

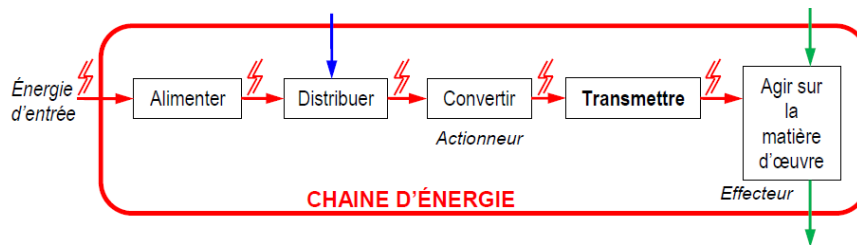
Transmission de puissance

- Généralités-

Objectifs : Analyser une solution de transmission de puissance

I. Introduction

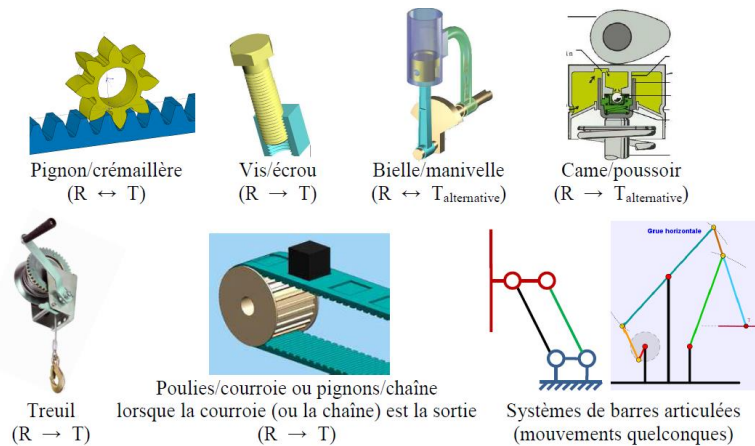
Les systèmes de transmission de puissance mécanique sont situés, sur la chaîne d'énergie, entre l'actionneur et l'effecteur.



Sans changer le type d'énergie (mécanique pour la plupart des systèmes étudiés en CPGE), les systèmes de transmission de puissance l'adaptent pour qu'elle soit utilisable par l'effecteur.

Les systèmes de transmission de puissance mécanique les plus courants sont :

- **Les transformateurs de mouvement** (transforment la nature du mouvement) :



- **Les adaptateurs de mouvement sans transformation** (même nature du mouvement E/S) : engrenage, poulie-courroie



- **Les accouplement (ou joint de transmission), embrayage et frein :**

- o Accouplement : permet l'entraînement d'un système par un autre (dont les axes peuvent être non alignés) ;
- o Embrayage : accouplement temporaire ;
- o Frein : embrayage dont l'un des deux systèmes est le bâti.

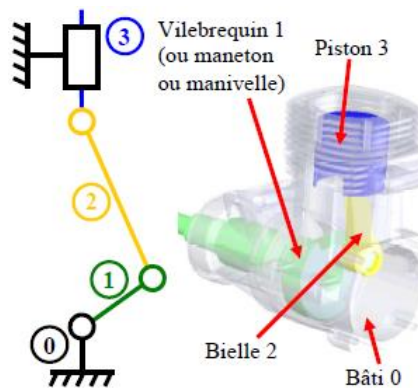


- **Les limiteur, régulateur, boîte de vitesse et variateur mécaniques**

- Un limiteur délivre une vitesse ou un couple en sortie ne pouvant pas dépasser une valeur max.
- Un régulateur délivre une vitesse de sortie constante (même si l'entrée varie).
- Une boîte de vitesse permet d'obtenir des rapports de transmissions différents.
- Un variateur est une boîte de vitesses continue (variation continue du rapport de transmission).

II. Les transformateurs de mouvements

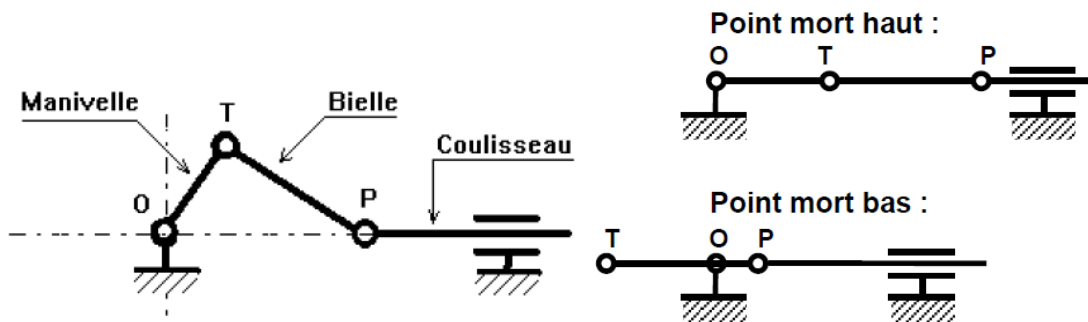
A. Bielle-Manivelle



◆ *Fonctionnement* : La manivelle (ou vilebrequin, ou arbre à excentrique) est en liaison pivot avec le bâti, la bielle transmet le mouvement (mouvement plan), et le coulisseau, en liaison glissante ou pivot glissant avec le bâti, se translate de façon alternative. Deux points morts existent :

- Point mort haut : position la plus éloignée entre le coulisseau et l'axe de rotation de la manivelle ;
- Point mort bas : position du coulisseau opposée au point mort haut.

La course du coulisseau vaut 2 fois l'excentrique [OT] de la manivelle.



◆ *Relation des vitesses* : Si la vitesse de rotation de la manivelle est constante (uniforme), alors la vitesse du coulisseau varie de façon sinusoïdale, avec 2 instants de vitesse nulle et de changement de sens (les deux points morts).

◆ *Rendement* : $\approx 40\%$ sans roulements (varie beaucoup selon les matériaux employés).

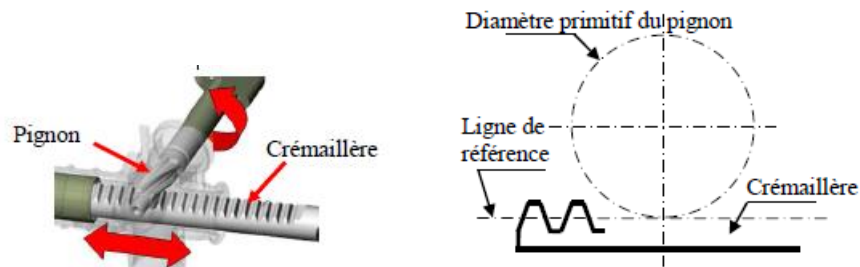
◆ *Réversibilité* : Réversible sous conditions.

