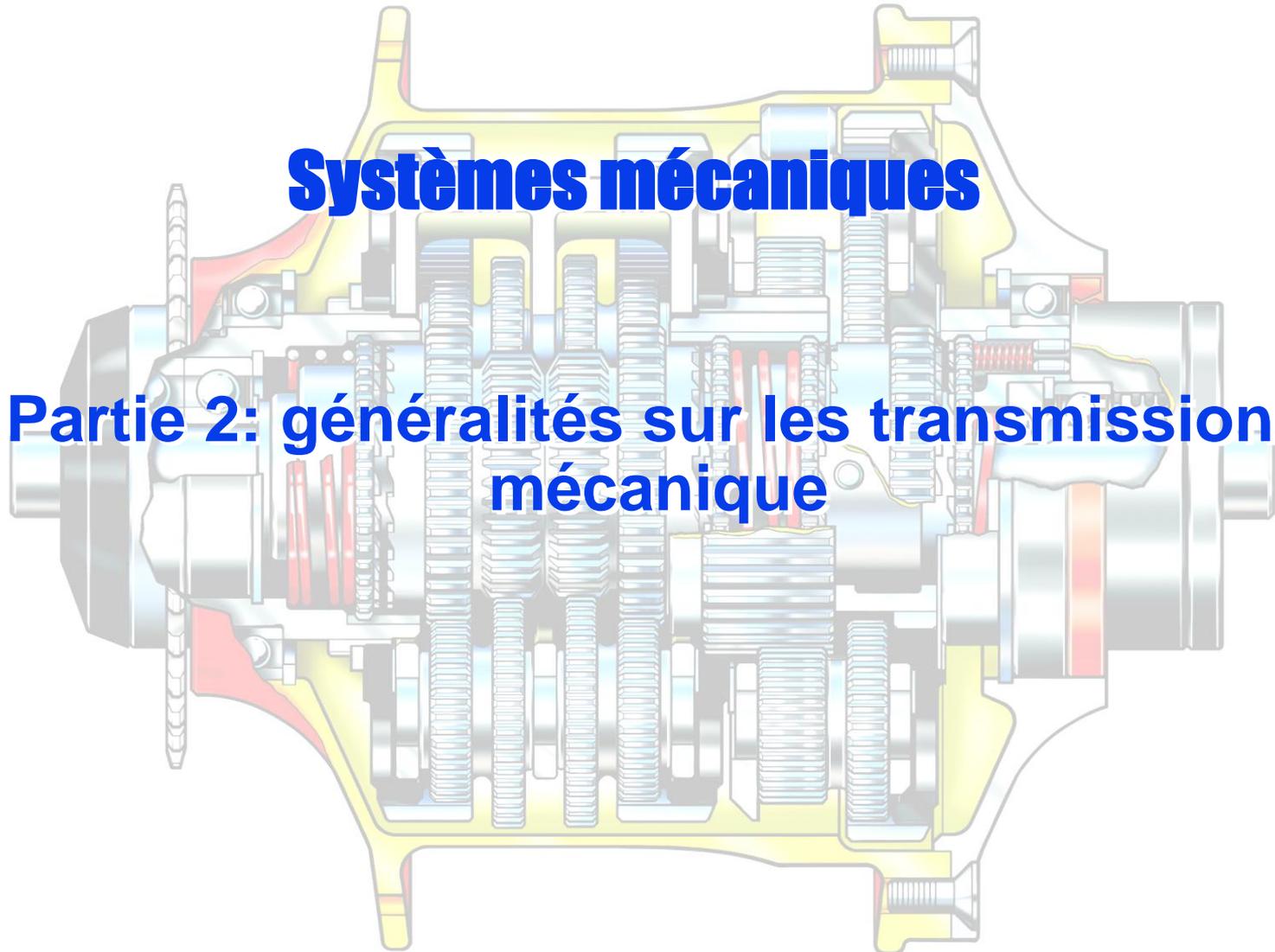


Systemes mécaniques

Partie 2: généralités sur les transmissions mécaniques



Sommaire

- ◆ Energie, effort, mouvement, rendement
- ◆ Transmission mécanique, propriétés générales
- ◆ Principes de transmission des efforts
- ◆ Moteurs, récepteurs caractéristiques

Energie: définition

- ◆ L'énergie est une capacité à transformer un état.
- ◆ Dans le sens commun l'énergie désigne tout ce qui permet d'effectuer un **travail**, générer de la **chaleur**, de la **lumière**, de produire un **mouvement**.
- ◆ Unité d'énergie: [J]

http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie#.C3.89nergie_en_sciences_physiques

Formes d'énergie

- ◆ Energie mécanique
 - Bouteille d'air comprimé
- ◆ Energie thermique
 - Couches géologiques (Islande)
- ◆ Energie chimique
 - Explosif, combustible
- ◆ Energie électromagnétique
 - Lumière

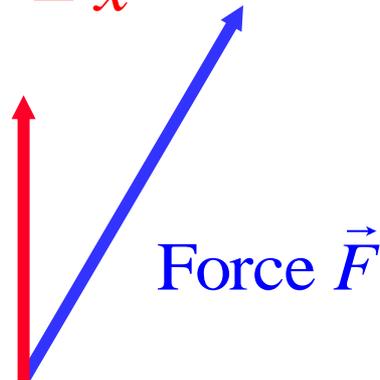
Efforts et mouvement

Efforts: force \vec{F} et moment \vec{M}

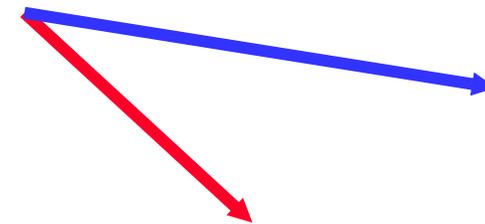
Mouvements: translation \vec{x} et rotation ϕ

vitesse de translation \vec{v} et vitesse de rotation $\vec{\omega}$

translation $\vec{x}, \vec{v} = \dot{\vec{x}}$



Force \vec{F} et moment \vec{M}



rotation $\vec{\phi}, \vec{\omega} = \dot{\vec{\phi}}$

Types d'énergies mécaniques

- ◆ Energie cinétique:

$$E_{cin} = E_{cin trans} + E_{cin rot} = \frac{1}{2} \vec{v}^T m \vec{v} + \frac{1}{2} \vec{\omega}^T \underline{J} \vec{\omega}$$

- ◆ Energie potentielle:

$$E_{pot ressort} = \frac{1}{2} k (\Delta \delta)^2 \quad E_{pot position} = mg \Delta h$$

- ◆ Travail:

$$T = \vec{F}^T \vec{x} + \vec{M}^T \vec{\phi}$$

- ◆ Puissance: énergie libérée/libérable par unité de temps [W]

