

Éléments de Machine
Cours de Construction Mécanique
Première Année
Sections MicroTechnique et Génie Mécanique

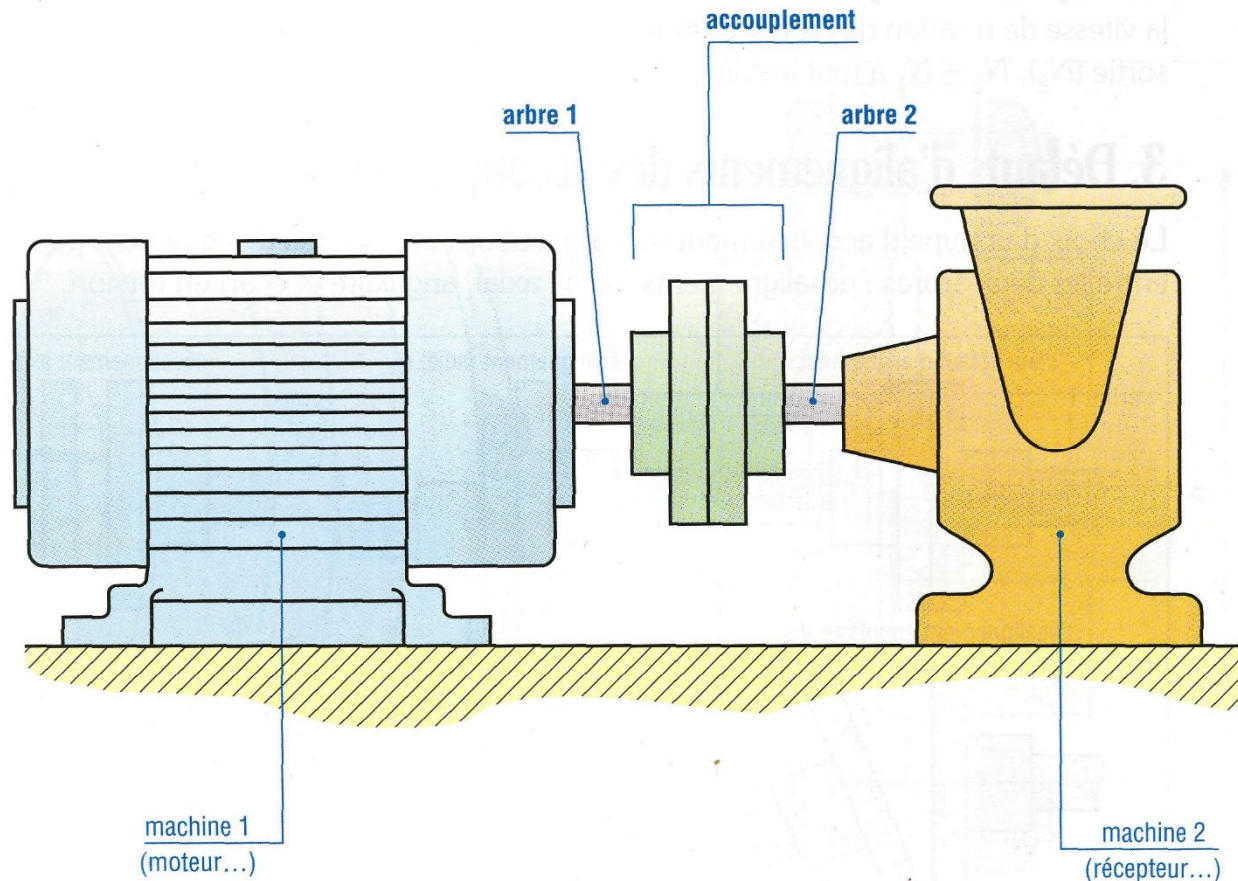
14 séances:

1. Introduction
2. Cycle de Vie – Matériaux, Produit et Développement
3. Energie & Puissance
4. Matériaux
5. Frottement
6. Guidages
- 7. Accouplements**
8. Transmission de Mouvement et de Couple
9. Transformation de Mouvement
10. Ressorts

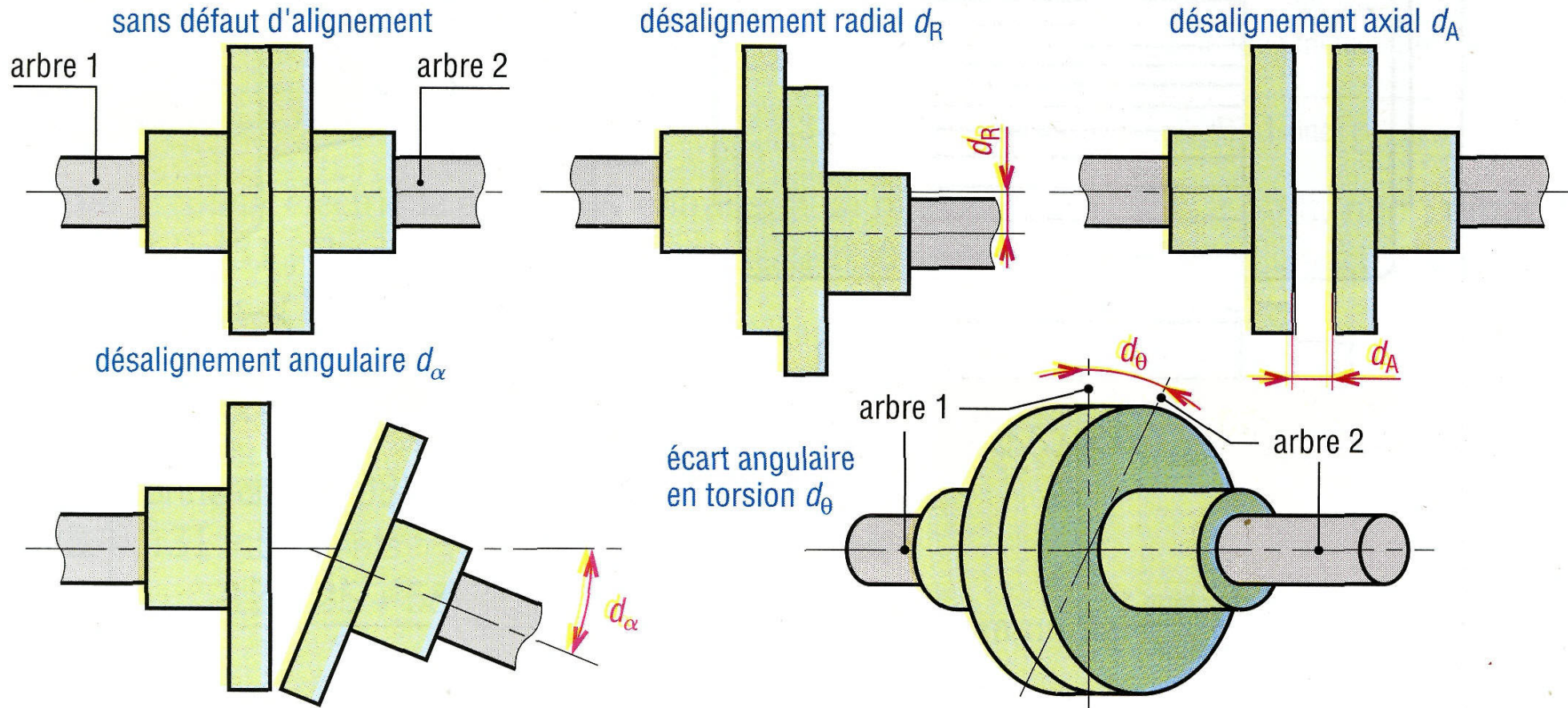
7. Accouplements

1. Définition
2. Accouplements Permanent
 1. Rigides
 2. Elastiques
 3. Joints de Cardan et assimilés
3. Accouplements Temporaires
 1. Embrayages
 2. Limiteurs de Couple
 3. Freins
 4. Coupleurs
 5. Convertisseurs
 6. Roues Libres

Accouplement = Transmission de vitesse et de couple, ou puissance, entre deux arbres de transmission en prolongement l'un de l'autre comportant éventuellement des défauts d'alignement



Défauts d'alignement des arbres:



Puissance:

$$P = C \cdot \omega = \frac{C \cdot \pi \cdot N}{30}$$

P : puissance transmise en watts

C : couple transmis en N.m

ω : vitesse de rotation en rad/s

N : vitesse de rotation en tr/min

Exemple:

Couple si la puissance transmise est de 10 kW à 500 tr/min ?

Exemple:

Couple si la puissance transmise est de 10 kW à 500 tr/min ?

$$P = C \cdot \omega = \frac{C \cdot \pi \cdot N}{30}$$

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot N} = \frac{30 \times 10000}{\pi \times 500} = 191 \text{ N.m}$$

P : puissance transmise en watts

C : couple transmis en N.m

ω : vitesse de rotation en rad/s

N : vitesse de rotation en tr/min

Accouplement permanent:

Accouplement des deux arbres permanent dans le temps.

Désaccouplement possible par démontage.

- **Accouplement rigide:** alignement précis pour éviter les ruptures prématurées
- **Accouplement élastique:** pour défauts d'alignement limités entre les deux arbres

Accouplement temporaire :

Accouplement ou le désaccouplement par commande extérieure

Frein, embrayage, limiteur de couple

Accouplement ou joint homocinétique :

Vitesse de rotation de l'arbre d'entrée (N_1) = Vitesse de rotation de l'arbre de sortie (N_2). $N_2 = N_1$ à tout instant.

Accouplements rigides:

Arbres alignés ou coaxiaux.

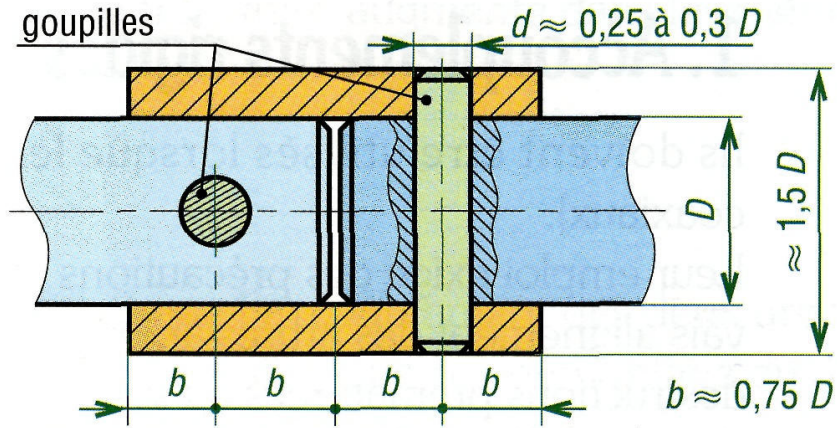
Désalignement: rupture prématurée des fixations.

Accouplements élastiques (flexibles):

Accommodent les défauts d'alignement entre les 2 arbres.

