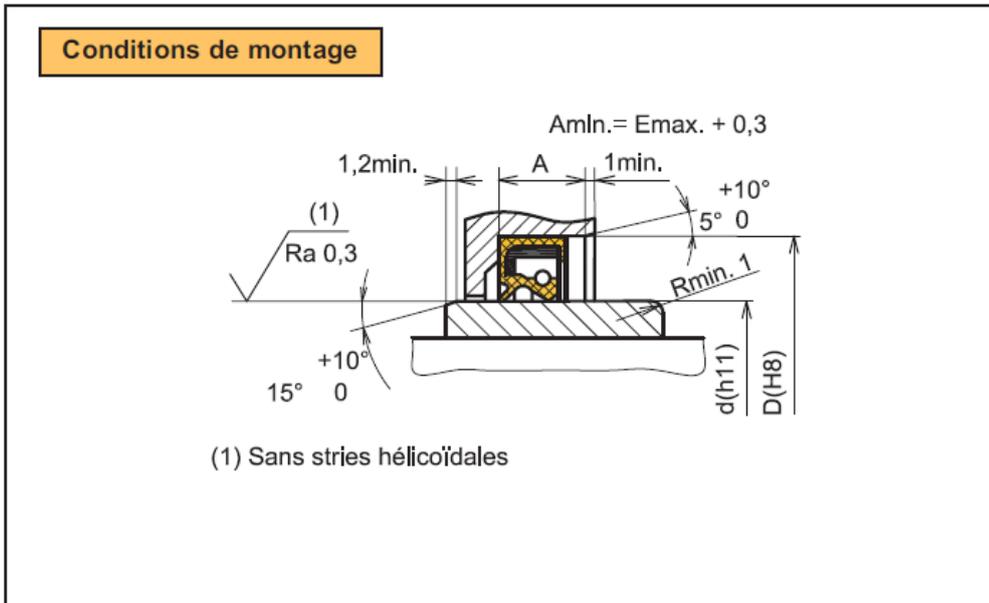
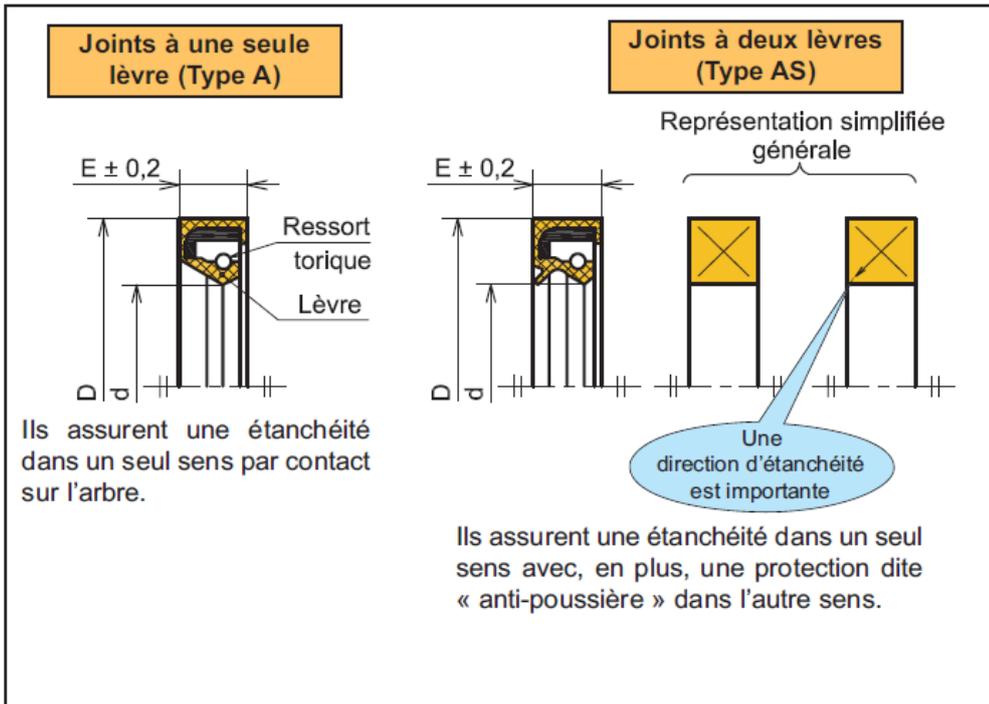
a- Dispositifs sans frottement pour lubrification a la graisse :



b- Dispositifs avec frottement pour lubrification a la graisse ou à l'huile :

#### Joints à lèvres à frottement radial :

Exemple de montage d'un joint à lèvres	Joint à lèvres



## 5- Palier :

### INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS

Les paliers sont des composantes mécaniques conçues pour soutenir les axes. Le rôle des paliers est d'assurer le mouvement libre et la position dans l'espace des arbres et des essieux et, en même temps, de reprendre les charges qui agissent sur eux et les transmettre à la partie fixe de la machine.

De plus, les paliers sont aussi utilisés dans le montage des pièces rotatives sur des essieux fixes, comme par exemple : poulies, roues, engrenages, etc.

La transmission des charges à la partie fixe de la machine se réalise par l'intermédiaire des surfaces en contact : la surface extérieure de l'axe qui est supporté et la surface intérieure de l'alésage du palier utilisé.

Pour réduire le frottement et par conséquent l'usure des surfaces en mouvement relatif, deux techniques distinctes peuvent être utilisées :

- ✓ on place des éléments roulants (billes, rouleaux, aiguilles, etc.) et on obtient ainsi des paliers (ou des glissières) à roulements;
- ✓ on introduit un film de lubrifiant (huile, graisse ou oxyde de surface) entre les surfaces en mouvement relatif et on obtient ainsi des paliers lisses.

La figure 1 montre les différences fondamentales dans la construction des paliers lisses et des paliers à roulements qui sont les deux systèmes les plus utilisés pour assurer la rotation des arbres dans les machines mécaniques.

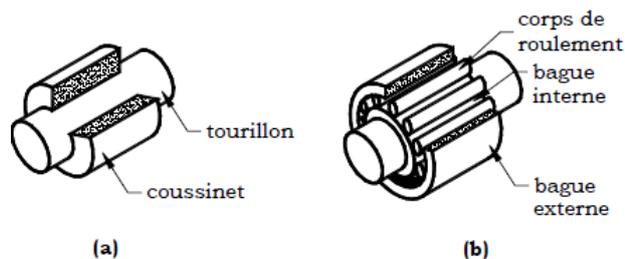


Figure : - Comparaison entre un palier lisse (a) et un palier à roulements (b) : le premier système doit vaincre le frottement de glissement; dans le second, il s'agit du frottement de roulement.

## **5.1 PALIERS LISSES**

### **5.1.1 Régimes de lubrification**

La lubrification a pour but d'empêcher le contact solide-solide et donc l'adhérence, le labourage et les déformations plastiques qui caractérisent le frottement de glissement sec.

On distingue cinq régimes de lubrification divisés en deux grandes catégories :

- les régimes à films minces (régimes sec et onctueux), là où les aspérités des surfaces se touchent et supportent une fraction de la charge;
- les régimes à films épais (régimes hydrodynamique, hydrostatique et élasto hydrodynamique), là où le lubrifiant empêche tout contact entre les aspérités des surfaces.

Le tableau 1 résume les caractéristiques des différents régimes.

#### ***5.1.1.1 Régime sec***

On utilise dans ce cas un lubrifiant solide pour assurer une séparation des matériaux de base des surfaces en mouvement relatif. Ce lubrifiant peut être :

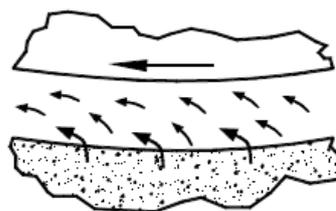
- un matériau ayant une faible résistance au cisaillement comme le talc, le graphite ou le MoS<sub>2</sub>.
- des matières plastiques comme le nylon ou l'acétal.
- un traitement du matériau de base du coussinet pour former un film d'oxyde de surface.

Ce régime de lubrification est particulièrement adapté aux situations de températures extrêmes ou encore à des situations où on ne peut tolérer aucune contamination par le fluide lubrifiant.

#### ***5.1.1.2 Régime onctueux***

Un film de lubrifiant onctueux est introduit entre les surfaces en mouvement relatif. Le lubrifiant adhère aux surfaces par réaction chimique (adsorption chimique) pour former un film de quelques molécules. Ce régime de lubrification est particulièrement adapté aux faibles vitesses, aux situations de mouvement alterné ou encore aux cas où on peut se limiter à un graissage occasionnel.

Les paliers utilisant des coussinets en bronze poreux imprégnés d'huile fonctionnent en régime onctueux (figure 2). Le lubrifiant est libéré sous les effets combinés de la pression et de la température.



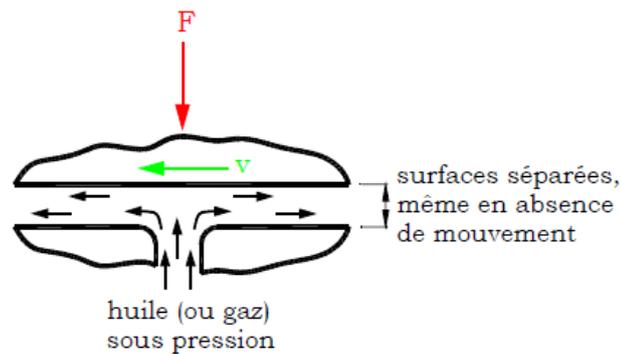
**Figure 2** - Palier en bronze poreux imprégné de lubrifiant onctueux. Le jeu fortement exagéré ici ne représente en fait que l'épaisseur de quelques molécules.

**Tableau 1** - Comparaison entre paliers à roulements et paliers lisses

	<b>À ROULEMENTS</b>	<b>LISSES</b>
VIE	Vie finie en fatigue	Infinie si niveau de charge normal (pas de contact métal-métal)
CHARGE	Capacité décroît avec une augmentation de la vitesse de rotation Préférés aux paliers lisses pour de faibles vitesses de rotation	Capacité croît avec une augmentation de la vitesse de rotation.
CHOCS	Plus sensibles que lisses	
FROTTEMENT	En fonctionnement, relativement équivalents. Au démarrage, certains paliers lisses (hydrostatiques) présentent moins de frottement que de roulement alors que d'autres (hydrodynamique, onctueux) vont présenter un frottement plus important.	
BRUIT	Plus bruyants que lisses	Un palier lisse instable peut générer beaucoup de bruit.
DIMENSIONS	Plus volumineux que lisses	Hydrostatique peut-être plus encombrant que roulement à cause de la présence de système de pompage, d'alimentation et de récupération du fluide
COÛT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande quantité : lisses moins coûteux que roulements (coût de design !requis pour lisses amorti sur la quantité)</li> <li>- Quantité moyenne : coût comparable</li> <li>- Faible quantité : roulements (pièce standard) moins coûteux.</li> <li>- Coût de conception : roulements moins coûteux que lisses (documentation technique fournie par les fabricants)</li> <li>- Coût d'installation : roulements demandent un montage plus précis que lisses et donc plus coûteux.</li> <li>- Coût de remplacement : roulements plus coûteux que lisses.</li> </ul>	

### 5.1.1.3 Régime hydrostatique

Un lubrifiant liquide, en général de l'huile, est introduit sous pression entre les surfaces à séparer (figure 3). Cette séparation est obtenue même en absence de vitesse relative ou pour des mouvements lents. On est ici en présence d'un film épais (50 à 100 microns).

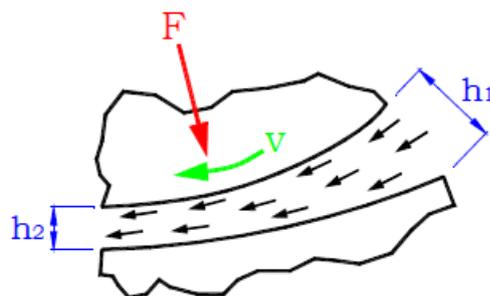


**Figure 3** - Palier hydrostatique. L'huile pompée par l'orifice du dessous sépare les surfaces.

Ce régime de lubrification est utilisé dans les cas de fortes charges, de vitesses trop lentes, de mouvement alterné, de même que dans des situations exigeant une grande fiabilité. Il faut mentionner que l'exigence d'équipement de pressurisation, de modulation de transport et de conditionnement du lubrifiant rend le coût d'implantation relativement élevé.

#### 5.1.1.4 Régime hydrodynamique

Comme dans le régime hydrostatique, les surfaces sont séparées par un film de lubrifiant liquide sous pression. La pression dans le film est obtenue par un effet de pompage par entraînement du liquide (grâce à ses propriétés d'onctuosité et de viscosité) dans un passage en coin (figure 4), plutôt que par un système de pompage externe au palier. Il est donc nécessaire d'assurer un certain niveau de vitesse et donc d'avoir un mouvement relatif des surfaces avec un fluide lubrifiant possédant les propriétés adéquates d'onctuosité et de viscosité pour qu'un régime hydrodynamique s'établisse. Ce régime est décrit de façon plus détaillée pour un palier radial plus loin dans ce texte.



**Figure 4** - Conditions de géométrie dans un palier hydrodynamique

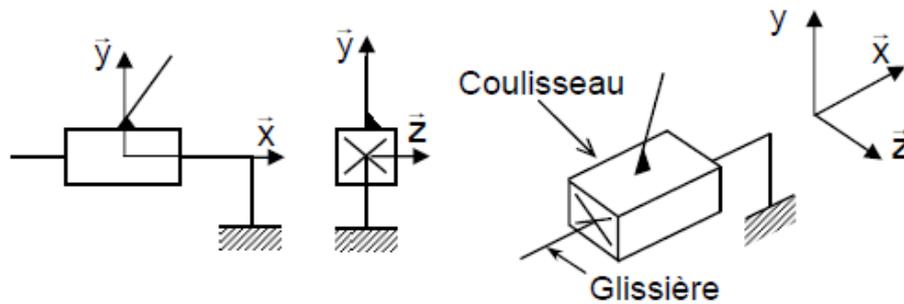
- ❖ Dans cette section, on présente d'abord le mécanisme de formation du film puis les limites pratiques de fonctionnement seront examinées.

## Chapitre 4 : Guidage en Translation

### Introduction :

Le guidage en translation est la solution constructive qui réalise une **liaison glissière** entre deux pièces ou ensembles de pièces. Le seul mouvement relatif possible entre les deux pièces ou ensembles de pièces est une **translation rectiligne**.

### Schématisation cinématique normalisée de la liaison glissière



### Mouvements relatifs

	T	R
x	1	0
y	0	0
z	0	0

La partie mobile est appelée **coulisseau** et la partie fixe (en général liée au bâti) est appelée **glissière** (ou **guide**).

Comme pour les guidages en rotation, on distinguera **4 types de guidage** (Contact direct – Contact avec des éléments antifrictions – Contact par éléments roulants – Eléments industrialisés).

## 4.1 Guidage en translation par contact direct

### 1. Guidage de type prismatique

Les surfaces de contact planes sont prépondérantes (voir figure 1).

La géométrie des surfaces de contact n'est pas forcément rectangulaire. Elle peut prendre plusieurs formes (voir figures 2 et 3).

Les frottements peuvent être diminués par l'interposition d'éléments anti-frottement (bandes de PTFE, bronze, polyamide ou Nylon) qui peuvent être collés sur l'une des surfaces en frottement.

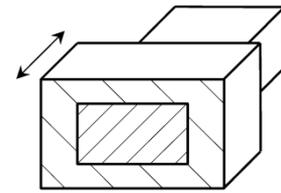


figure 1. **Guidage prismatique**

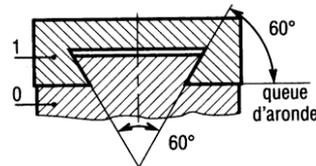


figure 2. **queue d'aronde**

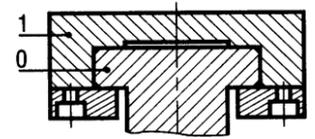


figure 3. **Emboîtement démontable**

### 2. Guidage par arbre coulissant

La liaison glissière est réalisée par association d'un contact cylindrique (supprimant quatre degrés de liberté) et d'un arrêt en rotation. L'arrêt en rotation peut être réalisé à l'aide d'une clavette (figure 4) ou de cannelures (figure 5).

