

Projet de Construction Mécanique

Eléments de Machine

Composants de la Mécanique

Cours de Construction Mécanique ME-105
Deuxième Semestre - Première Année
Sections ELectricité et Matériaux

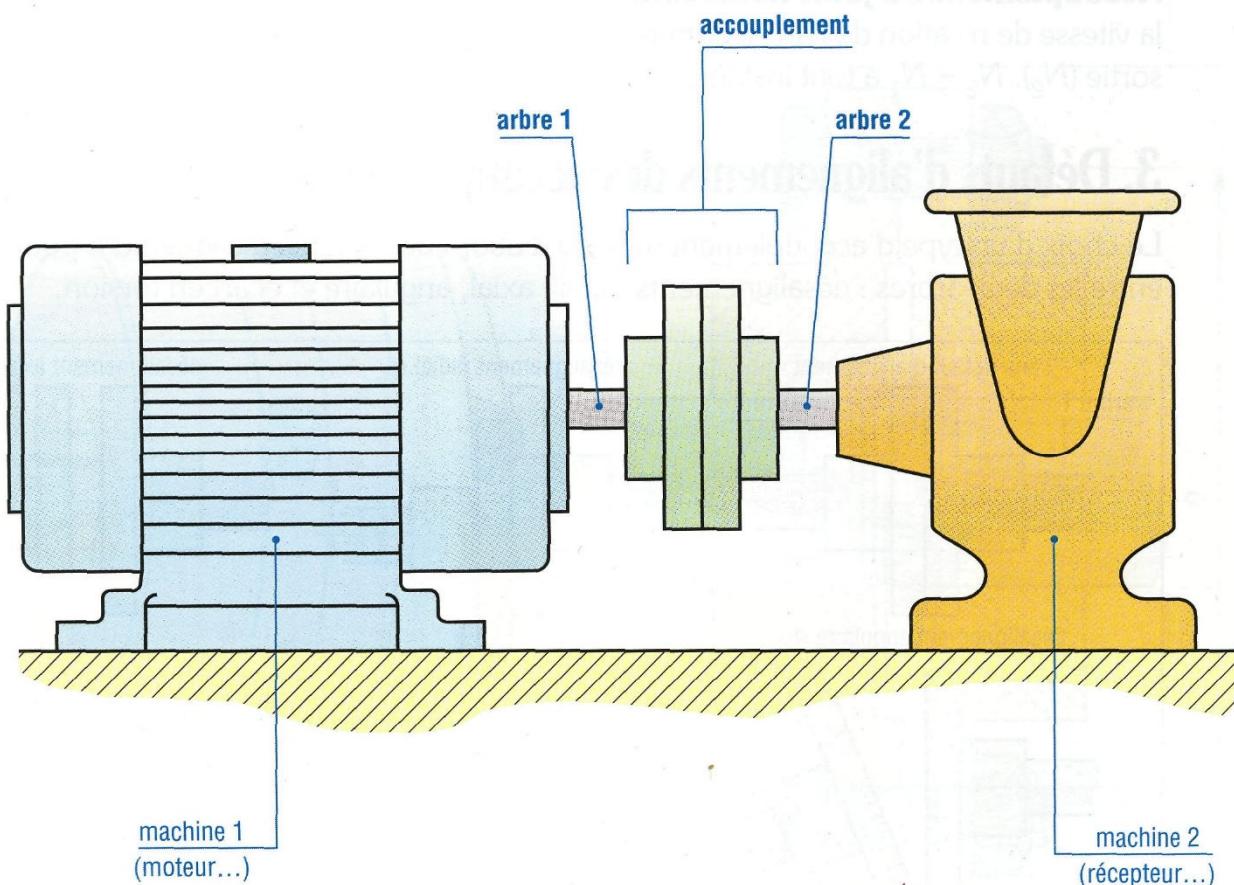
14 séances:

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

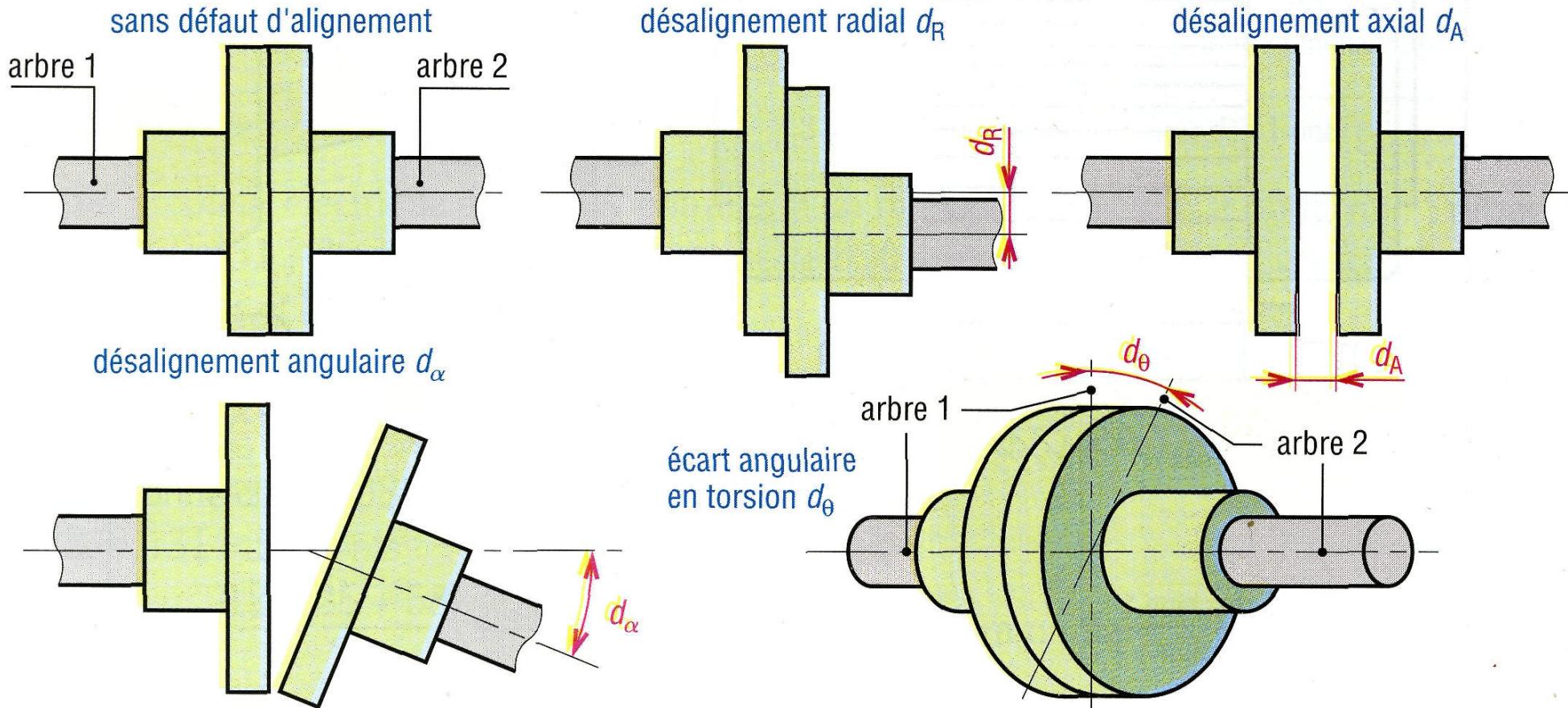
7. Accouplements

-
- 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 prématuées
- **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 (N1) = Vitesse de rotation de l'arbre de sortie (N2). N2 = N1 à tout instant.

Accouplements rigides:

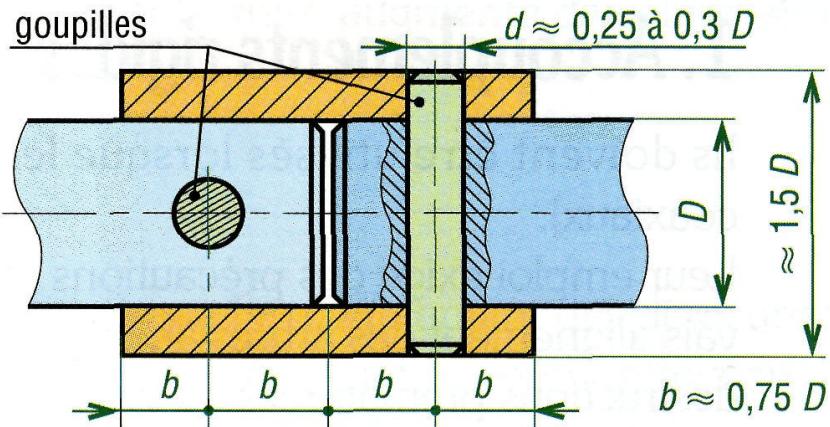
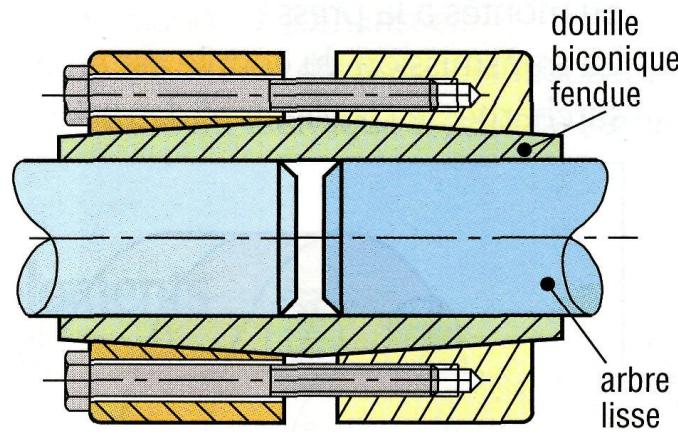
Arbres alignés ou coaxiaux.

