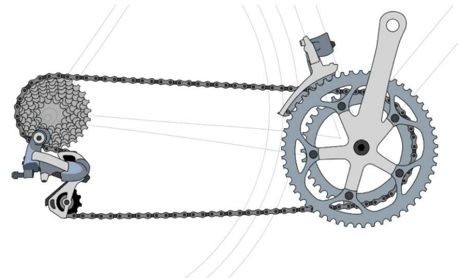
CONSTRUCTION MECANIQUE

Principes de transmissions de puissance

14

1 – Préambule

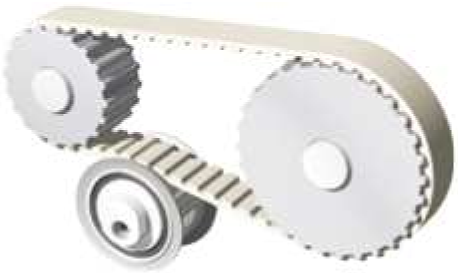
Dans les systèmes mécaniques, le mouvement fourni par un moteur, un pédalier ou un vérin par exemple a bien souvent besoin d'être **<u>transmis</u>** d'un point à un autre mais aussi **<u>transformé</u>** et **<u>adapté</u>**.
Pour cela, on dispose de nombreux systèmes ; en voici quelques exemples :



Pignon / Chaîne

Engrenages à roues cylindriques

Pignon / Crémaillère

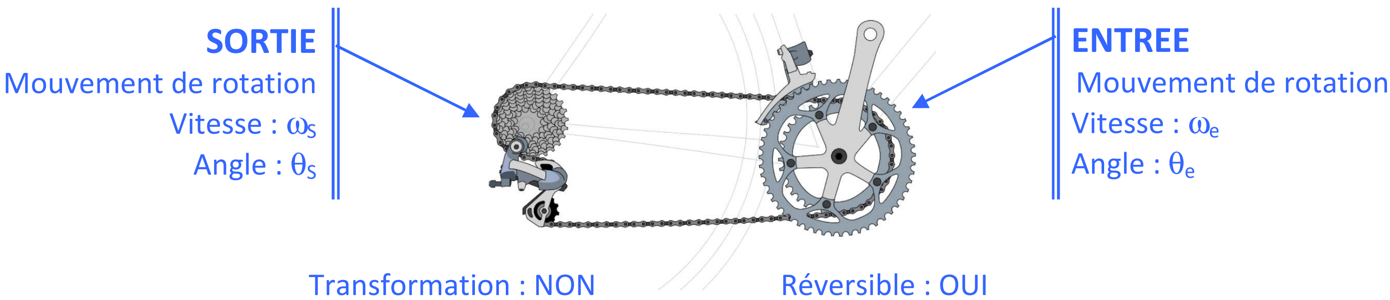


Poulies / Courroie

Double joint de cardan

2 – Caractéristiques générales

- ⇒ Un mécanisme possède toujours une pièce d'entrée et une pièce de sortie.
- ⇒ L'entrée est l'organe motorisé (via un moteur, une manivelle, un pédalier, un vérin, etc.)
- ⇒ La sortie est mue par l'entrée ; on dit que l'entrée est « pilotante » ; la sortie est « pilotée ».
- ⇒ Si les mouvements d'entrée et de sortie sont différents (rotation ⇔ translation), il y a **transformation**.
- ⇒ Si on peut inverser l'entrée et la sortie (la sortie pilote l'entrée), le système est dit « **réversible** ».



Loi d'entrée/sortie : *formule exprimant une grandeur de sortie en fonction d'une grandeur d'entrée.*

Rotation θ_e ω_e → Mécanisme **SANS** transformation → Rotation θ_s ω_s

Rotation θ_e ω_e → Mécanisme **AVEC** transformation → Translation x_s v_s

$$\omega_s = f(\omega_e) \qquad \theta_s = f(\theta_e) \qquad\qquad v_s = f(\omega_e) \qquad x_s = f(\theta_e)$$

La formule explicite de $f(\omega_e)$ (approche cinématique) ou $f(\theta_e)$ (approche géométrique) dépend du mécanisme ; c'est au cas par cas (voir plus loin).