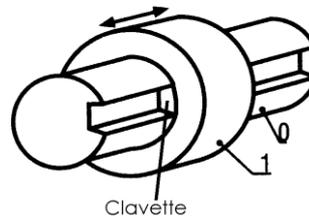


figure 4. **Clavetage**

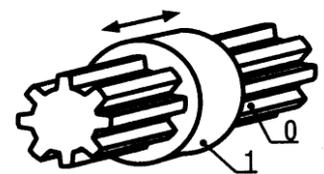


figure 5. **Cannelures**

### 3. Guidage par liaisons multiples

La combinaison de certaines liaisons peut aboutir à la réalisation d'une liaison pivot glissant en parallèle n'autorisant qu'une translation (voir figure 6).

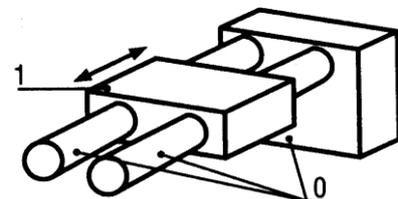


figure 6. **Guidage sur colonnes**

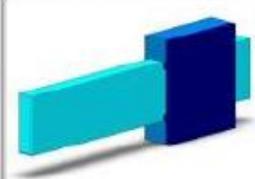
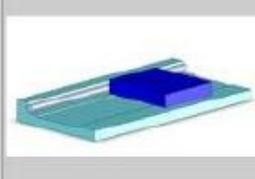
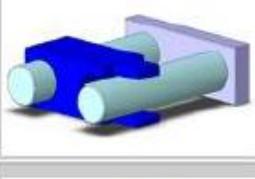
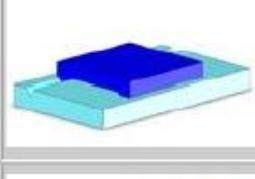
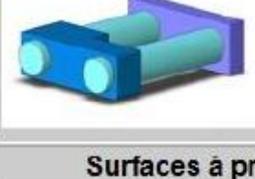
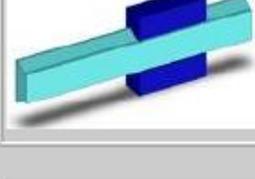
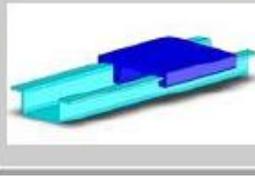
### ✓ Aspect technique:

C'est la solution la plus simple, mais la plus rudimentaire. Les deux éléments sont directement en contact.

La qualité de la liaison dépend:

- des matériaux en contact (coefficient de frottement, lubrification)
- du choix de l'ajustement entre les pièces (jeu).

❖ Surface prépondérante cylindrique ou prismatique

Surfaces majoritairement cylindriques		Surfaces majoritairement prismatiques	
<i>liaison</i> pivot glissant et contact ponctuel		Contacts plans perpendiculaires	
<i>liaison</i> pivot glissant et contact linéique (clavettes et cannelures)		Contact plan et contact linéique	
Liaison pivot glissant et un contact ponctuel déporté		Contact plan et contact en V	
Deux liaisons pivot glissant en parallèle		Contacts plans inclinés	
Surfaces à profils spécifiques			
Surfaces à profil "Oméga"		Surfaces à profil polygonal	

**Inconvénients :**

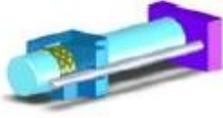
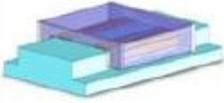
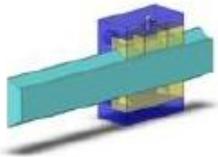
Mécaniquement peu performant (frottements ,usure, vitesse de rotation réduite).

**Avantage :**

- Simplicité du mécanisme (Nombre de pièce réduit).
- Prix de revient.

## 1- Guidage en translation par interposition d'éléments antifrictions :

❖ Surface prépondérante cylindrique ou prismatique

Eléments d'interposition	Surfaces majoritairement cylindriques	Surfaces majoritairement prismatiques		
<b>Eléments antifriction</b>				
Patins antifriction	<i>liaison</i> pivot glissant et contact ponctuel		Contacts plans perpendiculaires	
			Contacts plans obliques	

✓ Aspect technique:

On interpose entre les deux éléments en rotation une bague de frottements

Son but est de réduire les pertes par frottements lors du fonctionnement

On trouve différents types de bagues selon les cas d'utilisation.

- bagues en bronze ou en laiton (cas ci-contre)
- bagues polymères
- bagues auto-lubrifiées

### Avantages :

- Guidage précis.
- Prix revient.

### Inconvénients :

- Ne convient pas pour les fortes charges.
- Ne convient pas pour les vitesses importantes.

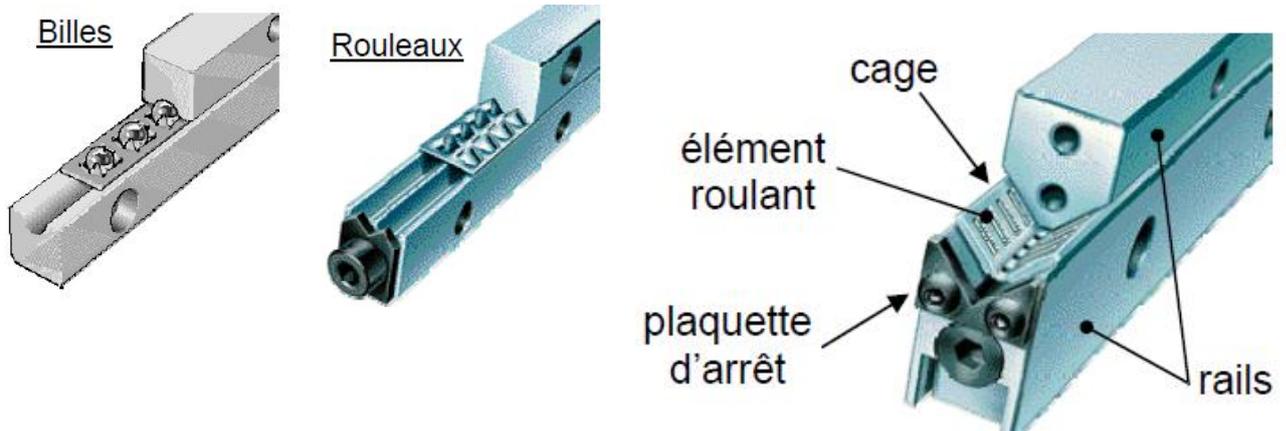
## 4- Guidage en translation par interposition d'éléments roulants

Les guidages par éléments roulants constituent une famille de composants standards dont le principe est de remplacer le glissement par du roulement.

### Guidages par cages à éléments roulants

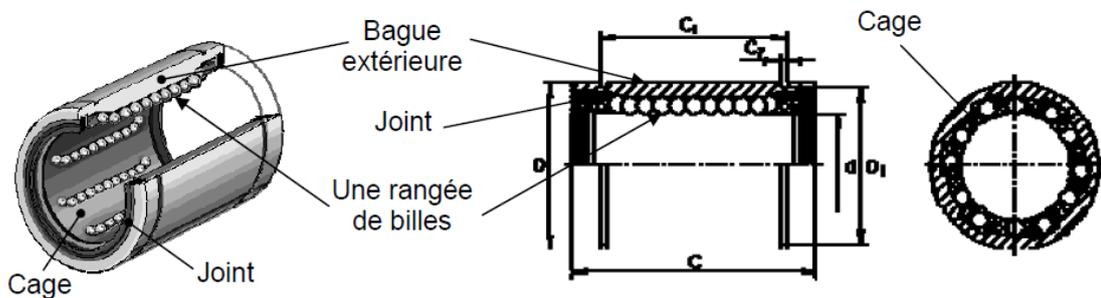
Ils comportent 3 catégories de constituants :

- les éléments roulants (avec ou sans cage)
- les rails de guidage qui portent les chemins de roulement, liés respectivement au coulisseau et à la glissière.
- les organes d'arrêt ou de protection



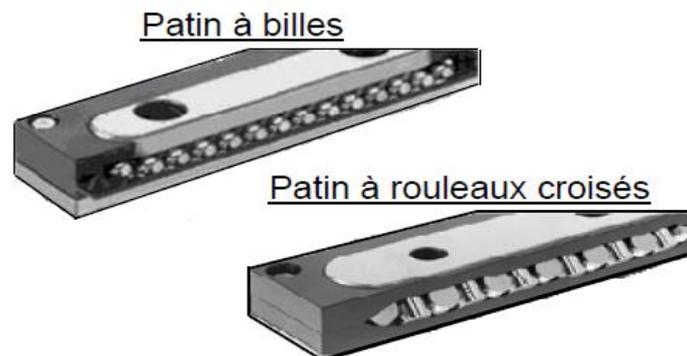
### Guidages par douilles à billes

Ils sont souvent réalisés par 4 douilles à billes, comme celle présentée ci-dessous.



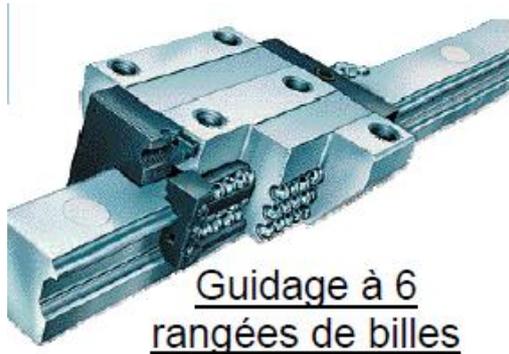
### Guidages par patins

Les patins sont des systèmes à recirculation d'éléments roulants. Ils sont toujours montés par paire. **Exemple** : axe Z du portis.



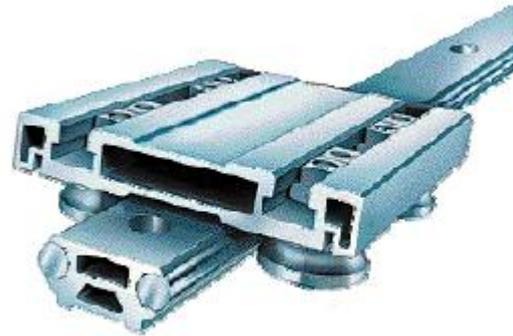
### Guidages par systèmes complets

Ce sont des systèmes à recirculation d'éléments roulants.



### Guidages par galets

Ils comportent quatre galets. Afin de régler le jeu de fonctionnement, deux des quatre galets sont montés sur des axes excentriques. *Exemple* : l'axe Z du transgerbeur.



### Avantages :

-Cout.

### Inconvénients :

-Guidage précis.

-Bon rendement.

-Charge et Vitesse importantes.

## 5- Lubrification et étanchéité des liaisons glissières :

### ❖ Lubrification

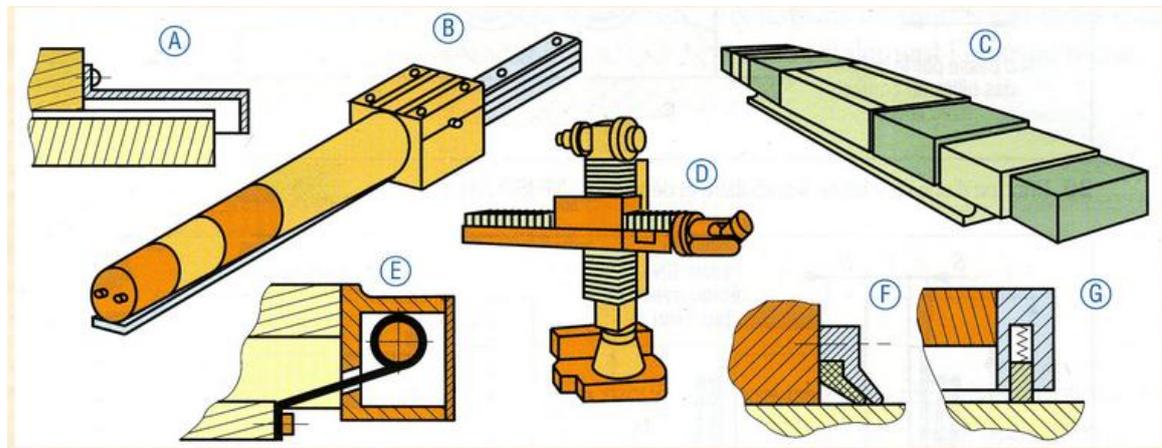
Elle assure une protection contre la corrosion. Elle est nécessaire pour maintenir la précision, la fiabilité, la durabilité et ralentir l'usure.

Une lubrification à la graisse suffit dans la plupart des cas. Si le frottement doit être très faible, il faut utiliser de préférence des huiles.

### ❖ Étanchéité

Une étanchéité soignée s'impose lorsque le milieu ambiant est pollué (poussières, copeaux, liquides corrosifs, etc.). Il est nécessaire de protéger à la fois les surfaces de guidage et les composants de base de la liaison : douilles, guides, patins...

**Principaux dispositifs :** joints racleurs (F, G) ; capots de protection (A) ; capots télescopiques (B, C) ; bande déroulable (E) ; soufflets (D) .



Principaux dispositifs d'étanchéité.

# Chapitre 5 : Organe de Transmissions du Mouvement et de puissance

## 1 Présentation

La plupart des machines et petits appareils qui nous entourent fonctionnent grâce à des mécanismes. Qu'ils transmettent un mouvement ou qu'ils le transforment, sans eux la plupart des machines ne seraient d'aucune utilité malgré toute l'énergie que l'on pourrait déployer. Mais comment fonctionnent-ils et à quoi servent-ils exactement? Engrenage, bielle-manivelle, pignon-crémaillère, poulie et courroie, chaîne et roue dentée.

## 2 Définitions

Une machine est un ensemble de mécanismes qui, disposés d'une certaine manière, permet de réaliser un travail. Le mécanisme est l'ensemble des pièces mécaniques mises en mouvement en vue d'assurer le fonctionnement de la machine. Il permet de transmettre et de transformer le mouvement au sein de celle-ci. Pour fonctionner, la machine a besoin d'énergie qui peut provenir de différentes sources: musculaire, solaire, éolienne, hydraulique, thermique et nucléaire.<sup>1</sup> Sans les mécanismes de transmission et de transformation du mouvement, l'énergie fournie ne pourrait pas être exploitée pour actionner la machine.

## 3 Les différents mouvements

Les objets qui nous entourent peuvent décrire différents mouvements. Au sein d'un mécanisme, les différentes pièces décrivent des mouvements similaires.

- ✓ On parle de mouvement de translation si tous les points de l'objet en mouvement décrivent des trajectoires parallèles. On a des mouvements de translation verticaux et horizontaux.
- ✓ On parle de mouvement de rotation si l'objet décrit une trajectoire circulaire autour d'un point ou d'un axe fixe.
- ✓ On dit que le mouvement est continu quand il va toujours dans le même sens ou alternatif si il change périodiquement de sens.

## 4 Distinction entre transmission et transformation du mouvement

On parle de mécanisme de transmission du mouvement, lorsque le mécanisme sert à transmettre le mouvement du point d'entrée<sup>2</sup> au point de sortie sans modifier la nature (rotation ou translation) du mouvement.

Les mécanismes de transmission peuvent changer la vitesse ou le sens de mouvement mais ne le modifient pas. Par exemple, sur un vélo, le mouvement de rotation des pédales est transmis à la chaîne qui entraîne la roue arrière.

Lorsqu'un mécanisme transforme la nature du mouvement entre le point d'entrée et le point de sortie, on parle de mécanisme de transformation du mouvement. Par exemple, une bielle-manivelle transforme un mouvement de translation en un mouvement de rotation.

