

# **Transmissions de puissance**

# Table des matières



<b>Introduction</b>	3
<b>I - Les engrenages</b>	4
1. Fonction principale .....	4
2. Étude des engrenages .....	5
2.1. Étude géométrique .....	5
2.2. Étude cinématique .....	5
3. Dentures .....	8
3.1. Denture droite .....	8
3.2. Denture hélicoïdale .....	8
4. Trains épicycloïdaux .....	11
4.1. Présentation .....	11
4.2. Types de trains épicycloïdaux .....	11
4.3. Rapport de transmission .....	12
<b>II - Poulies et courroies</b>	14
1. Fonction principale .....	14
2. Étude cinématique .....	14

# Introduction



Plusieurs solutions technologiques peuvent être utilisées pour transmettre une *puissance* (en Watt).

Le plus souvent, elle correspond à un mouvement de rotation : elle correspond alors au produit d'un *couple* ( en Newton.mètre) et d'une *vitesse angulaire* (en radians par seconde).

Ces solutions technologiques peuvent être :

- des engrenages
- des poulies (lisses ou crantées) reliées par des courroies (lisses ou crantées)
- des pignons dentés reliés par des chaînes
- des roues lisses en contact les unes avec les autres (transmission par frottement)

La plupart du temps on souhaite adapter la puissance transmise, pour plusieurs raisons :

- augmenter ou diminuer la vitesse de rotation
- diminuer ou augmenter le couple transmis
- déplacer et/ou changer l'orientation de l'axe du mouvement





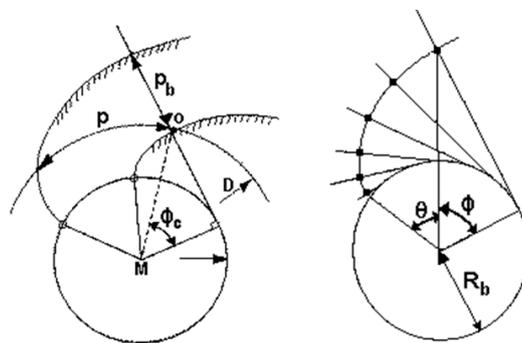
## 2. Étude des engrenages

### 2.1. Étude géométrique

Pour réaliser un engrenement sans frottement, le profil des dentures est en développante de cercle.

 *Définition : Développante de cercle*

Si l'on fait rouler sans glisser une droite sur un cercle, chaque point de cette droite décrit, relativement au cercle, une courbe qui s'appelle une *développante de cercle*.



Cinématiquement parlant, pour un engrenage, tout se passe comme si les deux roues dentées étaient deux roues lisses en contact sans frottement l'une contre l'autre.

Leur diamètre serait alors le *diamètre primitif*.

N'importe quelle roue dentée possède donc un diamètre primitif  $D$  ; celui-ci est égal au produit de son module  $m$  avec son nombre de dents  $Z$ .

$$D = m \cdot Z$$

 *Remarque*

Pour que deux roues dentées engrenent correctement, il faut qu'elles aient *même module*.

### 2.2. Étude cinématique

*Principe*

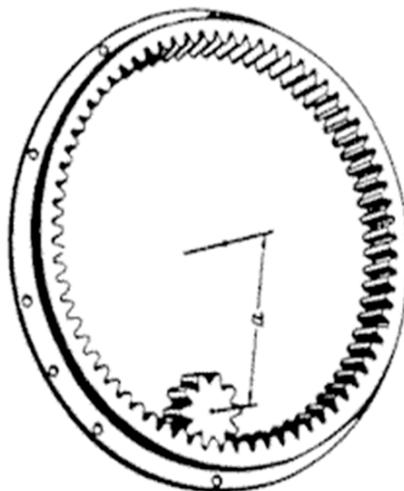
Chaque roue *menante* d'un engrenage entraîne une roue *menée* grâce à des dents au profil en développante de cercle assurant le roulement sans glissement de deux cylindres fictifs appelés "cylindres primitifs".

Lorsque la roue 2 engrène avec la roue 3, les cercles primitifs des roues roulent l'un sur l'autre sans glisser au point I.



 **Remarque : Contact intérieur ou extérieur**

- Si les deux roues sont en *contact extérieur*, comme dans l'exemple précédent, il y a inversion du sens de rotation, donc un *rapport de réduction négatif*.
- Si les deux roues sont en *contact intérieur*, le sens de rotation ne change pas, et le *rapport de réduction est positif*.



*Engrenage à contact intérieur*

 **Définition : Rapport de transmission d'un train d'engrenage simple**

$$r = \frac{\omega_{\text{sortie/bâti}}}{\omega_{\text{entrée/bâti}}} = (-1)^n \cdot \frac{\prod Z_{\text{roues menantes}}}{\prod Z_{\text{roues menées}}}$$

où :

- $n$  = nombre de contacts *extérieurs* (qui inversent le sens de rotation)
- $Z$  = nombre de dents

### 3. Dentures

#### 3.1. Denture droite

Ce type d'engrenage est le plus simple et le plus économique.

