

Systèmes de transmission de puissance : Engrenages

I. Introduction

1.1 Définition

- On appelle « engrenage » l'ensemble des deux roues dentées s'engrenant l'une avec l'autre et permettant de transmettre un mouvement ou une puissance avec un rapport de vitesse invariable.

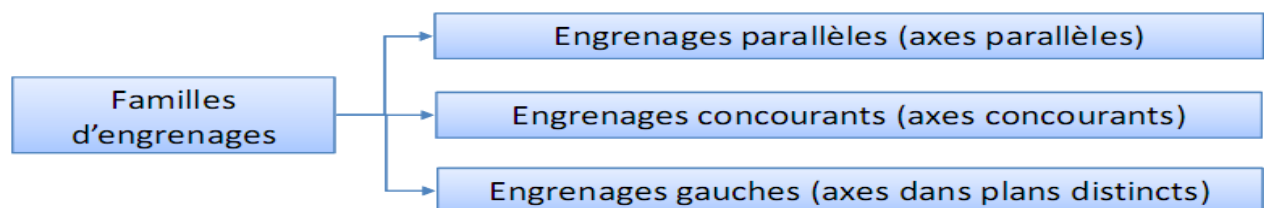
1.2 Généralités

- Parmi les systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables;
- Ils sont normalisés ce qui permet leur interchangeabilité et réduit leur coût de fabrication;
- La roue qui a le plus petit nombre de dents est appelée « pignon » et c'est généralement elle qui reçoit la puissance du moteur;
- Une combinaison d'engrenages est appelée « train d'engrenages ».

II. Classification des engrenages

2.1 Généralités

– Les engrenages peuvent se répartir en trois familles selon la position et l'orientation relative de leurs axes :



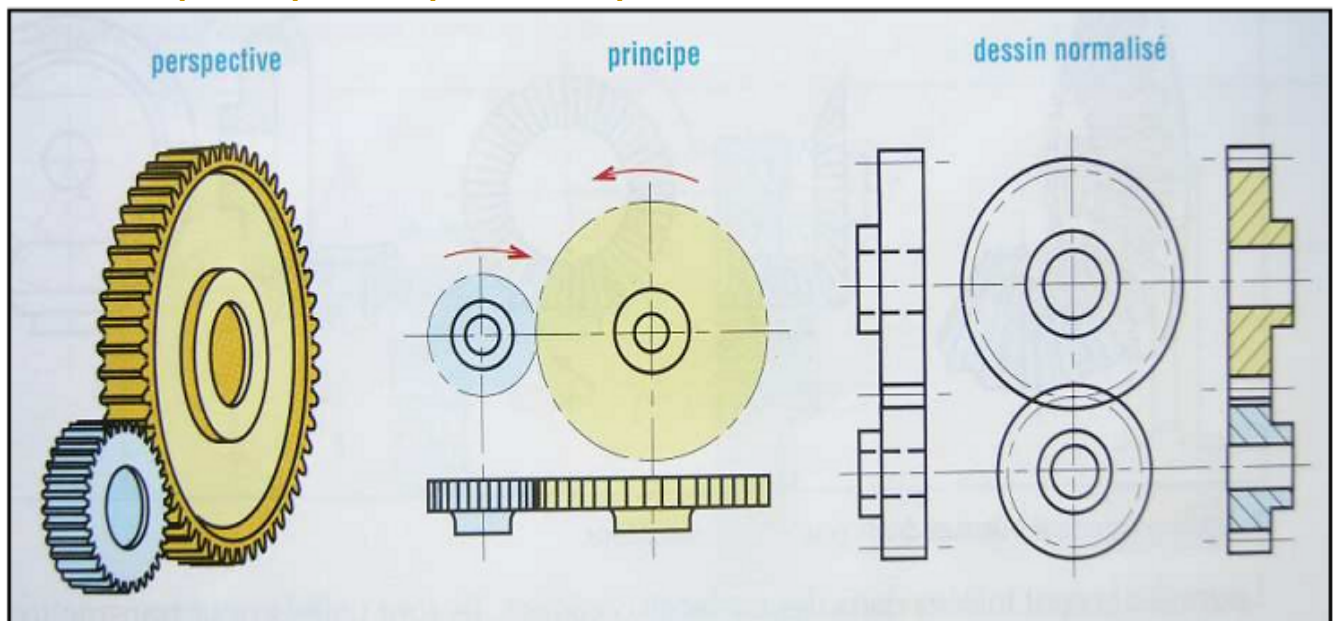
Dans chacune de ces familles on retrouve différents types d'engrenages;

Ces types sont présentés dans les diapositives qui suivent :

2.2 Engrenages droits à denture droite

– Les arbres sont parallèles et les dents des deux engrenages sont également parallèles à l'axe de rotation des arbres;

– Ce sont les plus simples et les plus économiques.