## **5 Transmission**

Le nom de transmissions est donné aux mécanismes susceptibles de transmettre l'énergie des moteurs aux organes d'exécution des machines, généralement avec le changement des vitesses, des efforts ou des moments, et parfois de l'allure et du sens de rotation.

La présence d'une transmission entre le moteur et l'organe d'exécution est imposée par de nombreux facteurs :

- Il est fréquent que les vitesses nécessaires pour le fonctionnement des organes d'exécution des machines soient différentes de celles des moteurs normalisés ;
- Souvent la vitesse de l'organe d'exécution doit pouvoir être modifiée (réglée), or la réalisation directe de cette opération par le moteur est peu économique ou même impossible .
- Il existe des périodes dans le fonctionnement d'une machines lorsque sa commande impose des moments de torsion supérieurs à celui (ou à ceux) fourni par l'arbre du moteur.
- Il arrive qu'un moteur doive entraîner plusieurs mécanismes animés de vitesses différentes .
- Parfois pour des raisons de sécurité, de commodité d'entretien ou d'encombrement imposé de la machine il soit impossible de réaliser une liaison directe de l'arbre d'un moteur avec l'organe d'exécution.

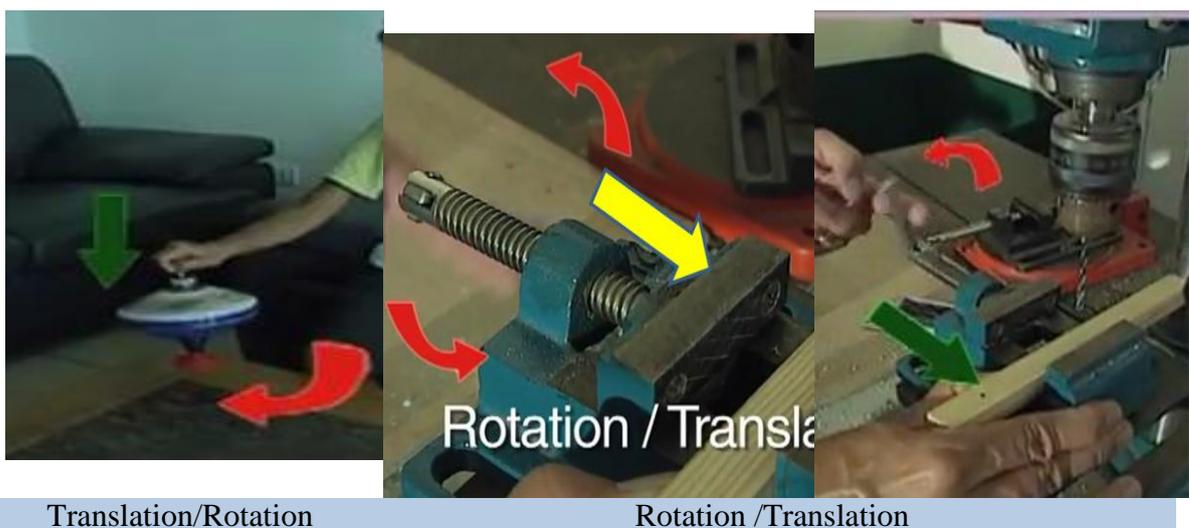
La transmission du mouvement est une fonction mécanique complexe qui consiste à transmettre un mouvement d'une pièce à une autre sans en modifier la nature. Le type de mouvement demeure le même d'une pièce à l'autre.

Dans certains objets techniques, il est parfois utile de transmettre un mouvement d'une pièce vers une ou plusieurs autres pièces. Lorsque le mouvement issu d'une force d'une pièce mécanique est communiqué à une autre sans qu'il soit transformé, on dit qu'il y a transmission du mouvement. Ainsi, un organe moteur en mouvement transmet l'action à un organe récepteur (ou mené). Les deux organes peuvent être directement en contact ou la transmission peut se faire à l'aide d'un organe intermédiaire.

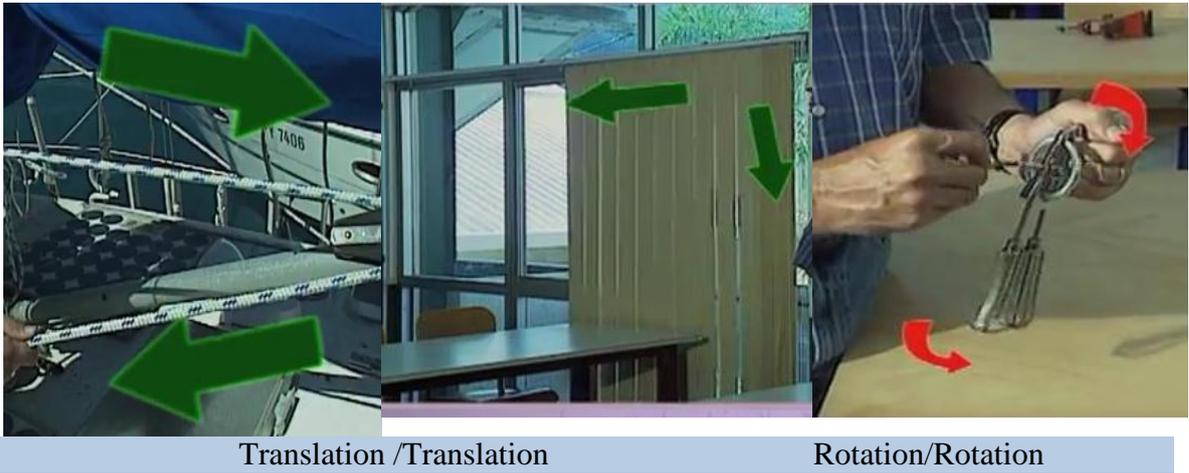
La plupart des systèmes de transmission du mouvement communiquent un mouvement de rotation d'une pièce à l'autre. Les mécanismes peuvent être réversibles ou non (changer de direction) et ils peuvent modifier le sens de la rotation ou non. Parmi les systèmes de transmission du mouvement, les plus répandus sont les suivants:

- ✓ Les roues de friction.
- ✓ Les poulies et courroie .
- ✓ Les engrenages (roues dentées).
- ✓ Les roues dentées et chaînes.
- ✓ Les roues et vis sans fin.

**TRANSFORMATION DU MOUVEMENT** : Action mécanique qui change la nature du mouvement (rotation à translation ou translation à rotation).

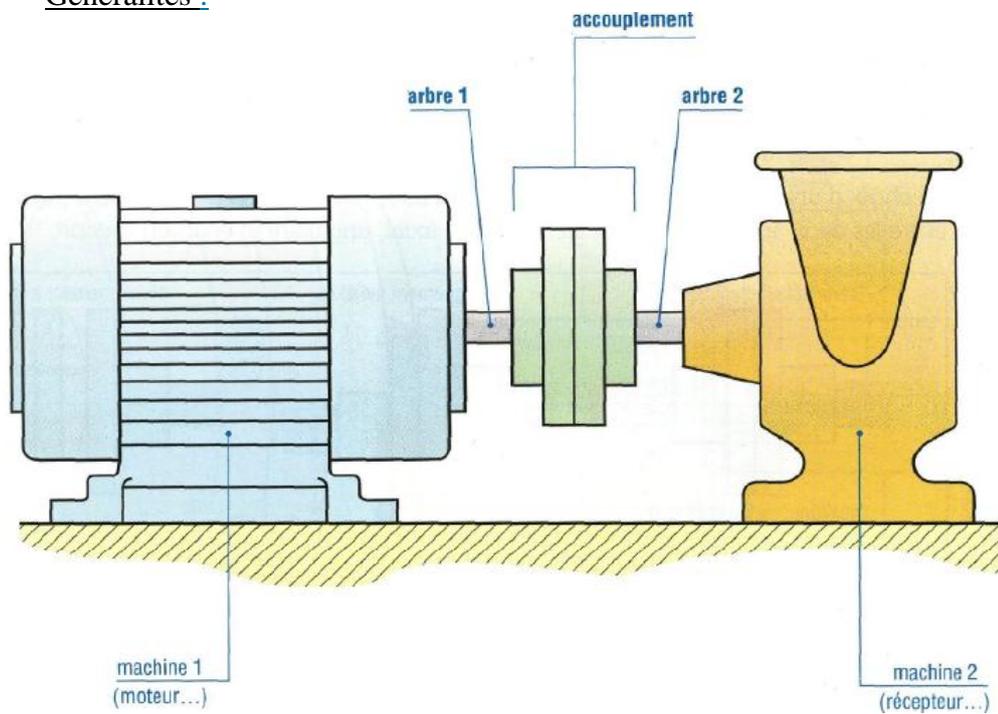


**TRANSMISSION DU MOUVEMENT** : Communication d'un même mouvement d'un organe à un autre, avec variation possible de la vitesse.



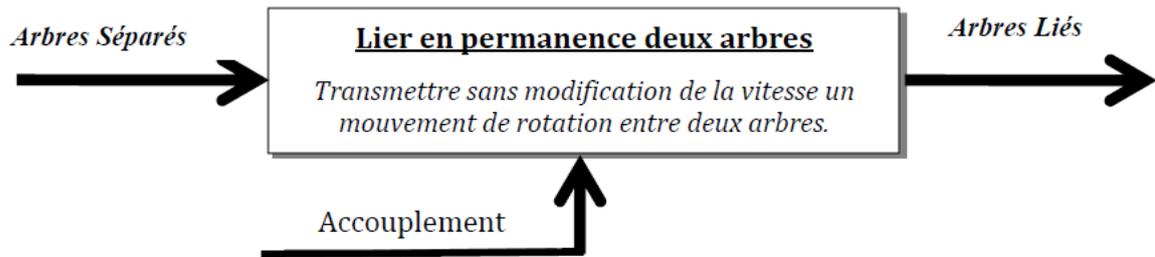
## Accouplements

### i. Généralités :



La Transmission de l'Energie mécanique du moteur électrique à la Pompe Centrifuge est assurée par un Mécanisme de Transmission Appelé Accouplement.

## 2. Fonction



## 3) Puissance mécanique :

$$P = C \cdot \omega$$

$P$  : Puissance en Watt  
 $C$  : Le couple en  $m.N$   
 $\omega$  : Vitesse angulaire en  $rd/s$   
 $\omega = \frac{2\pi N}{60}$        $N$  : en  $Tour/mn$

## 4) TD :

Soit à transmettre une puissance de 10 Kw à 500 tr/ min Quelle est la valeur du couple?

$C = \dots\dots\dots daN.m.$

### Critères de choix d'un Accouplement

#### ii. Le choix d'une technologie d'accouplement se fait selon :

- ✓ Le couple à transmettre
- ✓ La vitesse atteinte
- ✓ Les défauts prévisibles d'alignement des arbres
- ✓ Les Vibrations de rotation dues à la transmission
- ✓ Les contraintes d'environnement ; températures extrêmes, atmosphère corrosive.....

#### iii. Types d'accouplements :

On distingue généralement 3 familles d'accouplements :

##### 1. Accouplements Rigides

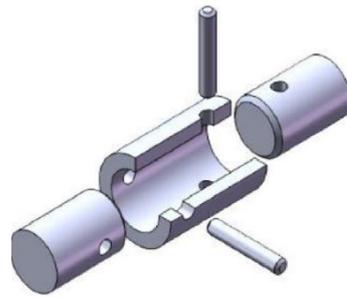
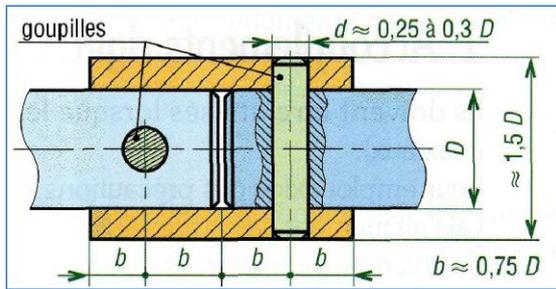
- ✓ Simples et économiques.
- ✓ Exigent une parfaite alignement des arbres à accoupler (n'acceptent aucun défaut d'alignement des arbres)
- ✓ Ne filtrent pas les vibrations

### Symbole Normalisé :

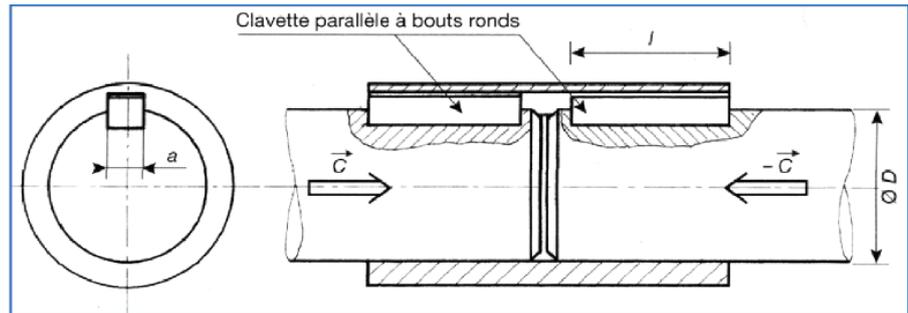
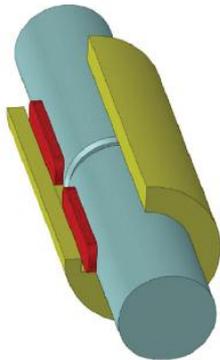


### Entraînement par Obstacle

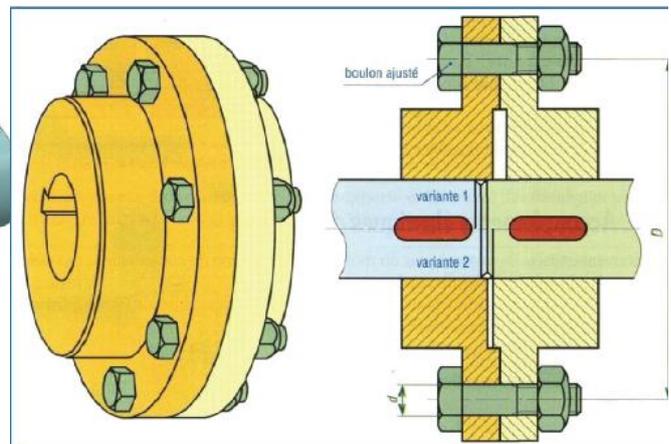
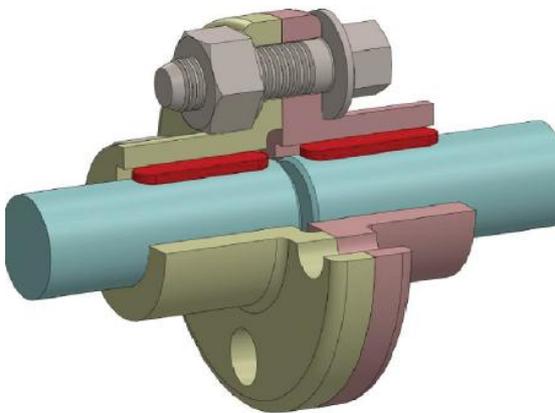
a - Manchon et Goupilles



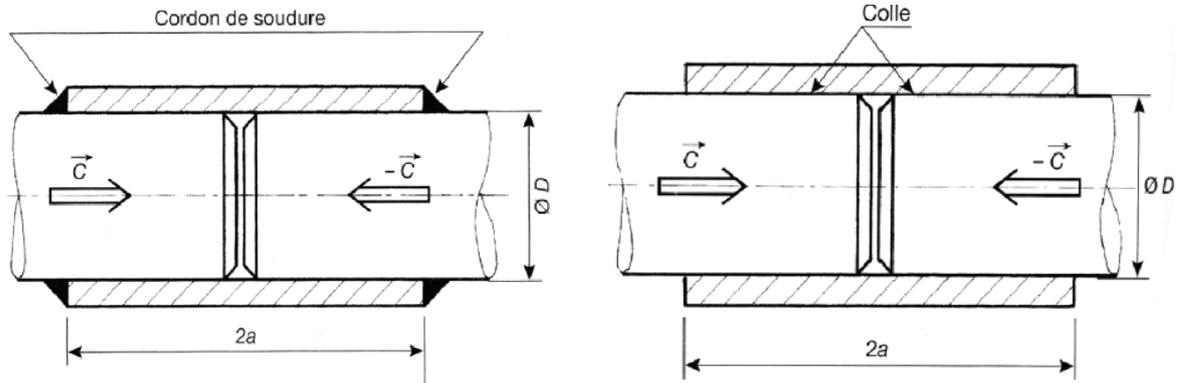
b - Manchon et Clavettes :



c - Plateaux clavettes et Boulons :



Entraînement par. Adhérence :



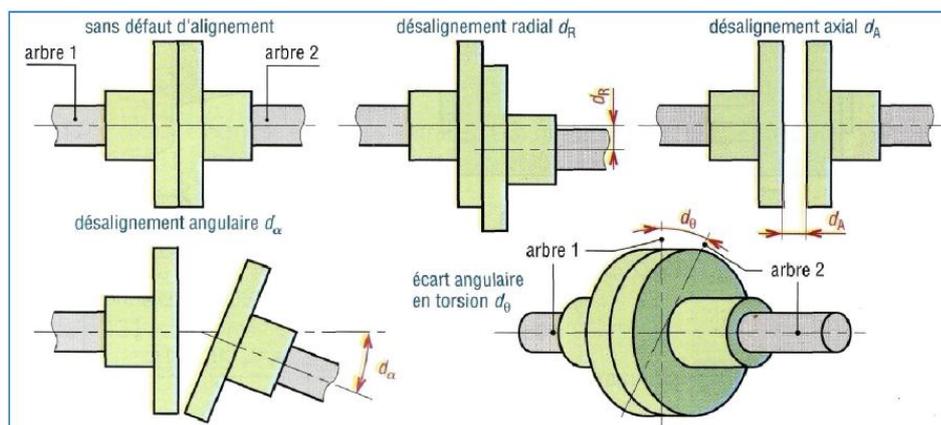
#### IV Accouplements Elastiques

- ✓ un ou plusieurs éléments intermédiaires sont élastiques
- ✓ tolèrent plus au moins certains défauts d'alignement des arbres.
- ✓ amortissent et filtrent les vibrations.