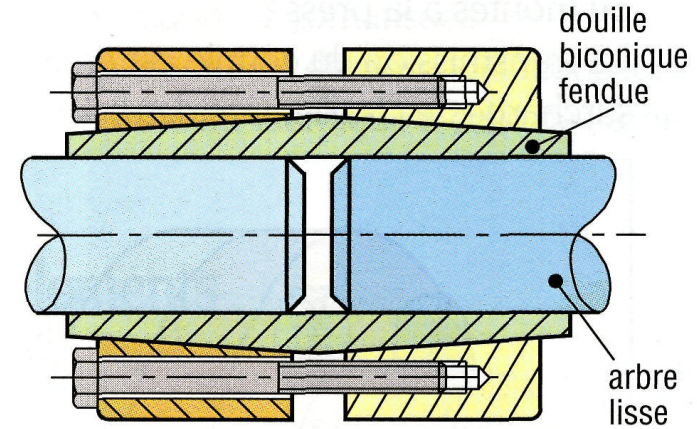
$d\alpha = \pm 3^\circ$ - $dR < 1 \text{ mm}$ - $dA \geq 1 \text{ mm}$

Manchon à goupilles:



Couple transmis par
cisaillement des goupilles,
clavettes, cannelures

Manchon à douilles biconiques:



Couple transmis par adhérence
douille/arbres

Accouplement à plateaux :

Précis, résistants, légers,

encombrants radialement

Adhérence entre les plateaux

Sécurité par cisaillement des vis

Couple transmissible:

$$M = \mu_0 P i R$$

M [Nm] couple transmissible

μ_0 coefficient de frottement entre les deux disques

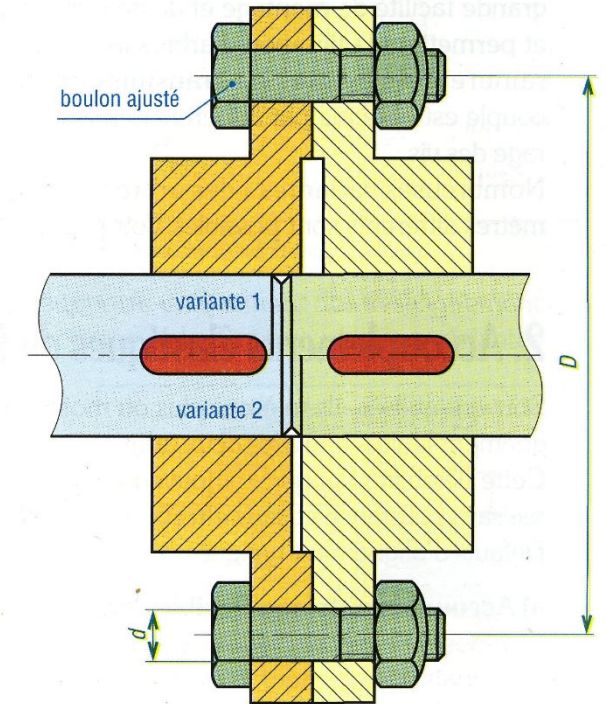
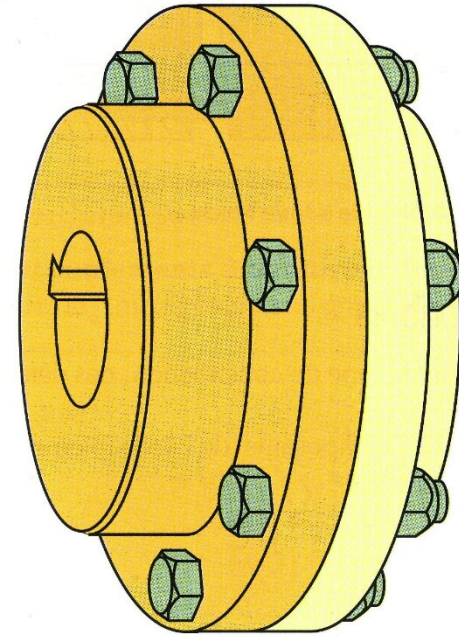
P [N] force de serrage donnée par une vis

i nombre de vis

R [m] rayon sur lequel se trouvent les vis

Couple de sécurité:

$$F_c = \frac{2.C}{D} \quad R_{pg} \geq \frac{F_c}{S_c} = \frac{4.F_c}{n_b \cdot \pi \cdot d^2}$$



C : couple à transmettre (N.mm)

n_b : nombre de boulons (valeur empirique : $n_b \approx 0,02d + 3$)

d : diamètre du boulon (mm)

D : diamètre de répartition des boulons (mm)

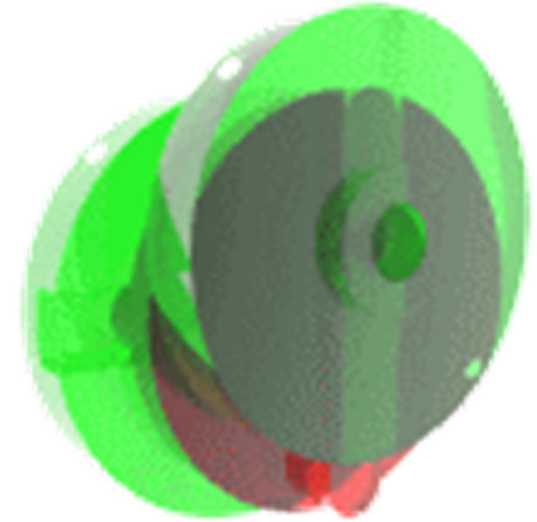
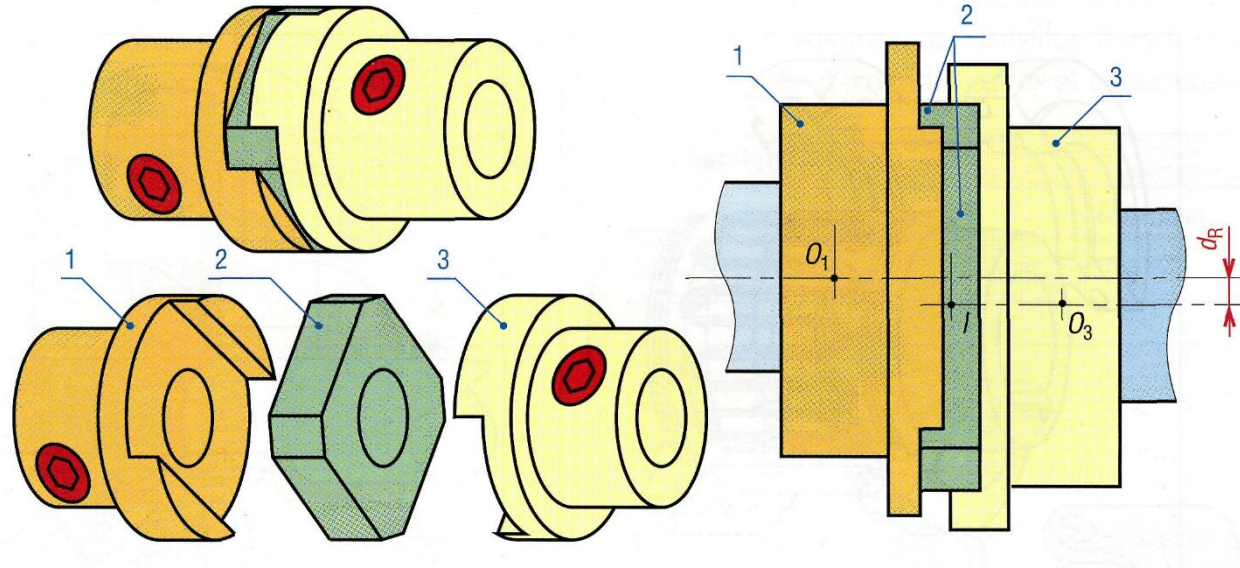
F_c : force de cisaillement des boulons (N)

S_c : aire cisailée des boulons (mm²)

R_{pg} : résistance pratique au cisaillement du matériau des boulons (N/mm²)

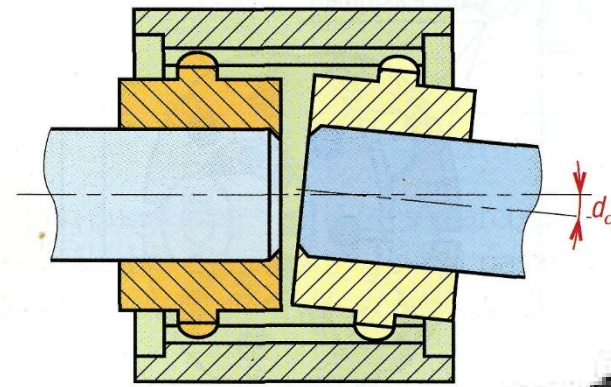
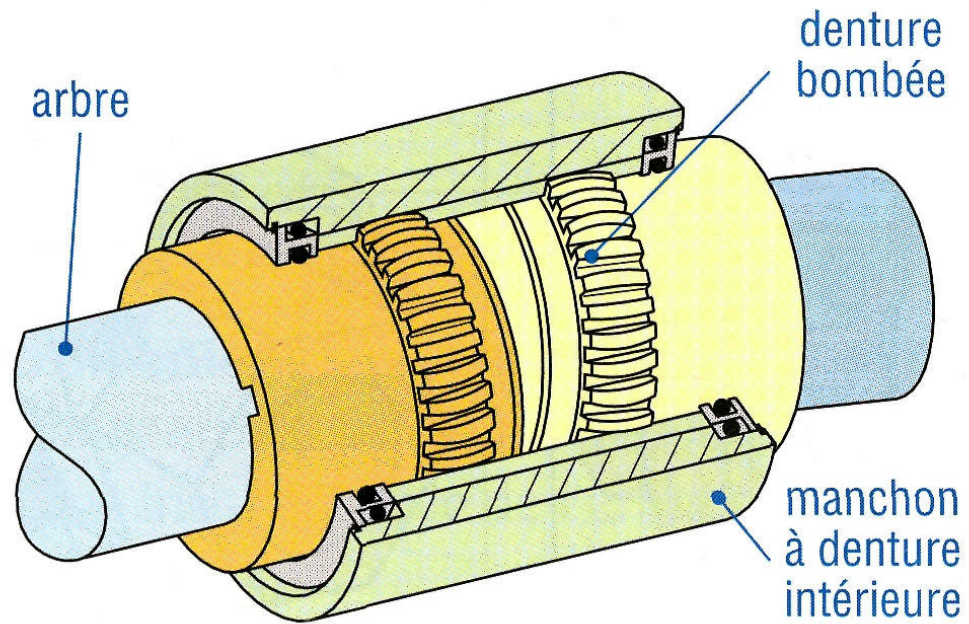
($R_{pg} \approx R_e/2$ avec R_e limite élastique du matériau)

Non flexible en torsion:



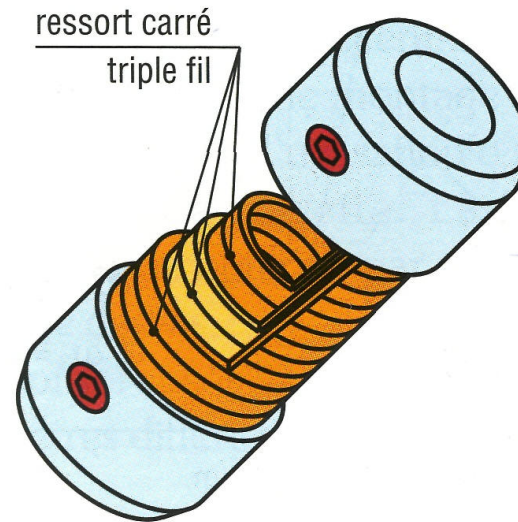
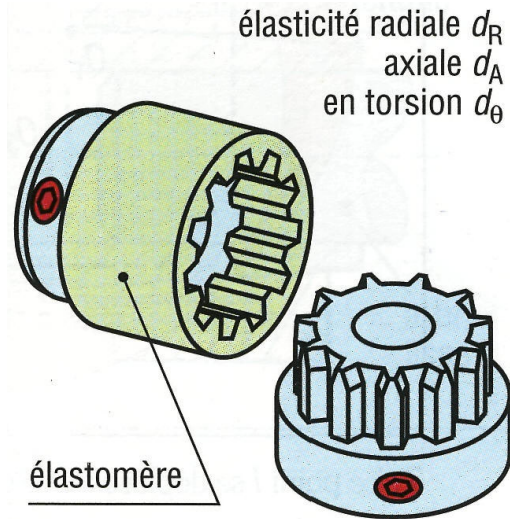
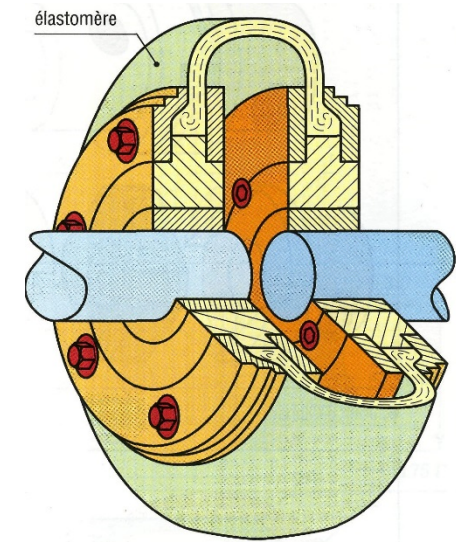
Joint d'Oldham pour défauts d'alignement radiaux – homocinétique
Pertes en frottement des plateaux - Pour ω faibles