Une seule dent est en prise : l'effort moteur passe donc brutalement d'une dent à l'autre ce qui génère un fonctionnement bruyant (exemple : marche arrière des voitures).

☞ *Exemple : Roues parallèles à denture droite*

---



Les deux axes de rotation sont parallèles.

Les dents des deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

☞ *Exemple : Roues coniques à denture droite*

---



Les deux axes de rotation sont concourants et le plus souvent orthogonaux.

Les dents des deux roues sont disposées suivant la génératrice du cône.

☞ *Exemple : Crémaillère à denture droite*

---



L'une des deux roues dentées est de rayon infini : c'est la crémaillère.

### 3.2. Denture hélicoïdale

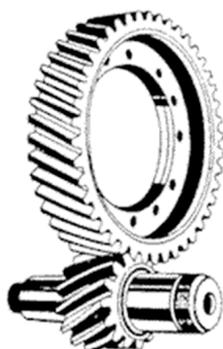
Dans le cas d'une denture hélicoïdale, les dents des roues sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des deux arbres ce qui permet d' "allonger" l'action de chaque dent au cours du temps.

À taille égale, les engrenages à denture hélicoïdale sont plus performants que ceux à denture droite pour transmettre puissance et couple. Du fait d'une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement, ils sont aussi plus silencieux.

Ils sont parfois utilisés pour transmettre le mouvement entre des arbres non coplanaires et font alors partie des « engrenages gauches ».

#### ☞ Exemple : Roues parallèles à denture hélicoïdale

---



Les deux axes de rotation sont parallèles.

Les dents des deux roues de l'engrenage suivent la forme d'une hélice.

#### ☞ Exemple : Roues coniques à denture hélicoïdale

---



Les deux axes de rotation sont concourants et le plus souvent orthogonaux.

Les dents des deux roues suivent la forme d'une hélice rapportée sur la surface du cône.

#### ☞ Exemple : Crémaillère à denture hélicoïdale

---



☞ Exemple : Roue et vis sans fin

---



L'une des deux roues est remplacée par une vis sans fin.  
Pour le calcul du rapport de réduction, le "nombre de dents" de la vis correspond à son nombre de filets.

⚠ Attention : Efforts supplémentaires

---

L'inclinaison de la denture engendre :

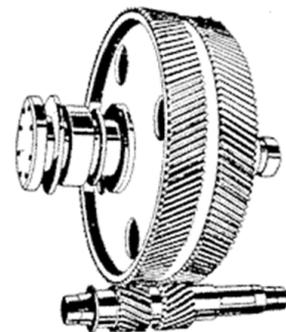
- des efforts axiaux (suivant l'axe de l'arbre) qui doivent être supportés par les éléments de guidage en rotation (paliers lisses, roulements à billes...)
- des moments supplémentaires qui accentuent le fléchissement des arbres.

🔍 Remarque : Logo Citroën

---

Pour éviter d'avoir des efforts axiaux, Citroën a inventé le pignon à chevron dont il a tiré son logo.

De cette manière, les efforts axiaux s'annulaient et le montage de roulements conventionnels était suffisant.



## 4. Trains épicycloïdaux

### 4.1. Présentation

Sous le nom de *train épicycloïdal* ou engrenage planétaire, on désigne un système de transmission de puissance entre deux ou plusieurs arbres, dont certains ont deux mouvements de rotation :

- rotation autour de leur axe propre
- rotation de leur axe autour de l'axe principal

Les roues dentées peuvent être cylindriques ou coniques.

Les arbres dont l'axe coïncide avec un axe fixe dans l'espace s'appellent *planétaire*.

Ceux qui tournent avec leur axe autour d'un autre s'appellent *satellites*. Ces derniers sont généralement maintenus en place par une pièce mobile nommée *porte-satellite*.

#### *Quelques avantages des trains épicycloïdaux*

- possibilité d'arrangement coaxial des arbres.
- réduction du poids et de l'encombrement pour une puissance donnée.
- rapport de réduction très élevé possible avec un minimum d'éléments pour transmissions à faible puissance.

Les éléments des trains épicycloïdaux sont cependant difficiles à aligner et à guider.

#### Remarque

Le terme "épicycloïdal" vient de la trajectoire d'un point d'un satellite par rapport au bâti, qui est une *épicycloïde*.

### 4.2. Types de trains épicycloïdaux

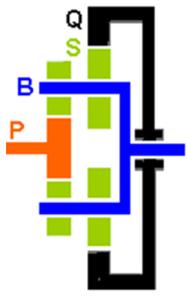
On distingue plusieurs types de trains épicycloïdaux en fonction de leur *morphologie*.

#### *Trains épicycloïdaux parallèles*

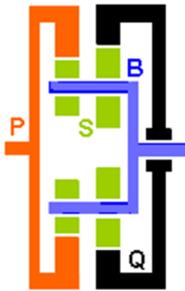
L'axe de rotation des satellites est *parallèle* à l'axe de rotation des planétaires.