##### 1) Symbole Normalisé :

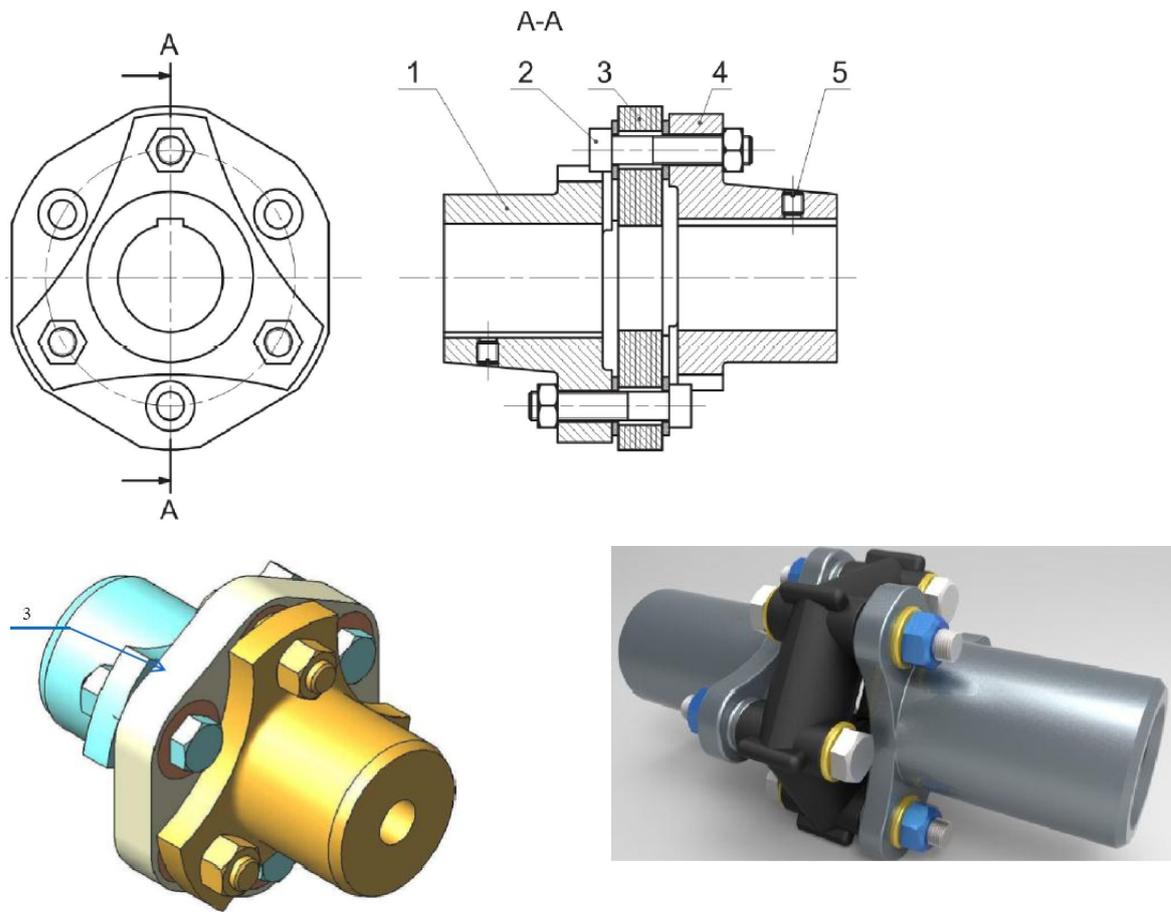


##### 2) Types de défauts d'alignement entre les arbres :



### 3) Exemples de construction :

#### Accouplement Flector :

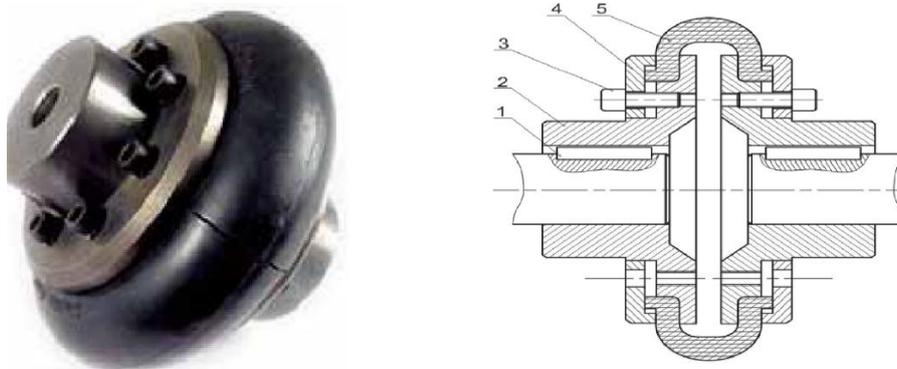


1	Manchon (Coté Moteur)
2	Boulon
3	Élément Élastique en <u>Caoutchouc naturel</u>
4	Manchon (Coté Récepteur)
5	.....

Les deux manchons sont reliés par l'intermédiaire d'un élément élastique.

#### Manchon à gaine flexible

Élément élastique gaine flexible 5 en Caoutchouc.



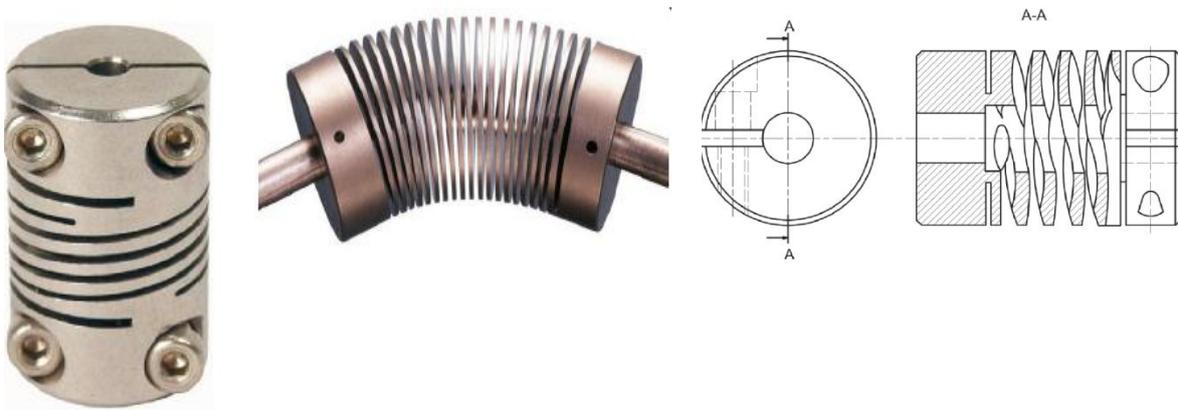
## V Accouplement Flexible

Proches des accouplements élastiques, Ces accouplements ont une rigidité en torsion importante.

- ✓ Acceptent certains défauts d'alignement à l'exception de l'écart angulaire de torsion.
- ✓ Ne filtrent pas les vibrations.

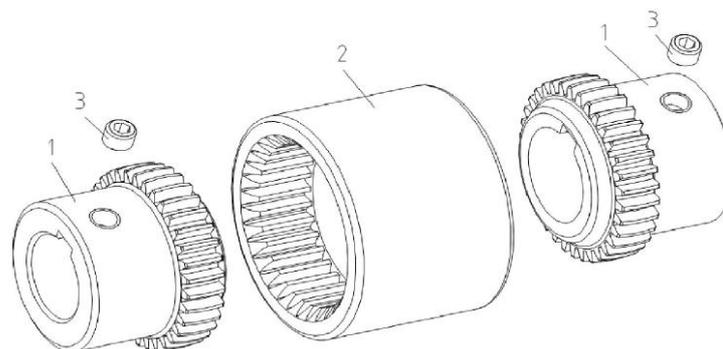
### Panamech, Multi-Beam

Elément élastique **Métallique** en forme de profilés hélicoïdaux, générés par usinage d'une gorge en hélice débouchant dans un tube cylindrique.



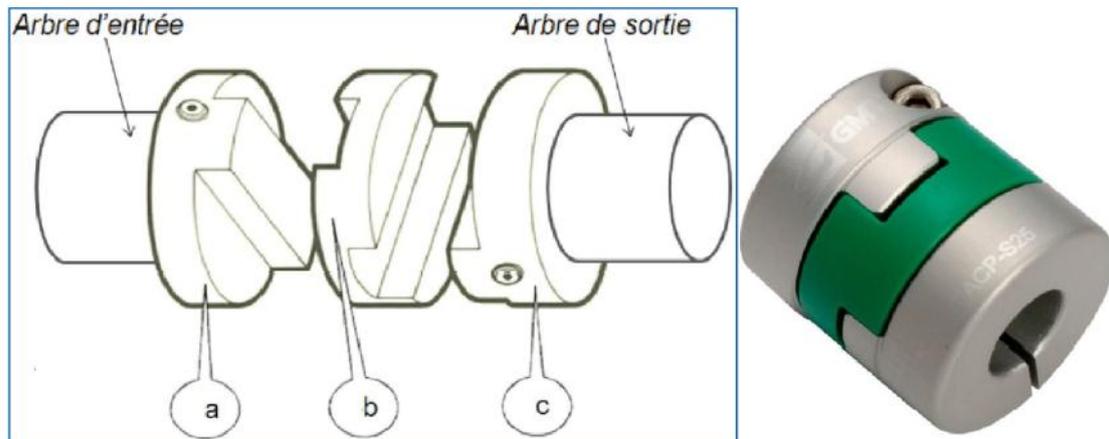
### Accouplement à denture interne

Les deux plateaux sont des roues dentées à denture bombée qui engrènent avec la denture interne d'un manchon.

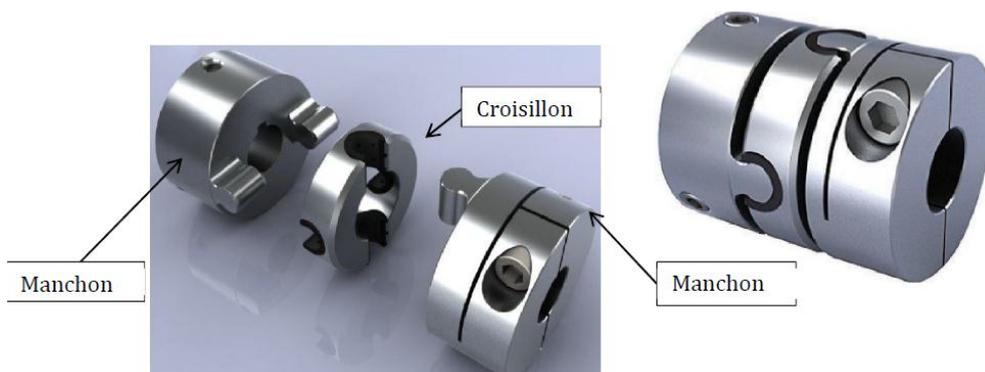


### Joint d'OLDHAM (Voir Animation)

- ✓ Arbres avec Ecart Radial
- ✓ Accouplement non homocinétique.

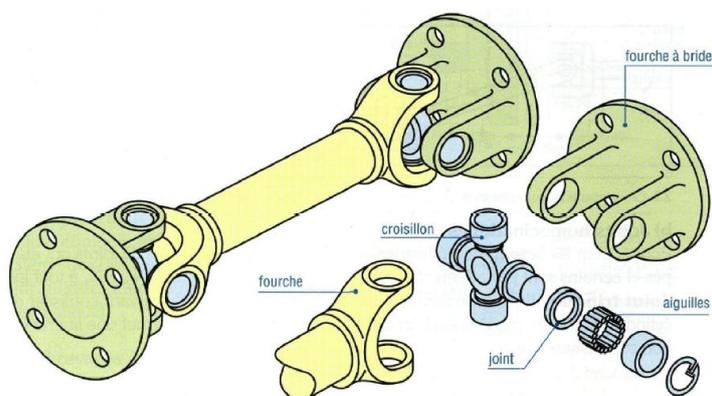


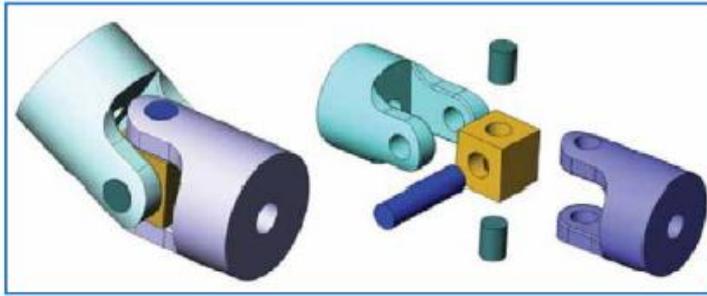
- ✓ Arbres avec Ecart Radial.
- ✓ Arbres avec Ecart Angulaire.



### ACCOUPLLEMENT PAR JOINT DE CARDAN

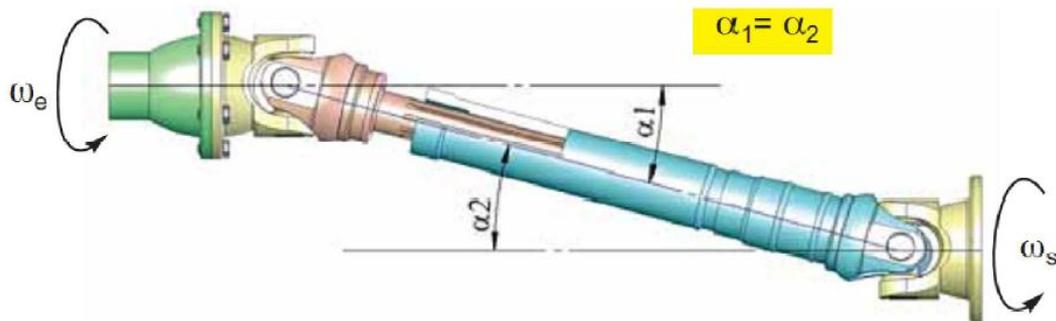
- ✓ Arbres avec désalignement Angulaire)
- ✓ Permet aux arbres d'avoir une liberté angulaire variable et importante au cours du fonctionnement.