Selon le besoin du problème posé, on utilise l'approche **cinématique** *ou* **géométrique**. Mais les deux approches sont équivalentes ; on passe de l'une à l'autre très simplement avec :

$$\boxed{v = \frac{x}{t} \iff x = v \cdot t} \quad \text{et} \quad \boxed{\omega = \frac{\theta}{t} \iff \theta = \omega \cdot t}$$

Rapport de transmission : dans le cas particulier où **les mouvements d'entrée ET de sortie sont des rotations**, on peut poser le rapport de transmission :

Par définition, on a : $\boxed{r = \frac{\omega_s}{\omega_e}}$ et comme $\omega = \frac{\theta}{t}$, on a aussi $\boxed{r = \frac{\theta_s}{\theta_e}}$

Trois cas possibles :

$r < 1$ ⇨ **Réducteur** (la vitesse de sortie est plus petite que celle d'entrée)

$r = 1$ ⇨ **Conservateur** (la vitesse de sortie est égale à celle d'entrée)

$r > 1$ ⇨ **Multiplicateur** (la vitesse de sortie est plus grande que celle d'entrée)

Le calcul explicite du rapport de transmission dépend du mécanisme ; c'est au cas par cas (voir plus loin).

Si le mouvement d'entrée et/ou le mouvement de sortie n'est pas une rotation, alors la notion de rapport de transmission ne se pose pas.

3 – Engrenages

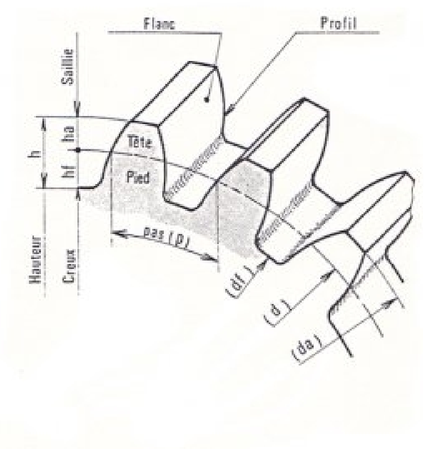
On appelle engrenage un ensemble de deux roues. La plus petite des deux s'appelle **pignon**.

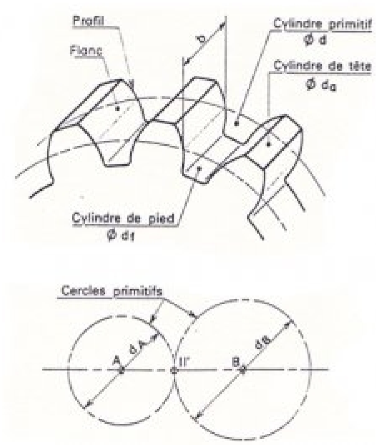
On note d_A et d_B les **diamètres primitifs** des roues (A) et (B). Ces diamètres se tangentes lors de l'engrènement.

Le nombre de dents d'une roue Z et son diamètre primitif d sont liés par la relation :

$$d = m \cdot Z$$

m est le module ; sa valeur est normalisée.





MODULES NORMALISÉS			
Valeurs principales		Valeurs secondaires	
0,50	4	0,550	4,5
0,60	5	0,700	5,5
0,80	6	0,900	7
1	8	1,125	9
1,25	10	1,375	11
1,50	12	1,750	14
2	16	2,250	18
2,50	20	2,750	22
3	25	3,500	28

Le module m traduit la « taille » de la dent : plus le module est important, plus la dent est « grosse ».