$$P = \frac{dE}{dt} \quad P = \vec{F}^T \vec{v} + \vec{M}^T \vec{\omega}$$

Transmissions mécaniques

Exemple de transmission

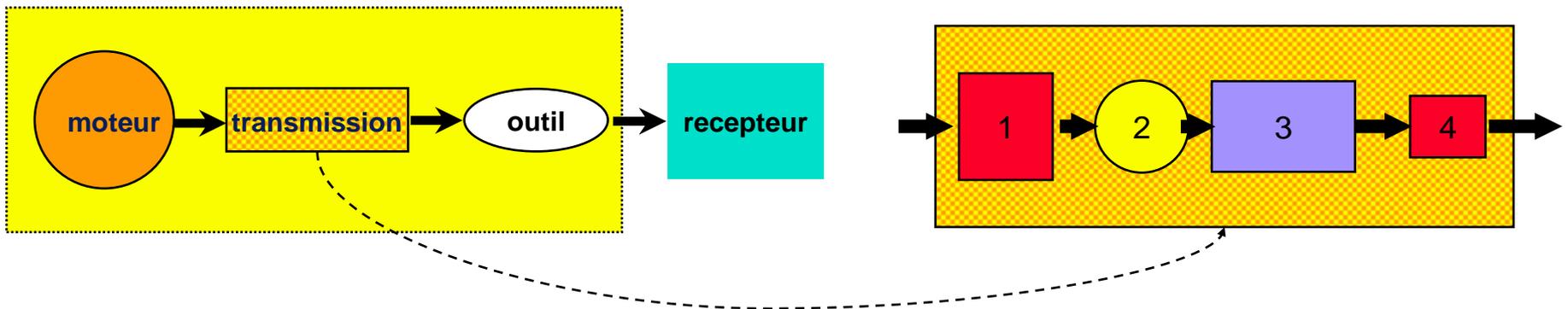


Exemple de transmission

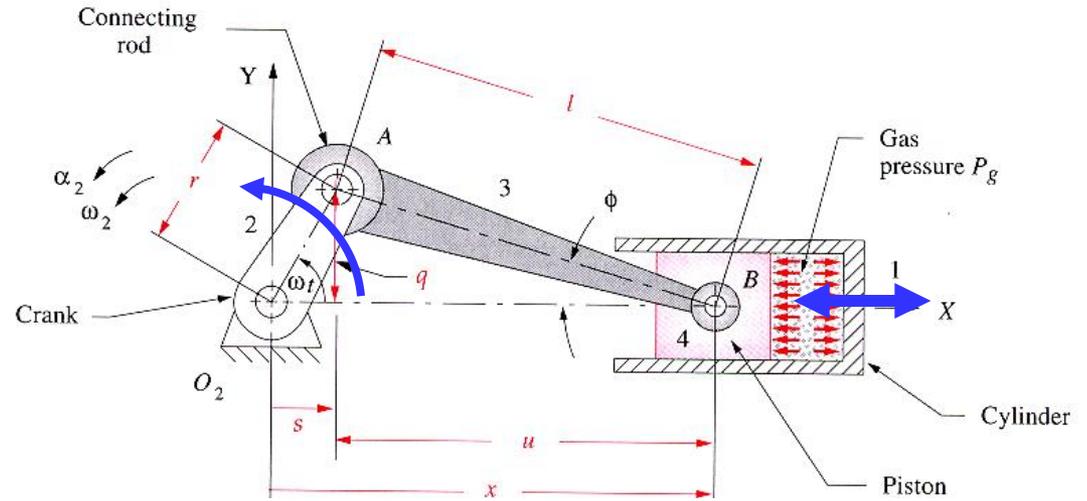
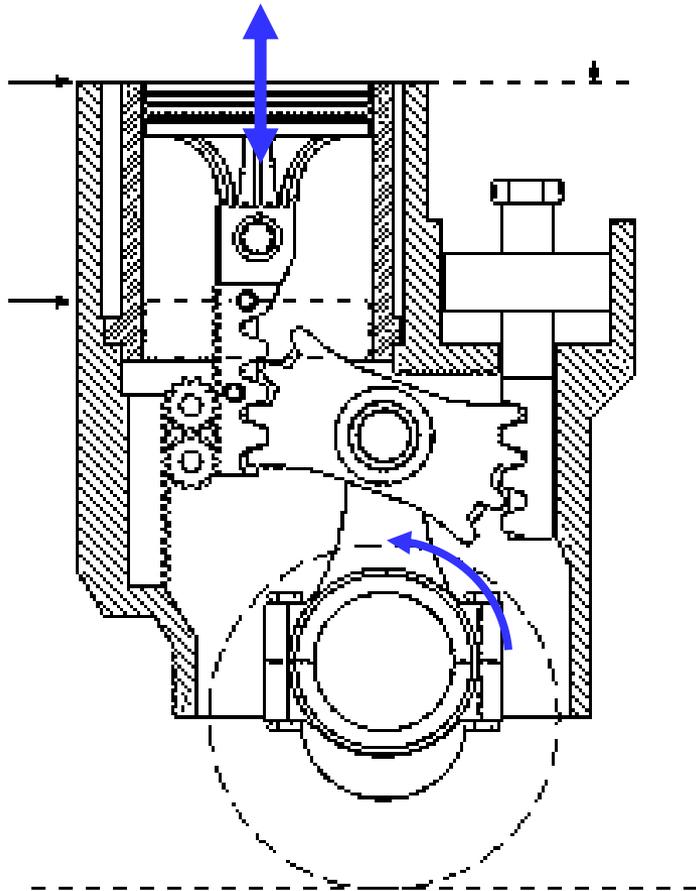


(Système de) transmission : définition

- ◆ *Une transmission (un système de transmission) est un mécanisme qui reçoit de la puissance d'un moteur et la transmet à un récepteur.*
- ◆ La transmission peut aussi transformer:
 - La nature,
 - l'amplitude,
 - la directiondes efforts et du mouvement impliqués.
- ◆ La transmission peut avoir plusieurs éléments



Exemples de transmissions mécaniques



Propriété d'une transmission mécanique: rapport de vitesse ou de transmission



Rapport de vitesse $i = \frac{\text{vitesse d'entrée}}{\text{vitesse de sortie}}$

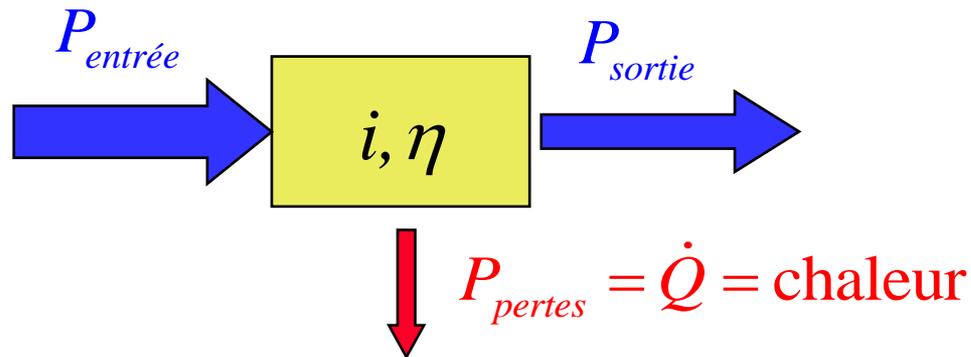
Entrée = rotation - sortie = rotation $i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$

Entrée = translation - sortie = translation $i = \frac{v_1}{v_2}$

Entrée = rotation - sortie = translation $i = \frac{\omega_1}{v_2}$

Entrée = translation - sortie = rotation $i = \frac{v_1}{\omega_2}$

Propriété d'une transmission mécanique: rapport de vitesse ou de transmission

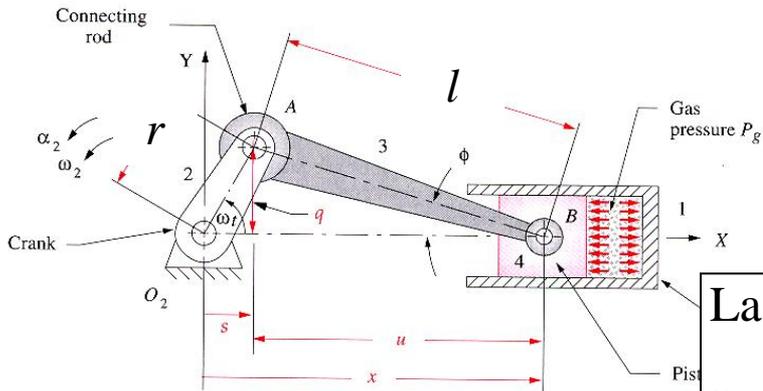


Rendement:
$$\eta = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}} = \frac{P_{\text{entrée}} - P_{\text{perte}}}{P_{\text{entrée}}} = \frac{\text{Effort de sortie } 1}{\text{Effort d'entrée } i}$$

Puissance perdue:
$$P_{\text{perte}} = P_{\text{entrée}} (1 - \eta)$$

Systeme sans dissipation:
$$P_{\text{entrée}} = P_{\text{sortie}} \Rightarrow \eta = 1 \Rightarrow P_{\text{perte}} = 0$$

Exercice: rapport de vitesse et rendement



La vitesse de rotation du vilebrequin est donnée par

$$\dot{\alpha}(t) = \frac{\hat{v}(t)}{r \left[\sin \alpha(t) + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha(t) \right]} \quad \text{avec } \lambda = \frac{r}{l}$$

On admet $\dot{\alpha}(t) = \text{cste} = 3600 \text{ t/min} = \dot{\alpha}_{\text{couple max}}$

Le couple optimum à la vitesse $\dot{\alpha}_{\text{couple max}}$ est de 30 Nm

La puissance chimique fournie au piston est de 28 kW

Quel est le rapport de vitesse ? Que pouvez-vous dire du rapport de vitesse ?

Quel est le rendement η à 3600 t/min ?