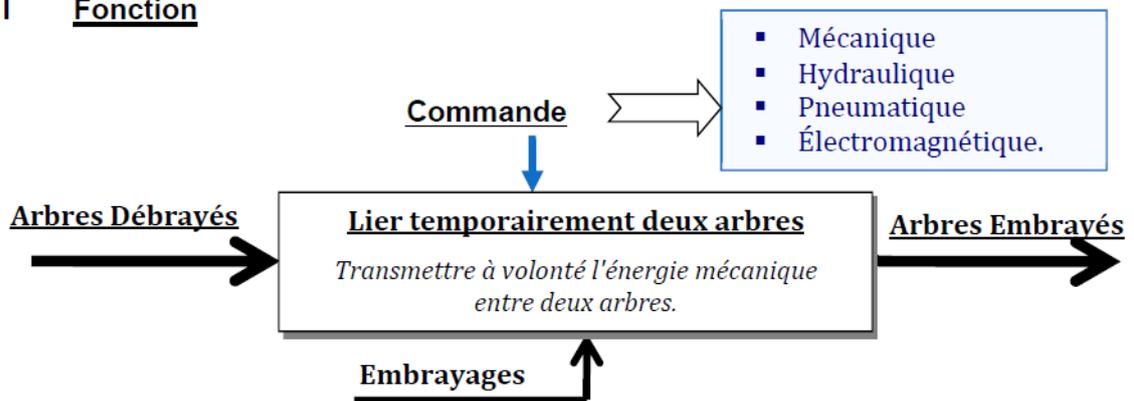
**transmission homocinétique**

( $\omega_e = \omega_s$ ) est assurée par deux joints de cardan tel que:



**Embrayages**

**I Fonction**



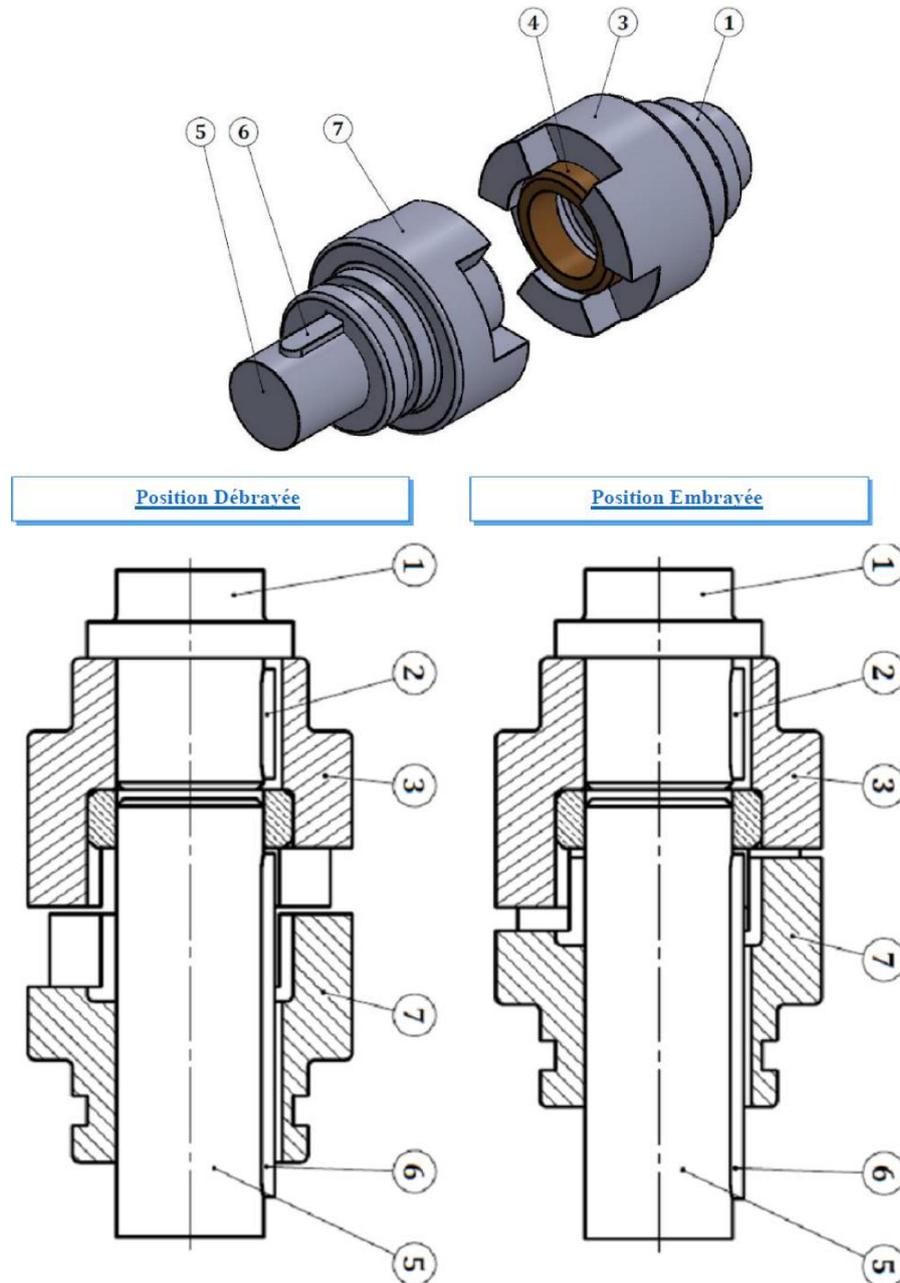
**II Symbole normalisé :**

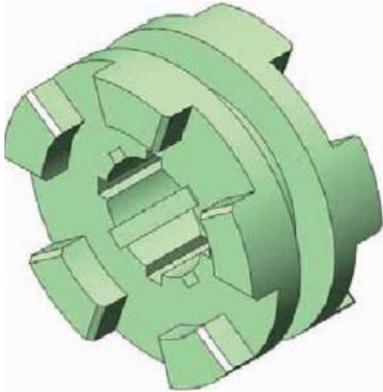


### III Embrayages instantanés

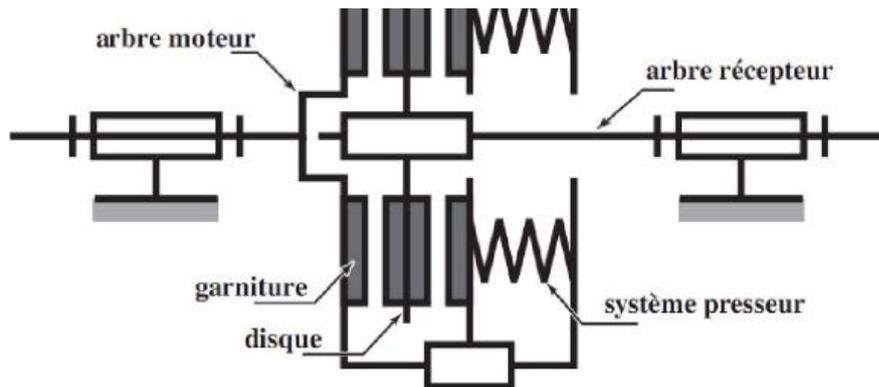
- ✓ Transmission par obstacle
- ✓ La manoeuvre ne peut se faire qu'à l'arrêt.

#### 1) Principe :



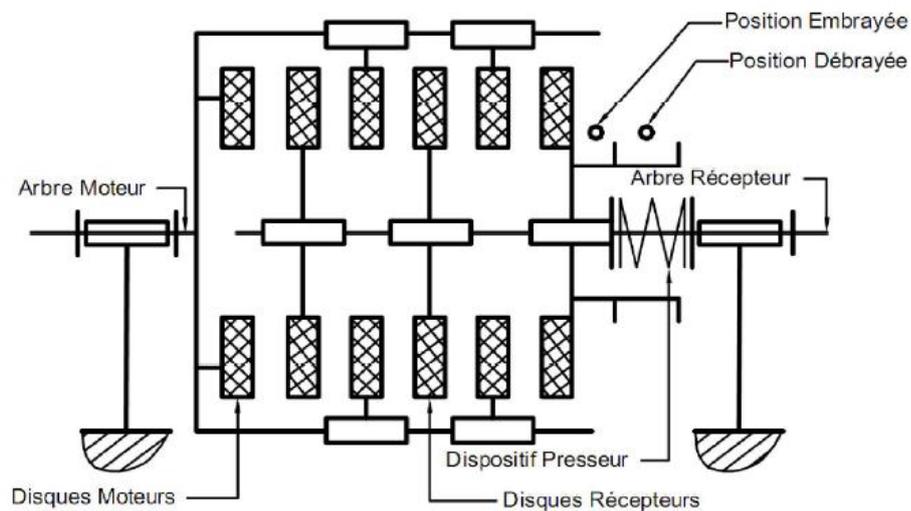


1	Arbre Moteur
2	Clavette
3	<i>Crabot Fixe</i>
4	Bague de centrage
5	Arbre Récepteur
6	Clavette
7	<i>Crabot Mobile Baladeur</i>

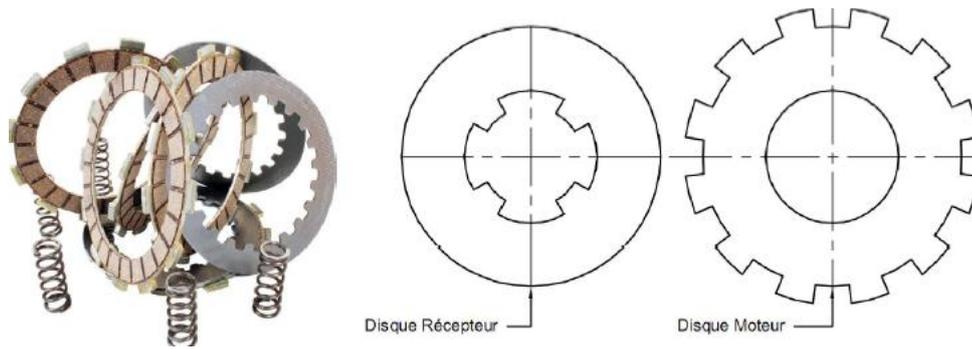


La transmission est assurée par l'adhérence des surfaces de friction du disque récepteur et du plateau de pression lié à l'arbre moteur.

## 2) Embrayage progressif à friction plane multidisque



### 3) Forme des disques :



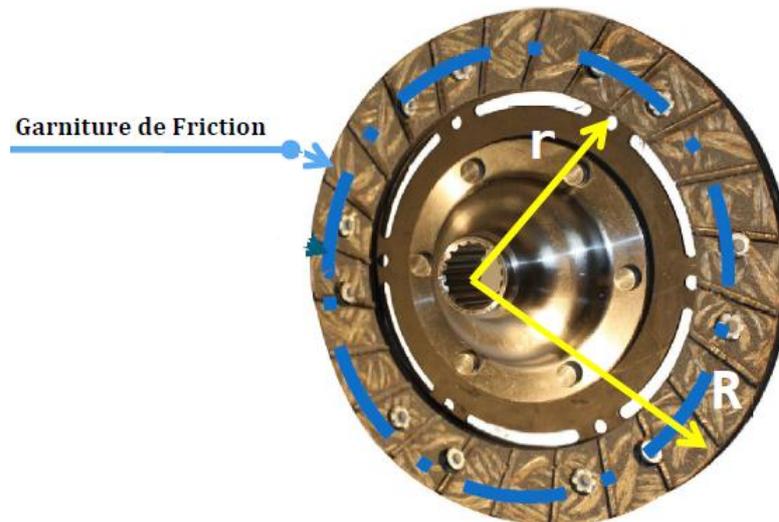
### 4) Garniture de friction :

Les surfaces de friction en FERODO remplissent les conditions suivantes

- ✓ Grand coefficient de frottement.
- ✓ Résistance à l'usure.
- ✓ Résistance à l'échauffement.

### 5) Couple transmissible par un embrayage à friction plane

Relation simplifiée :



*C : couple transmissible en Nm*

*F : effort de compression des surfaces de friction en N*

*f : coefficient de frottement.*

*n : nombre de surface de friction*

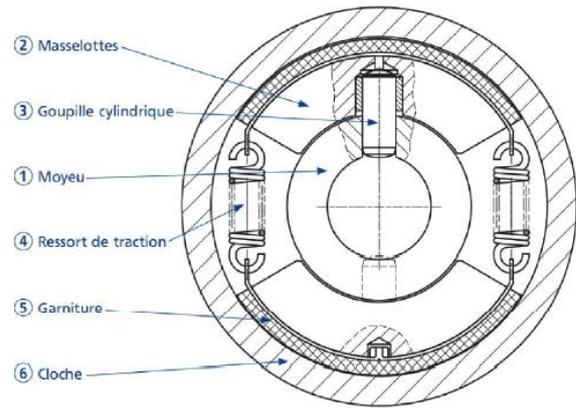
*R : Rayon extérieure du disque de friction en mètre*

*r : Rayon intérieure du disque de friction en mètre*

$$C = \frac{2}{3} \cdot F \cdot n \cdot f \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

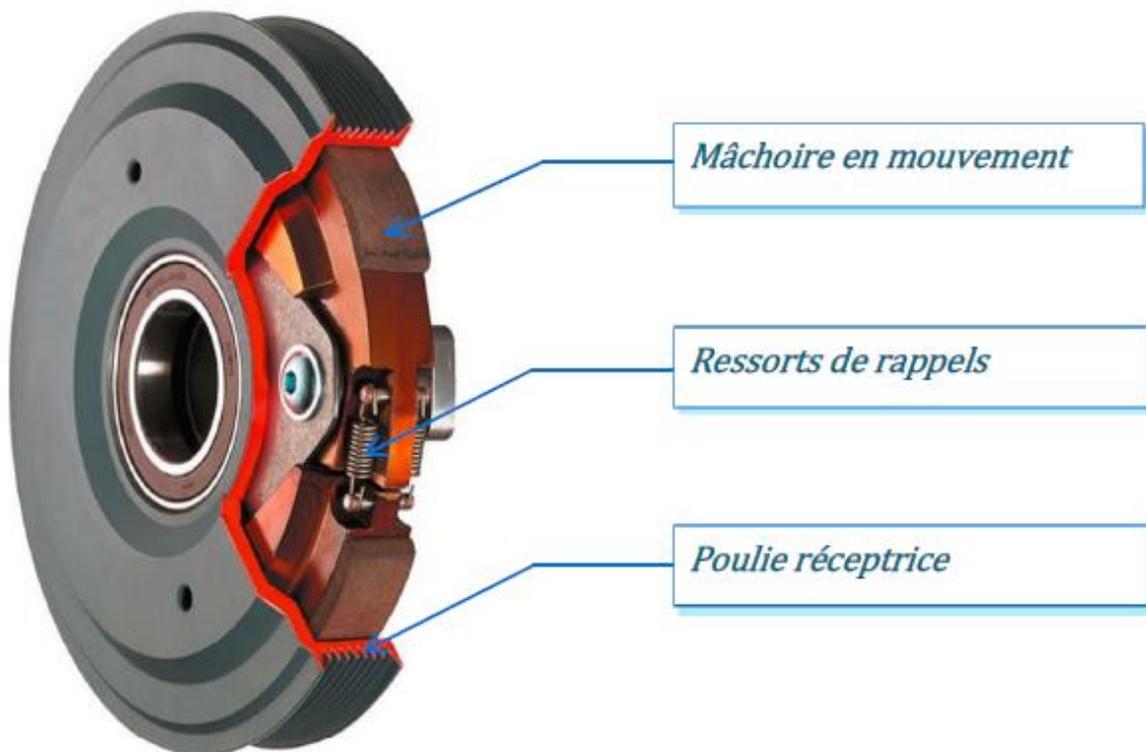
## VI Embrayage progressif à friction cylindrique Centrifuge :

### 1) A masselottes :



Lorsque la vitesse est suffisante, les garnitures de friction viennent au contact de la cloche 5, Sous l'action de la force centrifuge agissant sur les masselottes, et l'adhérence générée entre les garnitures et la cloche permet la transmission du couple.