La manivelle en entrée fonctionne toujours.

Le coulisseau en entrée ne fonctionne que si l'on parvient à franchir les points morts (d'où l'utilisation d'un démarreur pour les moteurs thermiques, et de masses d'équilibrage qui facilitent le franchissement des points morts une fois le système lancé, grâce à l'inertie en rotation de la manivelle).

◆ *Exemples d'utilisations industrielles* : Les moteurs thermiques utilisent ce système avec le coulisseau (piston) en entrée. Certaines pompes utilisent ce système avec la manivelle en entrée (le piston sert alors à comprimer l'air dans la chambre du cylindre).

B. Pignon-Crémaillère



◆ *Fonctionnement* : La crémaillère est en liaison glissière avec le bâti et le pignon est en liaison pivot avec le bâti. Pignon et crémaillère engrènent au point d'intersection du diamètre primitif du pignon et de la ligne de référence de la crémaillère.

◆ *Relation des vitesses* : $V_{\text{CREMAILLÈRE}} = R_p \cdot \omega_{\text{PIGNON}}$ avec $R_p = d_p/2$ et $d_p = m \cdot Z$

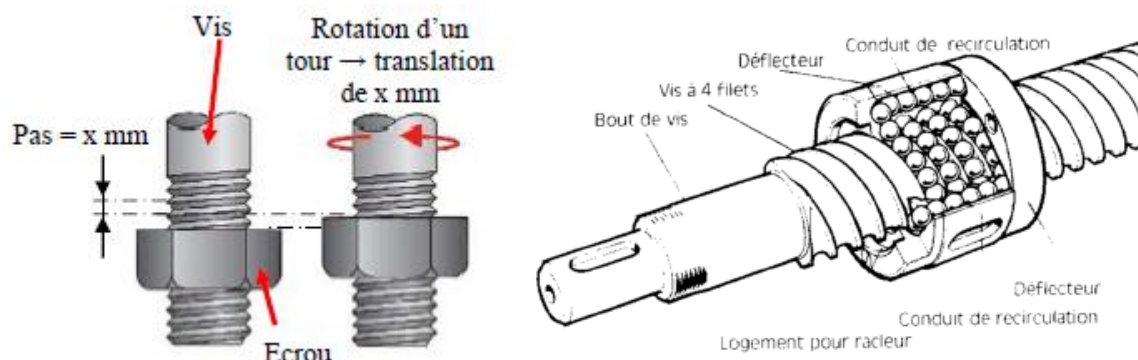
(d_p : diamètre primitif du pignon ; m : module du pignon ; Z : nombre de dents du pignon)

◆ *Rendement* : $\approx 98\%$.

◆ *Réversibilité* : Toujours réversible.

◆ *Exemples d'utilisations industrielles* : portes de TGV, portes de garage, directions de voiture

C. Vis-écrou (contact glissant ou éléments roulants)



◆ **Fonctionnement** : La vis et l'écrou sont en liaison hélicoïdale. L'une des deux pièces est en liaison pivot avec le bâti (rotation), l'autre en liaison glissière (translation rectiligne).

◆ **Relation des vitesses** : Le pas de vis p_v (en mm) signifie que lorsque la vis tourne d'un tour, l'écrou se translate de p_v mm.

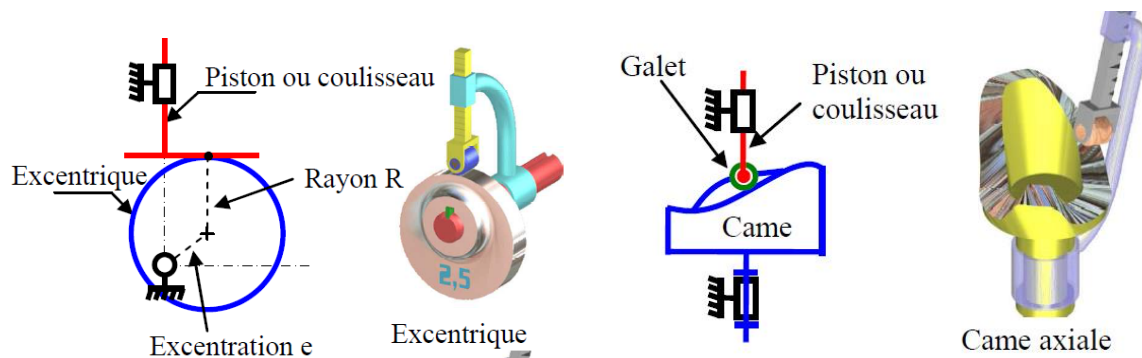
On a donc la relation : $V = \pm \omega p_v / 2\pi$ (V en m/s ; p_v en m ; le signe + est pour un pas de vis à droite)

◆ **Rendement** : $\approx 50\%$ pour les contacts directs ; mais jusqu'à 97% pour les vis à billes.

◆ **Réversibilité** : Réversible sous conditions. La vis en entrée fonctionne toujours.

L'écrou en entrée fonctionne uniquement si l'angle d'hélice de la vis β est supérieur au demi-angle au sommet du cône de frottement ϕ ($f = \tan(\phi)$).

D. Câme ou excentrique



◆ **Fonctionnement** : La came ou excentrique est en liaison pivot avec le bâti et le coulisseau est en liaison glissière ou pivot glissant avec le bâti. Le contact entre la came et le coulisseau peut être un point ou une ligne courte. Afin de réduire beaucoup les frottements entre la came et le coulisseau, on peut utiliser un galet au bout du coulisseau. Le profil de came est la courbe le long de laquelle le coulisseau appuie. C'est elle qui définit le déplacement du coulisseau selon la position angulaire de la came. Un profil de came peut aussi être intérieur (sillon creusé dans une pièce motrice). Pour un excentrique, c'est la valeur de l'excentration qui définit le déplacement du coulisseau.



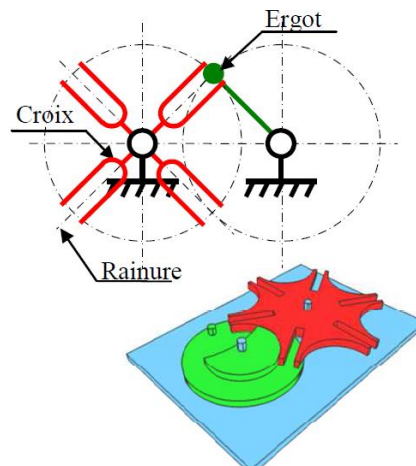
◆ **Relation des vitesses** : La relation des vitesses dépend du profil de came. Une partie du mouvement de la came peut ne pas entraîner de mouvement du coulisseau.