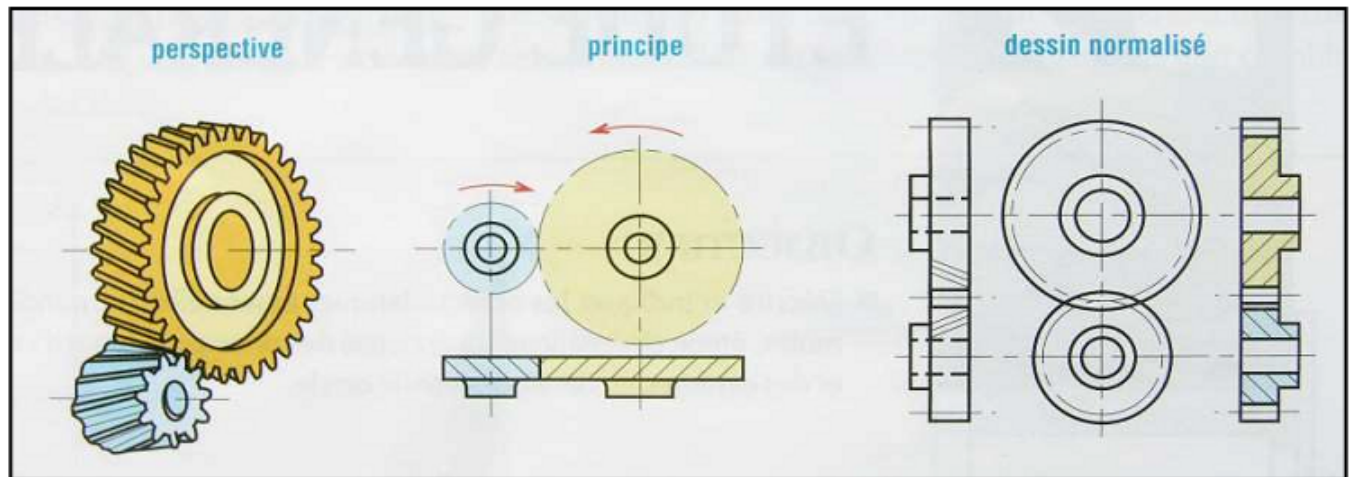


2.3 Engrenages droits à denture hélicoïdale

– Les dents des deux engrenages sont inclinés par rapport à l'axe de rotation des arbres;