Non flexible en torsion:

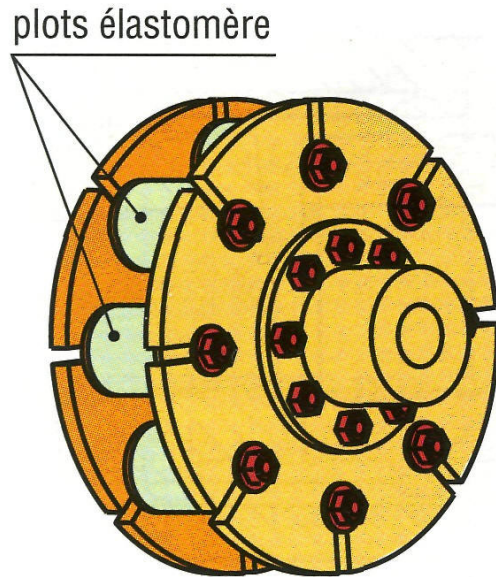


Accouplement à denture bombée pour défaut d'alignement angulaire

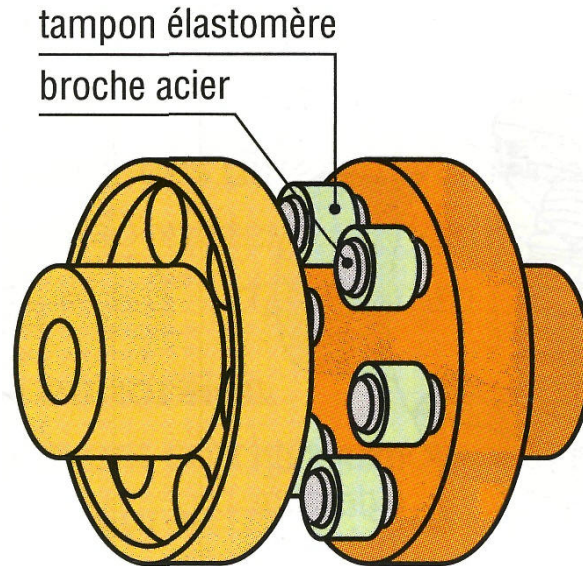
Flexibles en torsion:

Flexion $d\alpha$, Torsion $d\theta$  $d\alpha$, $d\theta$ 

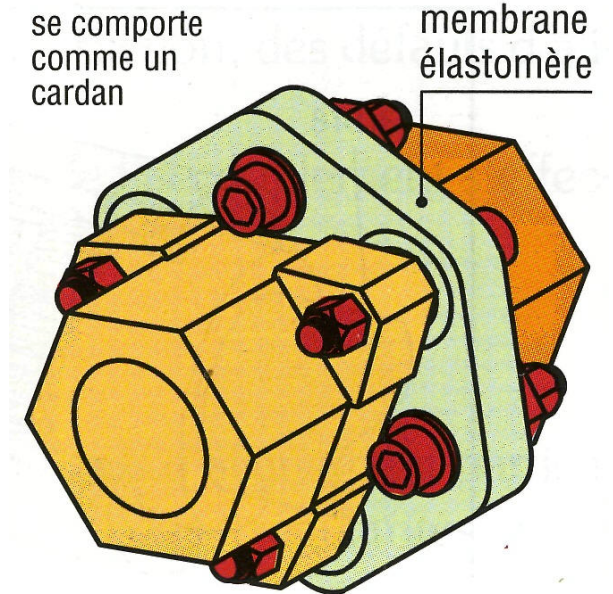
Flexibles en torsion:



$dR, d\theta$



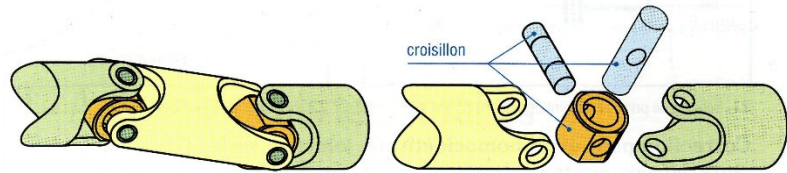
$dA, d\theta$



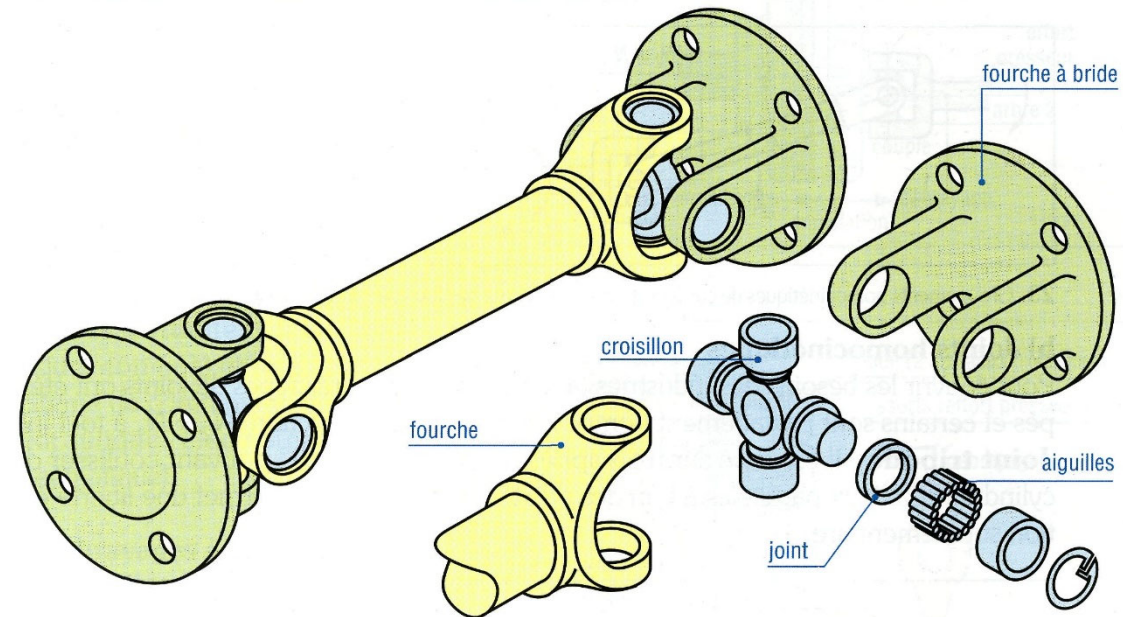
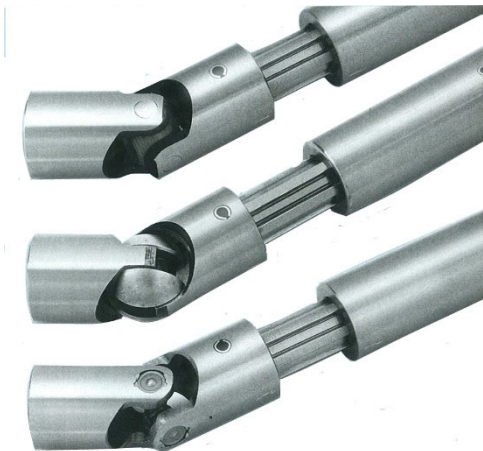
$d\alpha, d\theta$

Défauts angulaires: $d\alpha < 3^\circ$

Angles (α) possibles entre les deux arbres			
vitesse maximale admissible	très lentes	10 tr/min	> 600 tr/min
angles α possibles	45°	30°	15 à 20°

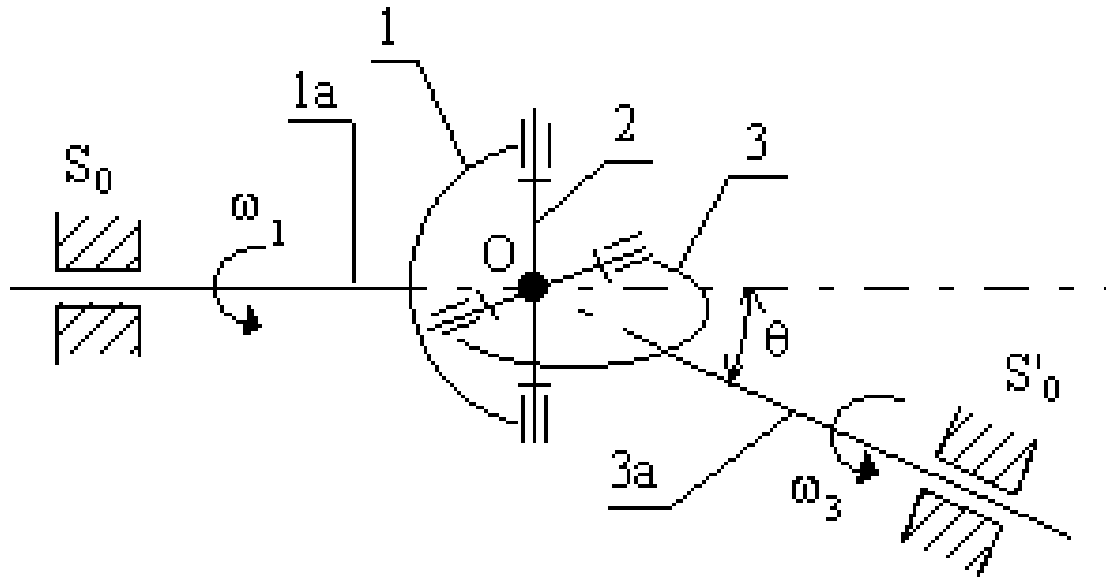


Couples faibles



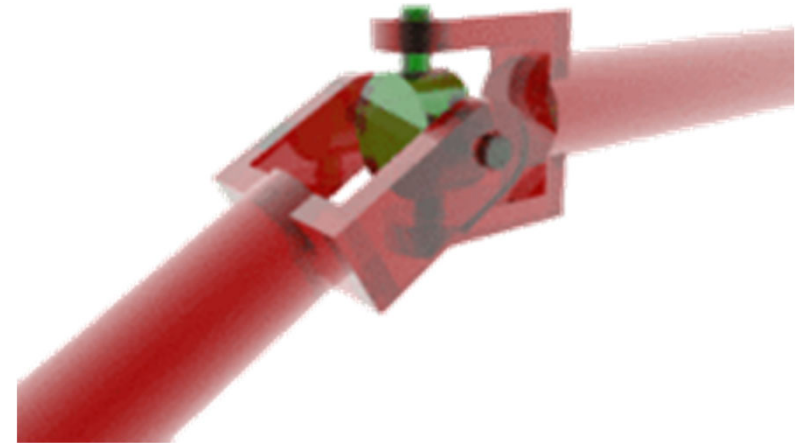
Couples élevés

Problème Joint de Cardan simples: non homocinétique



$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \theta}{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \alpha}$$