◆ **Rendement** : $\approx 35\%$ sans galets (varie beaucoup selon les matériaux employés).

◆ **Réversibilité** : Irréversible pour un profil extérieur. Peut être en partie réversible, sous conditions, pour un profil intérieur.

◆ **Exemples d'utilisations industrielles** : pompes hydrauliques, arbres à cames ...

E. Croix de Malte



◆ *Fonctionnement* : A chaque tour de l'arbre d'entrée (avec ergot) la croix de malte tourne d'un quart de tour. Pendant les 3/4 du mouvement d'entrée, la croix ne bouge pas.

◆ *Réversibilité* : Irréversible.

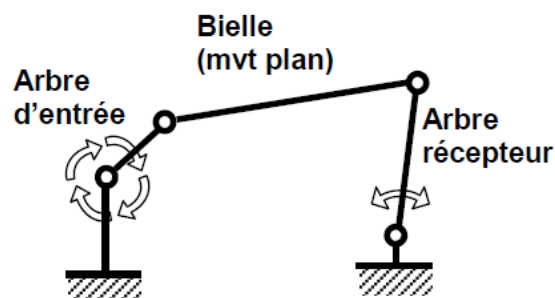
◆ *Exemples d'utilisations industrielles* : plateau de machine de transfert, indexage...

F. Double excentrique

◆ *Fonctionnement* : L'arbre d'entrée tourne en continu tandis que l'arbre récepteur tourne en alternant de sens.

G. Barres articulées

◆ *Fonctionnement* : Parallélogramme déformable



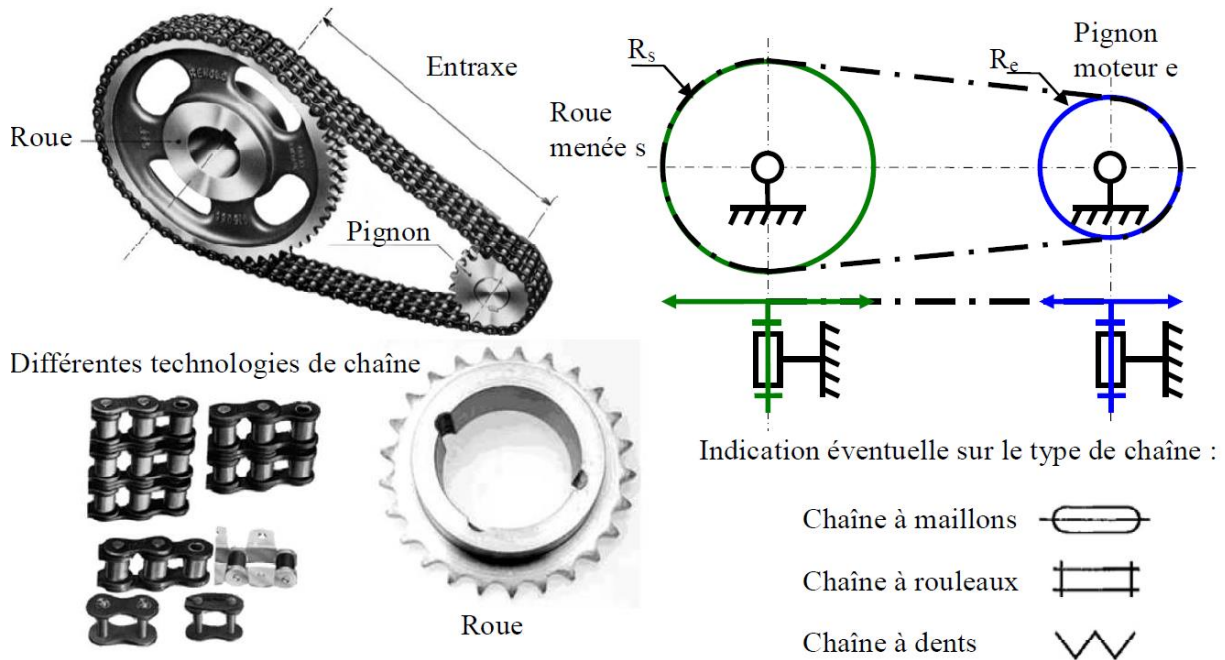
III. Les adaptateurs de mouvement sans transformation

A. Les engrenages

Voir cours de BE du mardi matin sur les trains simples et épicycloïdaux.

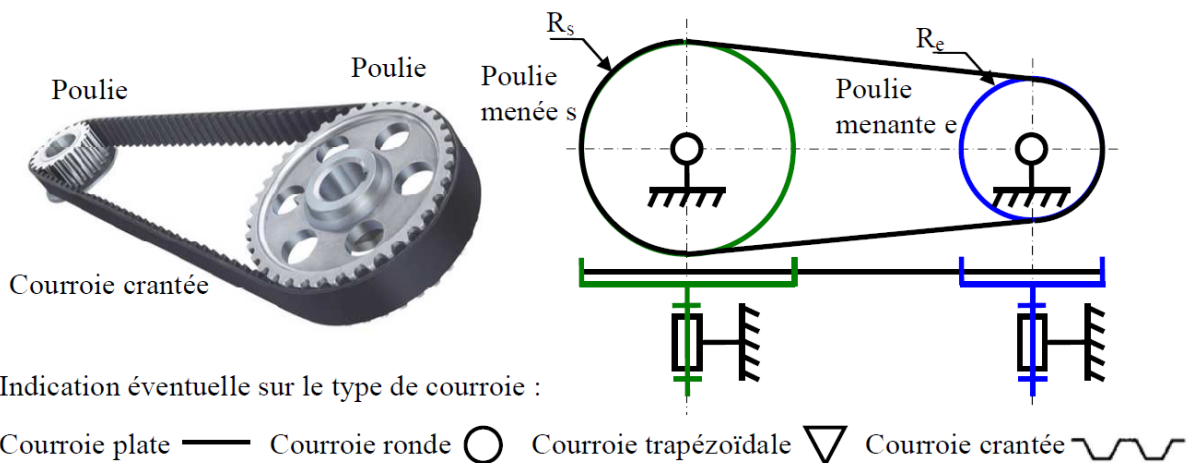
B. Le système pignon-chaîne

Comme pour les engrenages, la transmission de puissance se fait par obstacle.



C. Le système poulie-courroie

La transmission se fait ici par l'intermédiaire de l'adhérence entre la poulie et la courroie.