### 2) A mâchoires :



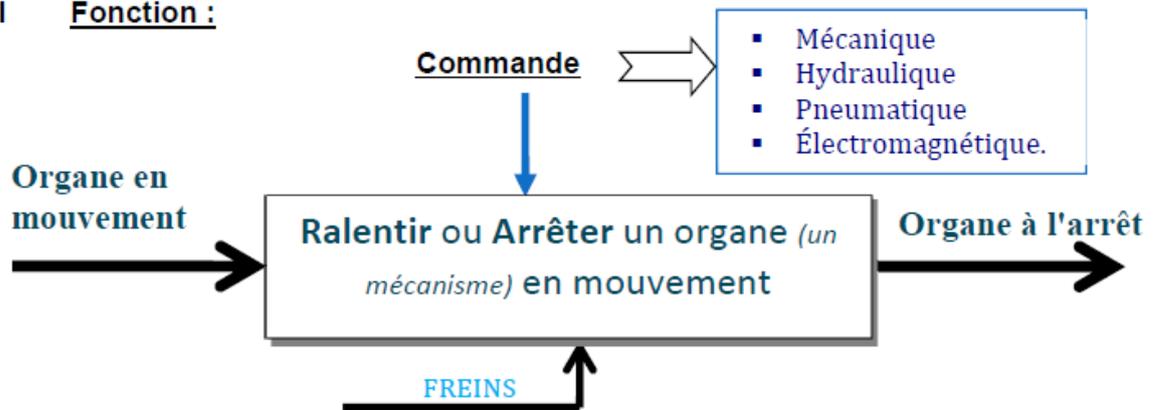
### 3) Couple à transmettre :

$$C = K \cdot \omega^2$$

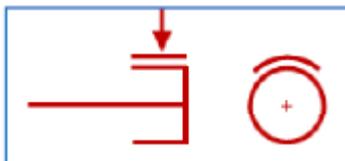
$\omega$  en rd/s  
 $K$  constante  
 $C$  en m.N

### les freins

#### I Fonction :



#### II Symbole Normalisé :

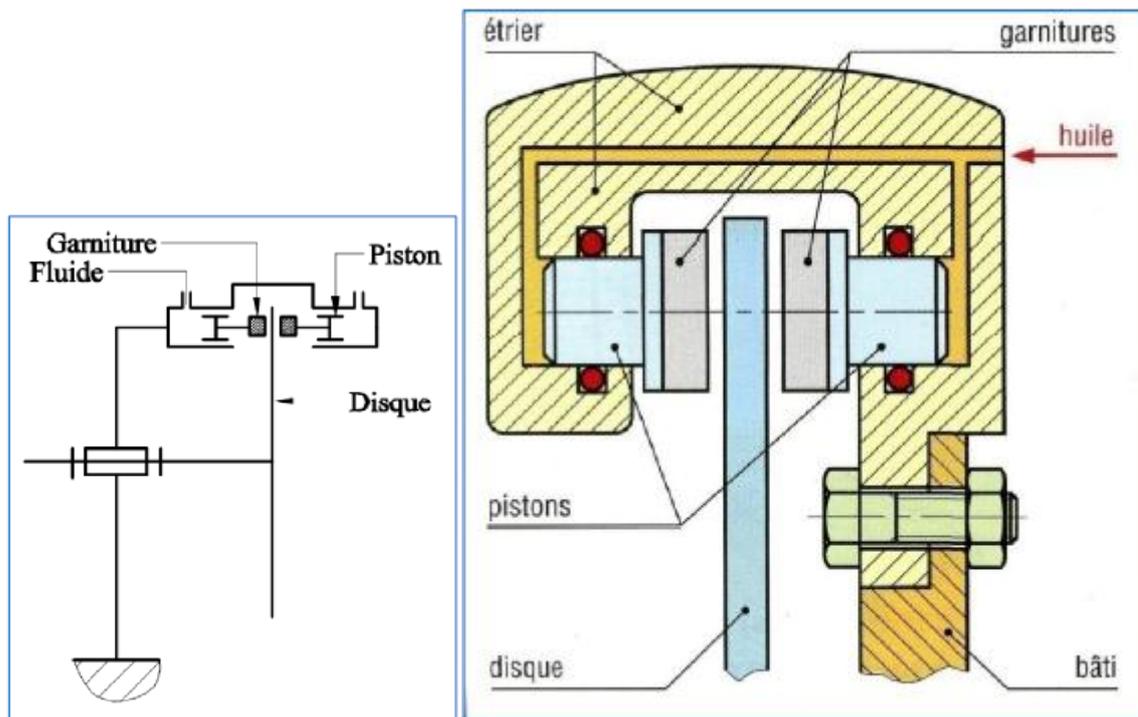


#### III Principes de freinage :

Frein à disque	Frein à sangle	Frein à sabot	Frein à mâchoire

#### IV Différent types :

##### 1) Frein à disque à étrier :

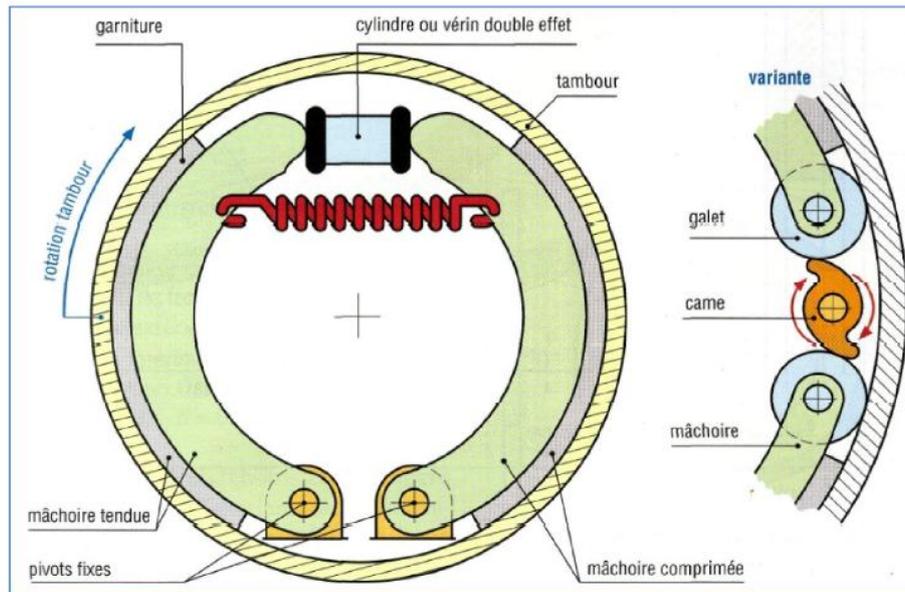


##### 2) Frein à tambour :

###### 1) Principe :



## 2) Représentation :



### Transmission par Engrenage

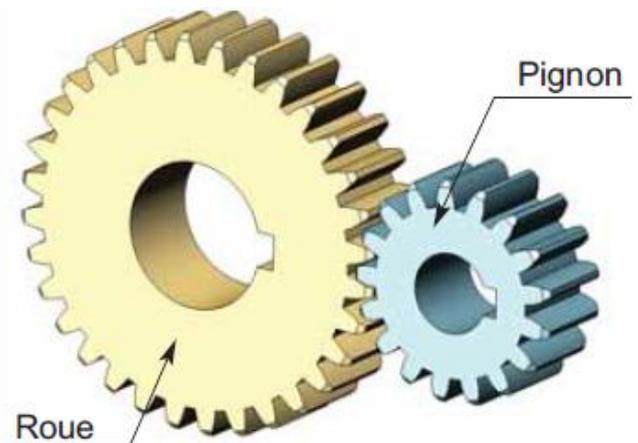
#### 1 -Définition :

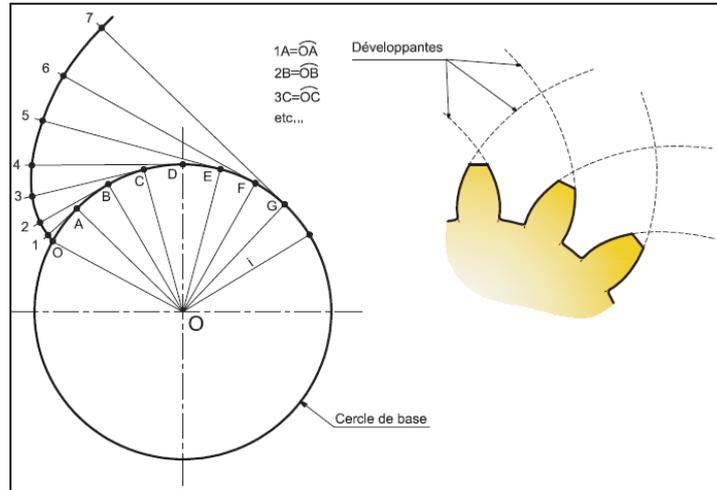
Un engrenage est composé de deux roues dentées ( la plus petite est appelée pignon) servant à la transmission d'un mouvement de rotation. En contact l'une avec l'autre, elles transmettent de la puissance par obstacle.

#### 2 -Profil de la denture :

Le profil des dents est une courbe dite en développante de cercle.

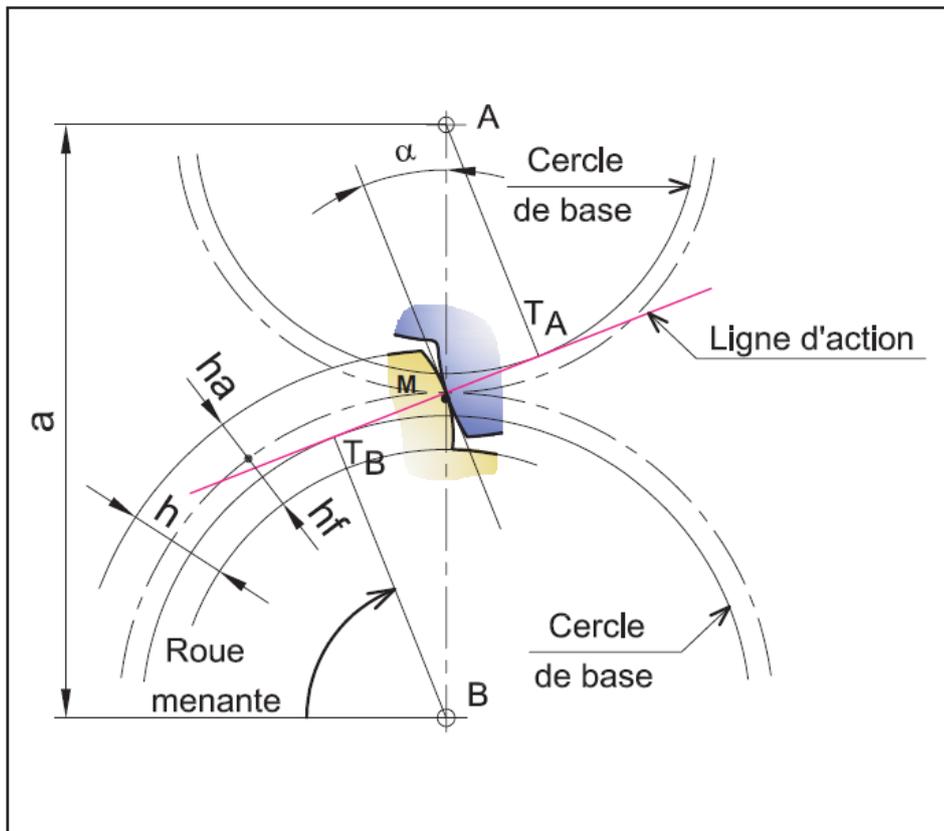
Cette courbe est obtenue, comme le montre la figure ci-dessous, en développant un cercle appelé cercle de base. Seule une faible partie de la courbe est utilisée pour la denture.





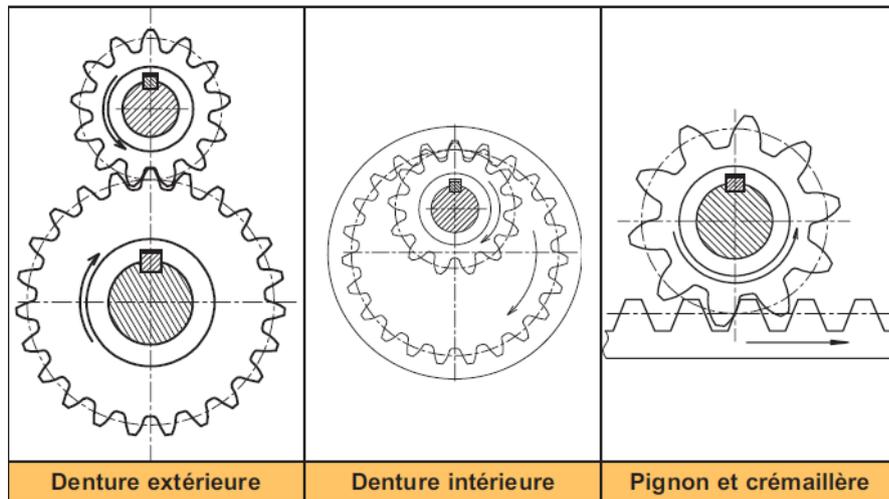
### 3- Principe de l'engrènement :

Si deux cercles de base munis de courbes en développante de cercle sont espacés d'un entraxe ( $a$ ), on constate que pendant l'engrènement, les deux développantes restent en contact suivant une droite appelée ligne d'action inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à la tangente commune à deux cercles appelés cercles primitifs. Cet angle  $\alpha$  est appelé angle de pression et vaut dans le cas général  $20^\circ$ .



#### 4- Engrenages cylindriques à denture droite

La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation. C'est le type de denture le plus courant. Il est utilisé dans toutes les applications de mécanique générale.



#### 4-1 Dimensions normalisées :

Deux valeurs permettent de définir les roues dentées:

– Le module **m** choisi parmi les modules normalisés et déterminé par un calcul de résistance des matériaux.

$$m \geq 2.34 \sqrt{\frac{T}{k \cdot R_{pe}}}$$

La relation permettant le calcul de ce module est :

**T** : effort tangentiel sur la dent.

**k** : coefficient de largeur de denture.

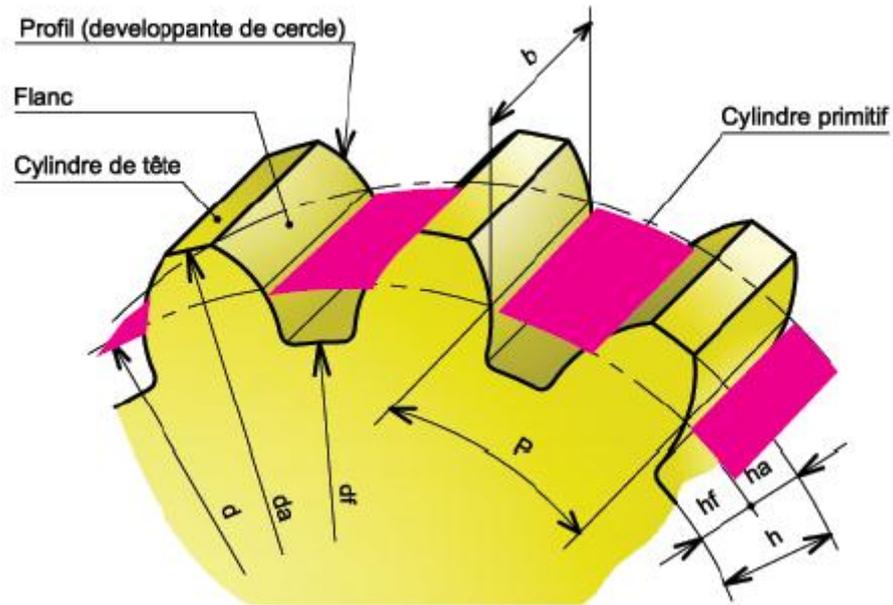
**R<sub>pe</sub>** : résistance pratique à l'extension. R<sub>pe</sub> dépend du matériau utilisé.