Désalignement: rupture prématuée 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:**Manchon à douilles biconiques:**

Couple transmis par
cisaillement des goupilles,
clavettes, cannelures

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

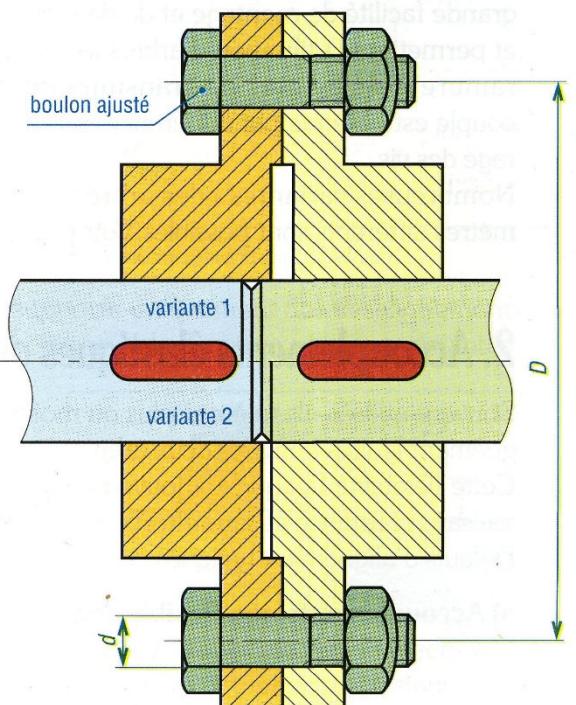
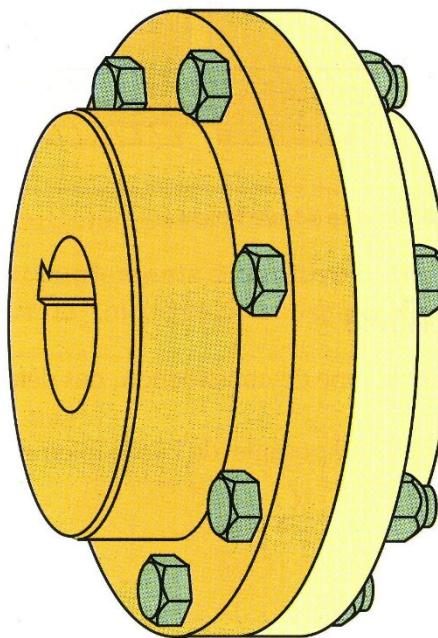
P [N] force de serrage donnée par une vis

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)

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

d : diamètre du boulon (mm)

D : diamètre de répartition des boulons (mm)

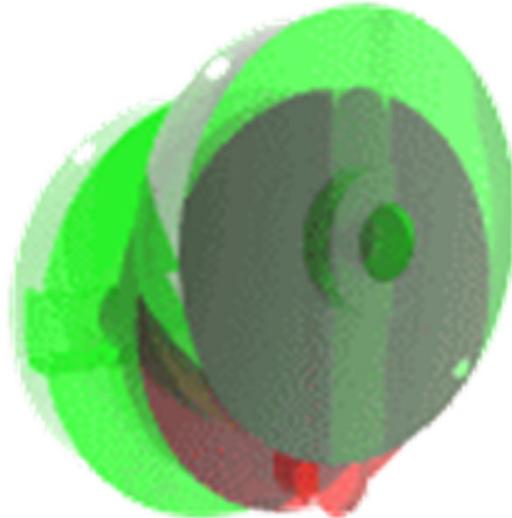
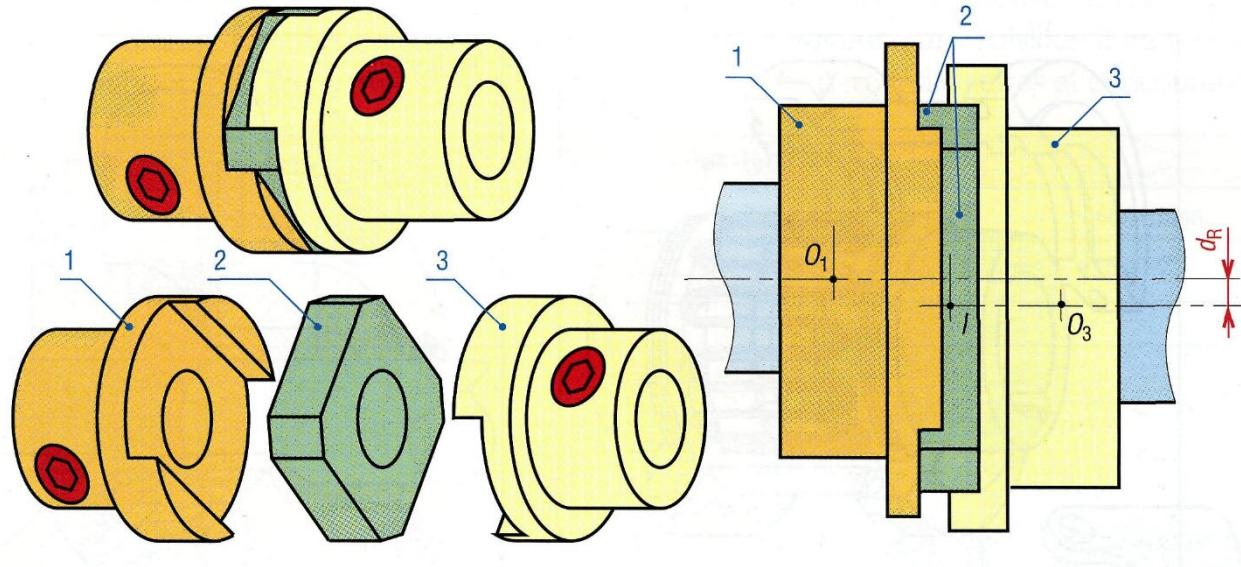
F_c : force de cisaillement des boulons (N)

S_c : aire cisaillée des boulons (mm²)

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

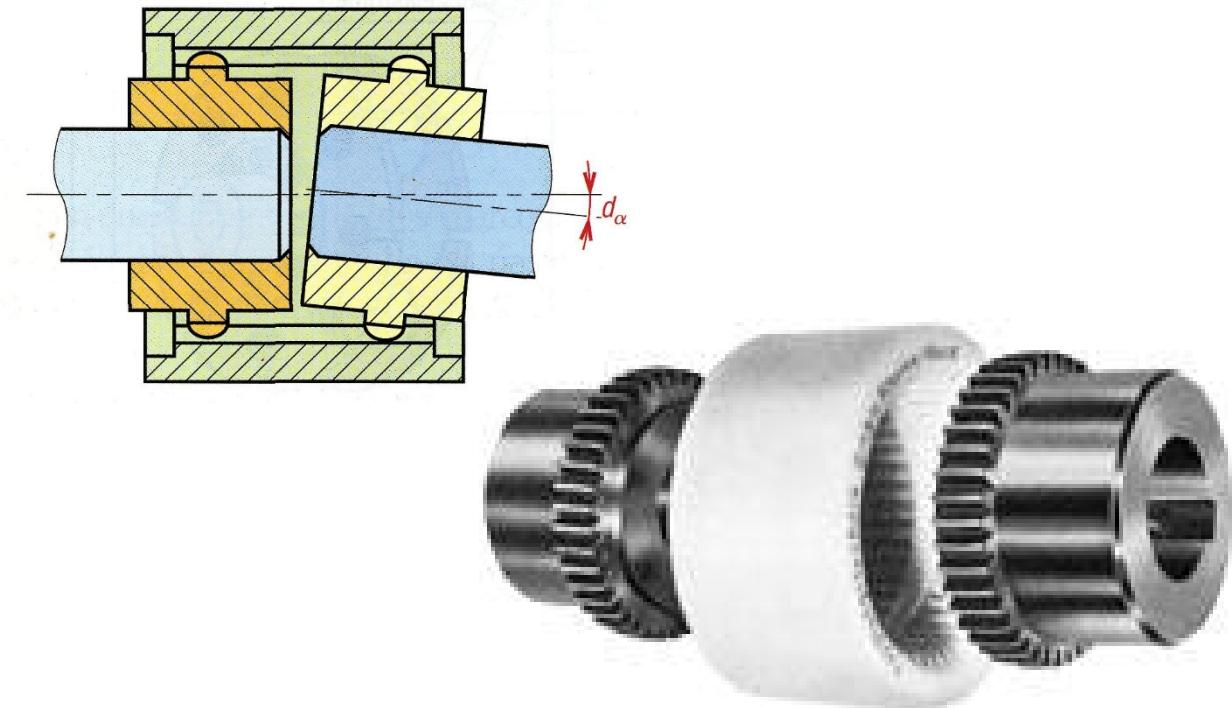
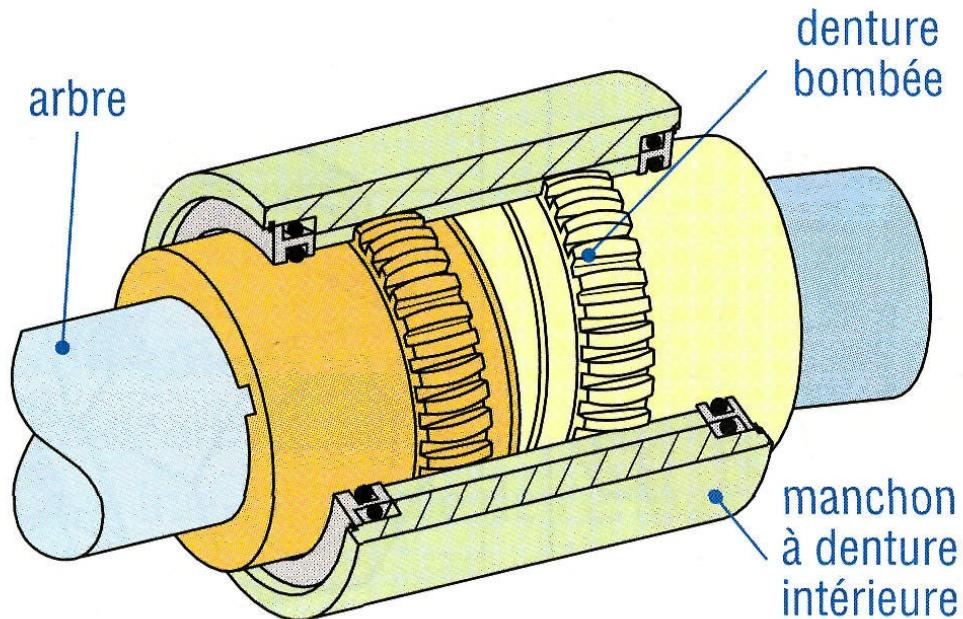
($R_{pg} \approx R_e/2$ avec R_e limite élastique du matériau)

Non flexible en torsion:



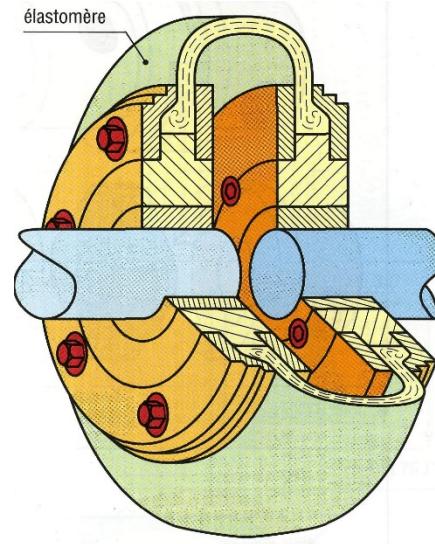
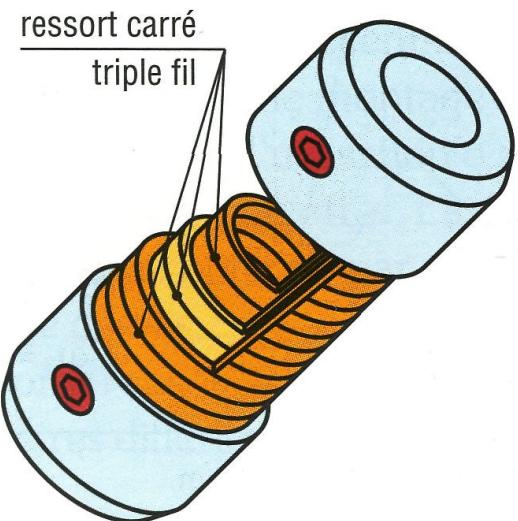
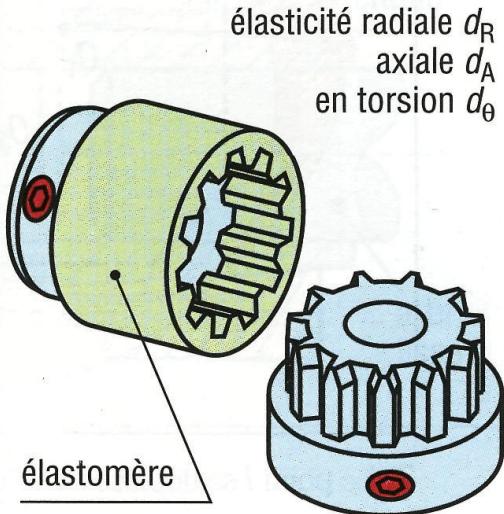
Joint d'Oldham pour défauts d'alignement radiaux – homocinétique
Pertes en frottement des plateaux - Pour ω faibles