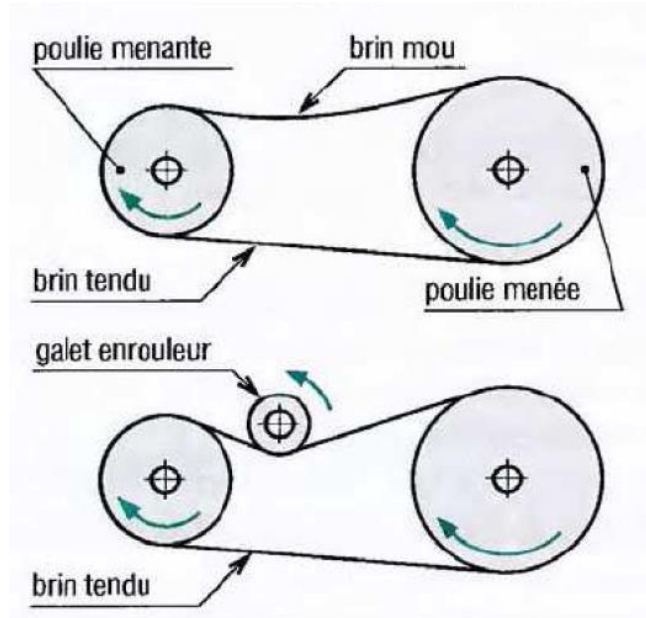


L'intérêt d'une courroie trapézoïdale par rapport à une courroie plate est que le couple transmissible est plus important à tension de pose identique, et que les efforts radiaux sur l'arbre sont moindres à couple transmis identique.

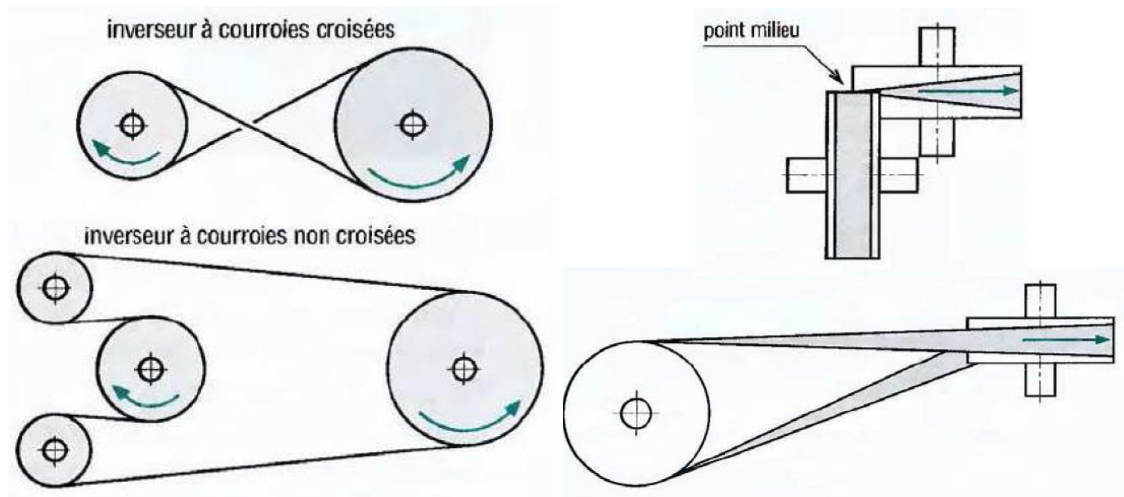
La transmission de puissance par courroie synchrone (ou crantée), associée à des poulies dentées, permet d'éviter le glissement. On les utilise par exemple pour les courroies de distribution d'automobiles ou pour les systèmes asservis en position où un positionnement précis est nécessaire. L'entraînement ne se fait plus par adhérence, mais par obstacle, comme dans le cas des engrenages. Le dimensionnement de la transmission est essentiellement basé sur la capacité de la courroie à supporter l'effort de traction.

Une courroie crantée trapézoïdale n'est pas une courroie synchrone. Les « crans » sont uniquement là pour faciliter l'enroulement de la courroie autour de la poulie.

La valeur de la tension de pose est souvent contrôlée par la mesure de la flèche du brin rectiligne, sous un effort normal F , appliqué en son milieu. L'usure et le vieillissement de la courroie entraînent une diminution progressive de la tension de pose. C'est pourquoi, un système d'entraxe réglable ou un dispositif annexe de tension (galet enrouleur,...) est souvent nécessaire. Cela permet de régler la tension initiale indispensable à l'adhérence et à la transmission de mouvement et cela permet de compenser l'allongement de la courroie au cours du temps.



Règle : quand une courroie quitte une poulie, elle doit se trouver dans le plan médian de la poulie réceptrice.



D. Comparatif

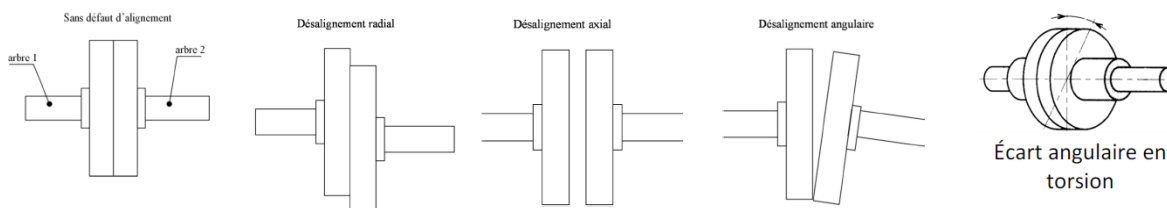
| Système de transmission | Avantages | Inconvénients |
|-------------------------|--|---|
| Poulie-Courroie | Variation d'entraxe possible Souplesse de transmission Limiteur de couple (glissement possible) Grande durée de vie Coût réduit $\eta > 95\%$ Silencieux | Conditions de travail (eau, poussière) Rapport de transmission variable... Encombrement Puissance limitée |
| Chaîne - Pignon | Puissances importantes Variation d'entraxe possible Synchronisme (obstacle) Conditions de travail rudes Coût inférieur aux engrenages $\eta > 98\%$ | Vibrations Nécessité de lubrification Nécessité d'un carter Bruit important $r > \frac{1}{8}$ |
| Engrenages | Puissance très élevée Durée de vie élevée Orientation des arbres quelconques Précision de la transmission $\eta > 98\%$ | Nécessité de lubrification Nécessité d'un carter Usinage soigneux et entraxe très précis Coût important $r > \frac{1}{7}$ |

IV. Les accouplements

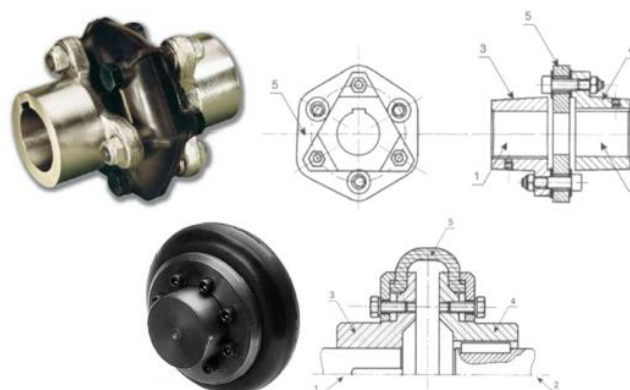
A. Accouplements rigides

Voir cours de BE du mardi matin sur les liaisons encastrement.