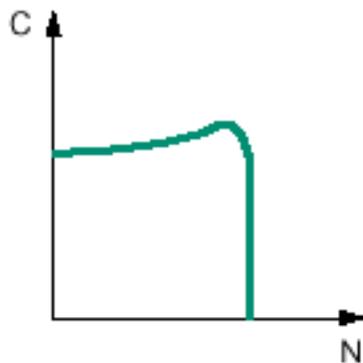
Caractéristique d'un moteur / récepteur

- ◆ La caractéristique d'un moteur / récepteur est la courbe de son couple en fonction de sa vitesse.
- ◆ Le point de fonctionnement d'un système mécanique est l'intersection des caractéristiques de son moteur et de son récepteur.
- ◆ Pour que le système puisse fonctionner il faut qu'il existe un point de fonctionnement (stable)

Caractéristiques de moteurs

Formes de couple moteur

Type 1

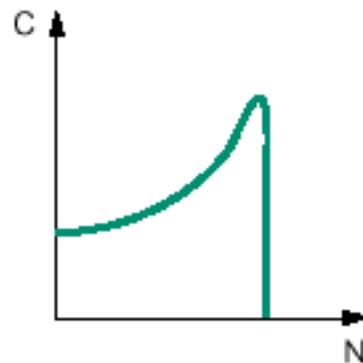


Courbe presque plate entre C_d et C_{maxi}

Types de rotor :

simple cage à encoches profondes et barres fines
simple cage à encoches trapézoïdales, ou en L, ou en T

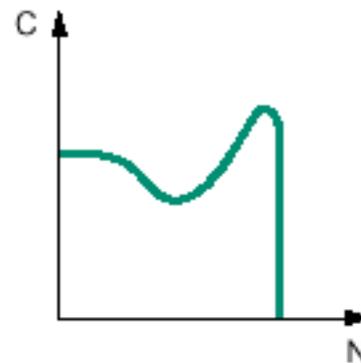
Type 2



Courbe croissante entre C_d et C_{maxi}

simple cage

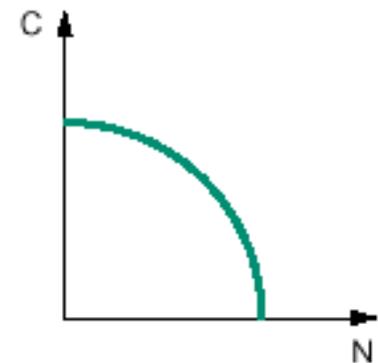
Type 3



Courbe avec creux entre C_d et C_{maxi}

simple cage à encoches trapézoïdales, ou en L, ou en T
double cage

Type 4



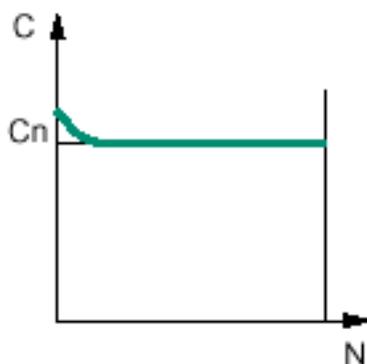
Courbe décroissante
 $C_d = C_{maxi}$

rotor à fort glissement

Caractéristiques de récepteurs

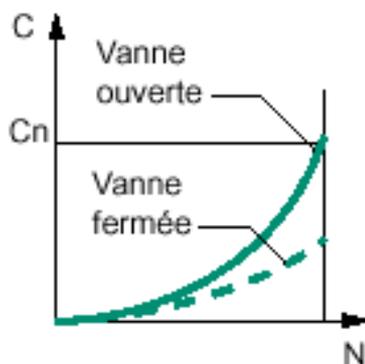
Formes de couple résistant

Type A
constant



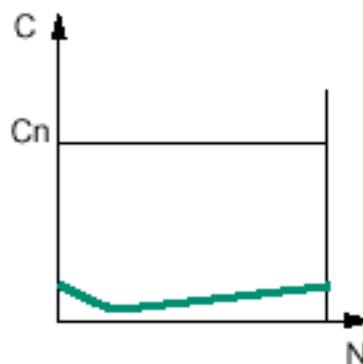
compresseurs à pistons,
engins de levage et
manutention, bandes
transporteuses, broyeurs

Type B
parabolique



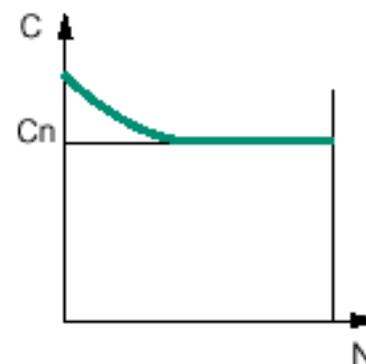
compresseurs centrifuges,
pompes centrifuges,
pompes à vis,
pompes à hélice,
ventilateurs, turbines

Type C
négligeable



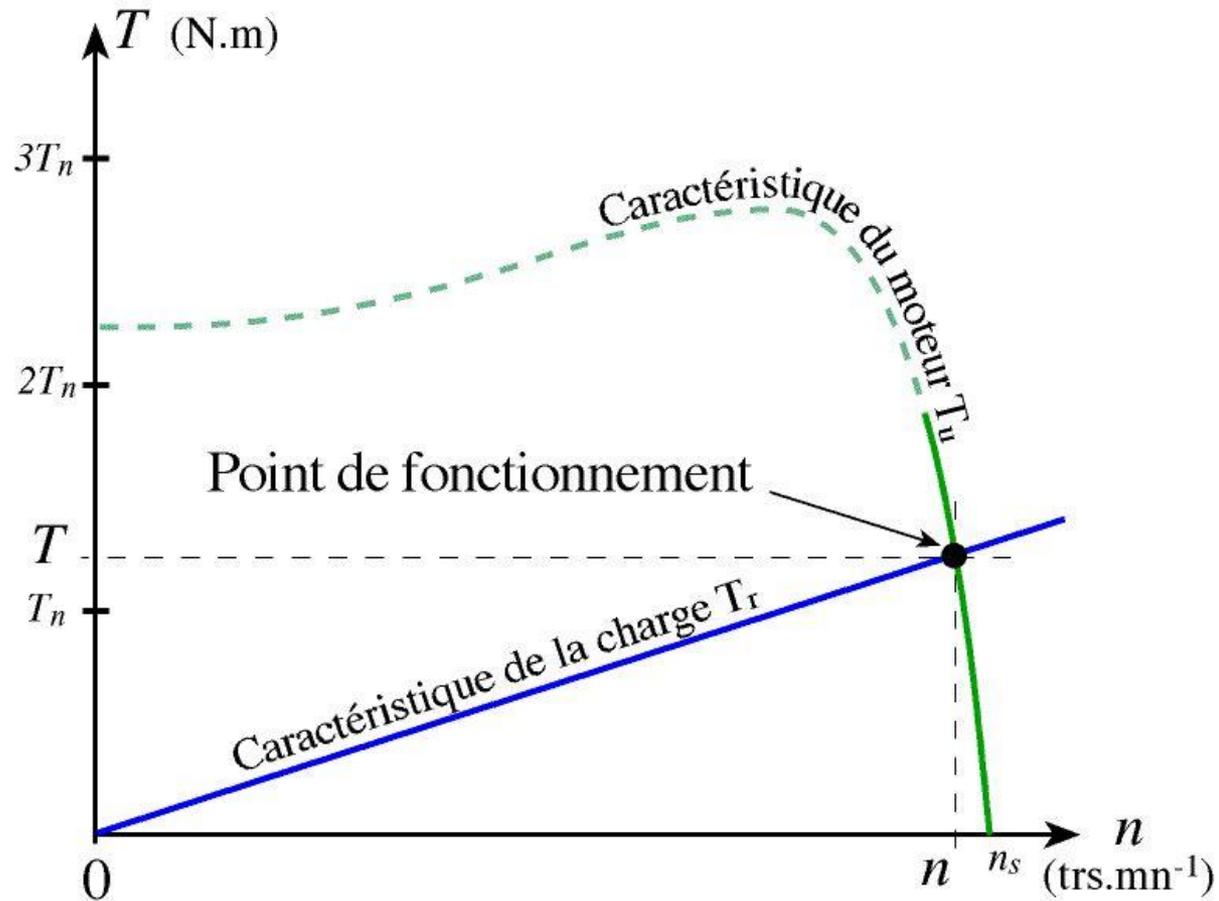
machines génératrices de
groupes convertisseurs