Non flexible en torsion:

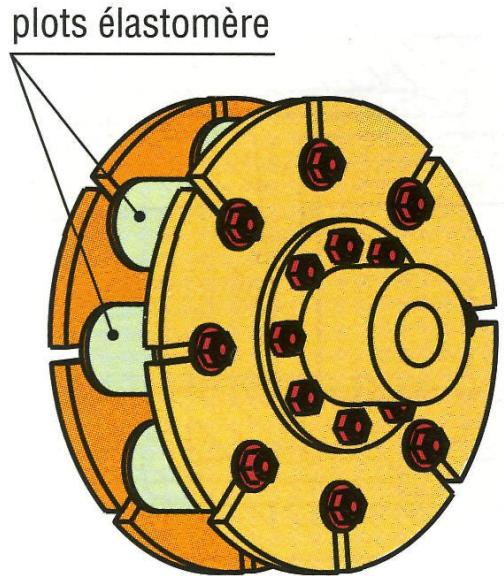


Accouplement à denture bombée pour défaut d'alignement angulaire

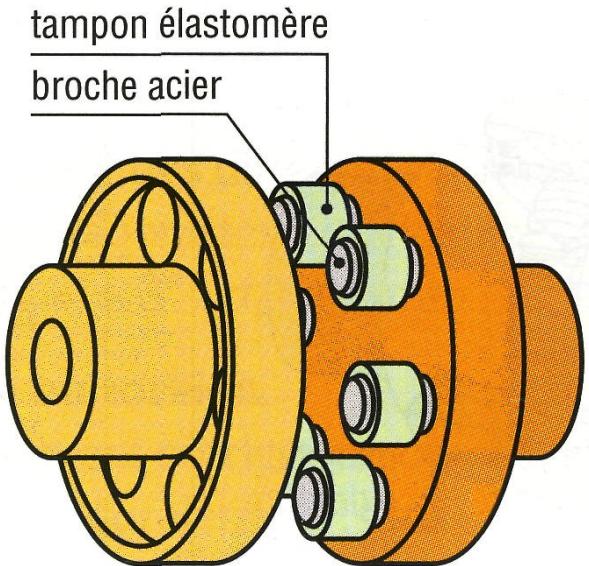
Flexibles en torsion:

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

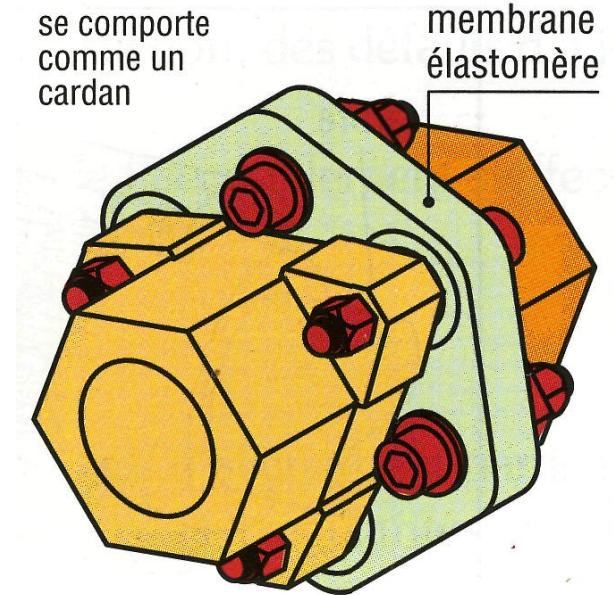
Flexibles en torsion:



$dR, d\theta$



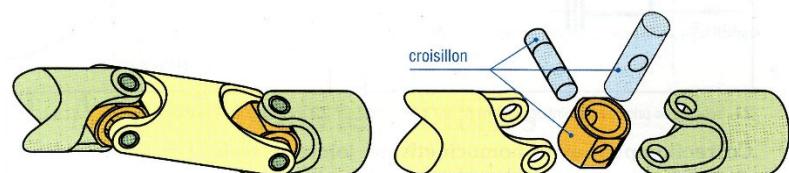
$dA, d\theta$



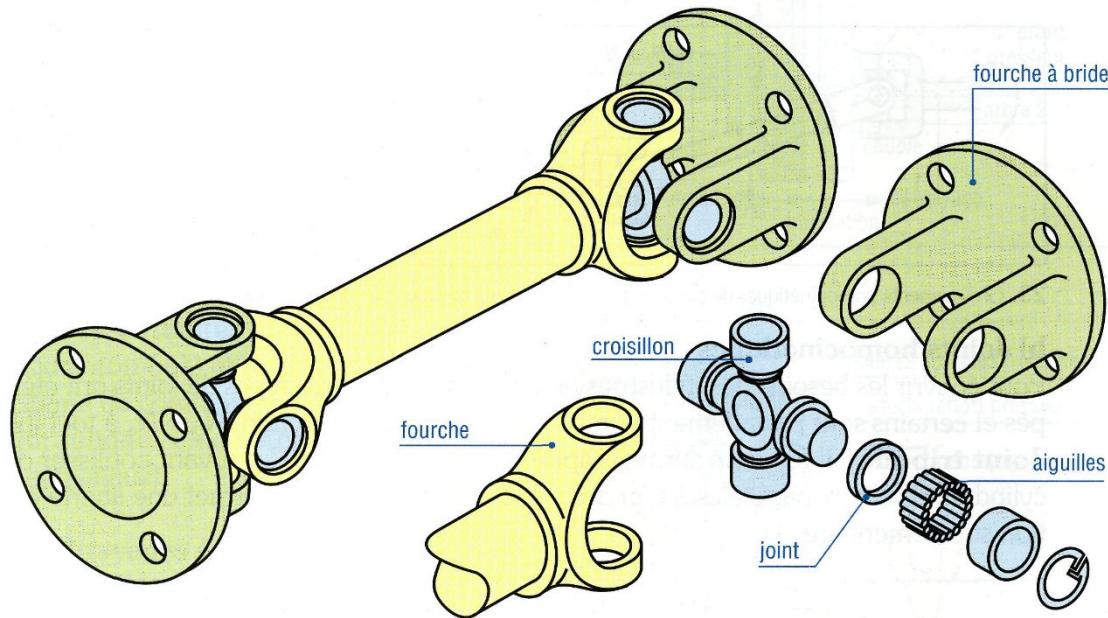
$d\alpha, d\theta$

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

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

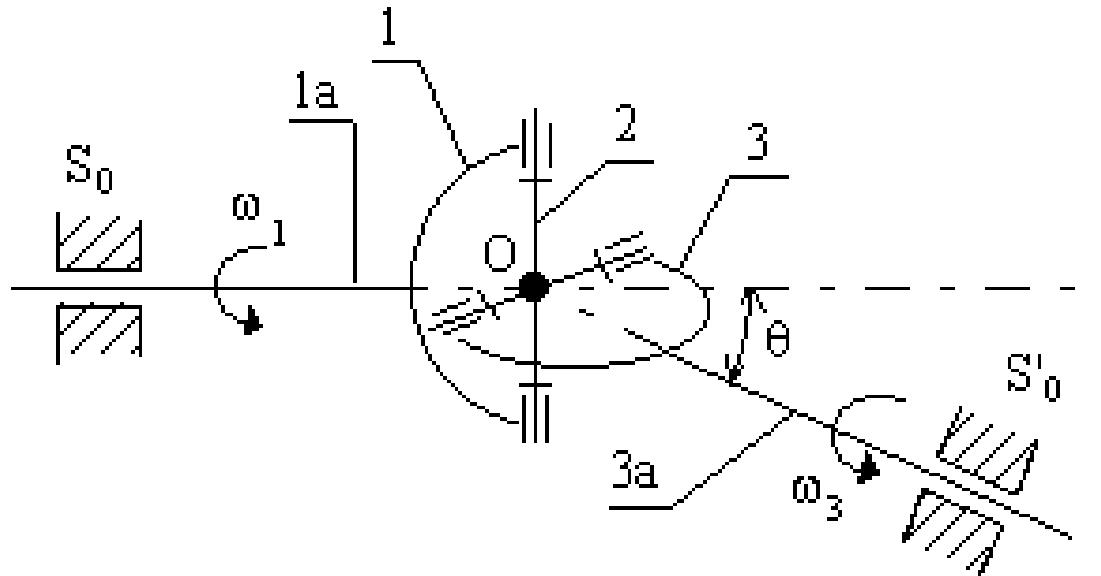


Couples faibles

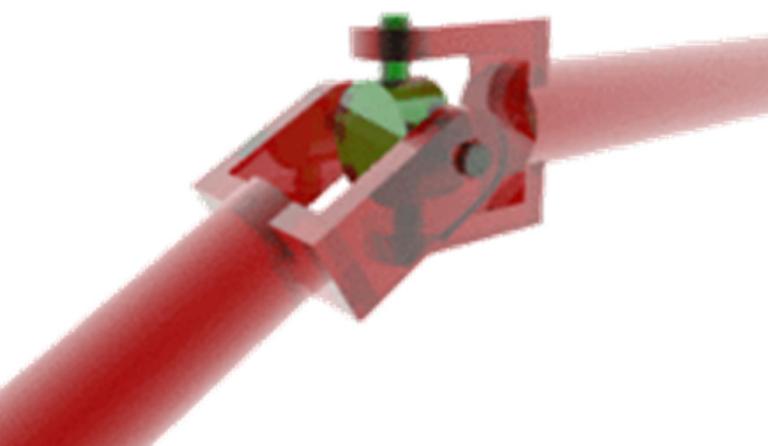


Couples élevés

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

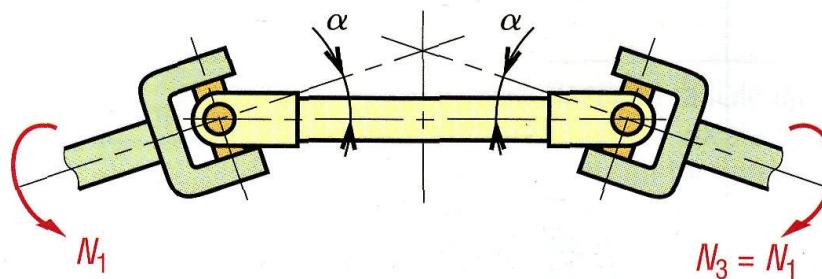
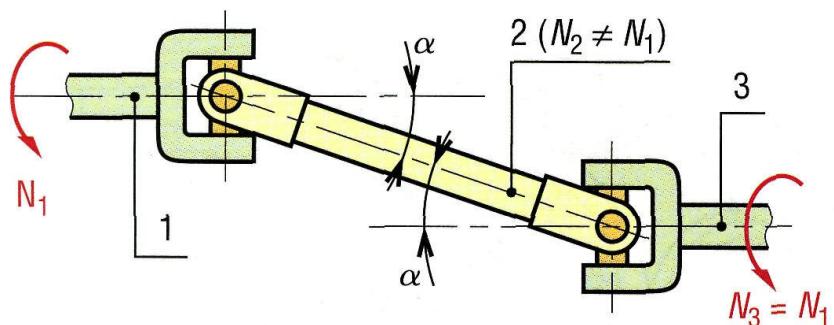
Solution: Double Joint de Cardan