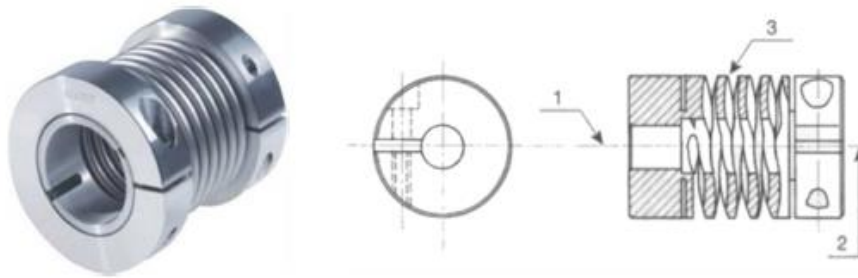
B. Accouplements entre arbres alignés



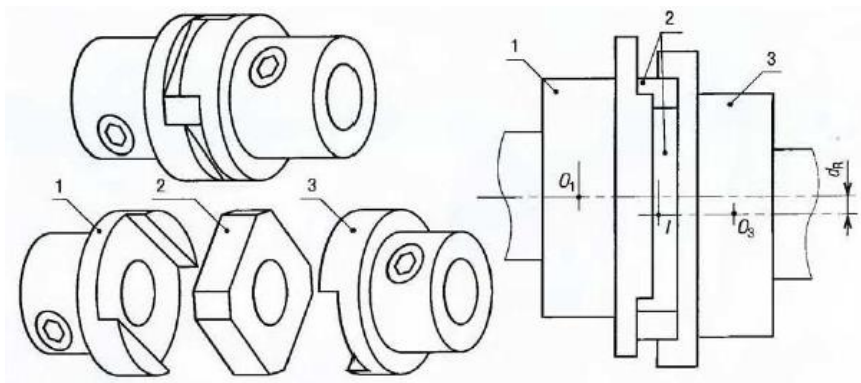
C. Accouplements élastiques



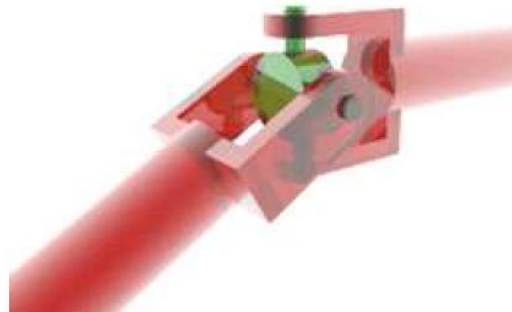
D. Accouplements flexibles



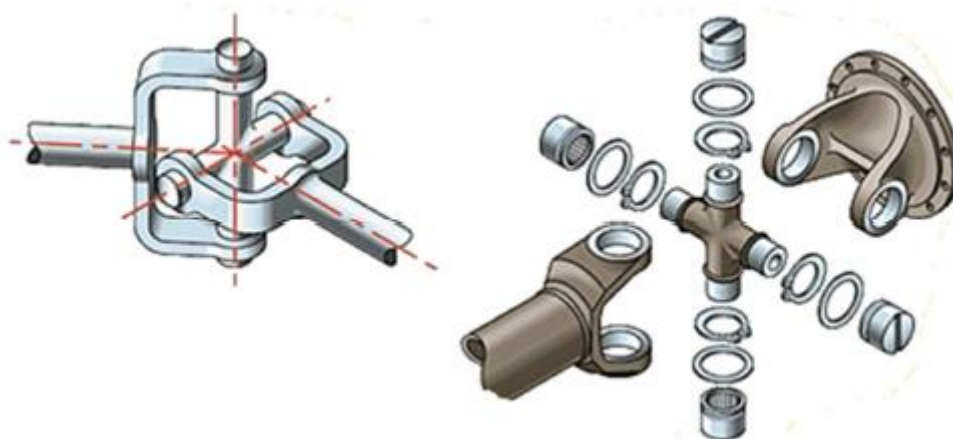
E. Joint de Oldham



F. Joint de cardan



La liaison sphérique à doigt est réalisée à l'aide de deux liaisons pivots d'axes orthogonaux, en série.

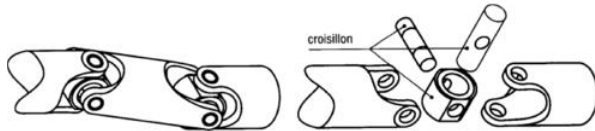


La relation entre angle de sortie et angle d'entree est : $\theta = \arctan (\cos\alpha \cdot \tan \theta)$.

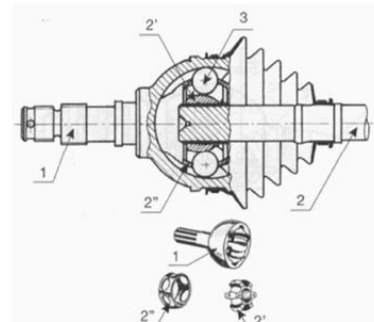
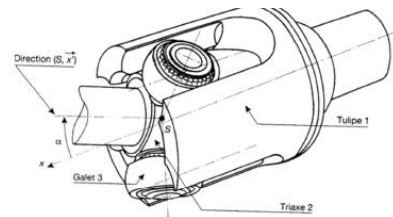
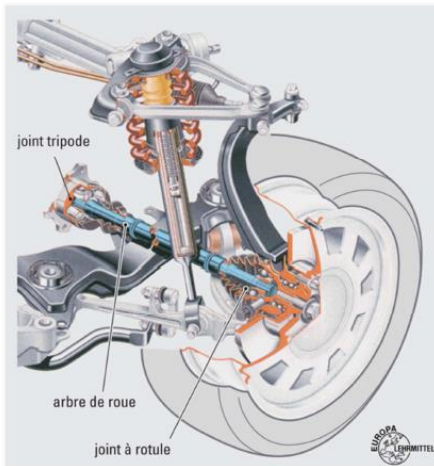
En pratique, l'angle de brisure (entre les arbres sécants) est au maximum de 40 degrés

Remarques :

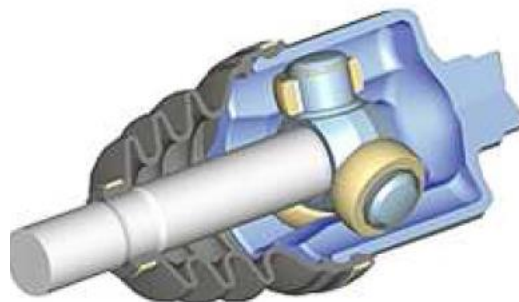
- On peut réaliser un joint d'accouplement homocinétique (la vitesse de rotation de sortie reste à tout instant égale à la vitesse de rotation d'entrée) avec deux cardans.



