

30

TRAINS D'ENGRENAGES

OBJECTIFS

- Donner des recommandations pour la conception.
- Indiquer la schématisation normalisée.
- Fournir des éléments pour le calcul des trains classiques et des trains épicycloïdaux.
- Proposer des exercices d'application.

Les trains d'engrenages sont utilisés dans une grande quantité de machines et mécanismes divers. Les engrenages cylindriques sont les plus courants, les engrenages coniques réalisent la transmission entre arbres concourants. Les engrenages roue et vis permettent l'irréversibilité et une grande réduction avec un seul couple de roues (leur faible rendement les écarte des grandes puissances).

Les dentures droites sont employées dans les petits appareils et avec les engrenages intérieurs. Elles sont fréquentes avec les trains épicycloïdaux.

Les dentures hélicoïdales, plus silencieuses sont les plus utilisées lorsqu'il s'agit de transmettre de la puissance.

I - Recommandations constructives (cas des transmissions de puissance)

En transmission de puissance les dentures durcies superficiellement par cémentation ou nituration sont de loin les plus performantes.

Le graissage et les vibrations sont les principaux problèmes posés par les grandes vitesses.

Les carters ou bâtis doivent être aussi rigides que possibles (alliages légers ou fonte grise FGL pour les petites puissances, fonte GS ou acier moulé pour les fortes puissances et construction soudée pour les grandes tailles).

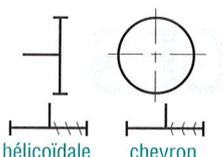
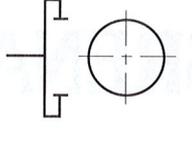
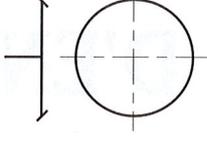
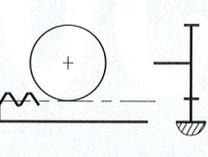
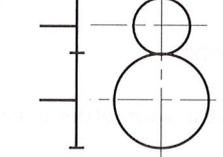
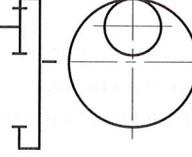
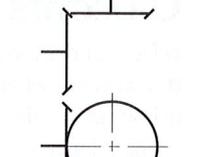
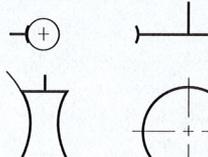
Les paliers sont généralement à roulements.

Afin de réduire l'encombrement et économiser la matière on limite le rapport de transmission d'un même couple de roue ($1/8 \leq Z_1/Z_2 \leq 8$). Au-delà de ces valeurs, il est souvent préférable d'utiliser deux couples de roues ou plus.

Dans la plupart des applications, les trains fonctionnent en réducteur (réduisent la vitesse et augmentent le couple).

II - Schématisations

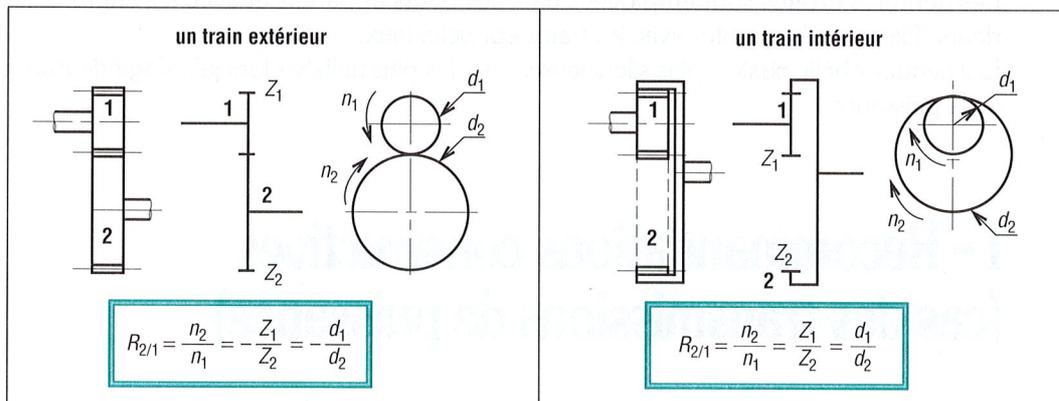
La normalisation indiquée ci-dessous permet de représenter schématiquement les engrenages et les chaînes cinématiques usuelles.