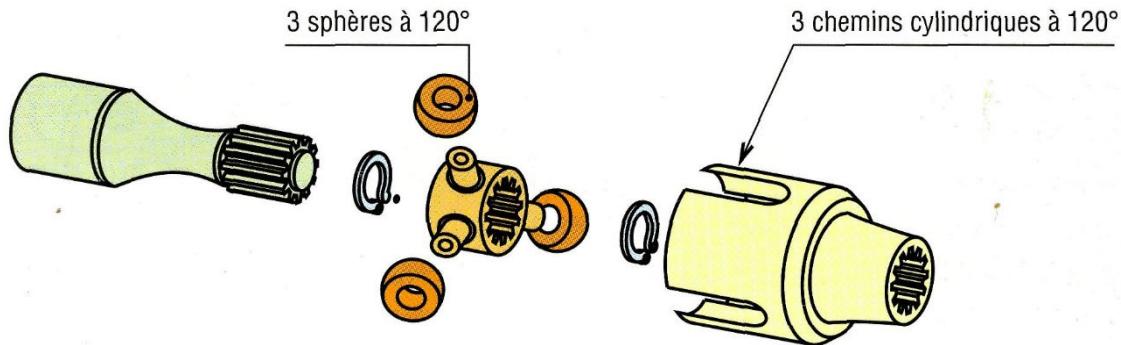
Land Rover Discovery TD5



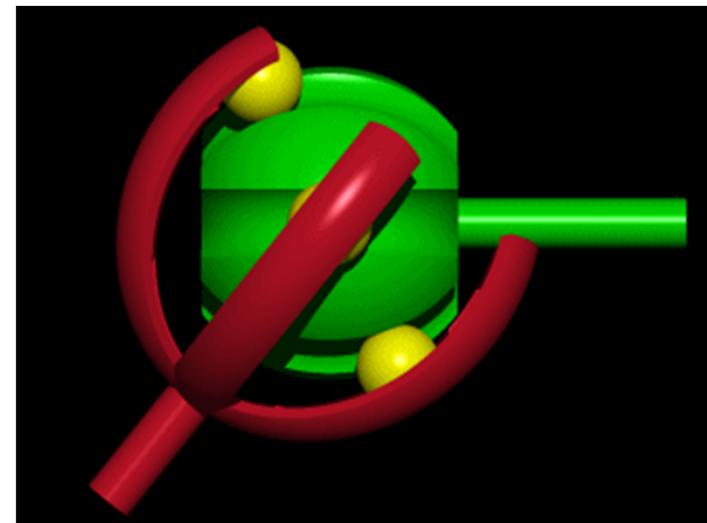
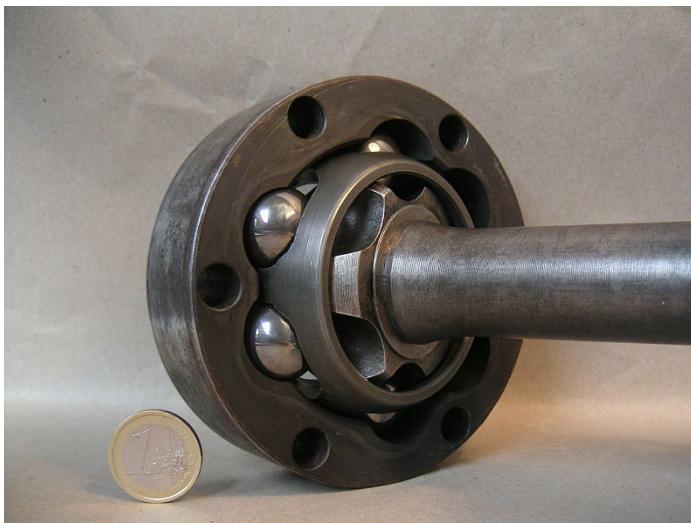
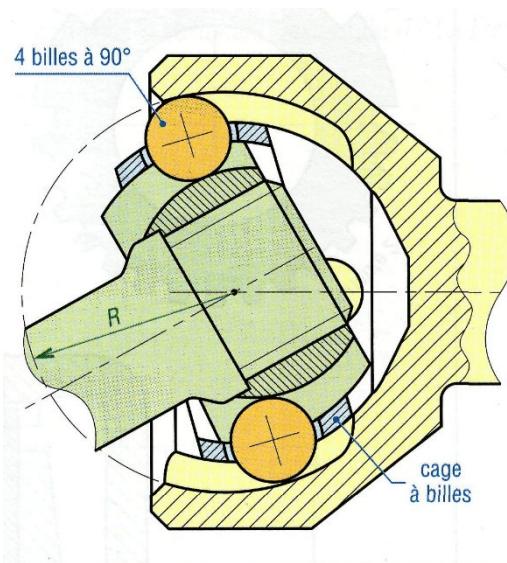
Range Rover



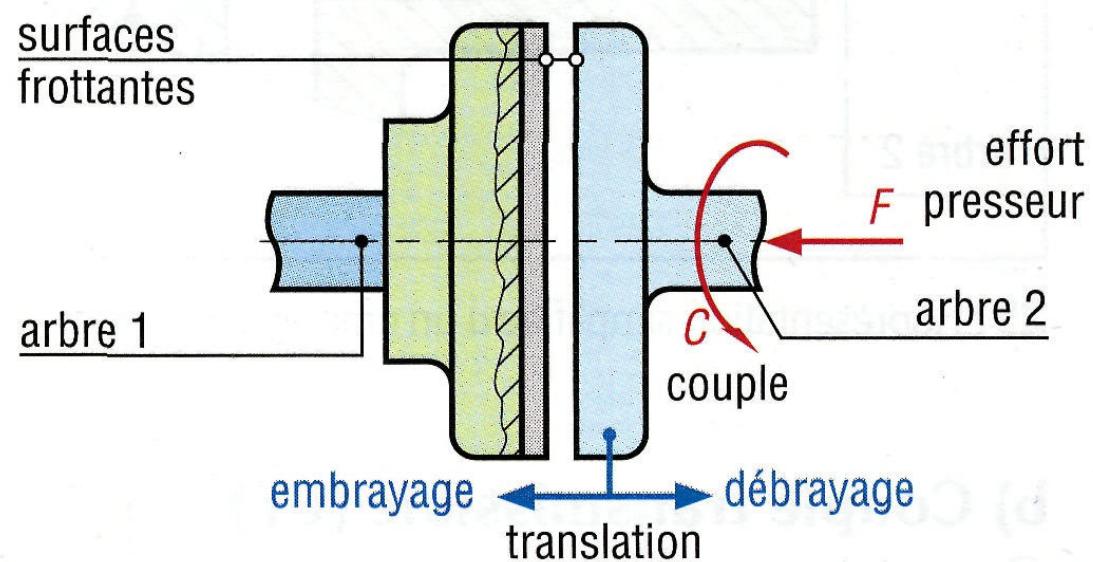
Joint tripode:



Joint type Rzeppa:



Principe: Embrayage à Friction

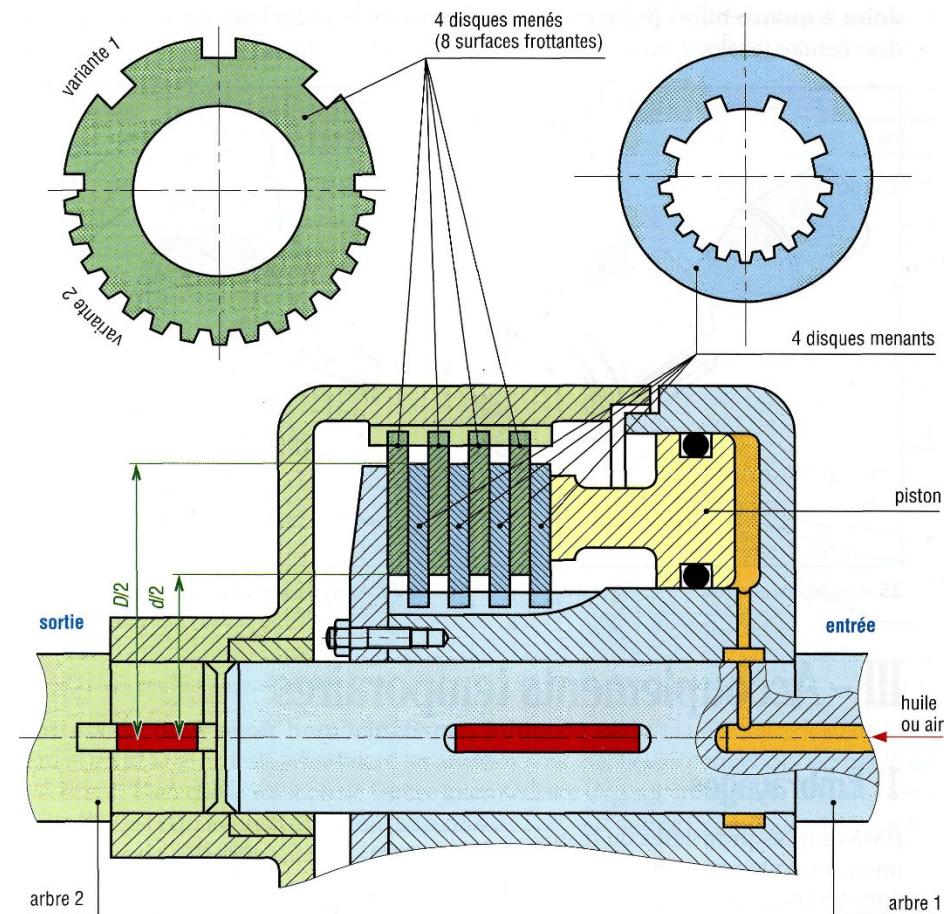
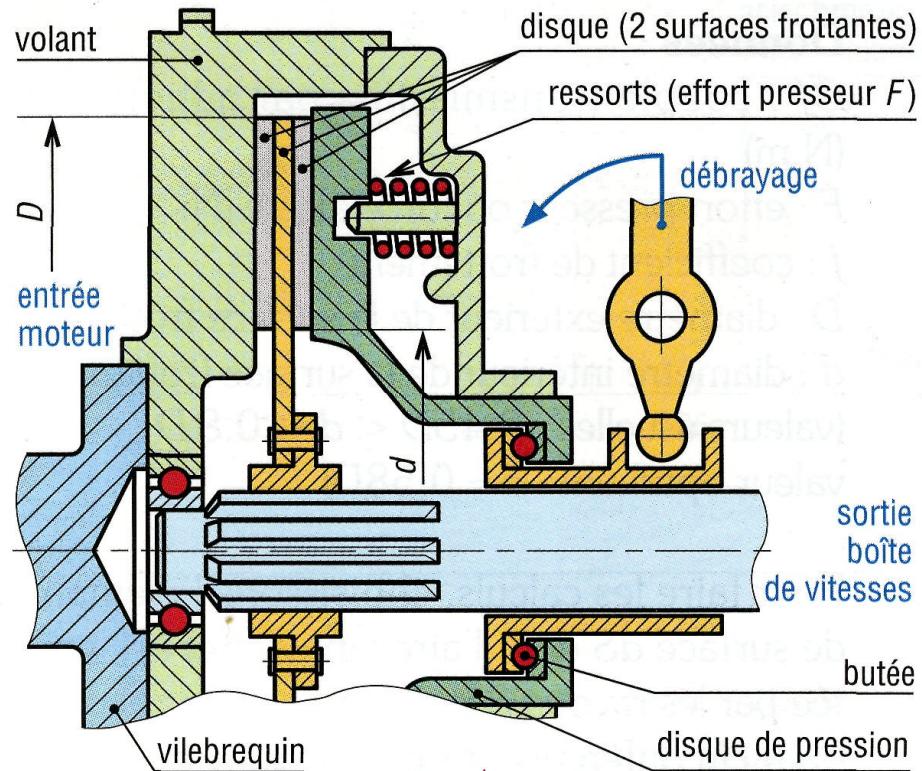