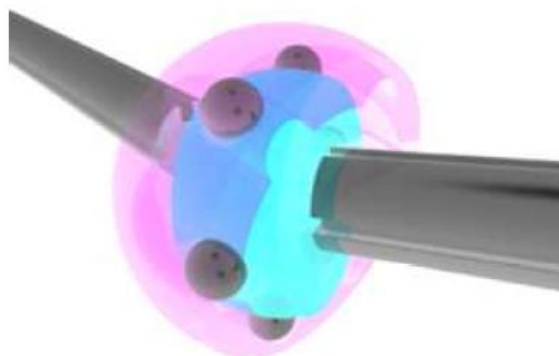
- Dans l'automobile, parlez d'un joint de cardan et un abus de langage, il s'agit en fait d'un joint tripode et Rzeppa qui sont associés.



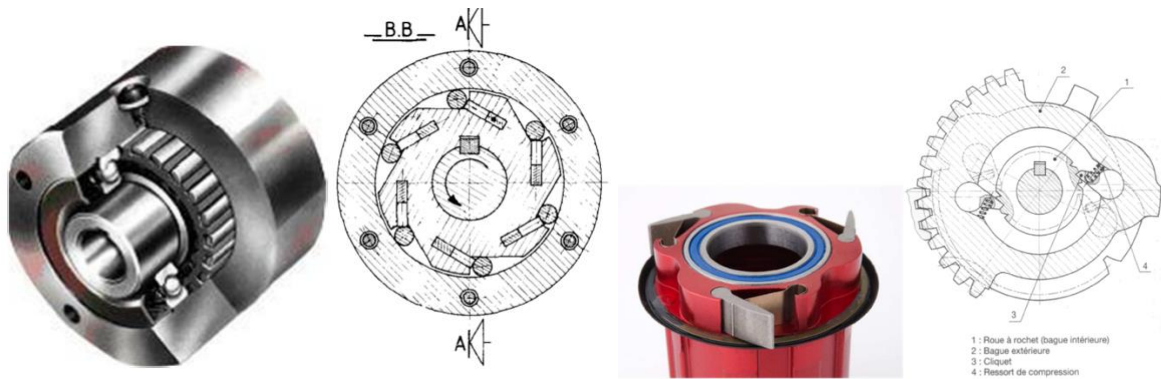
G. Joint tripode



H. Joint Rzeppa



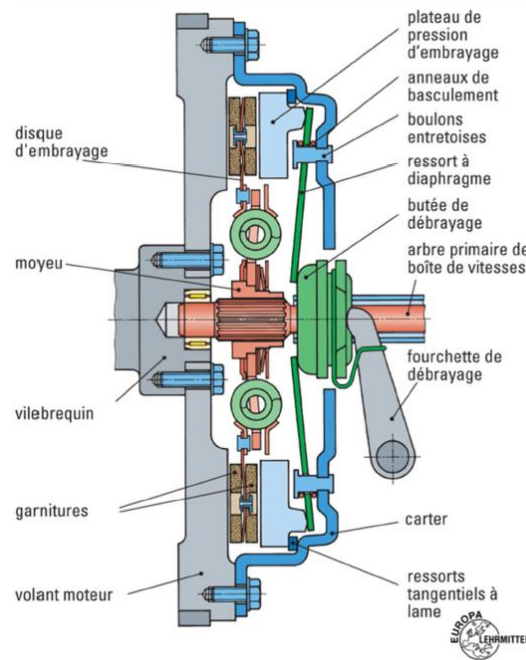
I. Roue libre et roue à cliquets



La roue libre permet de transmettre la puissance entre deux arbres, mais uniquement pour un sens de rotation. C'est une transmission unidirectionnelle.

J. Embrayage

L'embrayage est un mécanisme qui permet d'accoupler ou de séparer, progressivement ou non, les arbres respectivement solidaires du moteur et du récepteur.

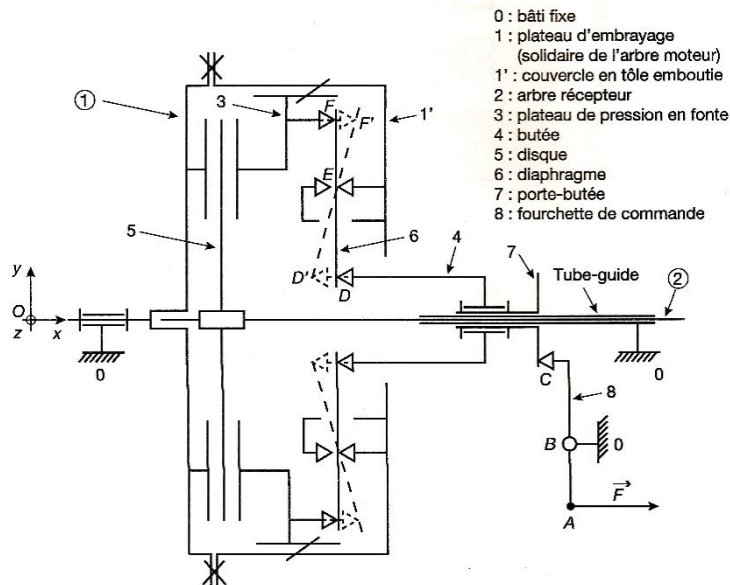


Le couple transmissible par un embrayage a disques est donné dans le cas d'une modélisation à pression de contact uniforme par :

$$C_f = \frac{2}{3} n N f \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2}$$

- n : nombre de surfaces frottantes ;
- N : effort presseur ;
- f : facteur de frottement ;
- r₂ : grand rayon du disque ;
- r₁ : petit rayon du disque

1. Principe d'un embrayage mono disque automobile



Le débrayage est commandé par la fourchette 8 actionnée en A (Câble, commande hydraulique...) qui entraîne grâce au contact en C, la translation de l'ensemble {4,7}. L'effort axial en D entre la butée 4 et le diaphragme 6 entraîne la déformation élastique de ce dernier autour du point E. Ainsi le plateau 3 libère le disque 5 *, lequel est en liaison glissière d'axe Ox sur l'arbre récepteur 2.