Type D
à décollage important



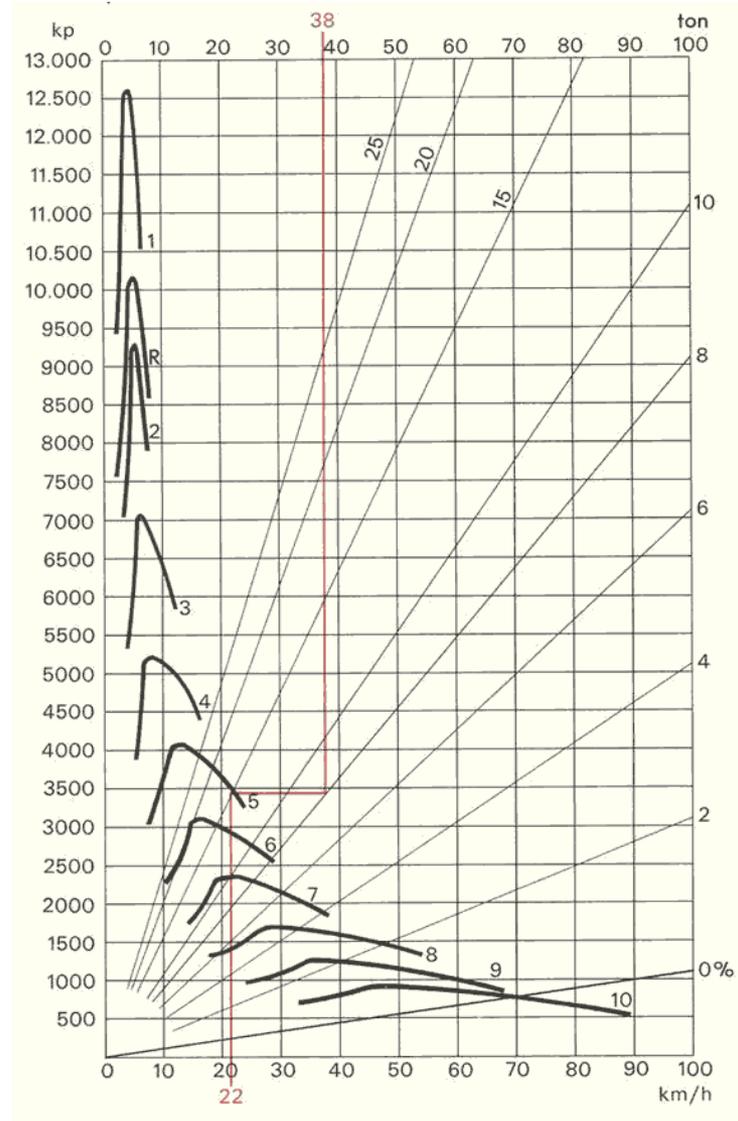
broyeurs, concasseurs
(après calage)

Point de fonctionnement



Exemple camion sur une pente (%)

La boîte à vitesse adapte la caractéristique du moteur à celle de la charge

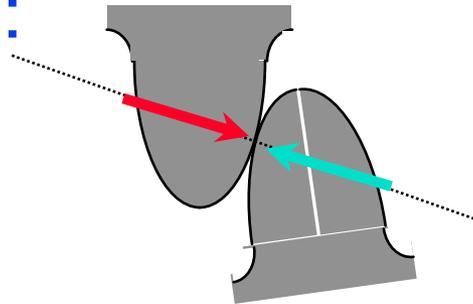


Transmission d'efforts entre solides

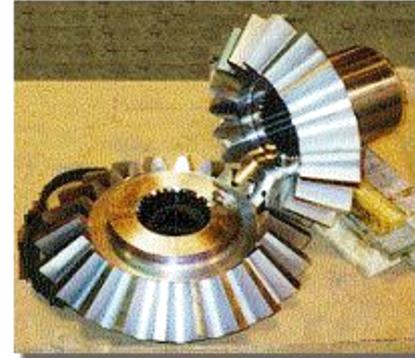
- ◆ Transmission positive:
 - Transmission par obstacle
- ◆ Transmission non positive:
 - Transmission par frottement
 - Transmission magnétique
 - Transmission hydraulique/pneumatique

Transmission par obstacle

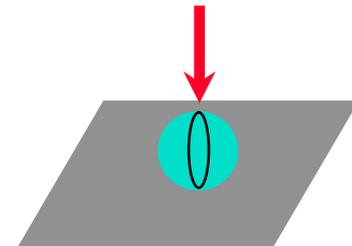
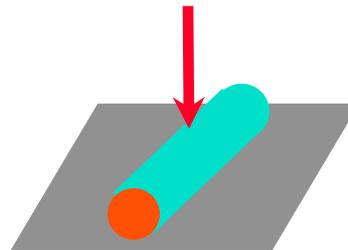
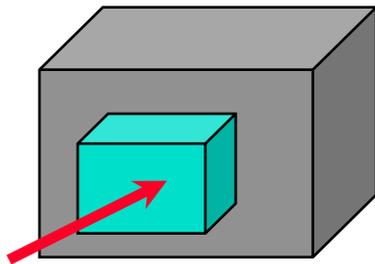
◆ Exemple:



Engrenage

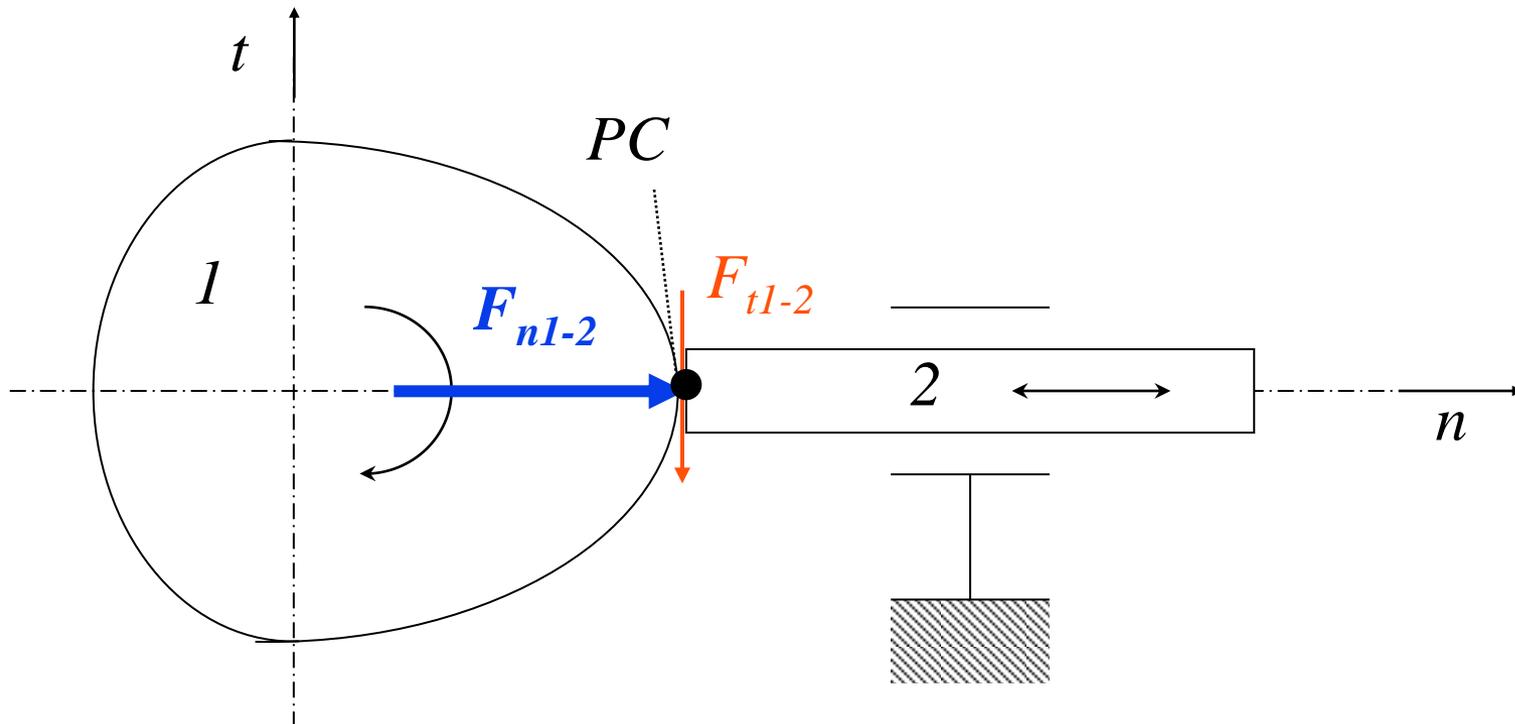


◆ Contact: surfacique, linéique, ponctuel



Transmission par obstacle

Type de liaison au PC ?