Schémas cinématiques (normalisation)			
 hélicoïdale chevron			
roue extérieure	roue intérieure	roue conique	roue et crémaillère
			
denture extérieure	denture intérieure	spirale	à vis globique roue creuse vis tangente
engrenages droits		engrenages coniques	roue et vis sans fin

1. Schémas cinématiques des différents types d'engrenages. Voir également page 536.

III - Étude des trains classiques

1. Trains à un engrenage



2. Train à un engrenage : deux roues extérieures et cas d'une roue intérieure.

Il y a un couple de roues, le rapport de transmission ($R_{2/1}$) est égal au rapport inverse des nombres de dents. Le signe moins (cas de roues extérieures) indique une inversion du sens de rotation entre l'entrée et la sortie.

Exemple 1 : $n_1 = 1\,500$ tr/min, $Z_1 = 15$, $Z_2 = 30$ dents, dentures droites extérieures.

$$R_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = -\frac{Z_1}{Z_2} = -\frac{15}{30} = -0,5$$

$$n_2 = n_1 \cdot R_{2/1} = 1\,500 \cdot (-0,5) = -750 \text{ tr/min}$$

2. Trains à deux engrenages

Il y a deux couples de roues en série. Le rapport de transmission est égal au produit des rapports de transmission de chacun des deux couples de roues.

Exemple 2 : ajoutons en série le couple de roues extérieures $Z_3 = 17$ et $Z_4 = 51$ dents au train de l'exemple 1.

En remarquant que $n_1 = n_2 = n_3 :$

$$\begin{aligned} R_{4/1} &= \frac{n_4}{n_1} = \frac{n_4}{n_1} \cdot \frac{n_1}{n_1} = \frac{n_4}{n_3} \cdot \frac{n_2}{n_1} \\ &= \left(-\frac{Z_3}{Z_4} \right) \cdot \left(-\frac{Z_1}{Z_2} \right) \\ &= \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 \cdot Z_2} = \frac{17 \times 15}{51 \times 30} \\ &= \frac{1}{3 \times 2} = \frac{1}{6} \end{aligned}$$

$$n_4 = n_1 \cdot R_{4/1} = 1\,500/6 = 250 \text{ tr/min}$$

Remarque : $R_{4/1} = R_{4/3} \cdot R_{2/1} = (-Z_3/Z_4) \cdot (-1/2) = (-1/2) \cdot (-1/3) = 1/6$

3. Trains à deux engrenages plus roue d'inversion

Si on intercale une roue supplémentaire 5, entre 3 et 4, au train du paragraphe précédent, la roue introduite modifie le sens de rotation final sans modifier le rapport global de la transmission.

Le nombre de dents de la roue d'inversion n'a aucune importance.

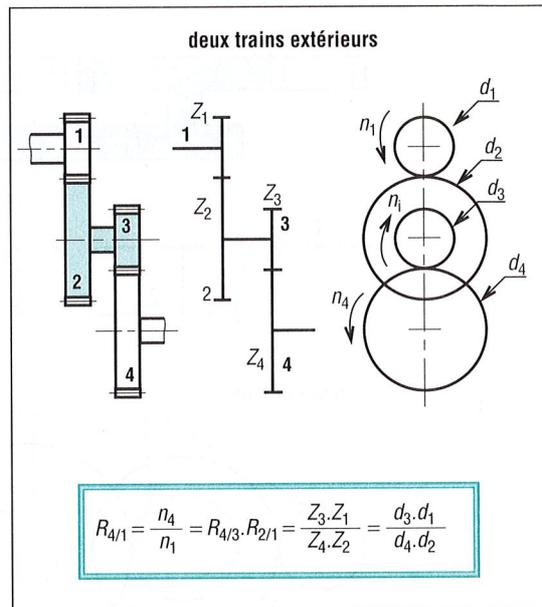
Remarque : cette roue peut aussi être intercalée entre 1 et 2 (même résultat).