Accouplement/désaccouplement par commande

Faible tolérance aux defaults d'alignement

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

Embrayage à Disques (les plus utilisés):



Embrayage à Disques:

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

$$Cf = \frac{F.f}{3} \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)$$

$$Cf = \frac{n.F.f}{3} \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right) = \frac{2n.F.f}{3} \left(\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right)$$

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

Cf : couple transmissible par adhérence (N.m)

F : effort presseur ou force axiale (N)

f : coefficient de frottement

D : diamètre extérieur de la surface frottante

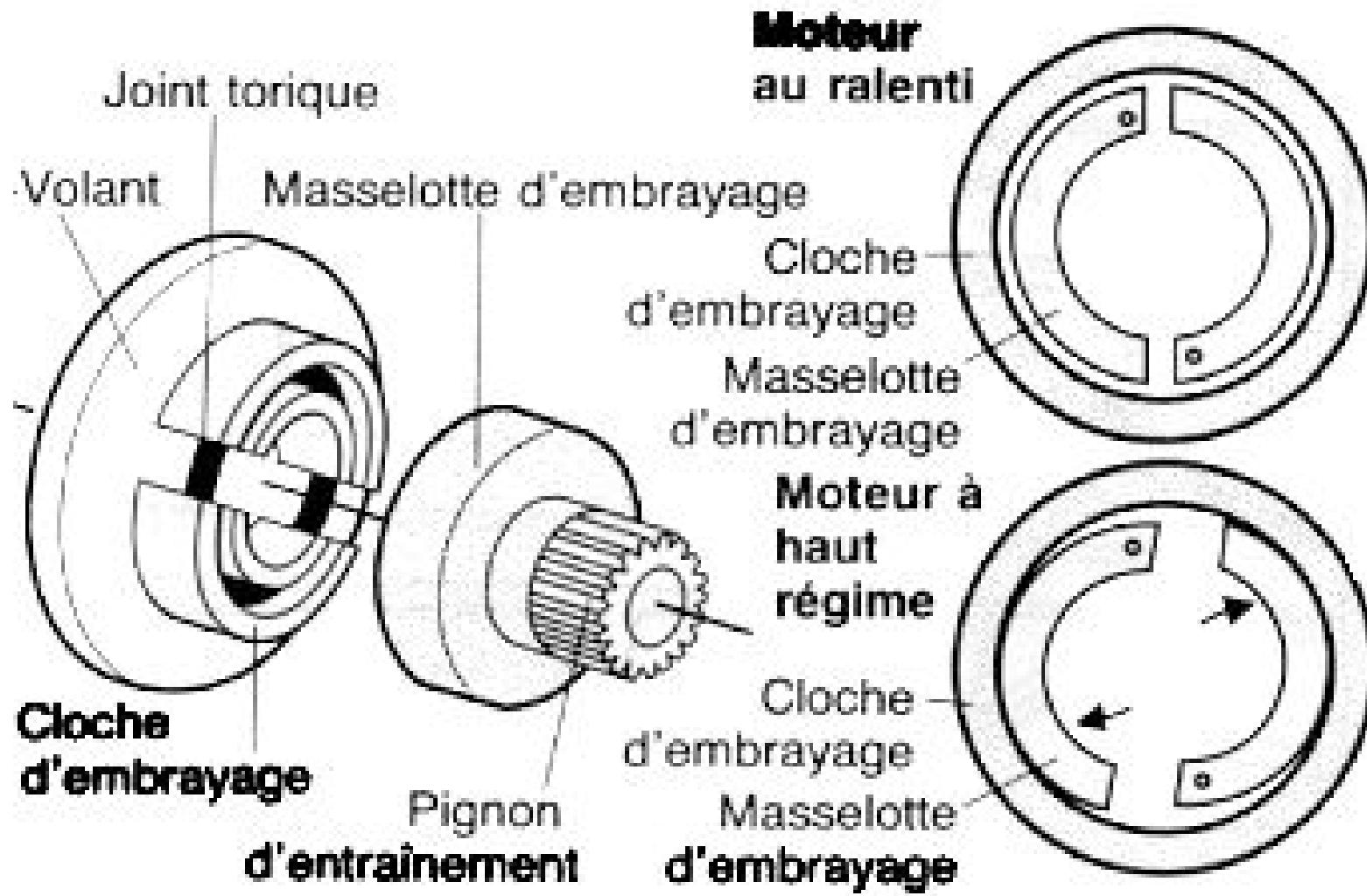
d : diamètre intérieur de la surface frottante

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

n : nombre de surfaces frottantes en contact

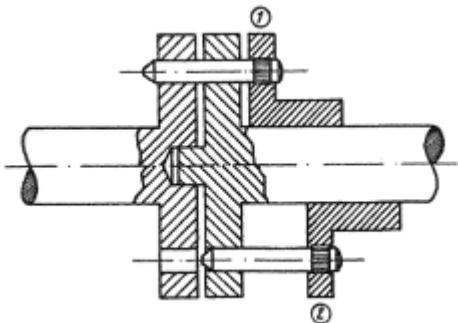
Caractéristiques constructives indicatives de quelques garnitures				
matériaux en frottement	coefficient de frottement (f)		pression maxi admissible N/mm ²	température maximale °C
	à sec	dans l'huile		
métal fritté sur fonte	0,1 à 0,4	0,05 à 0,1	1	500 à 600
métal fritté sur acier	0,1 à 0,3	0,05 à 0,1	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:

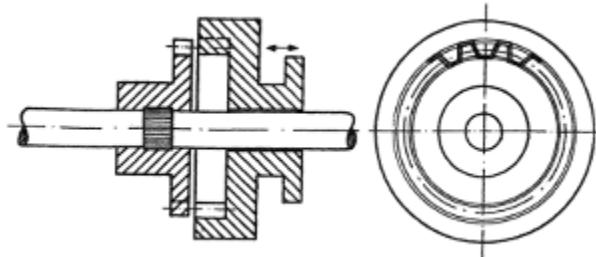


Embrayage à dents ou griffes:

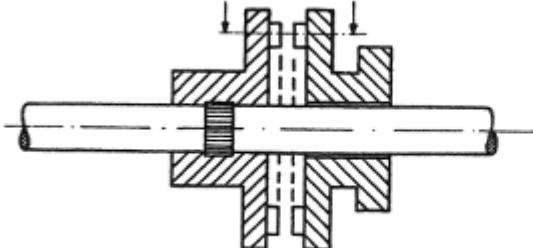
Accouplements à



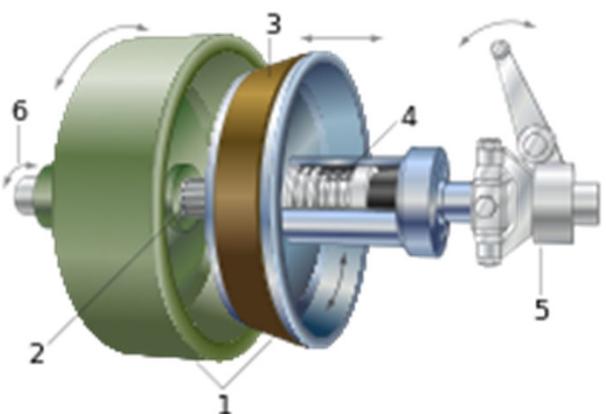
manchon à doigts



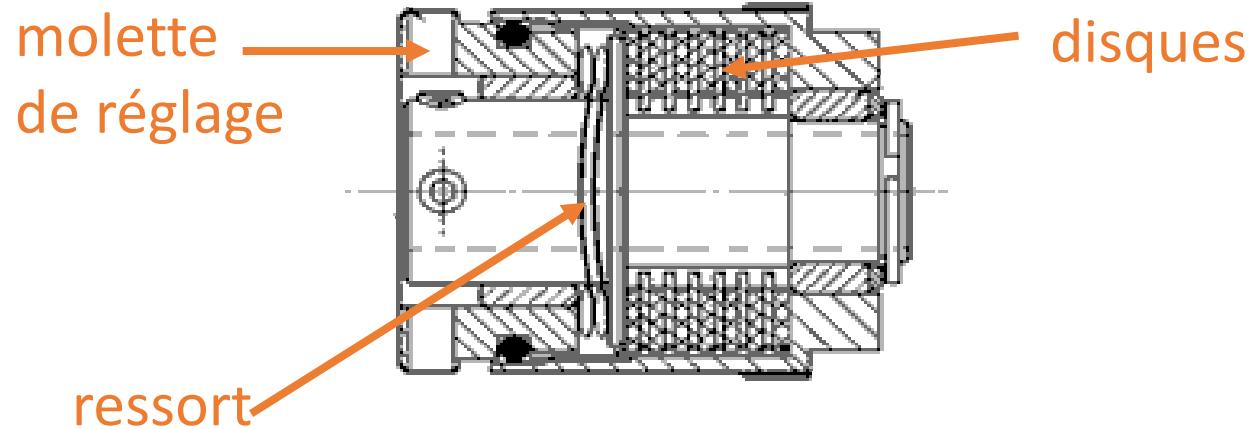
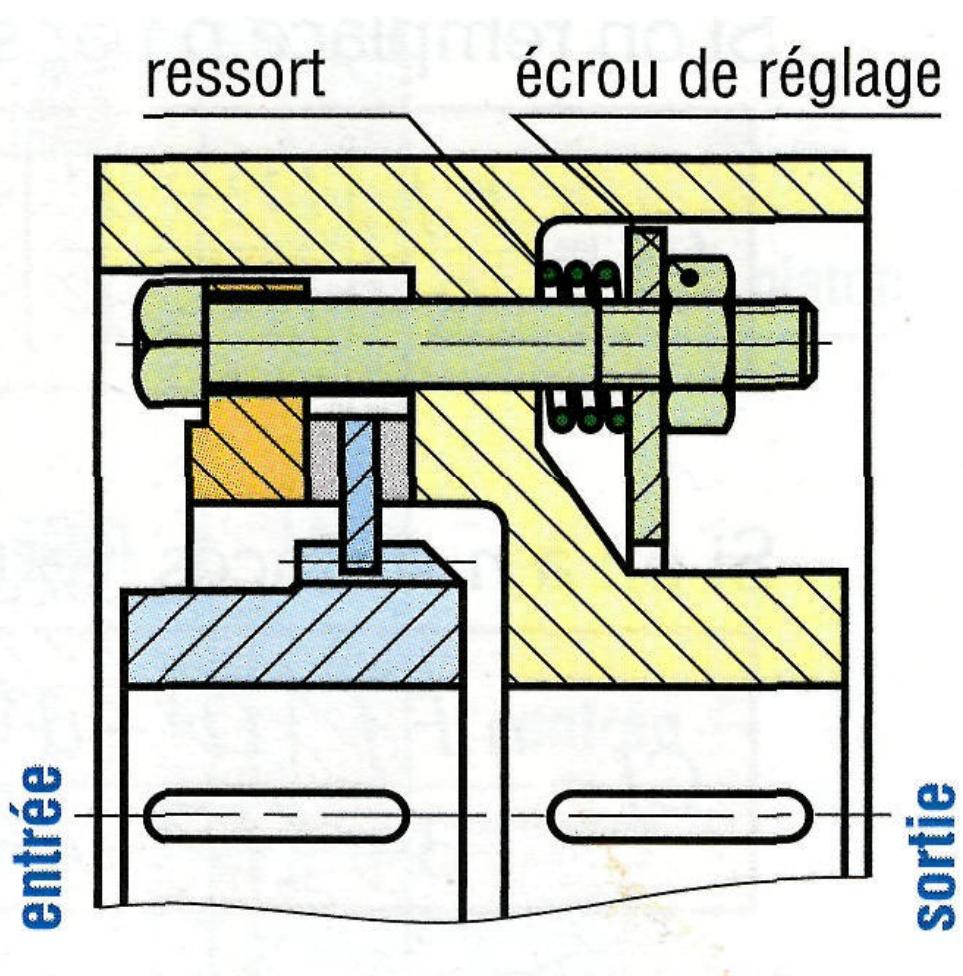
manchon denté



griffes

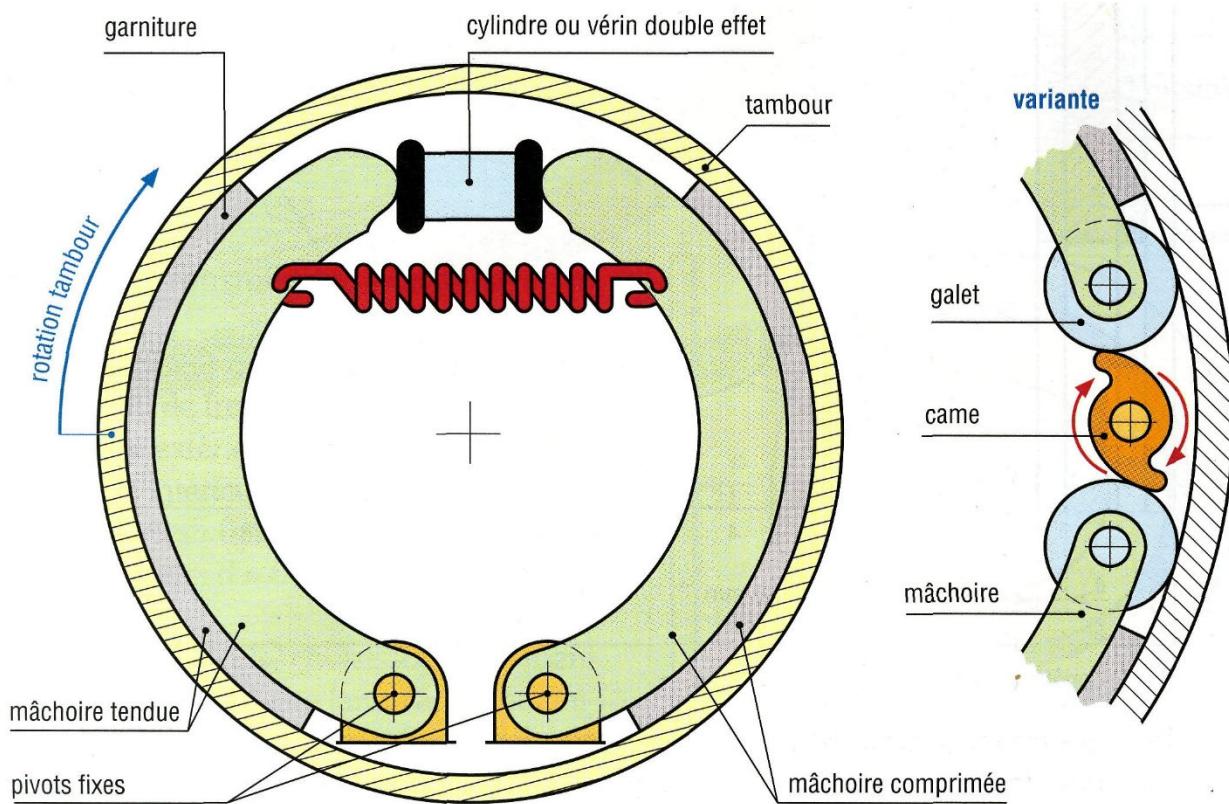
Embrayage à cônes:

Similaire aux embrayages à disques:



Absorbent l'énergie cinétique transformée en chaleur

Frein à tambours:



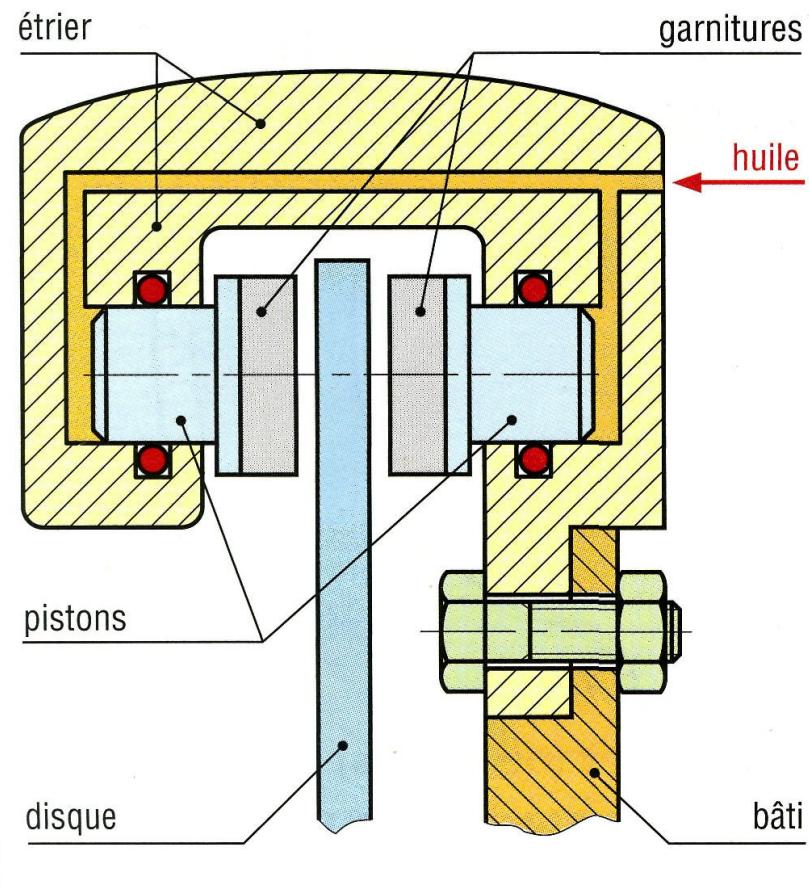
Frein camion Meritor

Frein à sabot:

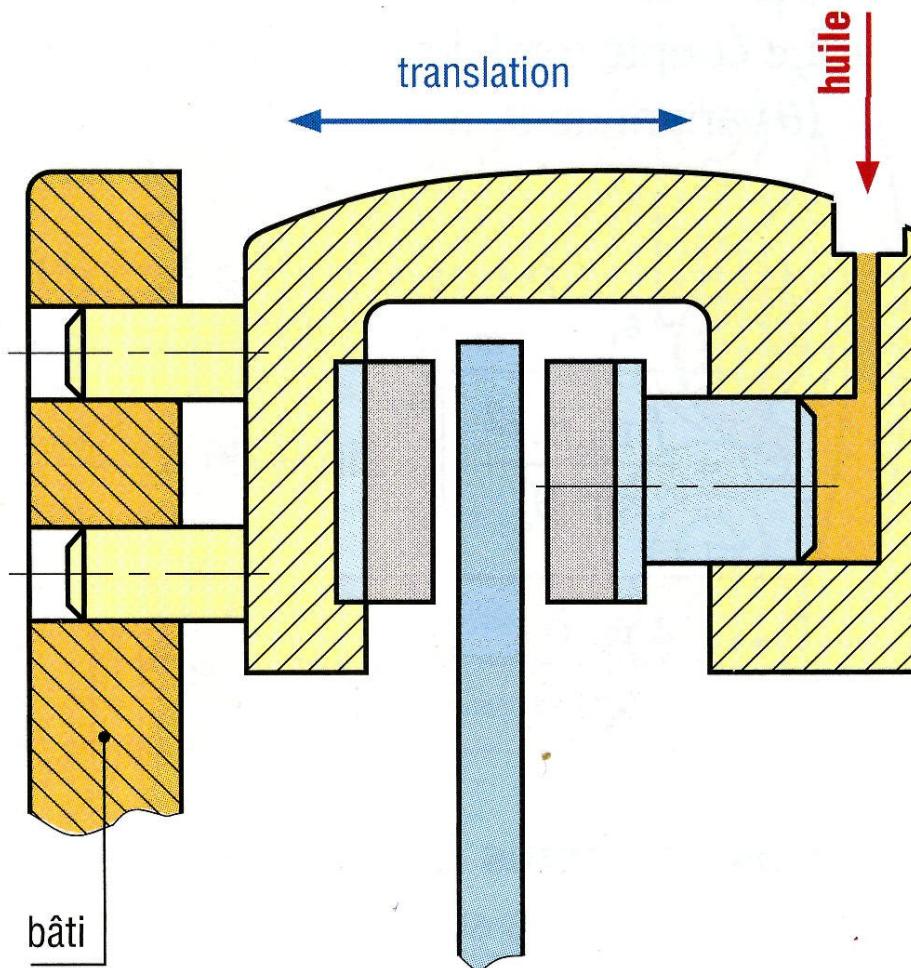


Freins à disque(s):