Transmission par obstacle

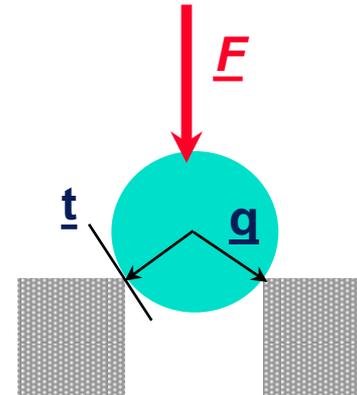
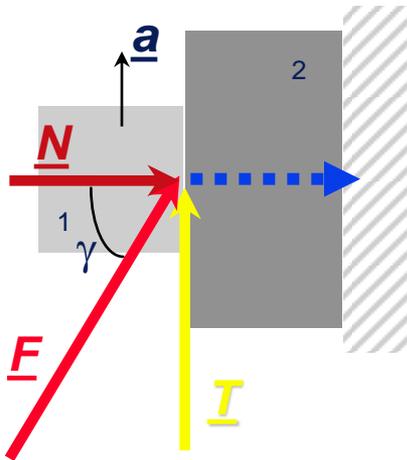
La composante normale de la force de contact est (en général) beaucoup plus grande que la composante tangentielle: $F_{n1-2} \gg F_{t1-2}$.

C'est elle qui fait le travail utile.

La composante de la vitesse relative normale au plan tangent au point de contact entre les corps 1 et 2 est nulle: $v_{n1-2} = 0$ La vitesse relative tangentielle peut être non-nulle: $v_{t1-2} \neq 0$ ou $v_{t1-2} = 0$

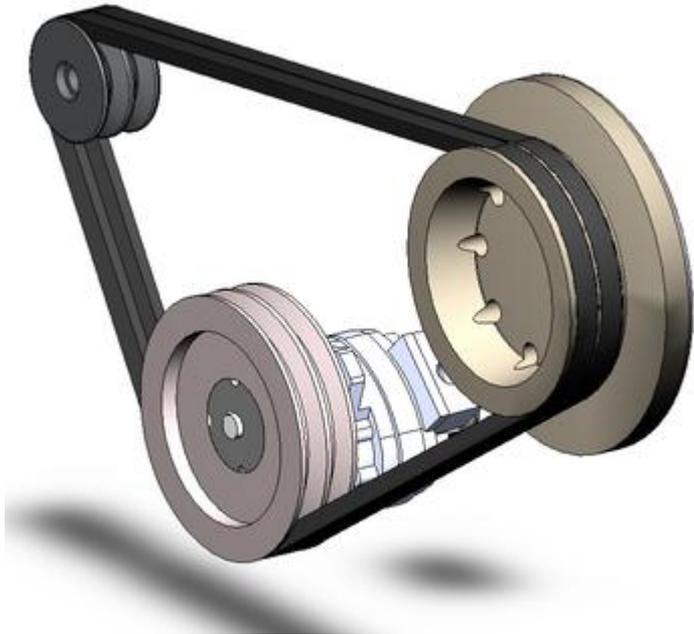
Transmission par obstacle

- ◆ Sans frottement:



- ◆ Sans frottement, la *force transmise* est toujours *normale au plan tangent* commun

Transmission par frottement



Transmission par frottement

La composante normale de la force de contact F_{n1-2}

ne fait pas de travail utile

La composante tangentielle de la force de contact F_{t1-2}

est la force utile qui fait du travail

La composante de la vitesse relative normale au plan tangent au point de contact entre les corps 1 et 2 est

nulle: $v_{n1-2} = 0$

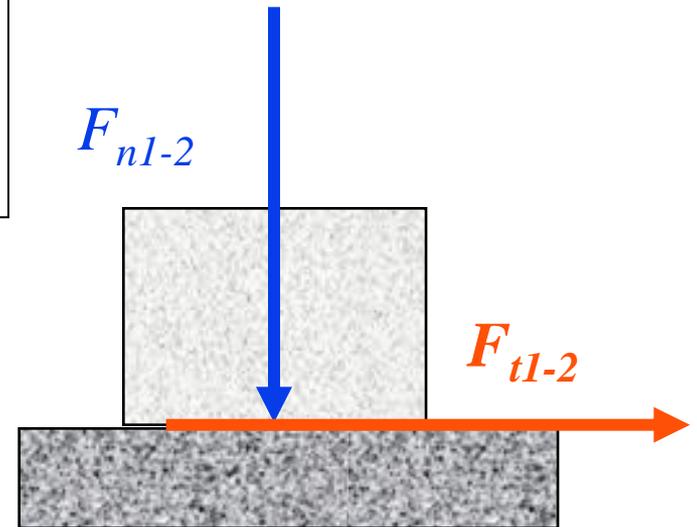
La vitesse relative tangentielle peut être non-nulle: $v_{t1-2} \neq 0$

Il peut y avoir glissement g

Loi d'adhérence, loi de Coulomb.

Force d'adhérence: $F_{t1-2} = \mu_0 F_{n1-2}$

μ_0 coefficient d'adhérence



Transmission par frottement

La composante normale de la force de contact F_{n1-2} ne fait pas de travail utile

La composante tangentielle de la force de contact F_{t1-2} est la force utile qui fait du travail

La composante de la vitesse relative normale au plan tangent au point de contact entre les corps 1 et 2 est nulle: $v_{n1-2} = 0$

La vitesse relative tangentielle peut être non-nulle: $v_{t1-2} \neq 0$

Il peut y avoir glissement g

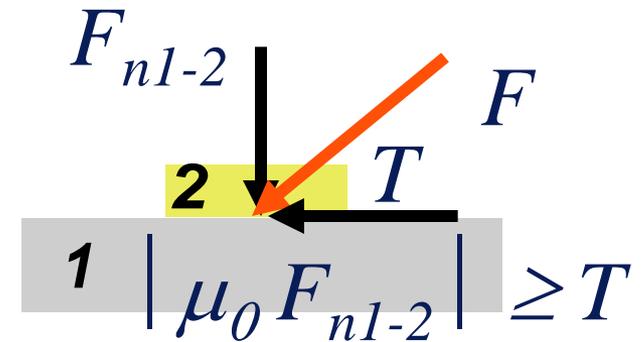
Loi de Coulomb pour l'adhérence

- ◆ Cas où vitesse relative est nulle
- ◆ On considère ici le *contact sec*.

$$T < F_{t1-2} = \mu_0 F_{n1-2}$$

- ◆ μ_0 = coefficient d'adhérence
- ◆ $\mu_0 > \mu$

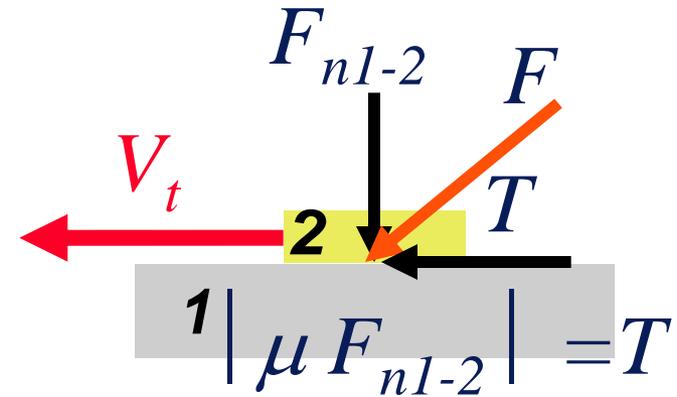
Limite du glissement: $T = \mu_0 F_{n1-2}$



Loi de Coulomb pour le frottement

- ◆ Cas où $\vec{V}_{t1-2} \neq 0$
- ◆ On considère ici le *frottement sec*.