α = angle parcouru par l'arbre 1



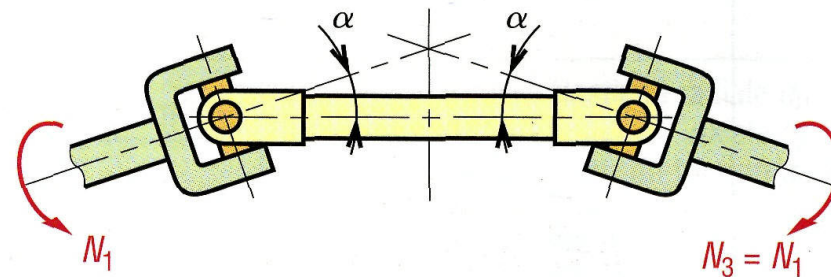
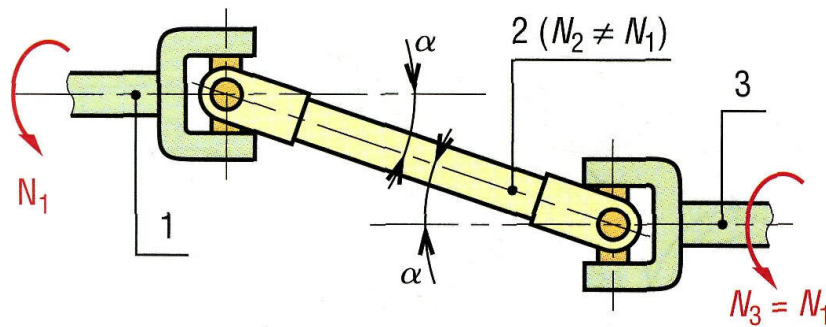
Joint homocinétique = vitesse de rotation des 2 arbres égales à tout instant

Solution: Double Joint de Cardan

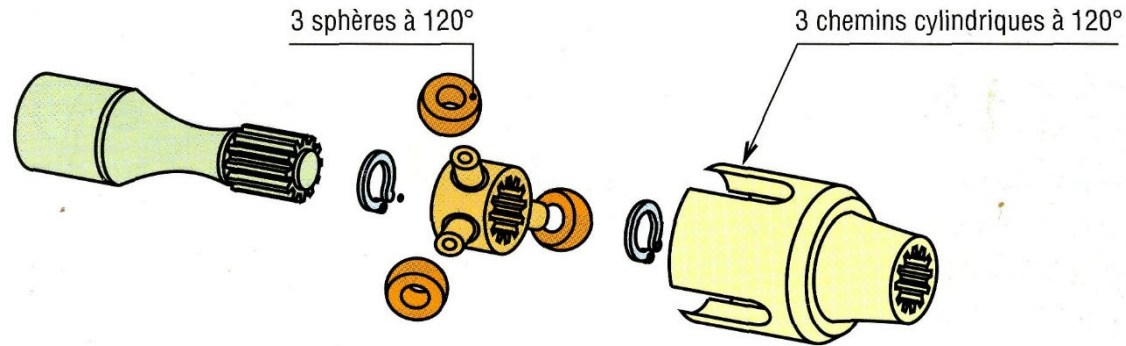


Land Rover Discovery TD5

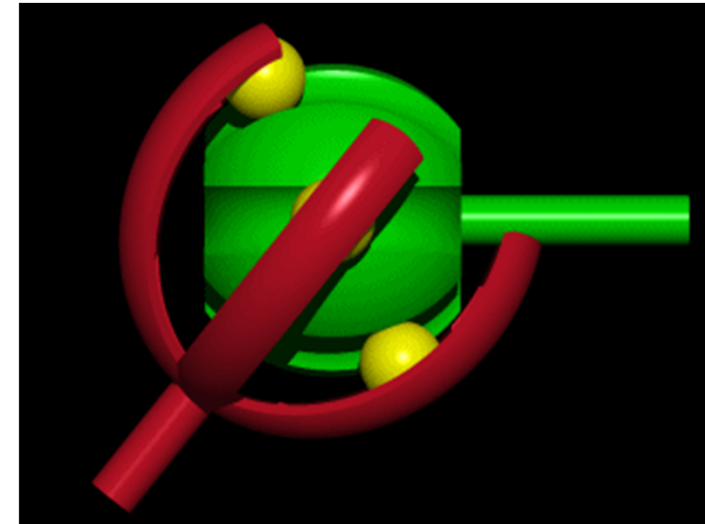
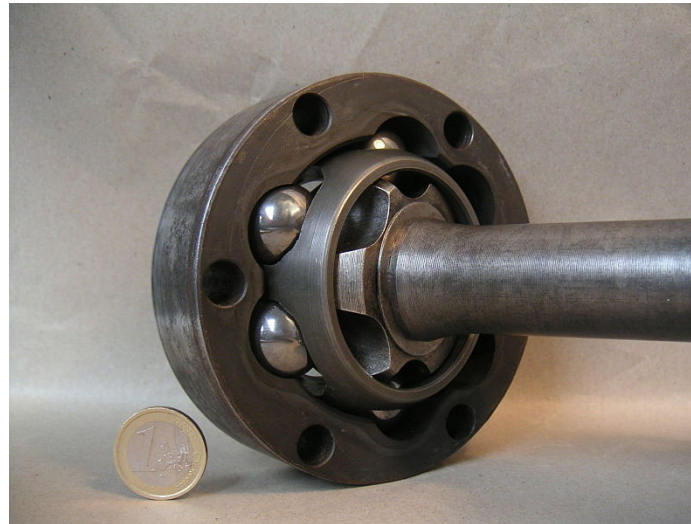
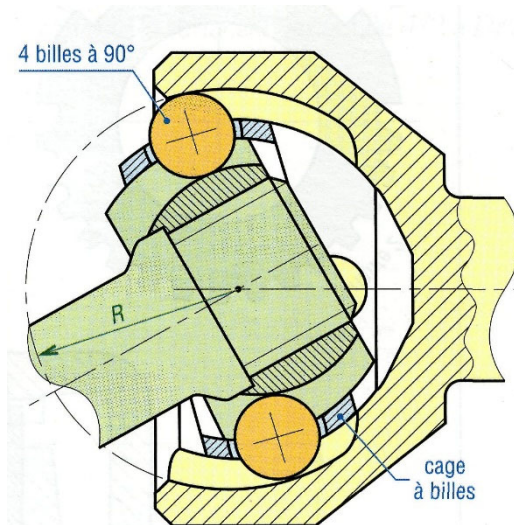
Range Rover



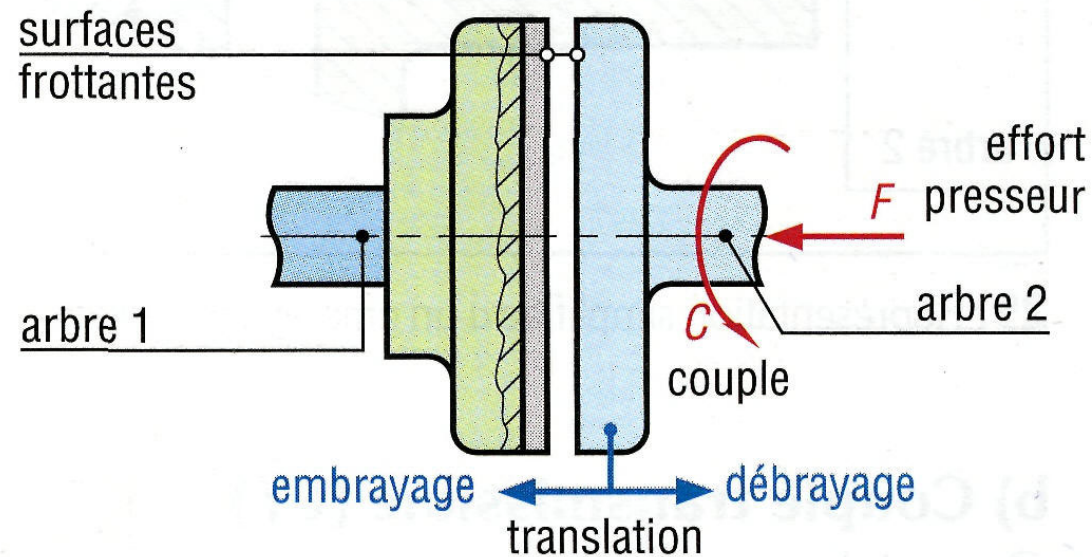
Joint tripode:



Joint type Rzeppa:



Principe: Embrayage à Friction

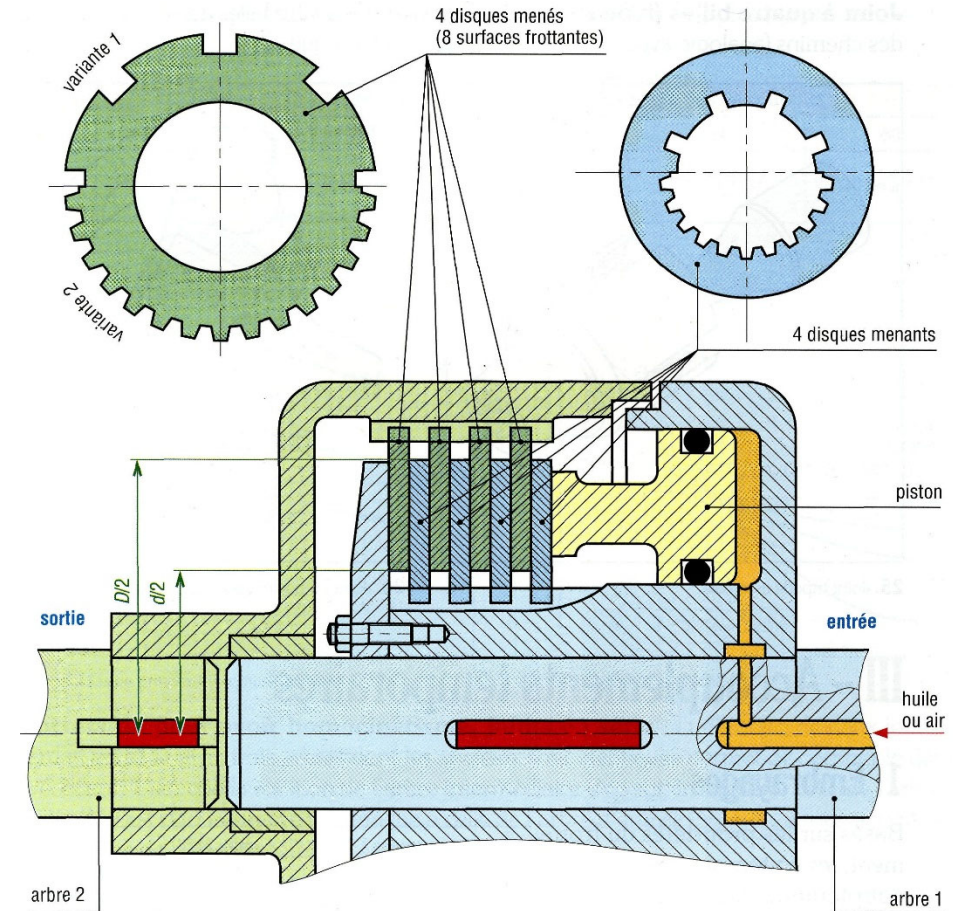
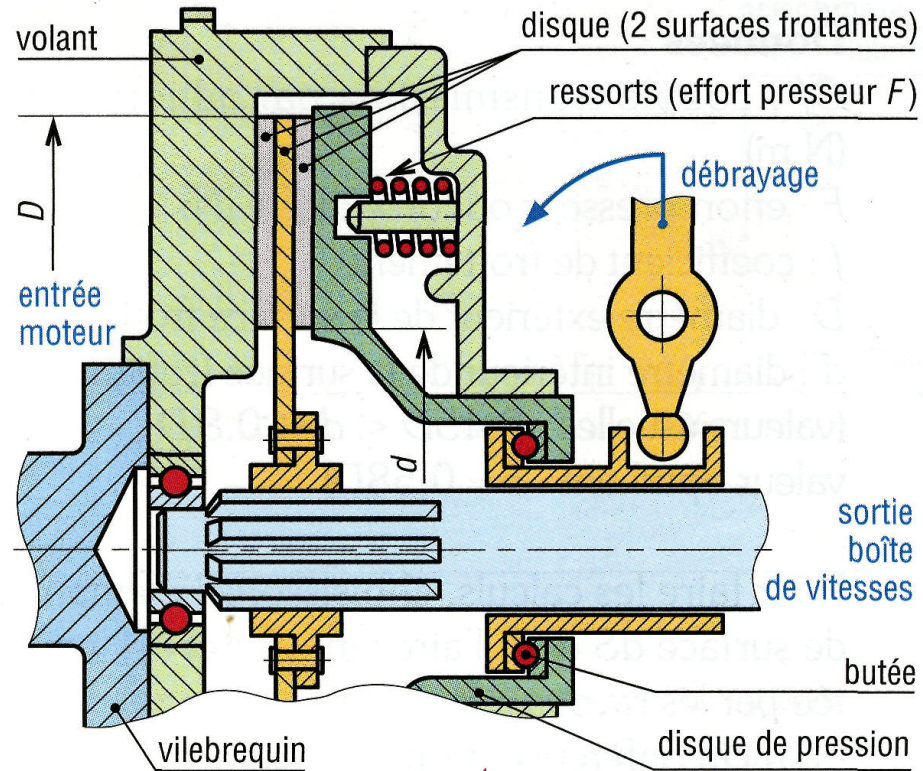