L'embrayage se fait par relâchement de l'effort en A et le retour du diaphragme dans sa position d'origine, lequel vient générer l'effort presseur sur le plateau 3.

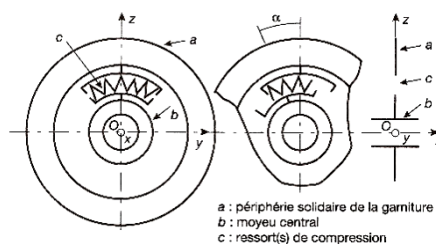
2. Nature des matériaux de friction

Le matériau de friction rapporté sur le disque (collé ou riveté) est un composite comprenant des fils spéciaux, tissés, agglomérés par des liants à forte résistance thermique et mécanique. Les principales qualités d'une garniture de friction sont :

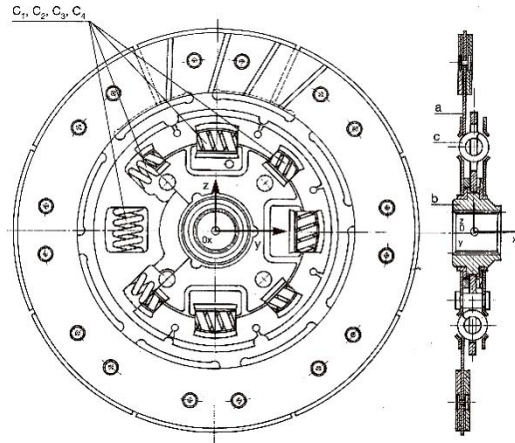
- Facteur de frottement (directement lié au couple transmissible)
- Résistance à l'usure (détermine la durée de vie)
- Constance des caractéristiques (quelque soit le degré d'usure)
- Résistance à l'effet de centrifugation
- Résistance à la chaleur

3. Amortissement et couple à transmettre

En général, le disque d'embrayage ne se limite pas à un simple plateau en tôle muni de garnitures. La liaison entre la périphérie du disque a solidaire de la garniture et le moyeu central b est le plus souvent élastique. Ainsi le disque d'embrayage assure un rôle d'amortisseur de couple. Il évite les effets oscillations de couple propres aux moteurs thermiques classiques.

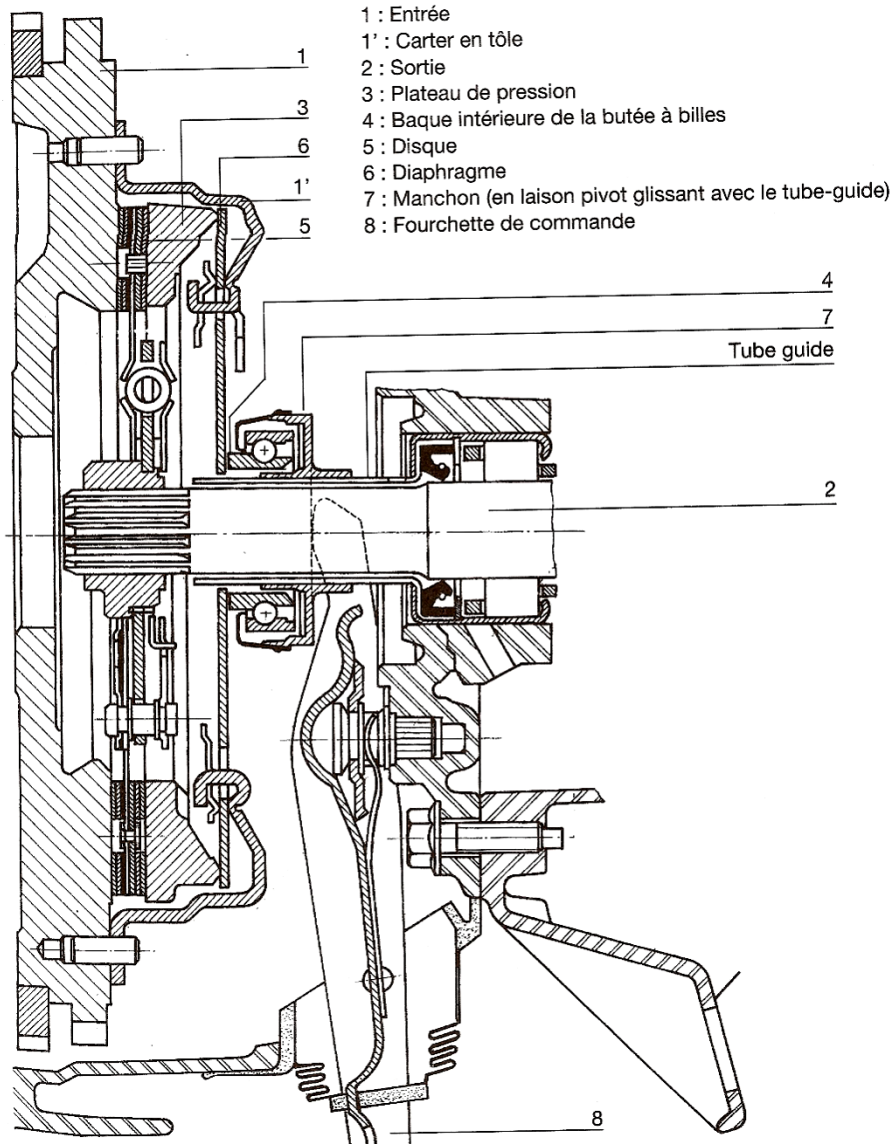


Des ressorts de compressions c assurent l'élasticité de la liaison pivot a/b (Débattement de l'ordre de 15°). Ils n'entrent pas tous en action simultanément et leurs raideurs sont judicieusement choisies différentes. Il est ainsi possible d'obtenir une courbe d'amortissement pour laquelle le débattement angulaire n'est pas proportionnel au couple transmis.