$$T \geq F_{t1-2} = \mu F_{n1-2}$$

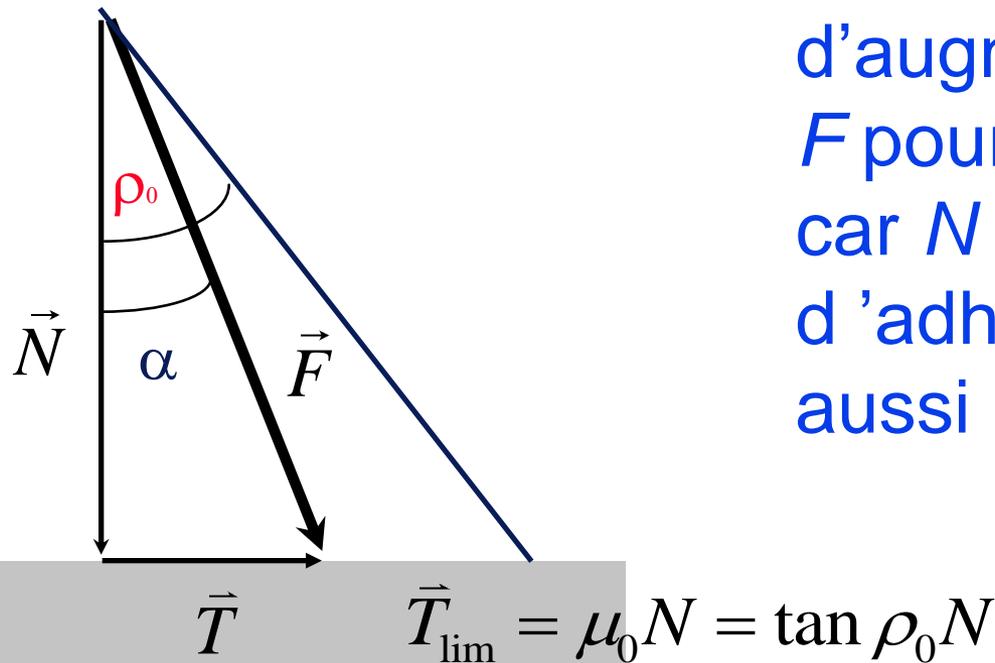


- ◆ Force de frottement:
 - opposée au mouvement
 - indépendante de la surface de contact
- ◆ μ = coefficient de frottement
 - indépendant de la force normale,
 - fortement dépendant de l'état de **surface**

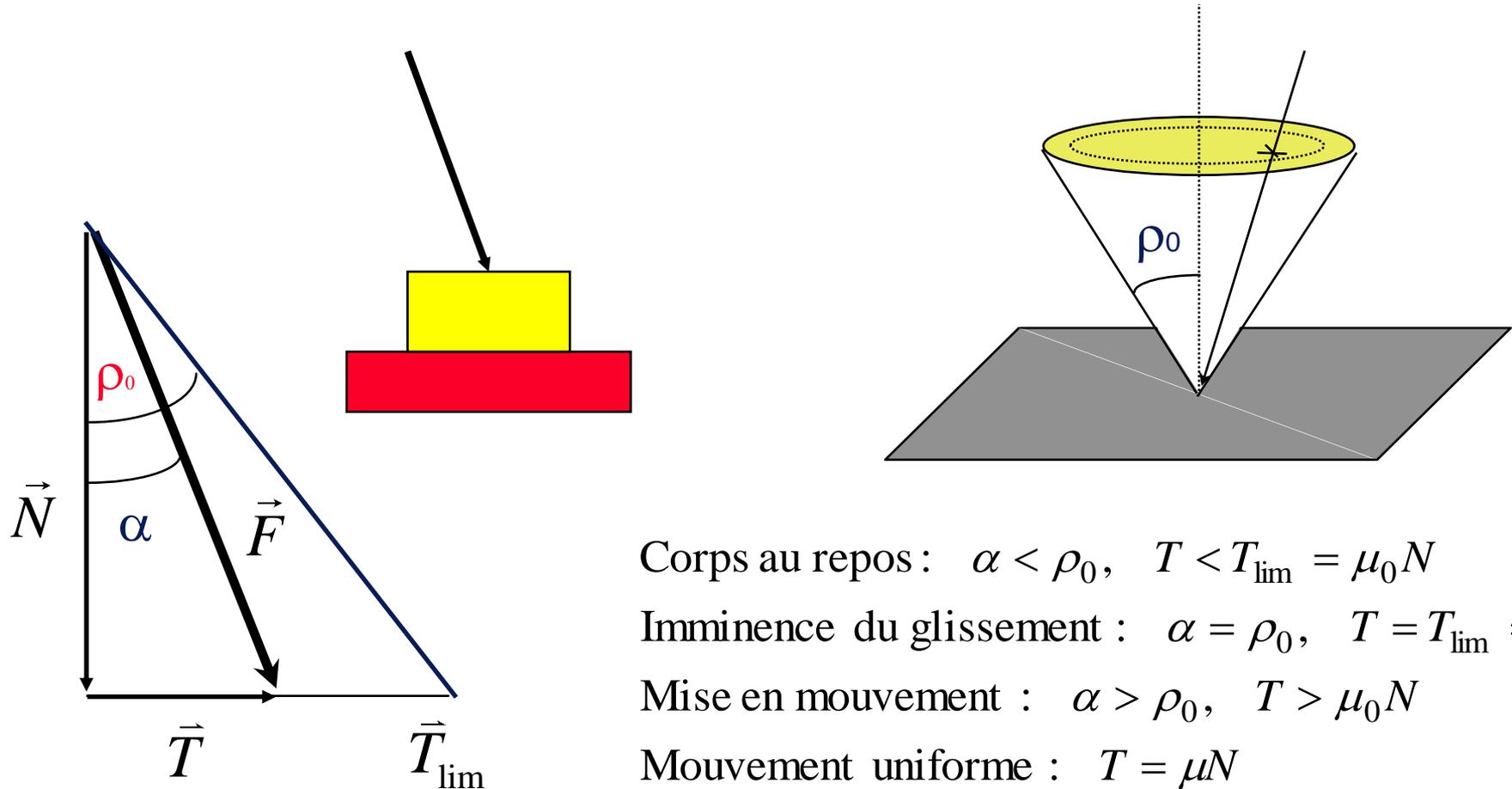
Arc-boutement ou verrouillage

$\rho_0 = \arctan \mu_0$, angle de frottement au repos

- ◆ Si $\alpha < \rho_0$ il ne sert à rien d'augmenter l'amplitude de F pour faire glisser le bloc car N et la force d'adhérence augmentent aussi proportionnellement!!