Le module se détermine à l'aide de la RDM, en fonction de la puissance à transmettre ; cette dernière impose un effort tangentiel T sur la dent et on a :

$$m \geq 2{,}34 \cdot \sqrt{\frac{T}{k \cdot Rpe}}$$

T : effort tangentiel sur la dent (N)
k : coefficient de largeur de denture (8 ou 10)
R_{pe} : Résistance pratique à l'extension (MPa)

La largeur de denture, b, résulte d'un calcul de RDM (prise en compte du matériau et de l'effort sur une dent qui lui-même dépend du couple à transmettre). Dans la pratique, on a $b = k \cdot m$ avec $k = 8$ ou 10.

Roues cylindriques (axes parallèles)

- ⇒ Réversible : OUI
- ⇒ Mouvement d'entrée : rotation
- ⇒ Mouvement de sortie : rotation
- ⇒ Caractéristiques : nombre de dents des roues d'entrée et de sortie, Z_e et Z_s
- ⇒ Rapport de transmission : $r = \frac{Z_e}{Z_s}$
- ⇒ Loi d'entrée/sortie : $r = \frac{Z_e}{Z_s}$ et $r = \frac{\omega_s}{\omega_e}$ (par définition) donc $\frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{Z_e}{Z_s}$ ⇔ $\boxed{\omega_s = \frac{Z_e}{Z_s} \cdot \omega_e}$
- ⇒ Rendement énergétique : $\approx 0{,}95$.

Roues coniques (axes concourants)

- ⇒ Réversible : OUI
- ⇒ Mouvement d'entrée : rotation
- ⇒ Mouvement de sortie : rotation
- ⇒ Caractéristiques : nombre de dents des roues d'entrée et de sortie, Z_e et Z_s

⇒ Rapport de transmission : $r = \dfrac{Z_e}{Z_s}$

⇒ Loi d'entrée/sortie : $r = \dfrac{Z_e}{Z_s}$ et $r = \dfrac{\omega_s}{\omega_e}$ (par définition) donc $\dfrac{\omega_s}{\omega_e} = \dfrac{Z_e}{Z_s}$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{\omega_s = \dfrac{Z_e}{Z_s} \cdot \omega_e}$

⇒ Rendement énergétique : $\approx 0{,}90$.

Roue et vis sans fin (axes gauches)

⇒ Réversible : OUI si $\beta > f$

⇒ Mouvement d'entrée : rotation

⇒ Mouvement de sortie : rotation

⇒ Caractéristiques : nombre de dents de la roue (entrée), Z_R et de nombre de filets de la vis (sortie), Z_V.

⇒ Rapport de transmission : $r = \dfrac{Z_V}{Z_R}$

⇒ Loi d'entrée/sortie : $r = \dfrac{Z_V}{Z_R}$ et $r = \dfrac{\omega_s}{\omega_e}$ (par définition) donc $\dfrac{\omega_s}{\omega_e} = \dfrac{Z_V}{Z_R}$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{\omega_s = \dfrac{Z_V}{Z_R} \cdot \omega_e}$

⇒ Rendement énergétique : de $0{,}50$ (pas très bon) à $0{,}96$ si réversible et bien graissé.

Pignon/crémaillère

⇒ Réversible : OUI

⇒ Caractéristiques : nombre de dents de la roue (entrée), Z_R et son diamètre primitif, d.

⇒ Mouvement d'entrée : rotation (ou translation car réversible)

⇒ Mouvement de sortie : translation (ou rotation car réversible)

⇒ Rapport de transmission : -

⇒ Loi d'entrée/sortie :

$$\boxed{v = R \cdot \omega \quad \Leftrightarrow \quad x = R \cdot \theta}$$

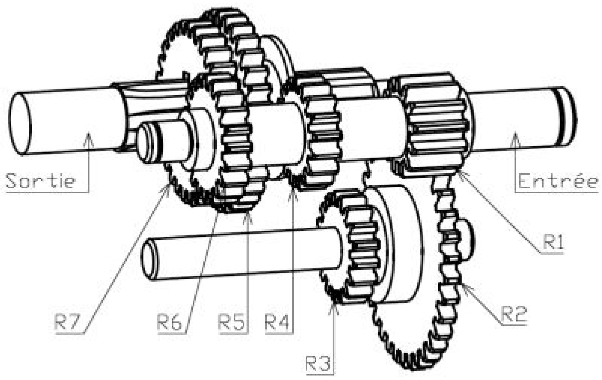
Vitesse linéaire (mm.s^{-1})
Rayon primitif (mm)
Vitesse angulaire (rad.s^{-1})