**T** et **k** sont définis dans la suite de ce cours.

– Le nombre de dents **Z** de chaque roue dentée permettant de définir le rapport des vitesses *r* de l'engrenage.

**Remarque :** Deux roues dentées doivent avoir le même module pour pouvoir engrener ensemble.

#### 4-2 Caractéristiques de la denture :



Roue à denture extérieure		
Module	$m$	Déterminé par un calcul de résistance de matériaux
Nombre de dents	$Z$	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires
Pas de la denture	$p$	$p = \pi.m$
Saillie	$ha$	$ha = m$
Creux	$hf$	$hf = 1,25.m$
Hauteur de la dent	$h$	$h = ha + hf = 2,25.m$
Diamètre primitif	$d$	$d = m.Z$
Diamètre de tête	$da$	$da = d + 2m$
Diamètre de pied	$df$	$df = d - 2.5m$
Largeur de denture	$b$	$b = k.m$ ( $k$ valeur à se fixer, fréquemment on choisit entre 6 et 10)
Entraxe de 2 roues A et B	$a$	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = \frac{m.Z_A}{2} + \frac{m.Z_B}{2} = \frac{m(Z_A + Z_B)}{2}$

### 4-3 Rapport de vitesses :

$\omega_1$  et  $\omega_2$  sont les vitesses angulaires respectives des roues dentées (1) et (2) :

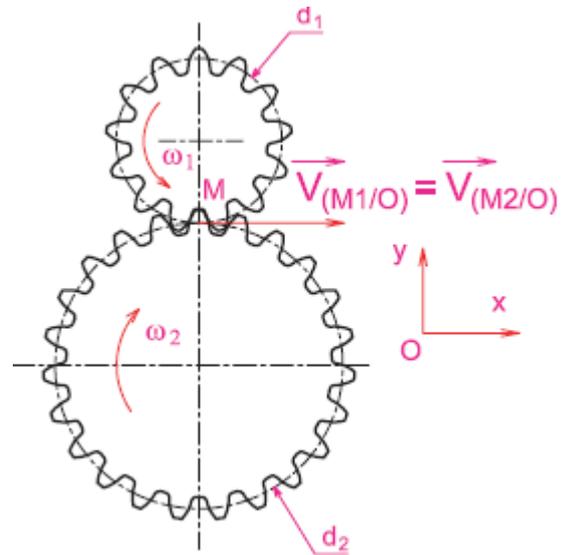
$Z_1$  : Nombre de dents de la roue (1)

$Z_2$  : Nombre de dents de la roue (2)

Non glissement au point (M) :

$$\|V_{(M1/O)}\| = \|V_{(M2/O)}\|$$

$$\omega_1 \cdot \frac{d_1}{2} = \omega_2 \cdot \frac{d_2}{2} \quad r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$



$\omega$ : Vitesse angulaire exprimée en rd/s

$N$  : Vitesse de rotation exprimée en tr/min

avec  $\omega = \frac{2\pi N}{60} \Rightarrow r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$

### 4-4 Efforts sur les dentures – Couple transmis :

L'effort  $F$  normal à la dent ( Action de la roue menant sur la roue menée) étant incliné de l'angle de pression  $\alpha$  ( $20^\circ$  en général), on considère les deux projections de  $F$  suivant:

– la tangente commune aux cercles primitifs : **T**

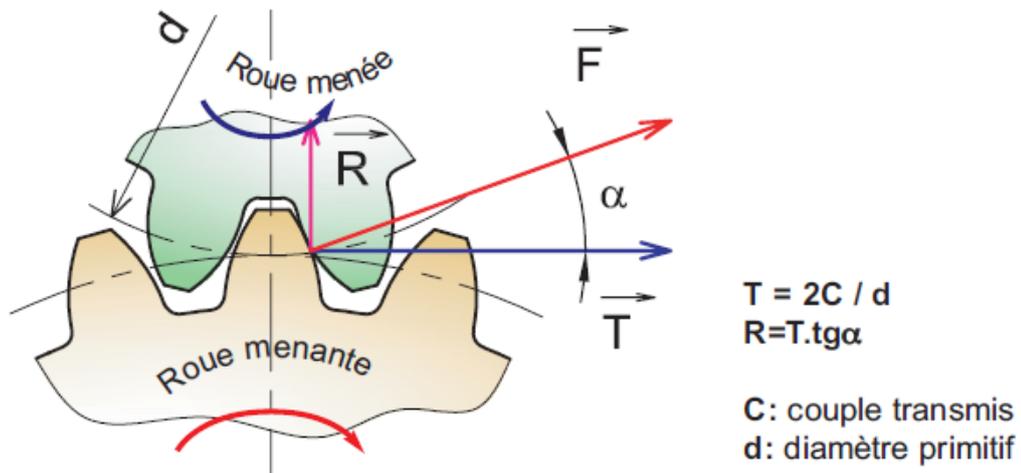
(effort tangentiel qui détermine le couple transmis).

– la normale commune aux cercles primitifs (radiale) : **R**

(effort radial qui détermine un effort sur les paliers et contrainte de flexion dans les arbres).

Les relations sont données sur la figure ci-dessous.

L'effort  $T$  est celui utilisé pour le calcul du module  $m$ .



#### 4- 5 Inconvénient de ce type d'engrenage :

Durant l'engrènement, les dents en prise fléchissent, de plus leur nombre varie (2 à 3 dents), ce qui engendre du bruit et des vibrations.

#### 2- 5 Matériaux utilisés:

Fonte a graphite sphéroïdal : Roues de grandes dimensions.

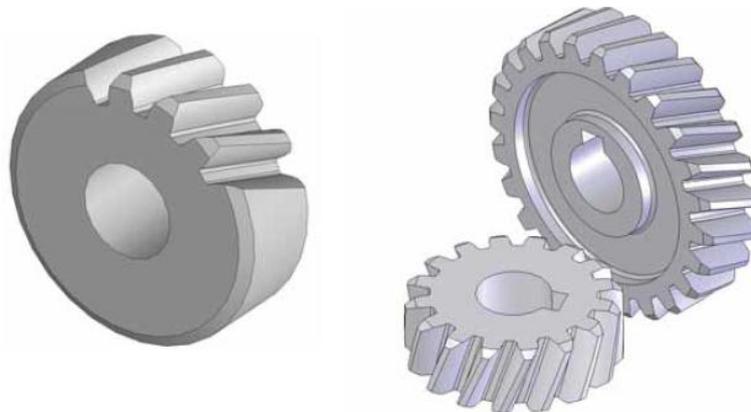
Aciers ordinaires type C : Engrenages peu charges.

Aciers au nickel-chrome : Engrenages fortement charges.

Matières plastiques (Nylon, Téflon...) : Faible puissances.

#### **5 - Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale**

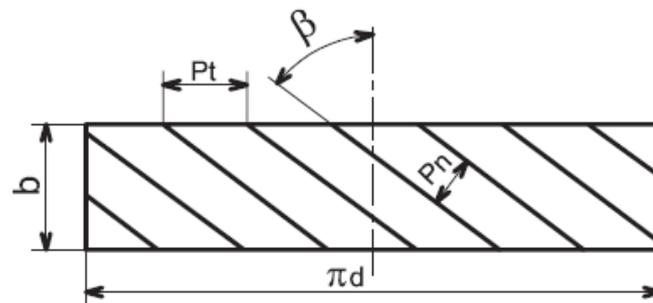
La génératrice de forme des dents est une ligne hélicoïdale de même axe que l'axe de rotation.



#### **5-1 Dimensions :**

Les dimensions d'une roue a denture hélicoïdale sont déterminées a partir :

- du module normalise, appelé ici module normal (ou réel) et désigne par **mn**,  
(Calcule par la R.d.M.)
- du nombre de dents **Z**.
- de l'angle d'inclinaison de l'hélice **β**.



La relation entre le pas normal  $P_n$  et le pas tangentiel  $P_t$  (ou pas apparent) permet de définir un module tangentiel (ou apparent)  $m_t$ .

Les dimensions de la roue dépendent alors de ce module tangentiel.

Relations:  $P_n = P_t \cdot \cos \beta$  ;  $m_n = m_t \cdot \cos \beta$  ;  $d = m_t \cdot Z$

On constate que le diamètre primitif varie avec l'angle d'hélice  $\beta$ , il en est de même pour les diamètres de tête et de pied.

### 5-2 Rapport de vitesses :

Le rapport d'une transmission assurée par deux roues cylindriques à denture hélicoïdale est le même que celui d'une transmission assurée par deux roues à denture droite.

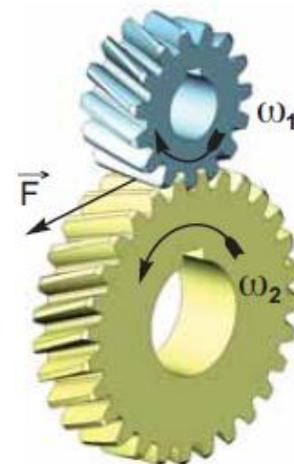
$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

### 5-3 Conditions d'engrènement :

L'engrènement entre deux roues est possible

si :

- elles ont le même module réel et le même angle d'inclinaison de l'hélice ( $\beta$ ).
- les sens d'hélices sont inverses.



### 5-4 Efforts:

La composante normale a la denture donne trois types d'efforts :

- Effort tangentiel  $\vec{T}$  est souvent déterminé à partir du couple :

$$T = 2C / d$$

- Effort radial  $\vec{R}$ , détermine par la relation:

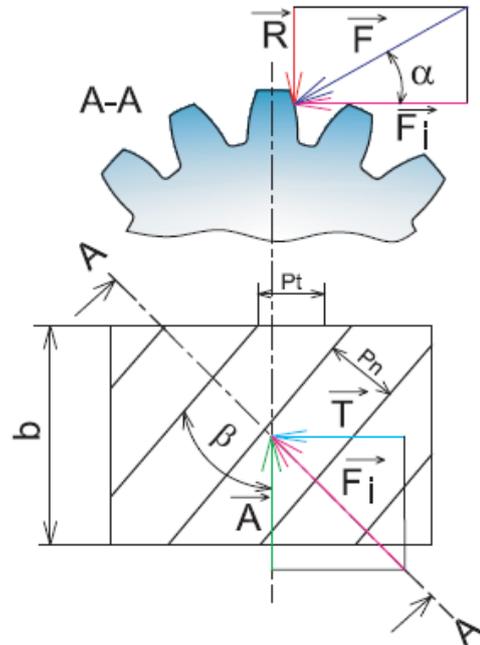
$$R = (T / \cos \beta) \tan(\alpha)$$

- Effort axial A, détermine par la relation:

$$A = T \tan \beta$$

$\vec{F}$  : Effort normal a la denture du a l'engrènement

$\vec{F}_i$ : Résultante de l'effort tangentiel  $\vec{T}$  et l'effort axial  $\vec{A}$ .



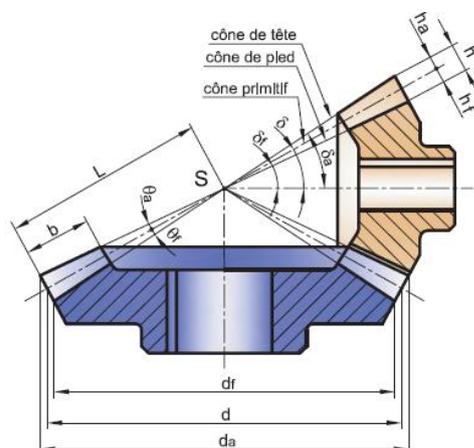
### 5-5 Avantage et inconvénient :

Ce type de denture présente l'avantage d'être plus silencieux que de la denture droite. En contrepartie il engendre un effort axial dont l'intensité dépend de la valeur de l'angle d'inclinaison de l'hélice ( $\beta$ ) ce qui nécessite l'utilisation de palier de butée pouvant encaisser ce type d'efforts.

### 6 - Engrenages concourants :

Les roues assurant la transmission entre deux arbres concourants sont coniques.

L'étude qui suit porte plus particulièrement sur les dentures droites.



### 6-1 Rapport de vitesses :

- $N_1$  et  $N_2$  sont les vitesses respectives des roues coniques (1) et (2).
- $Z_1$  et  $Z_2$  sont les nombre de dents respectifs des roues coniques (1) et (2).

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

### 6-2 Conditions d'engrènement :

Deux roues coniques n'engrènent correctement que si les modules sont égaux et si les cônes primitifs on a la fois une génératrice commune et leurs sommets confondus.

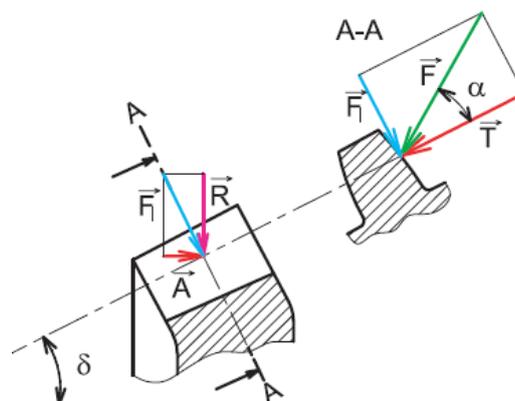
### 6-3 Efforts sur la denture :

L'effort normal a la denture ( $\vec{F}$ ) donne ici trois efforts en projection sur les trois directions principales de la roue dentée (tangentielle, axial et radial). Si  $T$  est l'effort tangentielle déterminé à partir du couple, les relations s'écrivent:

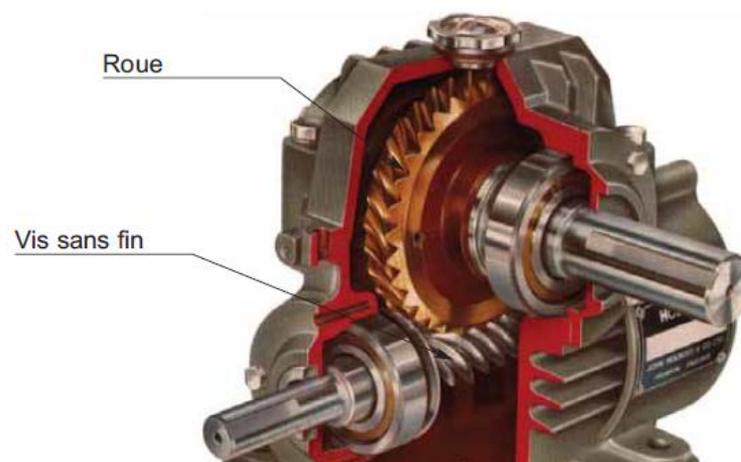
$$T = 2C / d$$

$$A = T \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta$$

$$R = T \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \delta$$



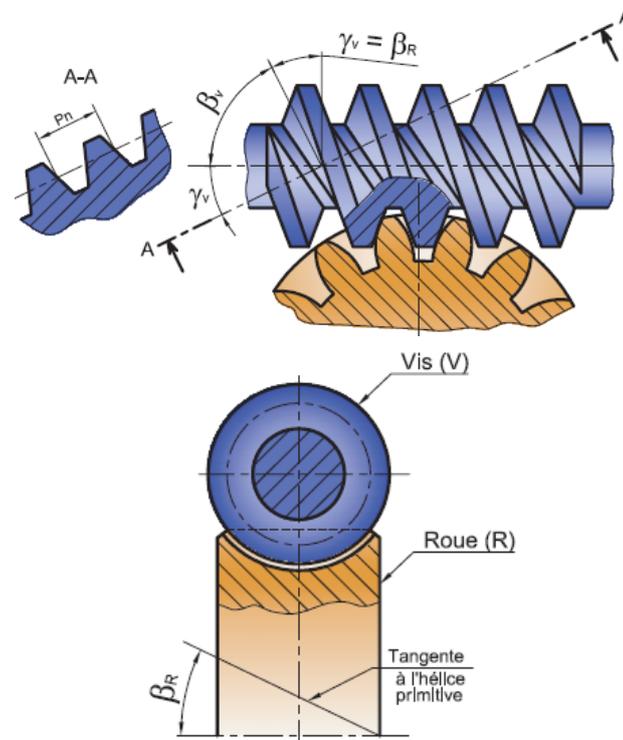
### 7 -Transmission par engrenages à roue et vis sans fin:



### 7-1 Principe :

La transmission est réalisée à l'aide d'une vis à un ou plusieurs filets et une roue à denture hélicoïdale. C'est un cas particulier des engrenages gauches hélicoïdaux.