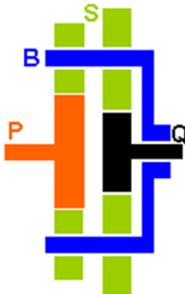
Type 1 : satellite à simple denture, un planétaire intérieur et un planétaire extérieur



Type 2 : satellite à double denture, un planétaire intérieur et un planétaire extérieur



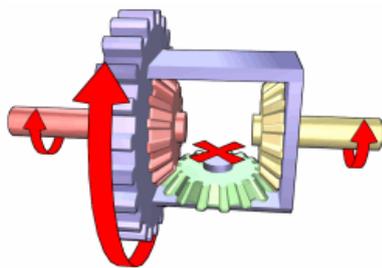
Type 3 : satellite à double denture, deux planétaires extérieurs



Type 4 : satellite à double denture, deux planétaires extérieurs

### Trains épicycloïdaux sphériques

L'axe de rotation des satellites est *perpendiculaire* à celui des planétaires. Par conséquent, les roues dentées sont coniques.



Différentiel automobile, exemple classique d'un train épicycloïdal sphérique.

### 4.3. Rapport de transmission

En considérant le non-glissement à chaque point de contact et les propriétés des mouvements de rotation des roues dentées, on peut obtenir la formule suivante (« *formule de Willis* ») pour le rapport de transmission d'un train épicycloïdal.

### Définition

$$r = \frac{\omega_{\text{planétaire de "sortie" / porte-satellites}}}{\omega_{\text{planétaire d' "entrée" / porte-satellites}}} = (-1)^n \cdot \frac{\prod Z_{\text{menantes}}}{\prod Z_{\text{menées}}}$$

où :

- $n$  = nombre de contacts *extérieurs* (qui inversent le sens de rotation)
- $Z$  = nombre de dents

### Remarque

L'un des deux planétaires est souvent une couronne à denture intérieure. Le planétaire d' "entrée" sera celui du côté de l' "amont" de la transmission de puissance ; le planétaire de "sortie" sera identifié par déduction.

### Attention

La clé de l'obtention et de la mémorisation faciles de la formule de Willis est de se souvenir de *prendre le porte-satellites comme référence* (et non le bâti).

Cette formule *ne donne pas le rapport de transmission* du train ; il faudra manipuler l'équation en utilisant notamment la *composition des vitesses*, afin de revenir à un rapport de vitesses qui prennent comme référence le bâti, et non le porte-satellites.

# Poulies et courroies

II

## 1. Fonction principale

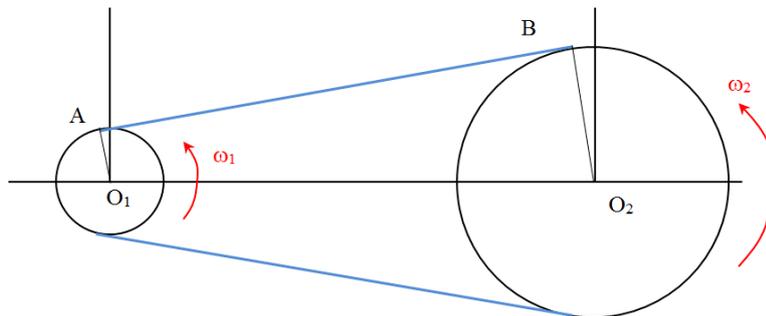
Ce système est généralement utilisé pour transmettre un mouvement en conservant le sens de rotation. Il est peu bruyant (par rapport aux engrenages) mais nécessite un entretien fréquent (changement de la courroie).

La transmission de puissance se fait par adhérence : il peut donc y avoir *glissement* de la courroie sur les poulies. Afin de l'éviter, deux solutions sont possibles :

- on tend la courroie (ce qui peut se faire par un système de mise en tension automatique avec un ressort, par exemple
- ou l'on utilise une courroie crantée, associée à des poulies dentées ; la transmission se fait alors par *obstacle* et non plus par adhérence.

## 2. Étude cinématique

Soient deux poulies 1 et 2 en liaison pivot de centre  $O_1$  et  $O_2$  par rapport au bâti 0.



Dans le cas idéal, si la courroie ne glisse pas :  $\overrightarrow{V(A \in \text{courroie}/1)} = \vec{0}$  et  $\overrightarrow{V(B \in \text{courroie}/2)} = \vec{0}$ .

Si la courroie est inextensible :  $\overrightarrow{V(A \in \text{courroie}/0)} = \overrightarrow{V(B \in \text{courroie}/0)}$ .

Par conséquent :  $\overrightarrow{V(A \in 1/0)} = \overrightarrow{V(B \in 2/0)}$ , donc  $r_1 \cdot \omega_1 = r_2 \cdot \omega_2$ .

Le rapport de transmission est donc le rapport inversé des diamètres des poulies :  $r = \frac{D_{\text{menante}}}{D_{\text{menée}}}$

### Remarque

La transmission se fait de façon certaine *sans glissement* si l'on utilise une courroie crantée ou une chaîne.