Cône d'adhérence



Corps au repos : $\alpha < \rho_0$, $T < T_{lim} = \mu_0 N$

Imminence du glissement : $\alpha = \rho_0$, $T = T_{lim} = \mu_0 N$

Mise en mouvement : $\alpha > \rho_0$, $T > \mu_0 N$

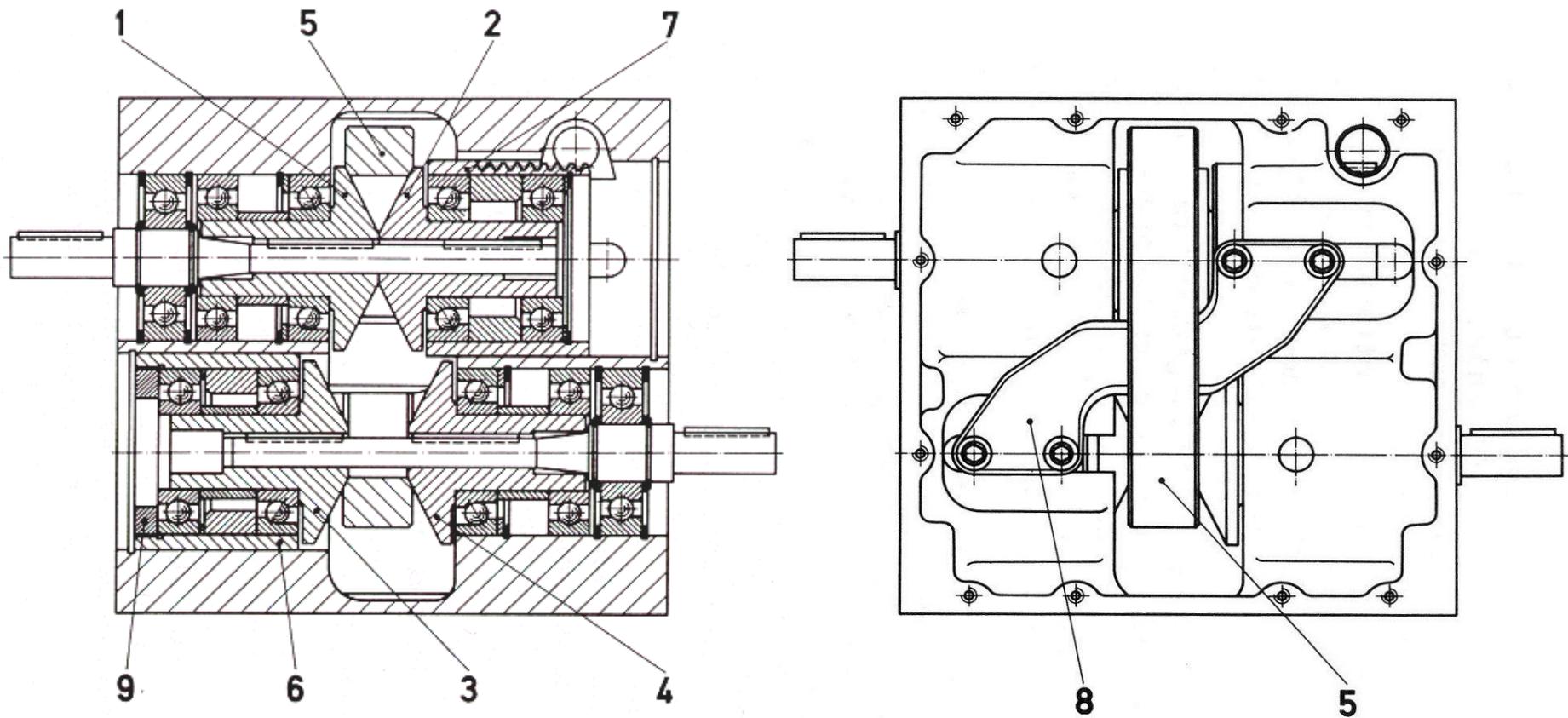
Mouvement uniforme : $T = \mu N$

Mouvement accéléré : $T > \mu N$

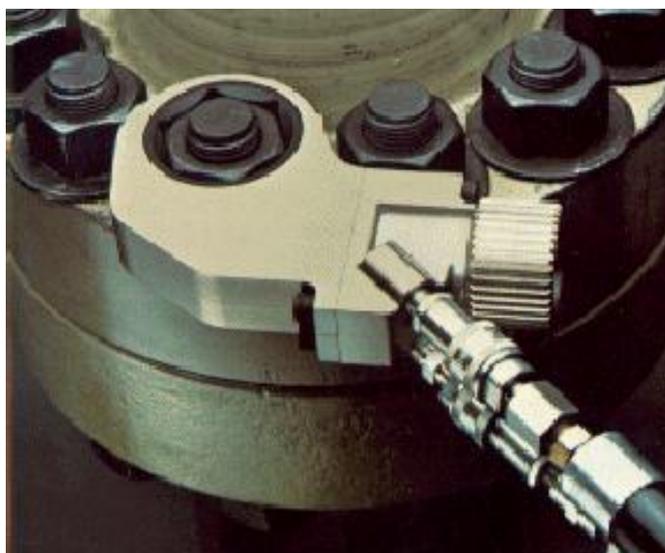
Décélération puis arrêt : $T < \mu N$

Exemple de système de transmission à frottement

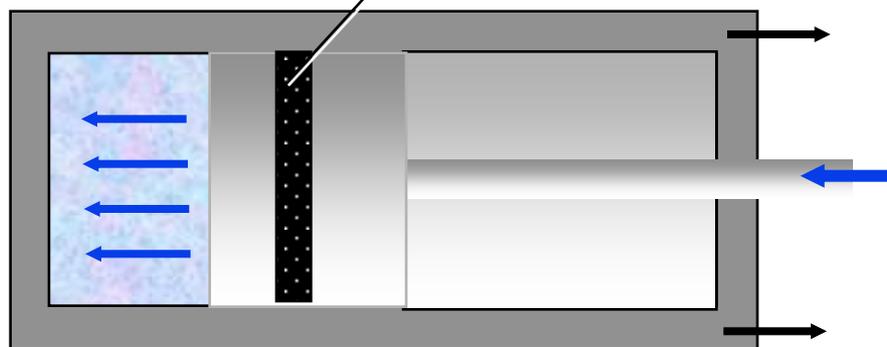
Variateur Heynau



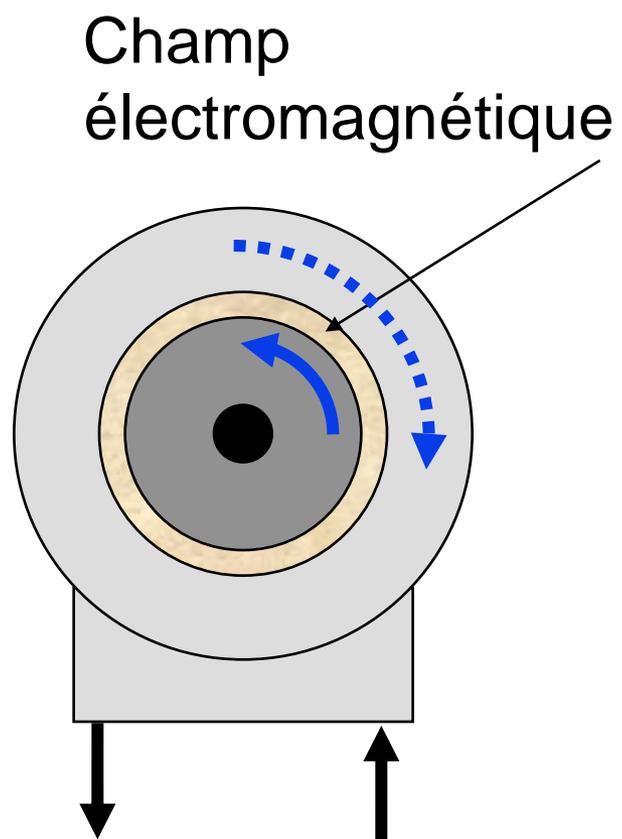
Transmission hydraulique/pneumatique



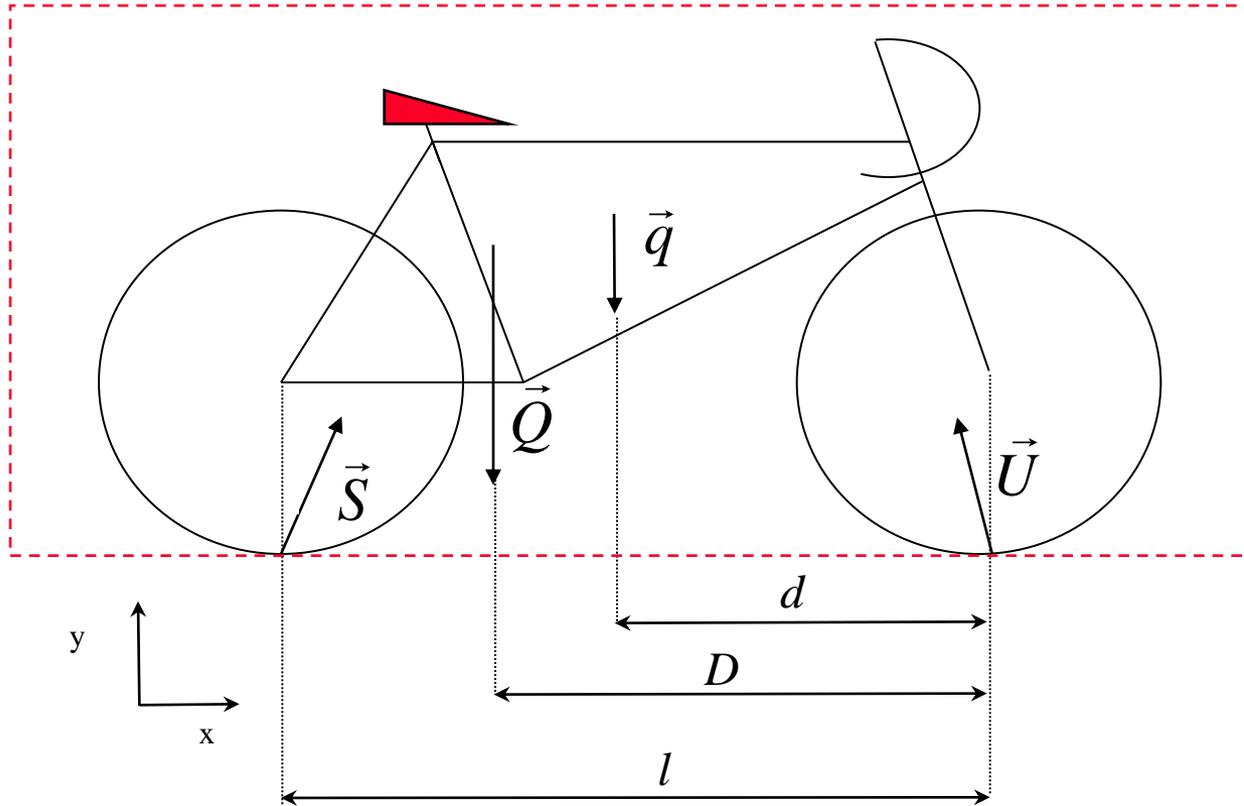
Joint d'étanchéité



Transmission électromagnétique



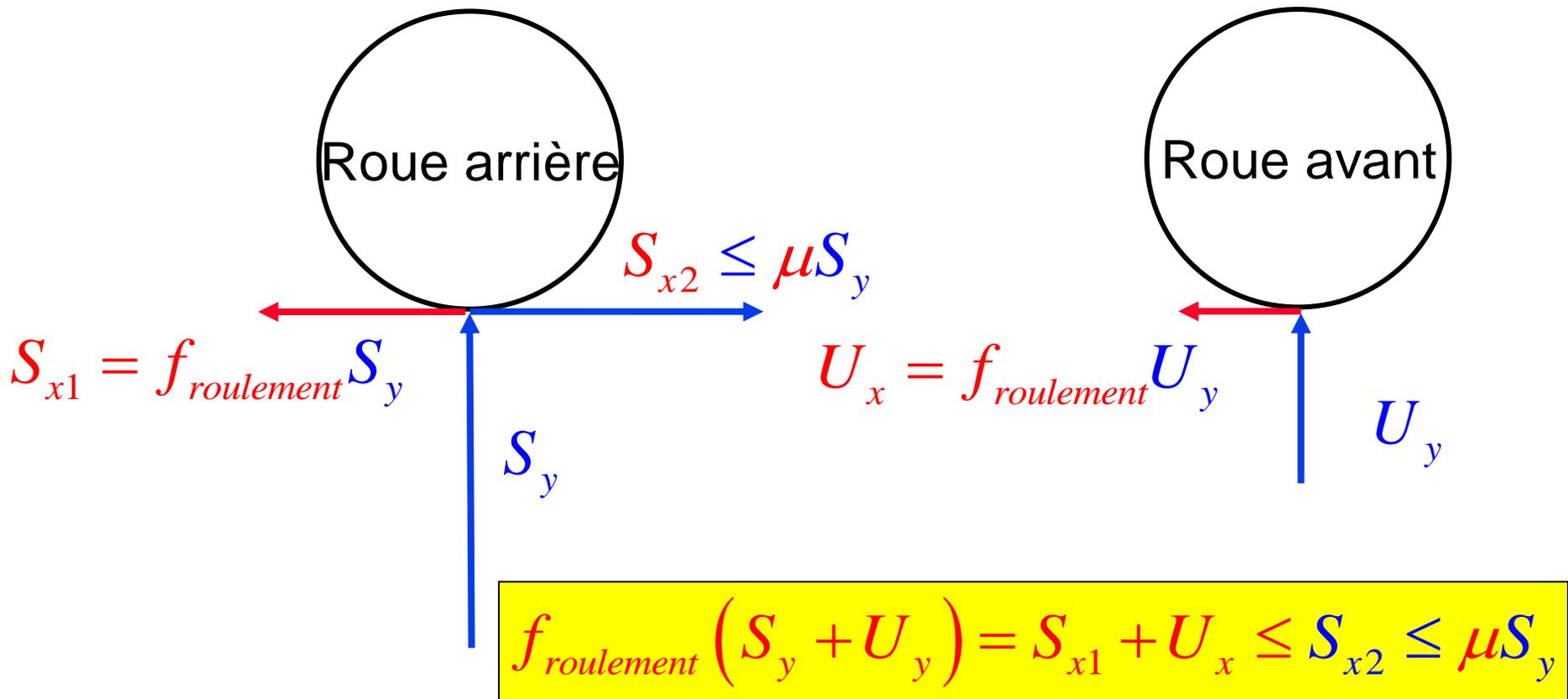
Exemple de transmission par adhérence vélo en mouvement uniforme sur sol horizontal



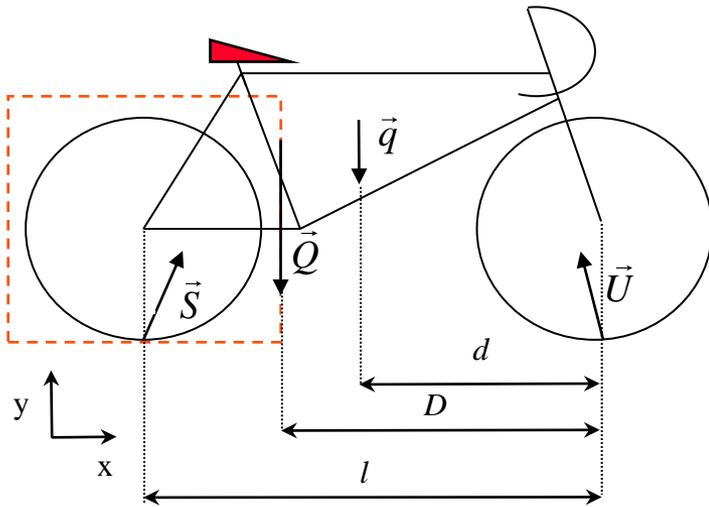
Quelles conditions doivent être remplies au niveau de la roue arrière pour que le vélo avance à vitesse constante?

Exemple de transmission par adhérence vélo en mouvement uniforme sur sol horizontal

Forces de contact sur les roues (**uniquement**)



Exemple de transmission par adhérence vélo en mouvement uniforme sur sol horizontal



$$S_x + U_x = 0 \quad (1)$$

$$S_y + U_y - Q - q = 0 \quad (2)$$

$$S_y \cdot l - Q \cdot D - q \cdot d = 0 \quad (3)$$