Etrier Fixe



Etrier mobile

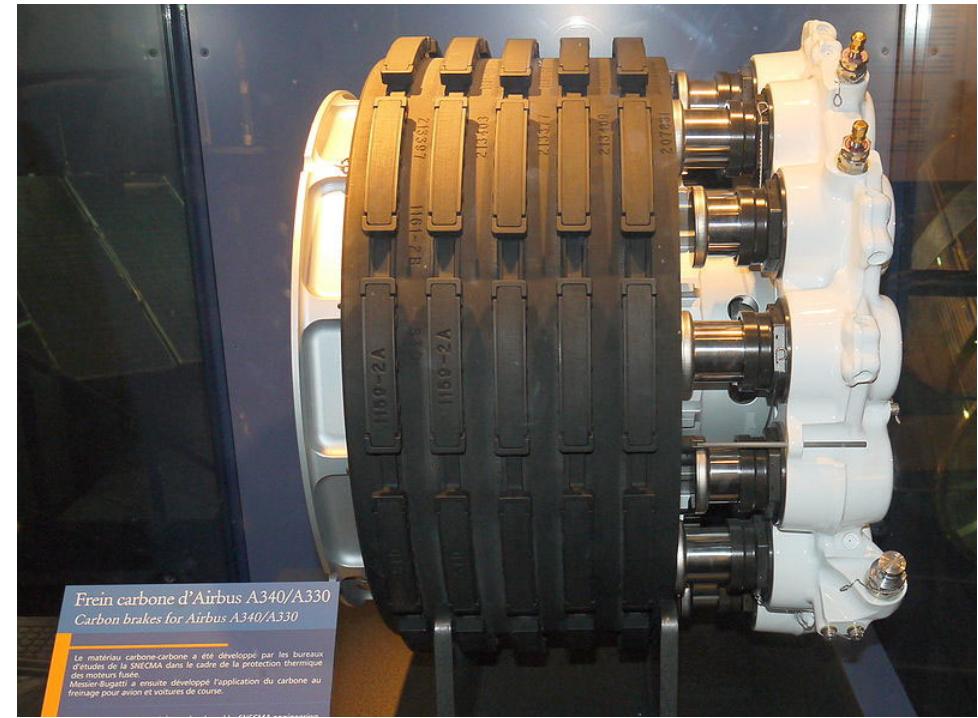
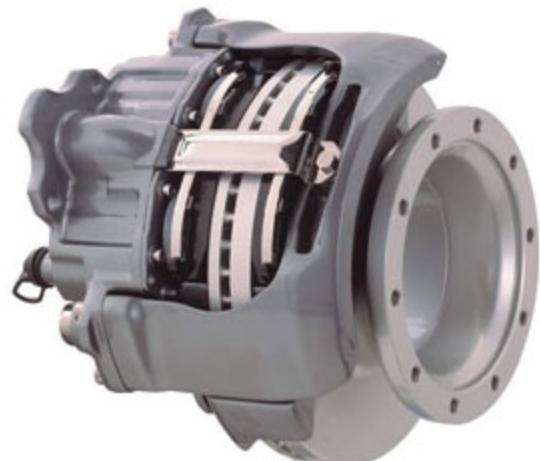


Freins à disque(s):

Porsche Cayenne



Camion Meritor



Carbone/carbone
Airbus A330/340

Freins à disque(s):



Moto



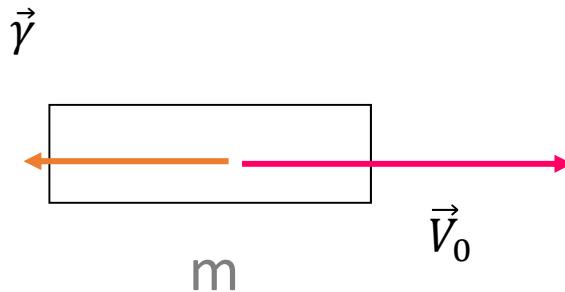
Vélo



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

Freinage:

Automobile 1 000 kg à 130 km/h 650 kJ 180 kW

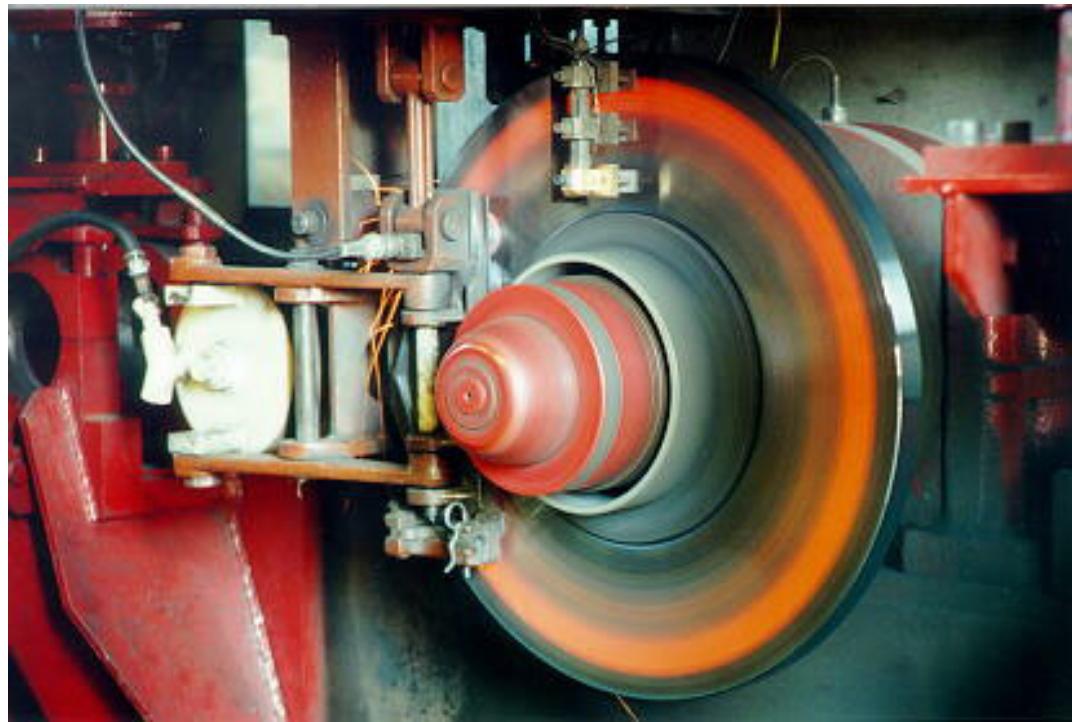
Ascenseur 2500 N à 0,5 m/s 125 W (20 s 2,5 kJ)

AIRBUS A330 (250.10³ kg)

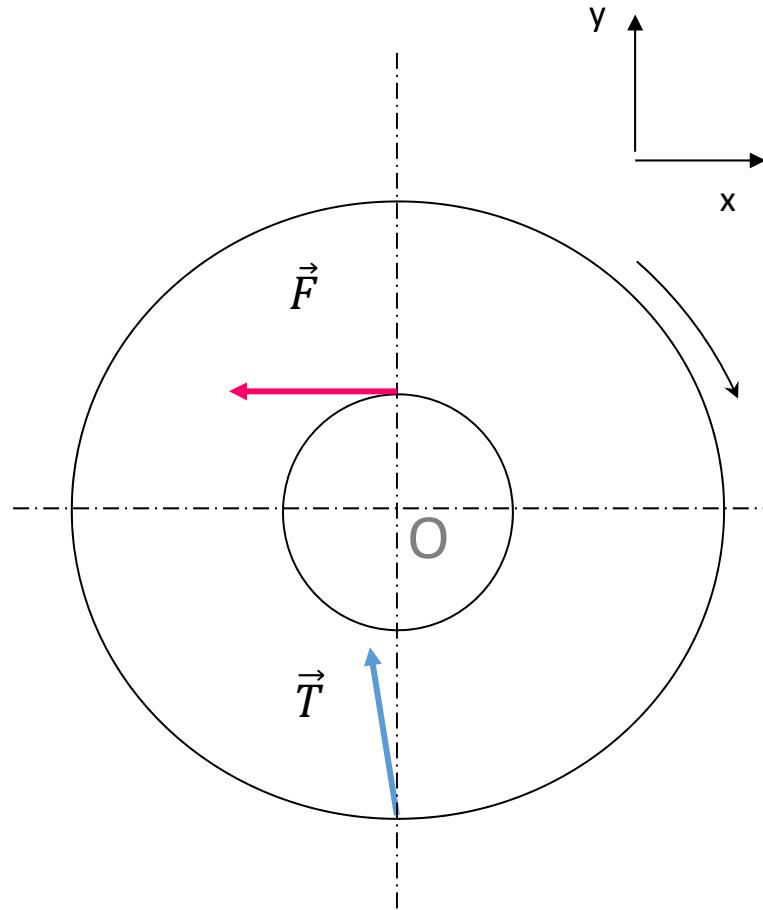
frein 129 kg roue diam 1,15 m 105 MJ

Freinage:

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



Freinage:



Dynamique

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

Glissement (statique)

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

Freinage:

Contact pneumatique - sol

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

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

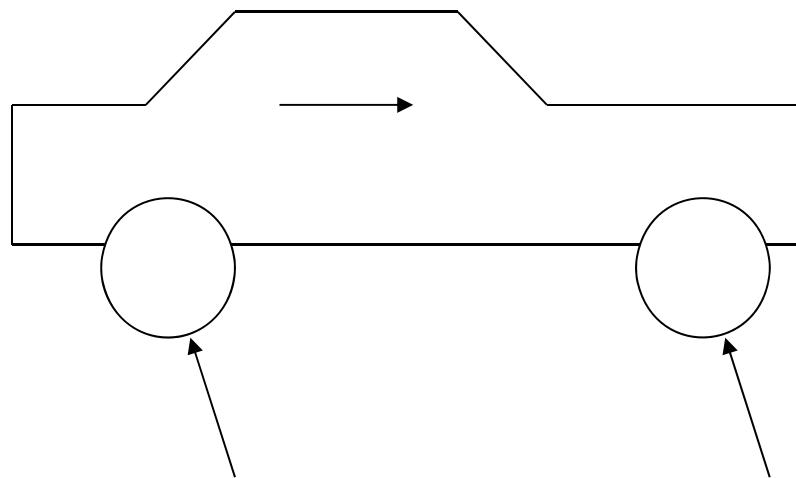
Dynamique

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

4 roues identiques

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

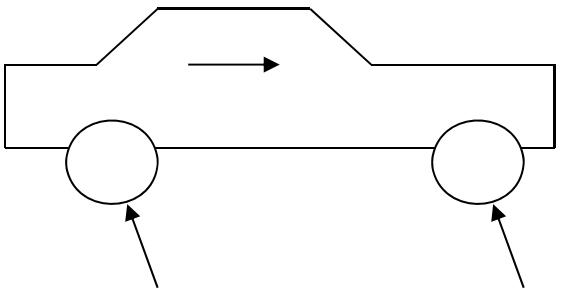
$$m \ddot{x} = m g \tan \phi_0 = m g f_0$$