Accouplement/désaccouplement par commande

Faible tolérance aux défauts d'alignement

**Attention à la progressivité d'embrayage,
aux vitesses et inerties à transmettre !**

Embrayage à Disques (les plus utilisés):



Embrayage à Disques:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4.F}{\pi(D^2 - d^2)} \leq P_a \text{ (pression maxi admissible)}$$

$$C_f = \frac{F.f}{3} \cdot \left[\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right]$$

$$C_f = \frac{n.F.f}{3} \cdot \left[\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right] = \frac{2n.F.f}{3} \left[\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right]$$

Données (pression p uniforme sur toute la surface frottante):

C_f : couple transmissible par adhérence (N.m)

F : effort presseur ou force axiale (N)

f : coefficient de frottement

D : diamètre extérieur de la surface frottante

d : diamètre intérieur de la surface frottante

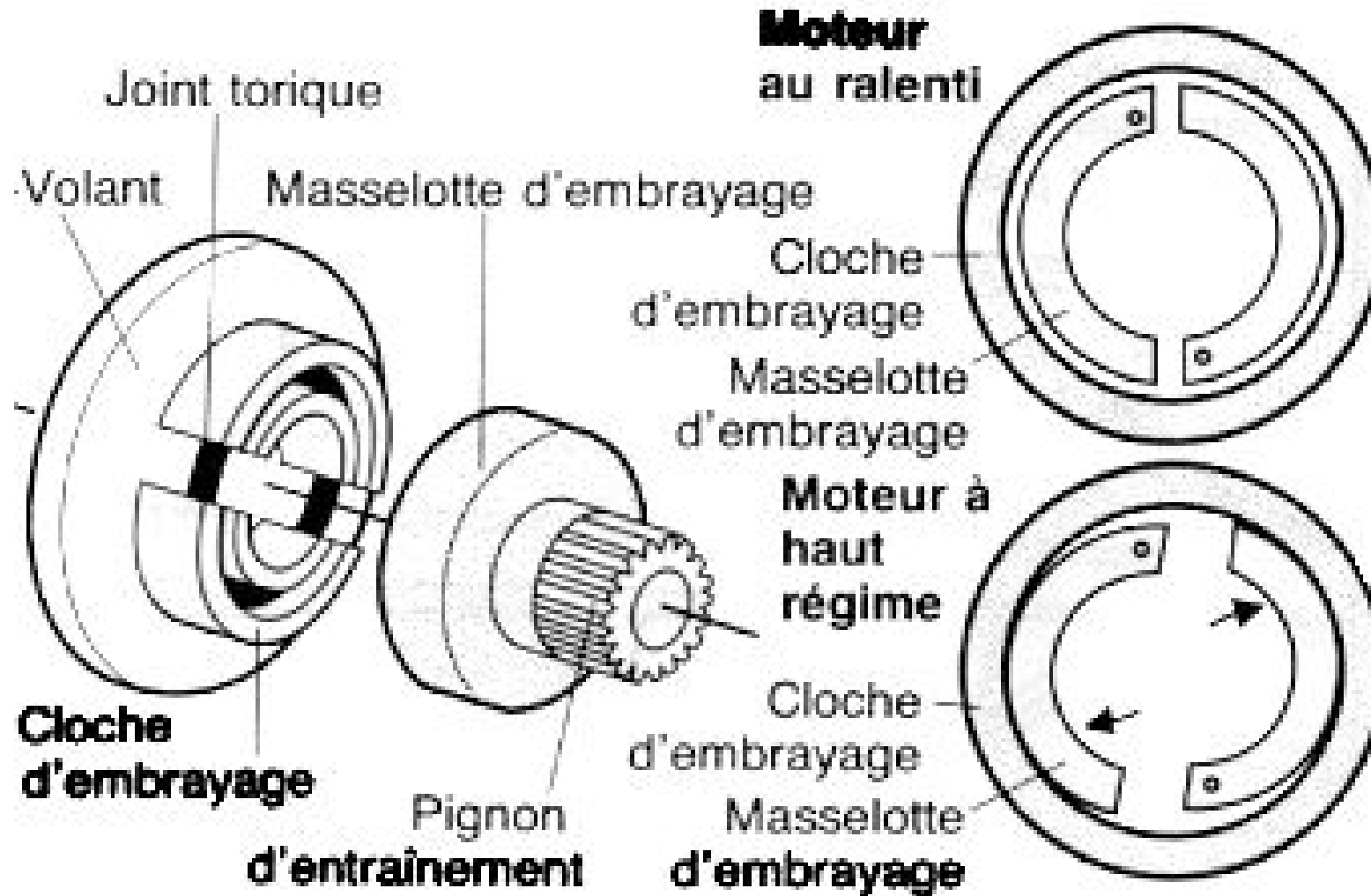
(valeurs usuelles : $0,45D < d < 0,8 D$; valeur optimum : $d \approx 0,58D$)

n : nombre de surfaces frottantes en contact

Caractéristiques constructives indicatives de quelques garnitures

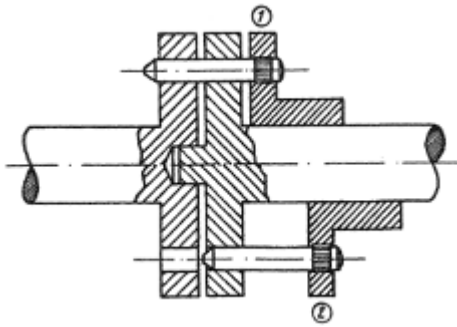
matériaux en frottement	coefficient de frottement (f)		pression maxi admissible N/mm ²	température maximale °C
	à sec	dans l'huile		
métal fritté sur fonte	0,1 à 0,4	0,05 à 0,1	1	500 à 600
métal fritté sur acier	0,1 à 0,3	0,05 à 0,1	2	500 à 600
garnitures tissées sur acier ou fonte	0,3 à 0,6	0,1 à 0,2	0,3 à 0,7	175 à 260
garnitures moulées sur acier ou fonte	0,2 à 0,5	0,08 à 0,12	0,35 à 1	200 à 260
acier sur fonte	0,1 à 0,2	0,04	0,7 à 1,7	250

Embrayage centrifuges:

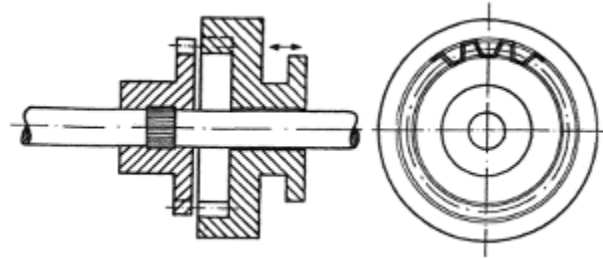


Embrayage à dents ou griffes:

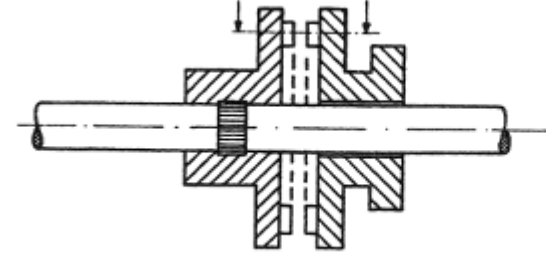
Accouplements à



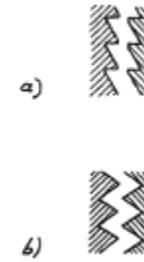
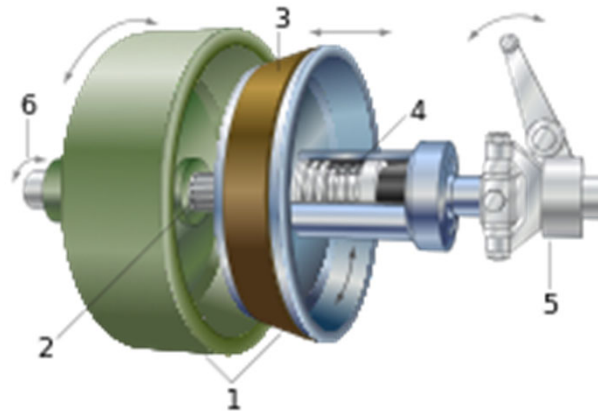
manchon à doigts



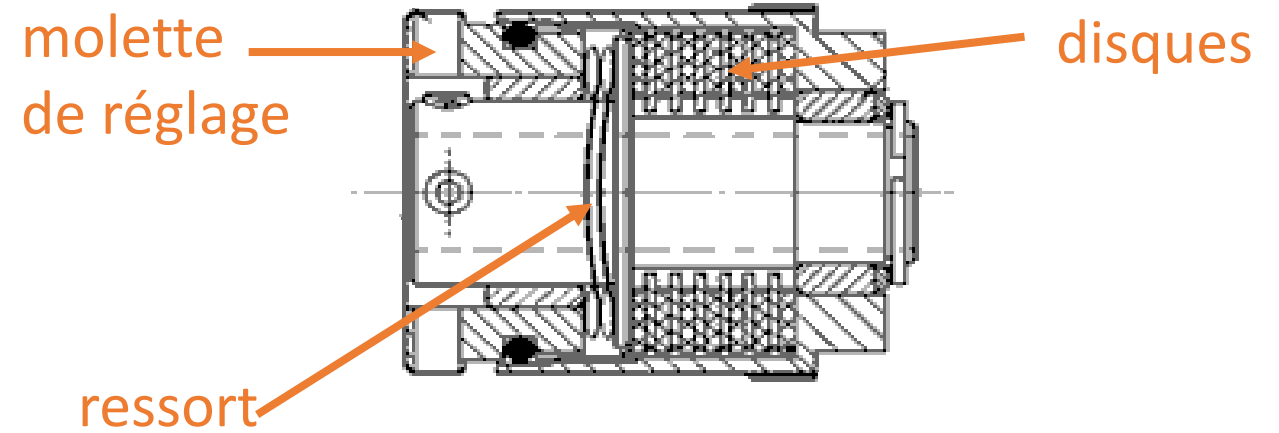
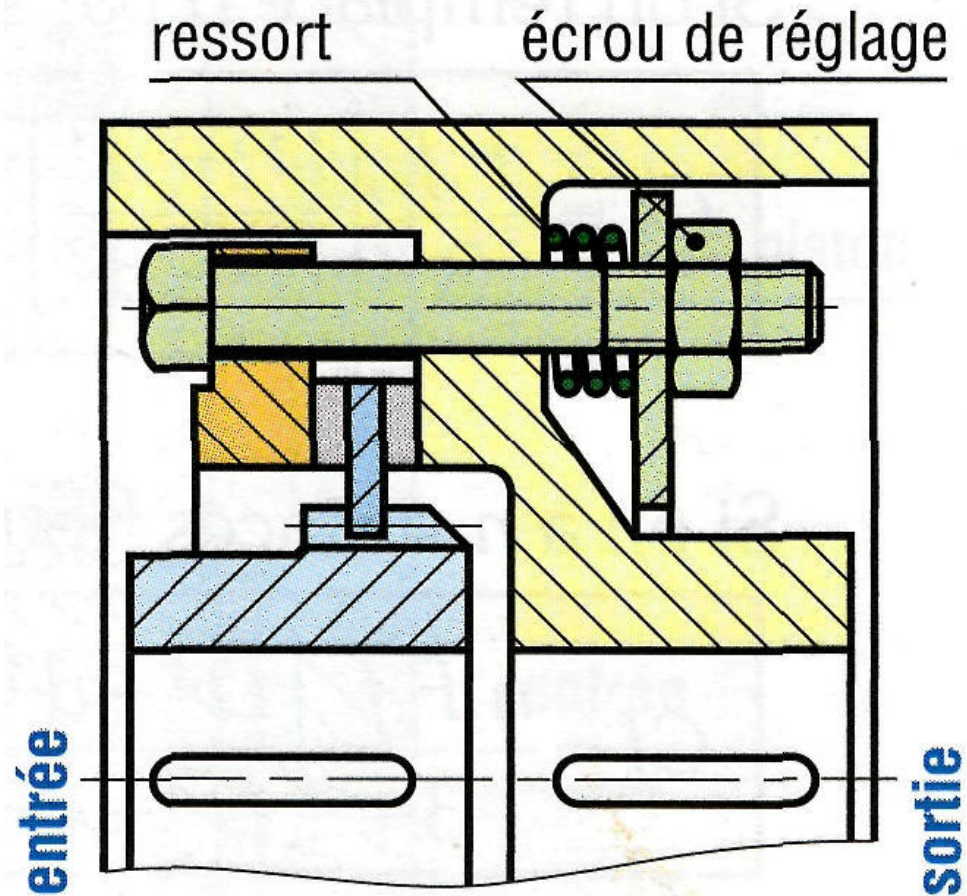
manchon denté