Exemple 3 : intercalons une roue 5 de 20 dents dans le train de l'exemple 2.

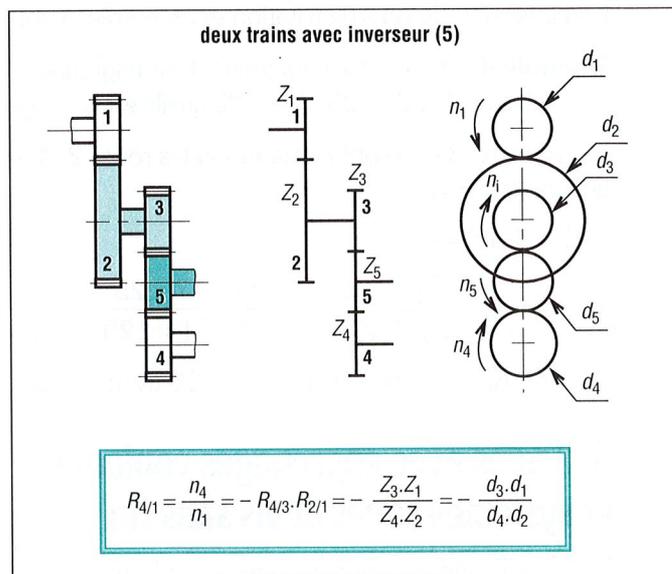
$$\begin{aligned} R_{4/1} &= \frac{n_4}{n_1} = \frac{n_4}{n_5} \cdot \frac{n_5}{n_3} \cdot \frac{n_2}{n_1} \\ &= \left(-\frac{Z_5}{Z_4} \right) \cdot \left(-\frac{Z_3}{Z_5} \right) \cdot \left(-\frac{Z_1}{Z_2} \right) \\ &= (-1)^3 \cdot \frac{Z_5 \cdot Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 \cdot Z_5 \cdot Z_2} \\ &= -\frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 \cdot Z_2} \\ &= -\frac{1}{6} \end{aligned}$$

Z_5 est éliminé des calculs par simplification et n'intervient pas sur le résultat.