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 : $g = 0,8 - 0,9 \text{ g}$ → Formule 1 : $3,5 - 4 \text{ g}$

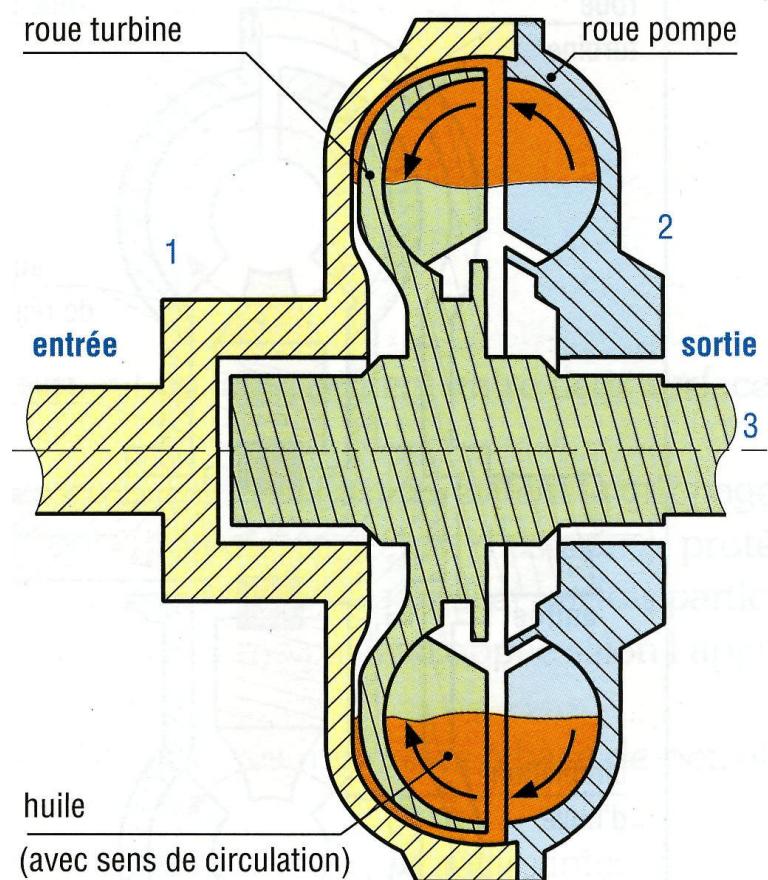
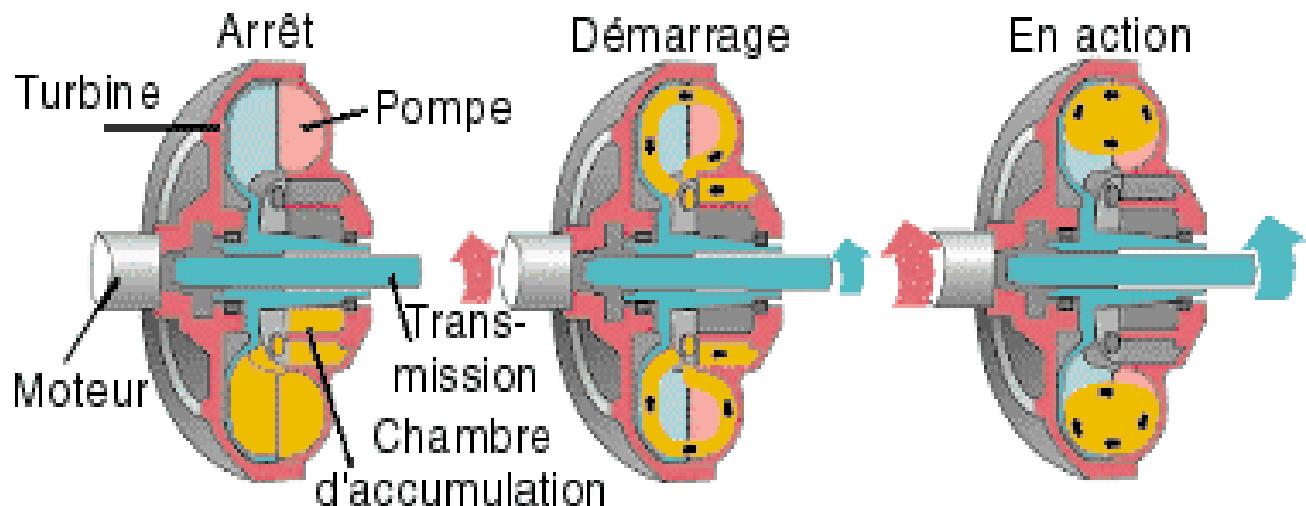
Bitume humide : $g = 0,4 - 0,5 \text{ g}$

Bitume très humide ou boue : $g = 0,1 \text{ g}$

1 000 kg	130 km/h
81 m pour $f_0 = 0,8$	
162 m pour $f_0 = 0,4$	
650 m pour $f_0 = 0,1$	

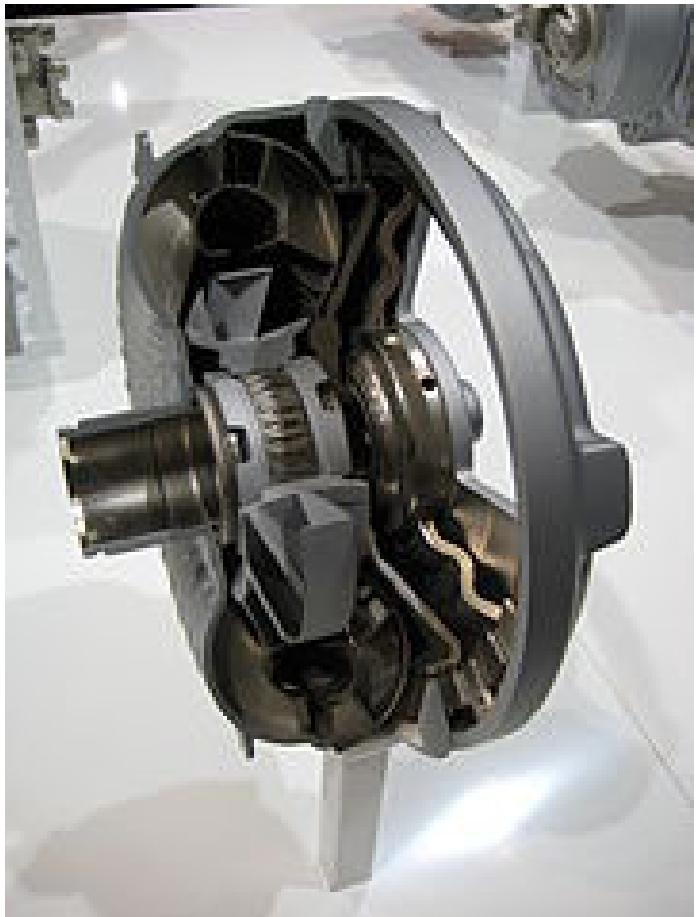
Coupleur hydraulique:

Transfert de couple par fluide

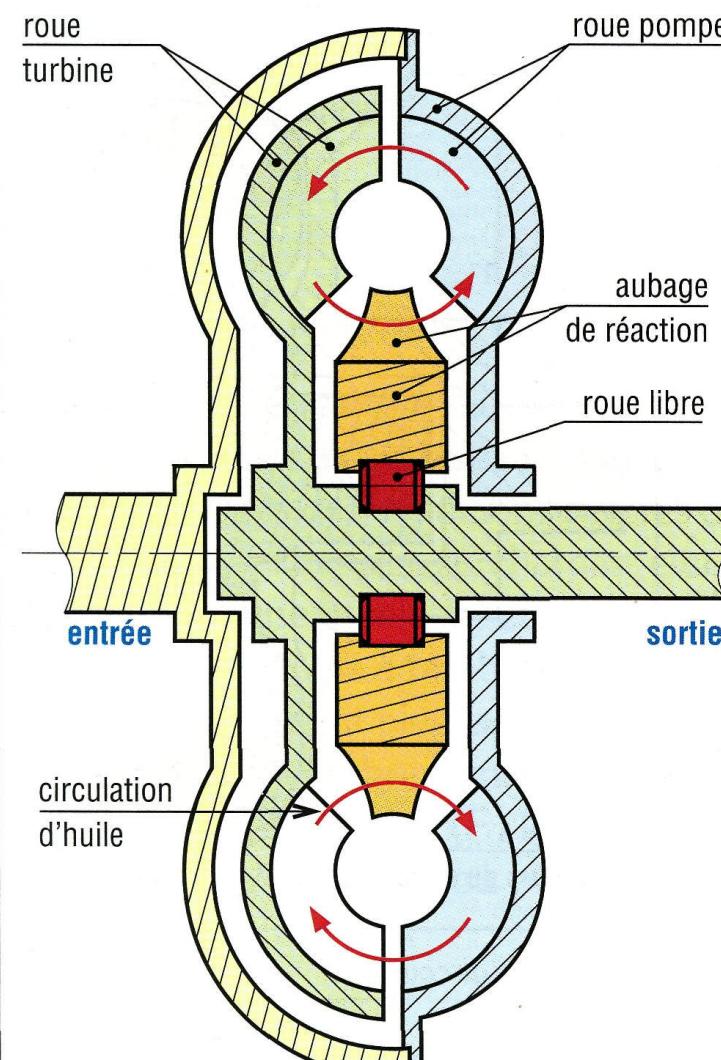


Convertisseur de couple hydraulique

Camions avec boite automatique

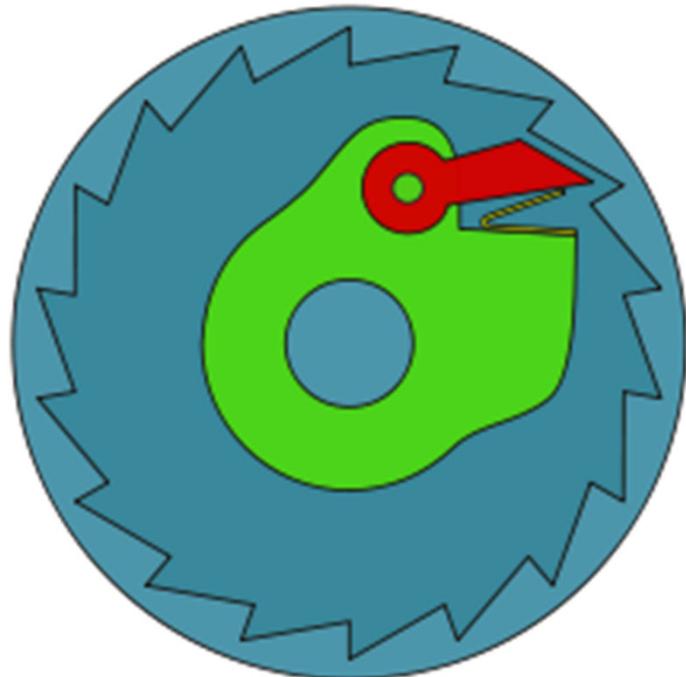


ZF



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

A cliquet



A rouleaux, galets, billes