griffes

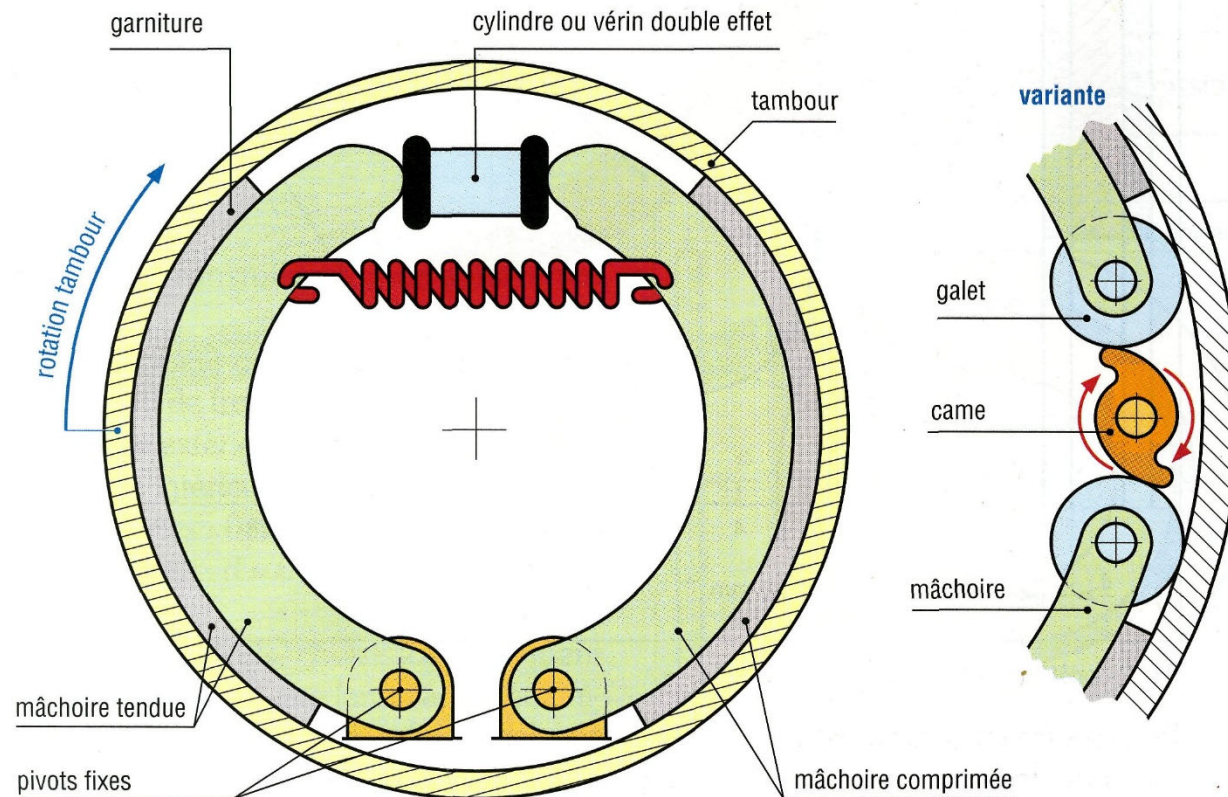
Embrayage à cônes:

Similaire aux embrayages à disques:



Absorbent l'énergie cinétique transformée en chaleur

Frein à tambours:



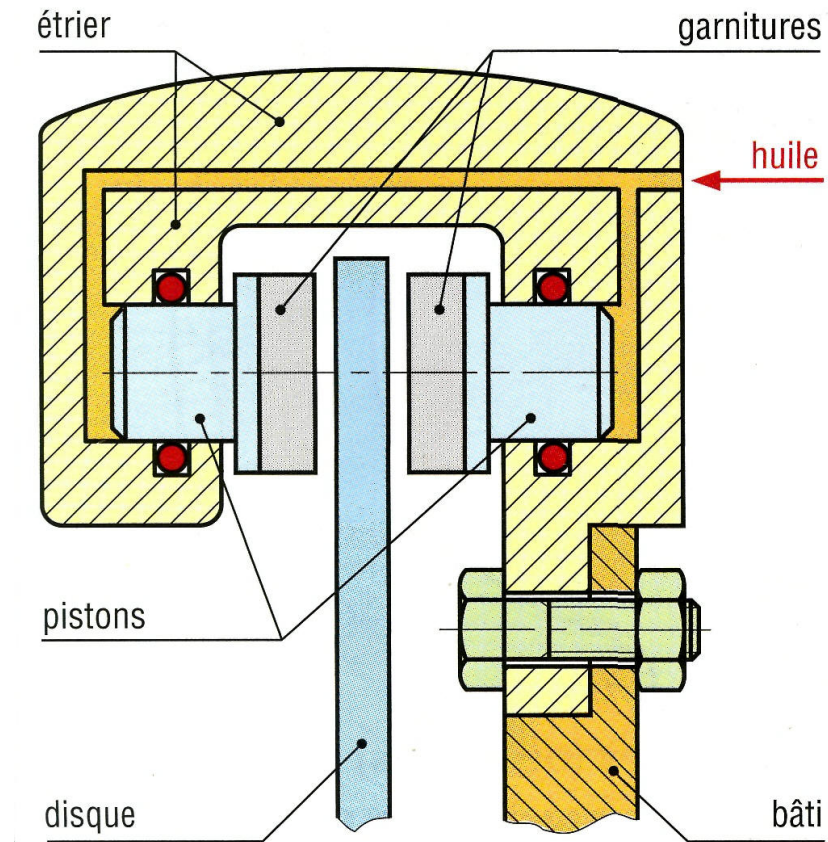
Frein camion Meritor

Frein à sabot:

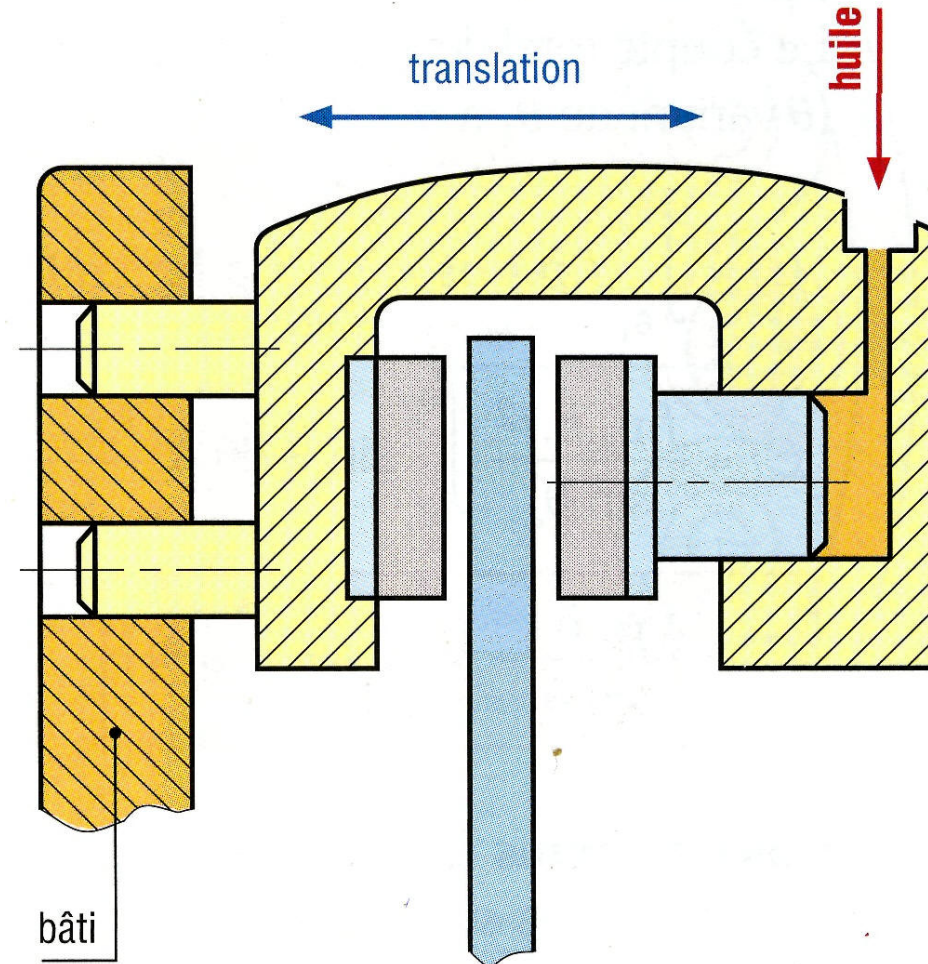


Freins à disque(s):