Déplacement angulaire (rad)
Rayon primitif (mm)
Déplacement linéaire (mm)

⇒ Rendement énergétique : $\approx 0{,}90$

⇒

4 – Train simple d'engrenages



Un train d'engrenage se compose de plusieurs engrenages. Chaque engrenage i possède son propre rapport de transmission r_i.

Rapport de transmission global entre l'entrée et la sortie :

$$\boxed{r = \frac{\omega_s}{\omega_e} \qquad r = \prod r_i \qquad r = \frac{\prod Z_{menantes}}{\prod Z_{menées}}}$$

5 – Train épicycloïdal

⇒ Non traité.

6 – Vis/écrou (ou liaison « hélicoïdale »)

⇒ Réversible : OUI si $\beta > \varphi$ ou si vis à billes
⇒ Caractéristiques : nombre de filets Z et pas de vis p
⇒ Mouvement d'entrée : rotation de la vis
⇒ Mouvement de sortie : translation de l'écrou
⇒ Rapport de transmission : -
⇒ Loi d'entrée/sortie :

$$\boxed{v = Z \cdot p \cdot N \quad \Leftrightarrow \quad x = Z \cdot p \cdot \theta}$$

Vitesse linéaire (mm.min^{-1})
Nombre de filets (-)
Pas de vis (mm)
Vitesse angulaire (tr.min^{-1})

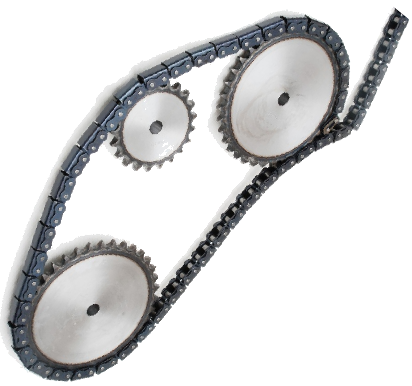
Déplacement angulaire (tr)
Pas de vis (mm)
Nombre de filets (-)
Déplacement linéaire (mm)

⇒ Rendement énergétique : variable selon l'angle d'hélice β et le coefficient de frottement f .

7 – Poulie/courroie

⇒ Réversible : OUI
⇒ Caractéristiques : diamètres des poulies.
⇒ Mouvement d'entrée : rotation
⇒ Mouvement de sortie : rotation
⇒ Le sens de rotation est conservé mais on peut croiser la courroie.
⇒ Rapport de transmission : $r = \frac{d_e}{d_s}$
⇒ Si courroie lisse, il y a un glissement de l'ordre 4% ; sinon courroie crantée.
⇒ Loi d'entrée/sortie : $r = \frac{d_e}{d_s}$ et $r = \frac{\omega_s}{\omega_e}$ (par définition) donc $\frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{d_e}{d_s}$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{\omega_s = \frac{d_e}{d_s} \cdot \omega_e}$
⇒ Rendement énergétique : $\approx 0{,}90$.

8 – Pignon/chaîne



⇒ Réversible : OUI
⇒ Caractéristiques : diamètres des roues.
⇒ Mouvement d'entrée : rotation
⇒ Mouvement de sortie : rotation
⇒ Le sens de rotation est conservé.
⇒ Rapport de transmission : $r = \frac{d_s}{d_e}$
⇒ Loi d'entrée/sortie : $r = \frac{d_e}{d_s}$ et $r = \frac{\omega_s}{\omega_e}$ (par définition) donc $\frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{d_e}{d_s}$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{\omega_s = \frac{d_e}{d_s} \cdot \omega_e}$
⇒ Rendement énergétique : $\approx 0{,}80$.