$$S_y = \frac{Q D + q d}{l} \quad (4)$$

$$U_y = Q + q - \frac{Q D + q d}{l} \quad (5)$$

Il faut maintenant isoler la roue arrière = couper des liaisons

Exemple de transmission par adhérence vélo en mouvement uniforme sur sol horizontal

$$S_x + T - C_x = 0 \quad (6)$$

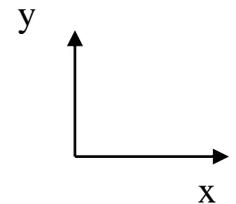
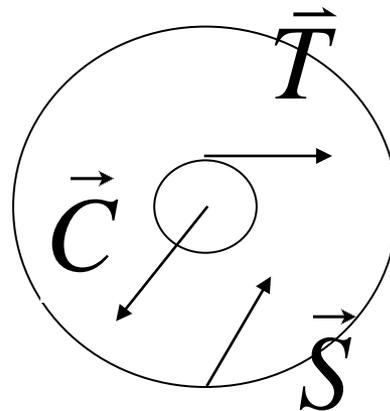
$$S_y - C_y = 0 \quad (7)$$

$$S_x \cdot R - T \cdot r = 0 \quad (8)$$

$R =$ rayon de la roue $r =$ rayon du pignon

$$S_x = T \frac{r}{R} \quad (9) \quad C_x = T \left(\frac{r}{R} + 1 \right) \quad (10) \quad S_y = C_y \quad (11)$$

$$4, 9 \text{ et } 11 \rightarrow \frac{S_x}{S_y} = \frac{T \frac{r}{R}}{\frac{QD + qd}{l}}$$



Exemple de transmission par adhérence vélo en mouvement uniforme sur sol horizontal

A) Condition d'avance avec mouvement uniforme:

$$S_x = T \frac{r}{R} = f_{\text{roulement}} (S_y + U_y)$$

$$\rightarrow T = f_{\text{roulement}} (S_y + U_y) \frac{R}{r} = f_{\text{roulement}} (Q + q) \frac{R}{r}$$

B) Condition d'adhérence au sol:

$$S_x \leq \mu S_y$$

$$4, 9 \text{ et } 11 \rightarrow \frac{S_x}{S_y} = \frac{T \frac{r}{R}}{\frac{QD + qd}{l}} \leq \mu \rightarrow T \leq \mu \frac{(QD + qd) R}{lr}$$

$$f_{\text{roulement}} (Q + q) \frac{R}{r} \leq \mu \frac{(QD + qd) R}{lr}$$

Comment
calculer la
force à
exercer par
le/la cycliste?