Etrier Fixe



Etrier mobile

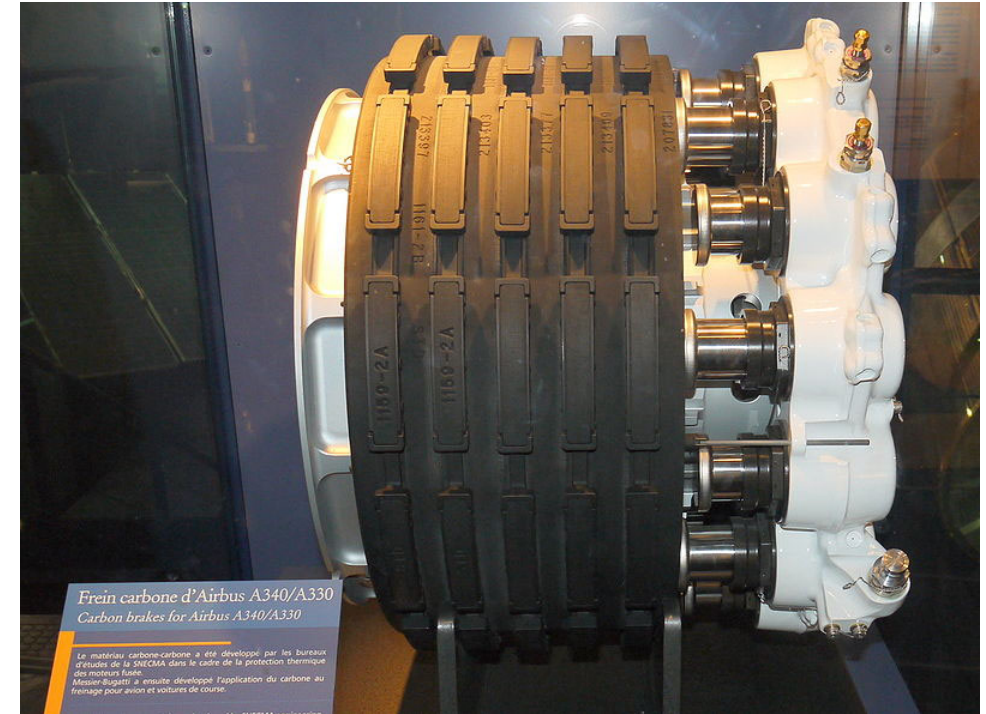
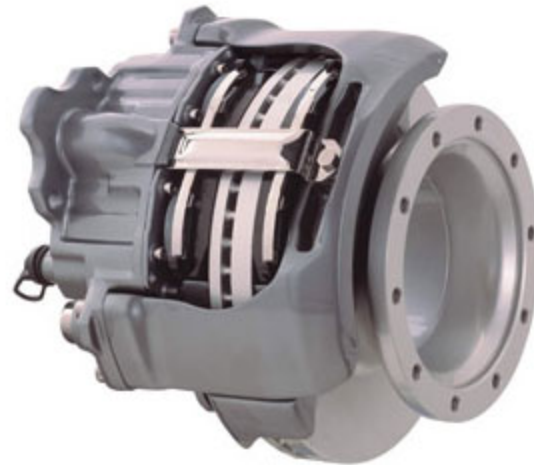


Freins à disque(s):

Porsche Cayenne



Camion Meritor



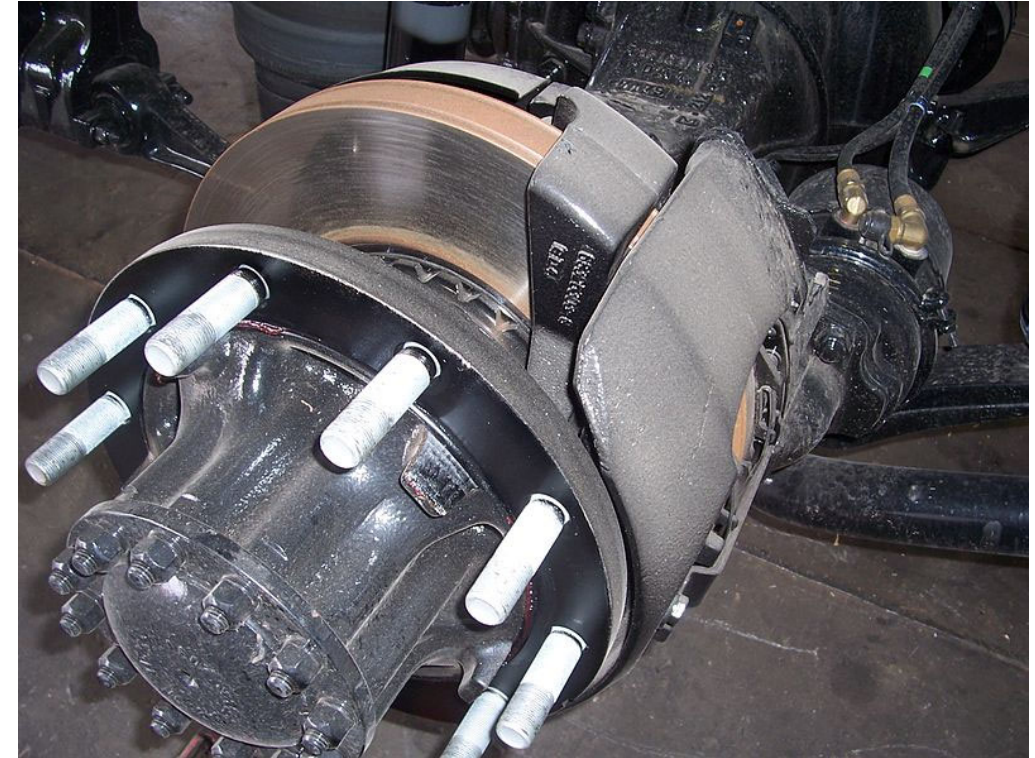
Carbone/carbone
Airbus A330/340

Freins à disque(s):



Moto

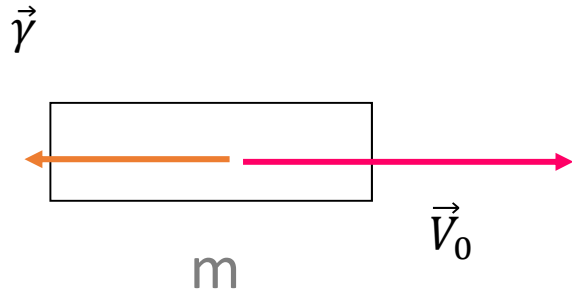
Vélo



Sur pont de camion

Freinage:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\gamma$$



$$\frac{dx}{dt} = V_0 - \gamma t$$

$$x = V_0 t - \frac{\gamma}{2} t^2$$

Durée du freinage: $t = \frac{V_0}{\gamma}$ Distance de freinage: $d = \frac{V_0^2}{2\gamma}$

1000 kg

130 km/h

-1 g



3,7 s

78,5 m

Freinage:

Automobile

1000 kg 130 km/h -1 g  3,7 s 78,5 m

Formule 1 340 km/h 100 m

TGV 300 km/h 3 300 m (freinage d'urgence)

$\Delta T = 800^{\circ} \text{ C}$

Freinage:

Energie cinétique:

$$E = \frac{1}{2} m V_0^2$$

Travail:

$$W = \frac{1}{2} m V_0^2$$

Puissance moyenne:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\frac{1}{2} m V_0^2}{\frac{V_0}{\gamma}} = \frac{1}{2} \frac{m V_0}{\gamma}$$

Freinage:

Automobile 1 000 kg à 130 km/h

650 kJ

180 kW

Ascenseur 2500 N à 0,5 m/s

125 W

(20 s 2,5 kJ)

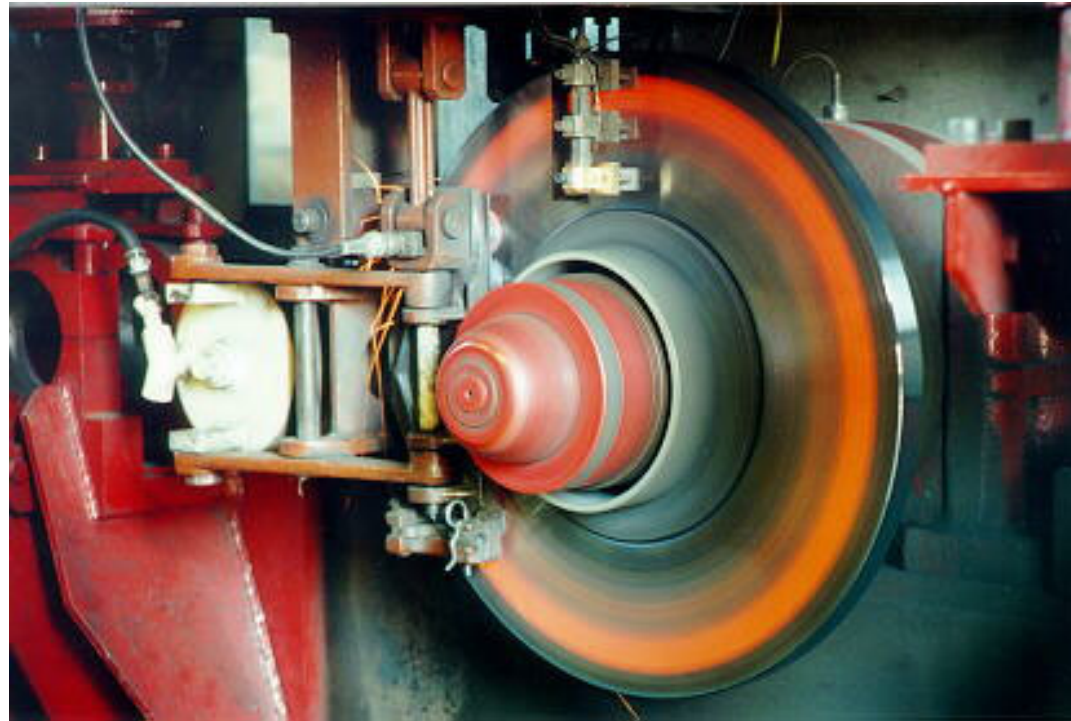
AIRBUS A330 ($250 \cdot 10^3$ kg)

frein 129 kg roue diam 1,15 m

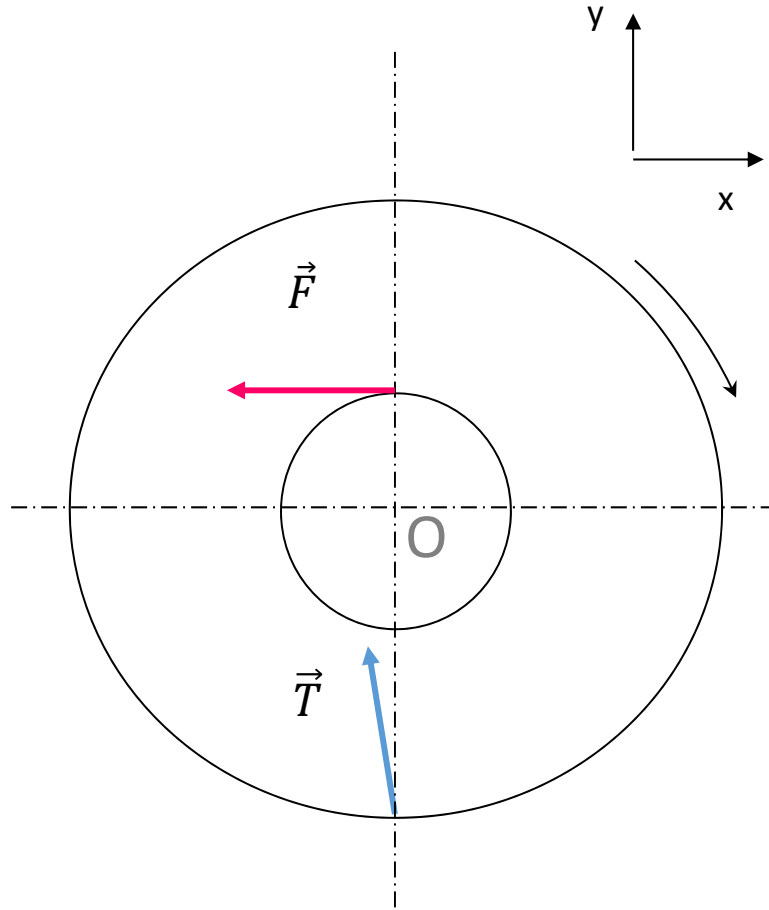
105 MJ

Freinage:

Echauffement: disques de freins en fonte : 800°C
disques de freins en carbone : $2\,500^{\circ}\text{C}$



Freinage:



Dynamique

$$J \ddot{\theta} = F r - T R \sin \phi_0$$

Glissement (statique)

$$F = \frac{T \sin \phi_0 R}{r}$$

Freinage:

Contact pneumatique - sol

Nature du sol	Coefficient d'adhérence
Bitume rugueux	<i>0,8 – 0,9</i>
Bitume lisse	<i>0,7 – 0,8</i>
Pavés secs	<i>0,6 – 0,7</i>
Bitume lisse humide	<i>0,4 – 0,5</i>
Boue	<i>0,1</i>
Verglas	<i>< 0,05</i>

Formule 1 pneu lisse (route sèche)

f_0 2,5

TGV acier – acier

0,15 – 0,25

Freinage: Distance de freinage et coefficient d'adhérence

Dynamique

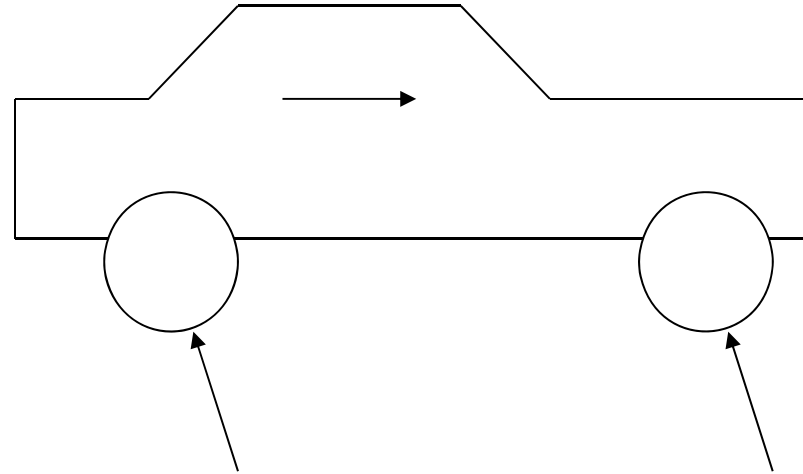
$$m \ddot{x} = 4 T \sin \phi_0$$

4 roues identiques

$$T \cos \phi_0 = \frac{m g}{4}$$

↓

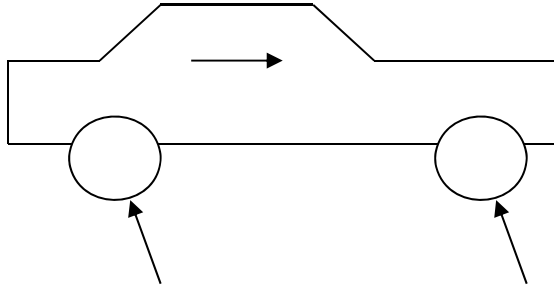
$$m \ddot{x} = m g \tan \phi_0 = m g f_0$$



Relation $g - f_0$

$$\gamma = \ddot{x} = g f_0$$

Freinage: Distance de freinage et coefficient d'adhérence



$$\gamma = \ddot{x} = g f_0$$

Bitume sec : $g = 0,8 - 0,9 g$ $\longrightarrow$ Formule 1 : $3,5 - 4 g$

Bitume humide : $g = 0,4 - 0,5 g$

Bitume très humide ou boue : $g = 0,1 g$

1 000 kg 130 km/h

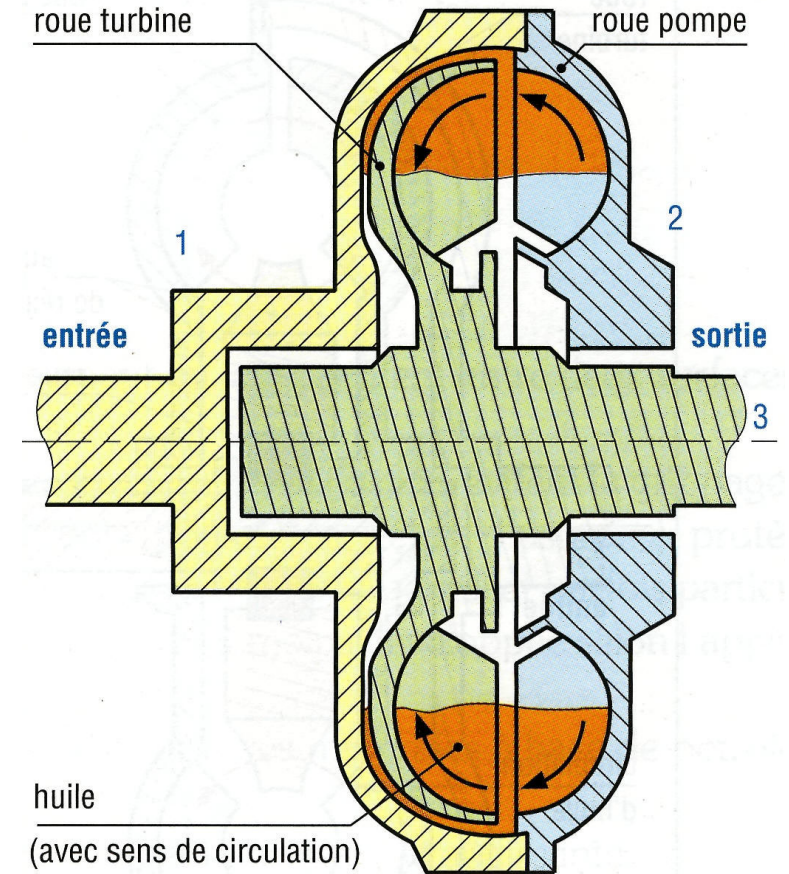
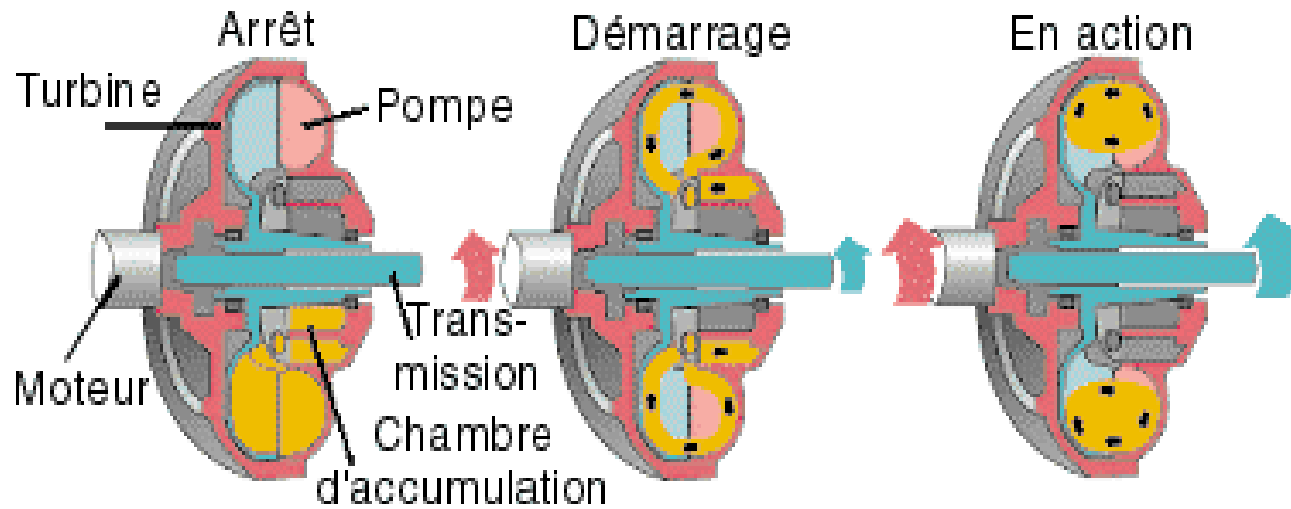
81 m pour $f_0 = 0,8$

162 m pour $f_0 = 0,4$

650 m pour $f_0 = 0,1$

Coupleur hydraulique:

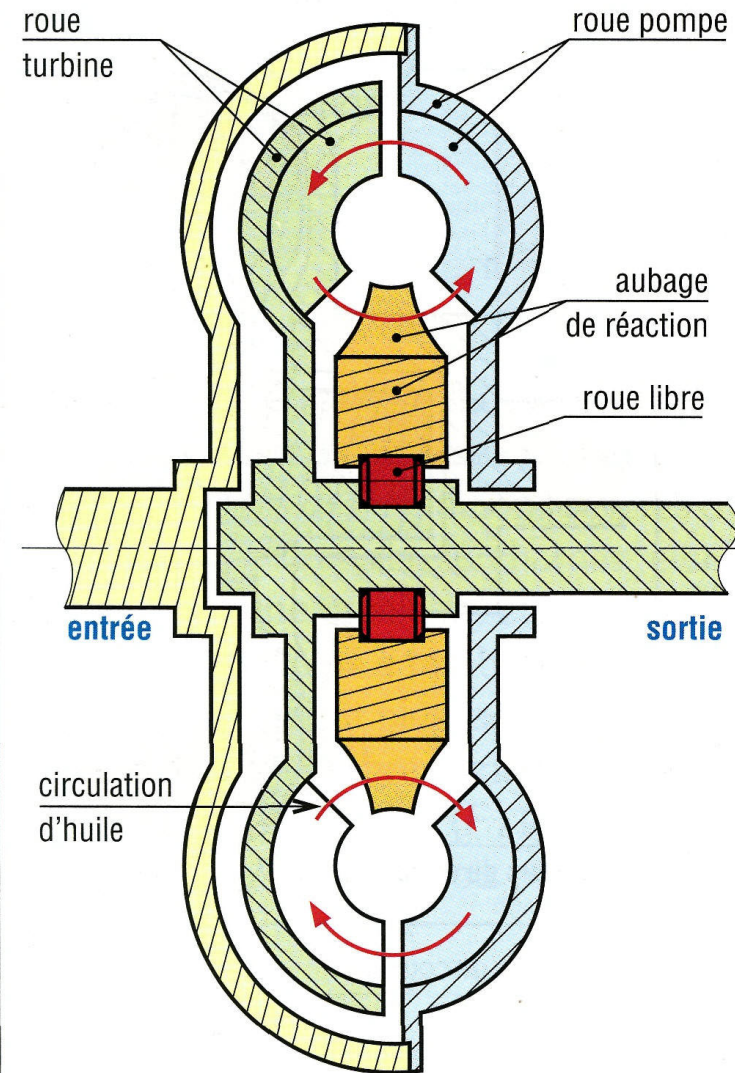
Transfert de couple par fluide



Convertisseur de couple hydraulique Camions avec boîte automatique

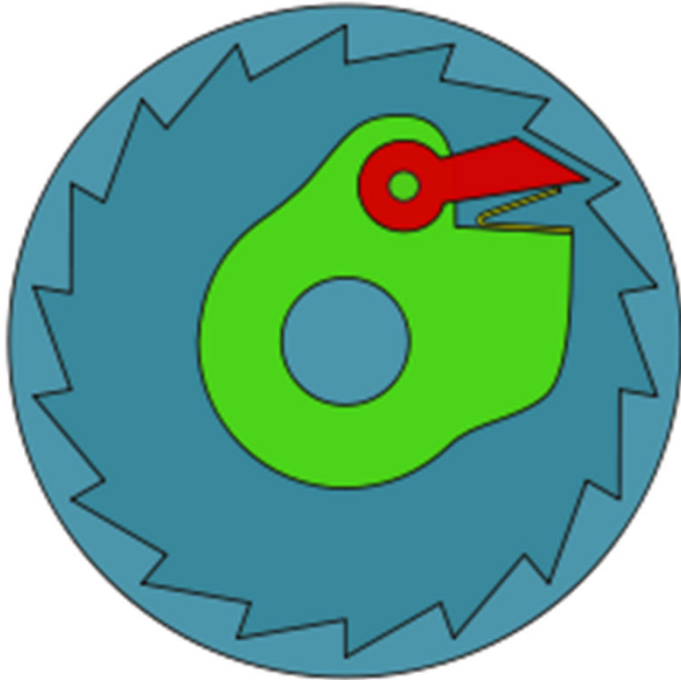


ZF



Transmission dans le sens de rotation – Débrayage dans l'autre
Embrayages:

A cliquet



A rouleaux, galets, billes