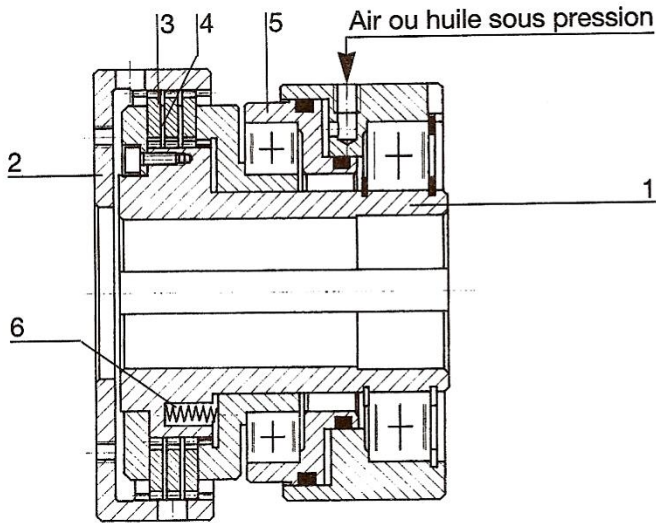


4. Exemples de réalisations

a- Embrayage mono disque à commande par câble, à diaphragme

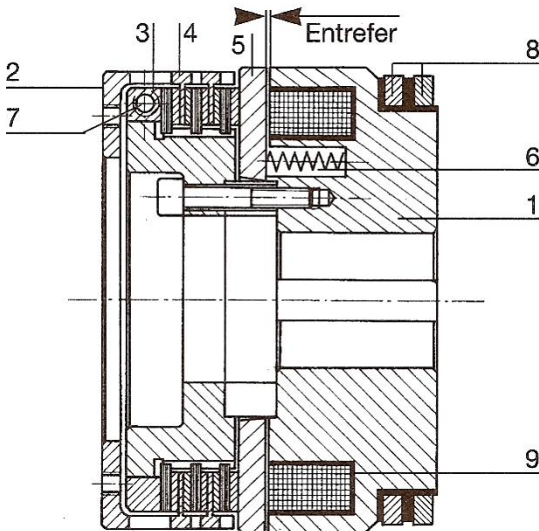


b- Embrayage multi disque à commande pneumatique ou hydraulique



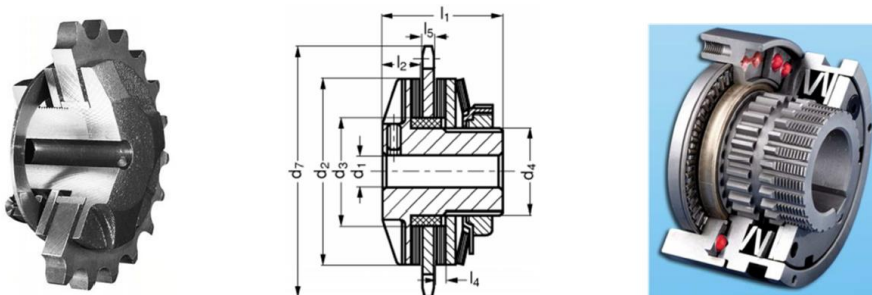
- 1 : Entrée (ou sortie) - Cloche
- 2 : Sortie (ou entrée) - Moyeu
- 3 : Disques en liaison glissière par rapport à la cloche 2
- 4 : Disques en liaison glissière par rapport au moyeu 1
- 5 : Piston assurant l'existence de l'effort presseur
- 6 : Ressorts de rappel

c- Embrayage multi disque à commande électromagnétique



- 1 : Entrée (ou sortie) - Moyeu
- 2 : Sortie (ou entrée) - Cloche
- 3 : Disques, en liaison glissière par rapport à l'ensemble contenant 1
- 4 : Disques, en liaison glissière par rapport à la cloche 2
- 5 : Poussoir
- 6 : Ressorts assurant l'existence de l'effort presseur
- 7 : Écrou freiné, permettant le réglage de l'entrefer
- 8 : Collecteur, recevant les balais assurant l'alimentation électrique de l'électro-aimant 9
- 9 : Electro-aimant

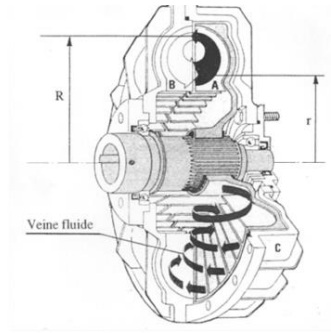
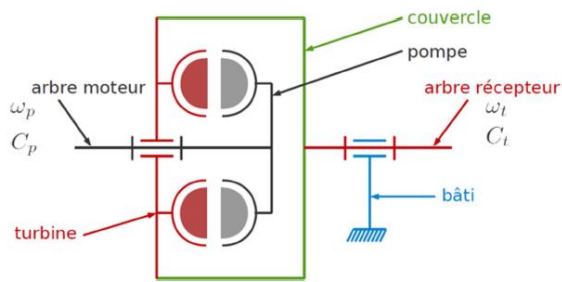
K. Limiteurs de couple



Ce sont des organes de sécurité. Ils permettent en cas d'efforts trop importants de désolidariser l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie.

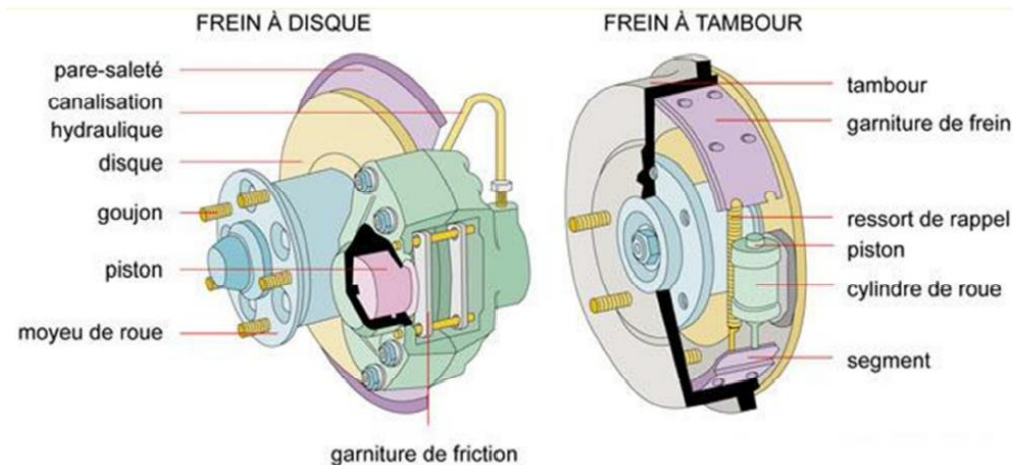
Les autres systèmes de régulation seront abordés en BE du mardi matin.

L. Couplage hydraulique



La transmission de l'énergie de l'arbre moteur vers l'arbre récepteur peut se faire par couplage hydraulique. Une roue à aubes « pompe » fournit l'énergie cinétique au fluide hydraulique. La roue à aubes « turbine » transforme cette énergie cinétique en énergie mécanique de rotation. Le couvercle assure l'étanchéité. Il n'y a pas de liaison mécanique entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie. Le coupleur filtre en partie les phénomènes vibratoires.

M. Frein



Dans le cas des freins, la fonction est le plus souvent de ralentir ou d'arrêter l'arbre en mouvement. Beaucoup de systèmes de freinage existent : freins à tambours, à disques pour les plus fréquents.