Pour engrener ensemble, la roue et la vis doivent avoir leurs hélices de même sens.



$\beta_v$  = angle d'hélice de la vis.

$\beta_R$  = angle d'hélice de la roue.

$\beta_v + \beta_R = 90^\circ$

### 7-2 Rapport de vitesses :

–  $N_1$  et  $N_2$  sont les vitesses respectives de la vis et de la roue.

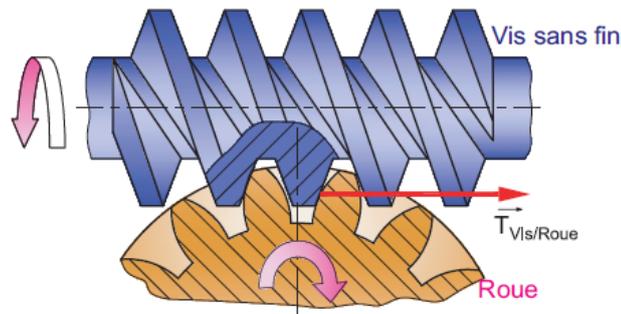
–  $Z_1$  : nombre de filets de la vis.

–  $Z_2$  : nombre de dents de la roue.

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

### 7-3 Efforts :

En examinant la figure ci-dessous, on constate que l'effort tangentiel sur la roue est transmis comme un effort axial sur la vis.



#### **7-4 Avantages et inconvénients :**

- Ce mécanisme permet d’obtenir un grand rapport de réduction avec seulement deux roues dentées (1/200).
- Les systèmes roue-vis sans fin sont presque toujours irréversibles d’où sécurité.
- L’engrènement se fait avec beaucoup de glissement entre les dentures, donc usure et rendement faible (60%).
- La vis supporte un effort axial important.

#### **8- Transmission par un train d’engrenages.**

##### **8-1 Transmission par un train simple.**

Un train d’engrenage est un ensemble de plusieurs engrenages qui transmettent un mouvement de rotation avec un rapport de vitesse désire.

On distingue deux types de trains d’engrenages :

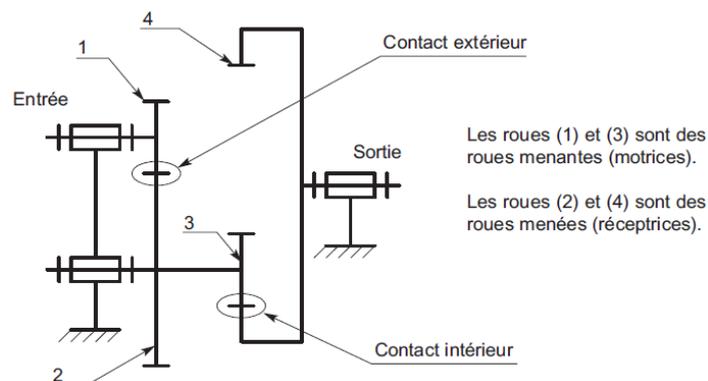
- Les trains simples.
- Les trains épicycloïdaux (ne font pas l’objet de l’études).

##### **a- Définition et terminologie.**

Un train d’engrenage est dit simple quand les axes des différentes roues occupent une position invariable par rapport au bâti.

Contact extérieur : Contact entre deux roues a denture extérieure.

Contact intérieur : contact entre une roue a denture extérieure et une roue a denture intérieure (couronne).

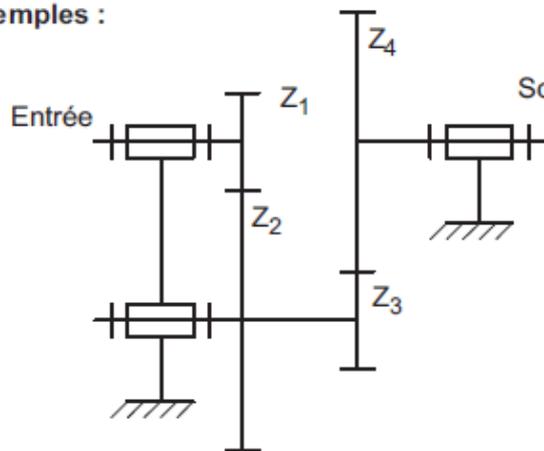


**b-Rapport de transmission.**

Le rapport de la transmission assurée par un train d'engrenages est le quotient de la vitesse de sortie ( $N_s$ ) par la vitesse d'entrée ( $N_e$ ).

Remarque :  $(-1)^n$  est valable quand tous les axes des roues dentées sont parallèles.

**Exemples :**

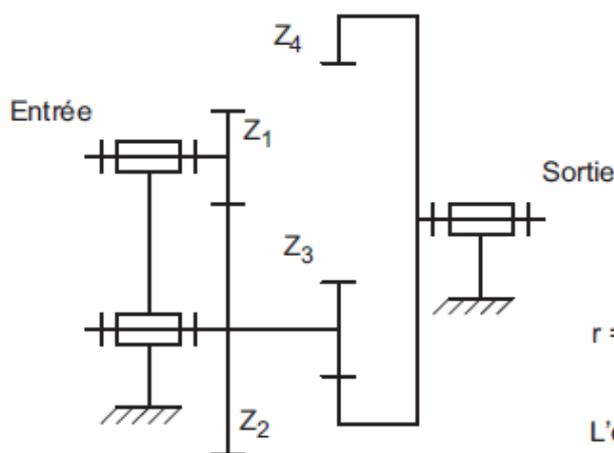
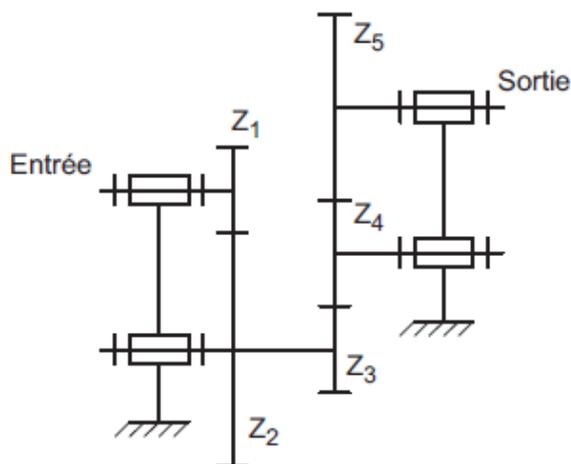


$$r = (-1)^2 \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

L'entrée et la sortie tournent dans le même sens.

$$r = (-1)^3 \frac{Z_1 \cdot Z_3 \cdot Z_4}{Z_2 \cdot Z_4 \cdot Z_5} = - \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_5}$$

L'entrée et la sortie tournent en sens inverses.



$$r = (-1)^1 \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = - \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

L'entrée et la sortie tournent en sens inverses.

**Transmission par Courroies**

### Fonction :

Transmettre un mouvement de rotation par adhérence entre deux arbres éloignés.



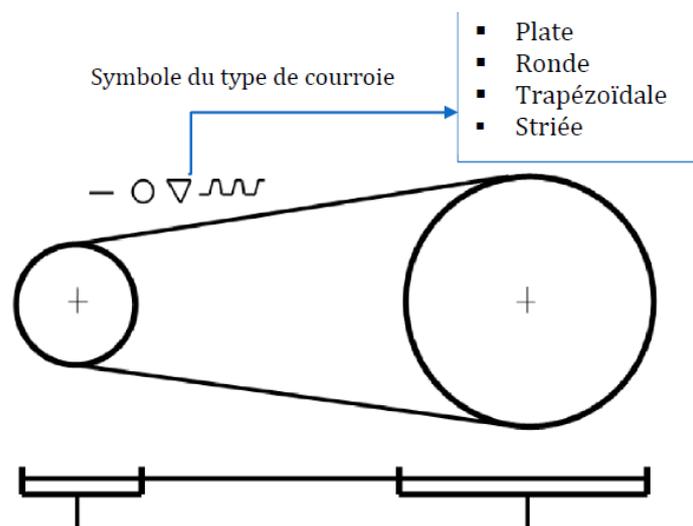
### Avantage :

- ✓ Transmission silencieuse
- ✓ Grande vitesse
- ✓ Grand entraxe possible entre les poulies

### Inconvénients

- ✓ Durée de vie limitée
- ✓ Couple transmissible faible.

### Schéma cinématique



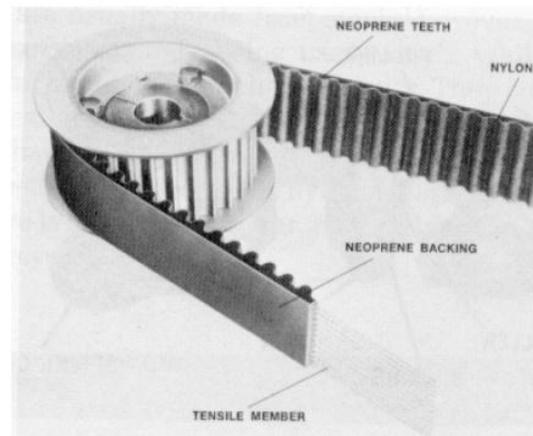
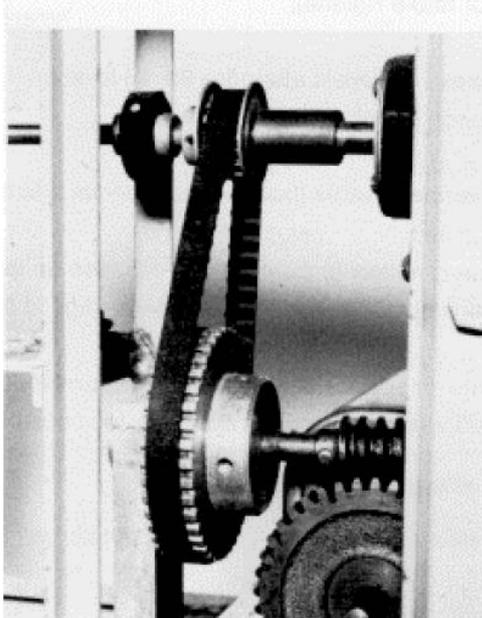
## Type de courroies :

### 1) Courroies Plates :



- Très silencieuses
- Transmission de vitesses élevées. (60 à 100 m/s)
- Le maintien en place de la courroie est assuré par forme bombée de la poulie ou par flasque latérale.

### 2- Courroies crantées (timing belts, grip belts)



- Vitesse allant jusqu'à 80 m/s
- Puissance allant jusqu'à 200
- Rapport de vitesse constant

## Matériaux des courroies :

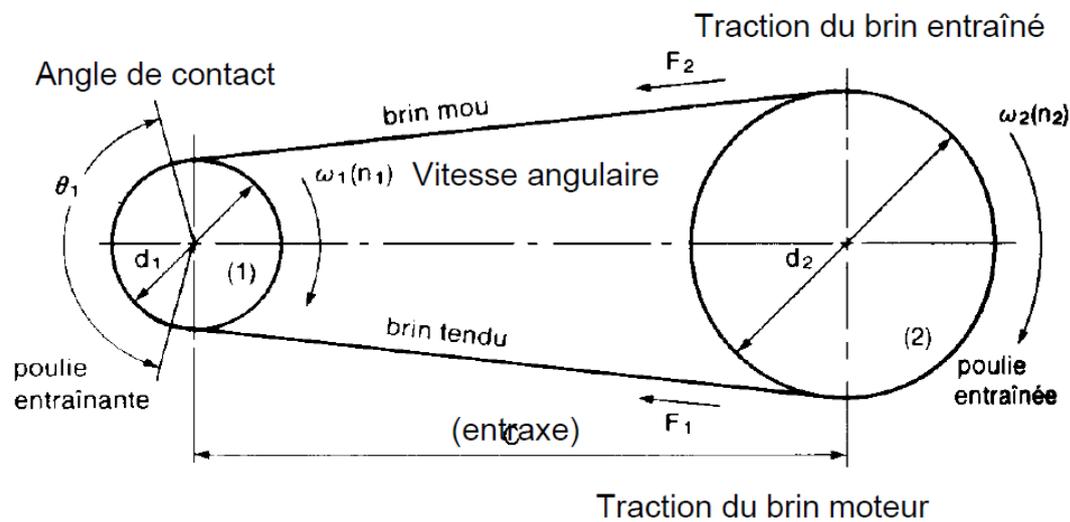
- **CUIR** (auparavant) : cuir-perlon, cuir-nylon ou cuir-reslan (petite et moyenne vitesse).
- **TISSUS CAOUTCHOUTÉS** (disponible en rouleaux) :
  - fibres de coton, nylon ou autres fibres imprégnées de caoutchouc
  - reliées par un joint (chauffé et meulé) après coupure.

- **CAOUTCHOUCS OU ÉLASTOMÈRES RENFORCÉS** : - fibres de verre, acier, nylon, ( $P= 30kW /cm$ ,  $V=20m/s$ ).

### Problèmes reliés à l'emploi des courroies :

- **Patinage** de la courroie au démarrage  
(en cas de tension insuffisante)
- **Décollage** de la courroie à une certaine vitesse  
(dû à la force centrifuge)
- **Vibrations** dues à une vitesse excessive ou à une mauvaise configuration géométrique
- **Usure** (fatigue + rupture).

### Géométrie des courroies (nomenclature) :



### Paramètres géométriques des courroies :

$V$  : vitesse de la courroie [ $m/s$ ]

$n$  : vitesse de rotation [ $tours/min$ ]

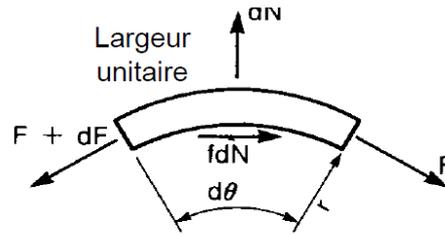
$b$  : largeur

$e$  : épaisseur

**Rapport de vitesse :**

$$R_v = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

**Tension dans la courroie :**



Équilibre de forces verticales :

$$(F + dF) \sin \frac{d\theta}{2} + F \sin \frac{d\theta}{2} = dN \quad \Rightarrow \quad dN \approx F d\theta$$

Équilibre de forces horizontales :

$$(F + dF) \cos \frac{d\theta}{2} - F \cos \frac{d\theta}{2} = fdN \quad \Rightarrow \quad dF \approx f dN$$

$$dF \approx f F d\theta$$

$$\frac{dF}{F} = f d\theta \qquad \int_{F_1}^{F_2} \frac{dF}{F} = \int_0^\theta f d\theta$$

$$\ln \frac{F_1}{F_2} = f \theta \qquad \frac{F_1}{F_2} = e^{f \theta}$$

$e = 2,718$       **Relation d'Euler**

**Force centrifuge (par unité de longueur de courroie) :**

$$F_c = \rho_1 v^2$$

$\rho_1$  : masse linéique par unité de longueur de courroie  
(kg/m, lb/pi)

$v = r \omega$  ;  $r$  : rayon de la poulie,  $\omega$  : vitesse de rotation

- Masse d'un élément différentiel de courroie :
 
$$dm = \rho_1 r d\theta$$
- Force centrifuge élémentaire pour un angle d'enroulement  $d\theta$  :
 
$$dF_c = dm r \omega^2 = \rho_1 r^2 \omega^2 d\theta = \rho_1 v^2 d\theta$$

Durée de vie d'une courroie :

$$\text{Durée de vie} = C \frac{d^{5,4} \times L}{v^{0,5} \times t^{6,3} \times F_1^{4,2}}$$

C : constante

d : diamètre de la poulie

L : longueur de la courroie

v : vitesse

t : épaisseur de la courroie

F<sub>1</sub> : force de tension