$$n_4 = n_1 \cdot R_{4/1} = -250 \text{ tr/min}$$

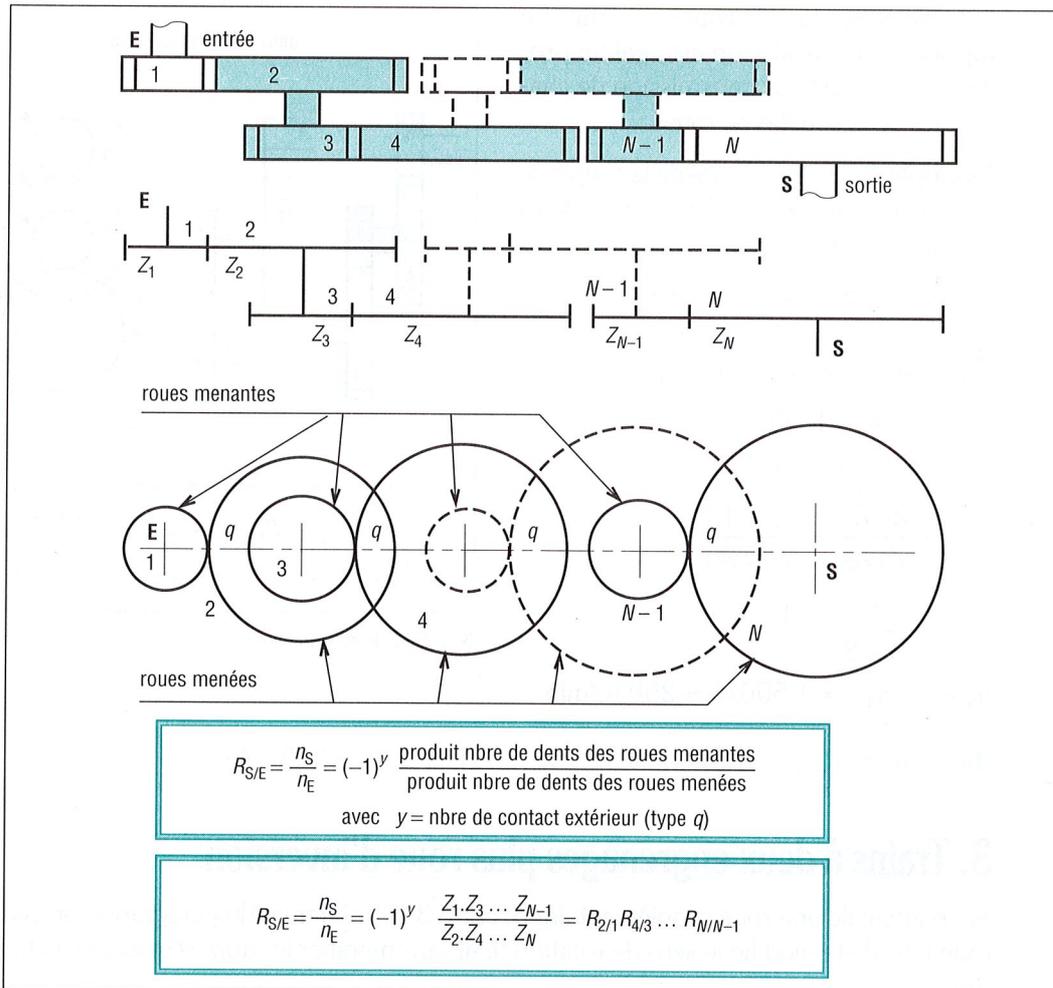


3. Train à deux engrenages.



4. Train à deux engrenages avec roue d'inversion, repère 5.

4. Cas général : trains à N engrenages



5. Train à N roues, formule générale.

Les roues menantes sont les roues motrices de chaque couple de roues. Les roues menées sont les roues réceptrices.

y est le nombre total de contacts (q) entre roues extérieures. $(-1)^y$ permet de savoir s'il y a ou non inversion du sens de rotation entre entrée et sortie.

Exemple 4 : dans le cas d'un train à trois engrenages (roues extérieures) avec $Z_1 = 20$, $Z_2 = 40$, $Z_3 = 17$, $Z_4 = 51$, $Z_5 = 25$, $Z_6 = 125$ quelle est la vitesse de sortie si $n_1 = 1\ 500$ tr/min ?

Les roues 1, 3 et 5 sont menantes et les roues 2, 4 et 6 menées. Il y a trois contacts extérieurs de type q ($y = 3$).

$$(-1)^y = (-1)^3 = -1$$

$$R_{6/1} = (-1)^3 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot Z_3 \cdot Z_5}{Z_2 \cdot Z_4 \cdot Z_6} \right) = - \frac{20 \times 17 \times 25}{40 \times 51 \times 125} = - \frac{1}{2 \times 3 \times 5} = - \frac{1}{30}$$

$$n_6 = n_1 \cdot R_{6/1} = 1\ 500 \cdot (-1/30) = -50 \text{ tr/min}$$

5. Trains avec engrenages coniques et systèmes roues et vis sans fin

La formule générale précédente est applicable en supprimant $(-1)^y$. On ne peut pas utiliser les rapports entre diamètres primitifs dans le cas d'une roue avec vis sans fin.