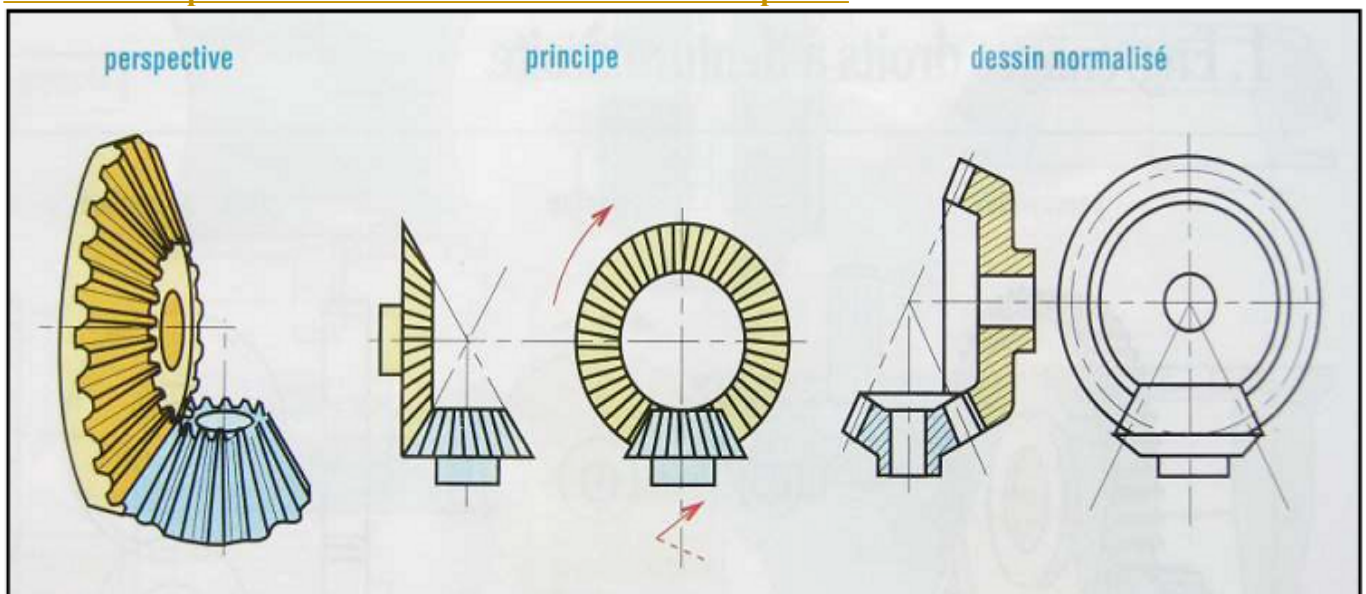
– À taille égale, ils sont plus silencieux et plus performants que les précédents pour transmettre de la puissance et du couple;

– L'inclinaison des dentures engendre des efforts axiaux.



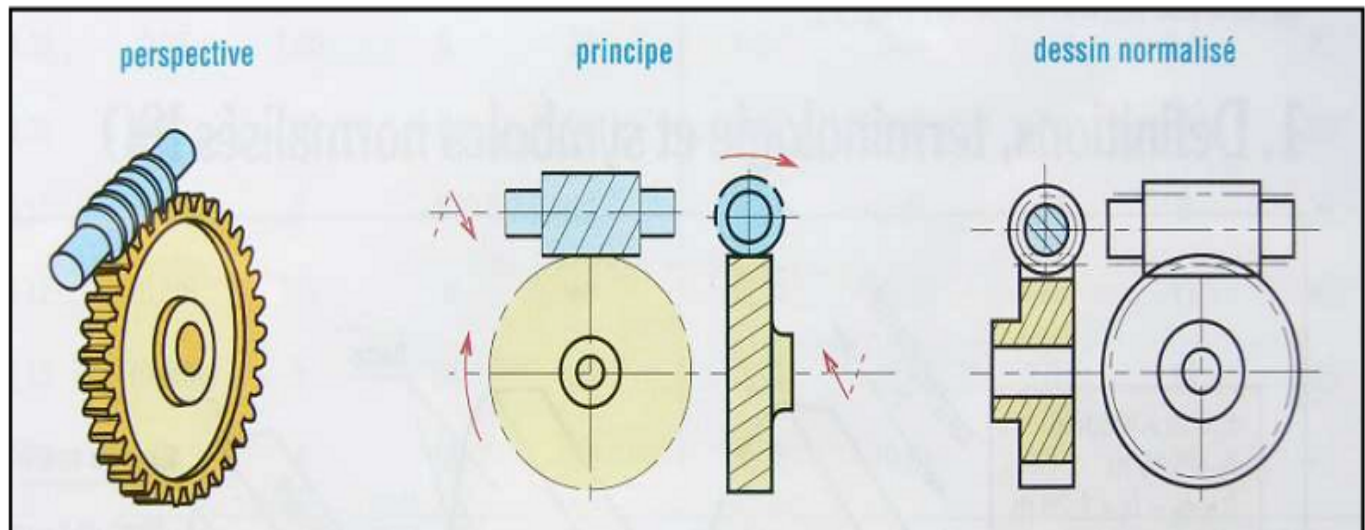
2.4 Engrenages coniques

- Les dents sont taillées dans des surfaces coniques;
- Ils sont utilisés pour transmettre le mouvement entre des arbres concourants, perpendiculaires ou non;
- La denture peut être droite mais aussi hélicoïdale ou spirale.



2.5 Engrenages roue et vis sans fin

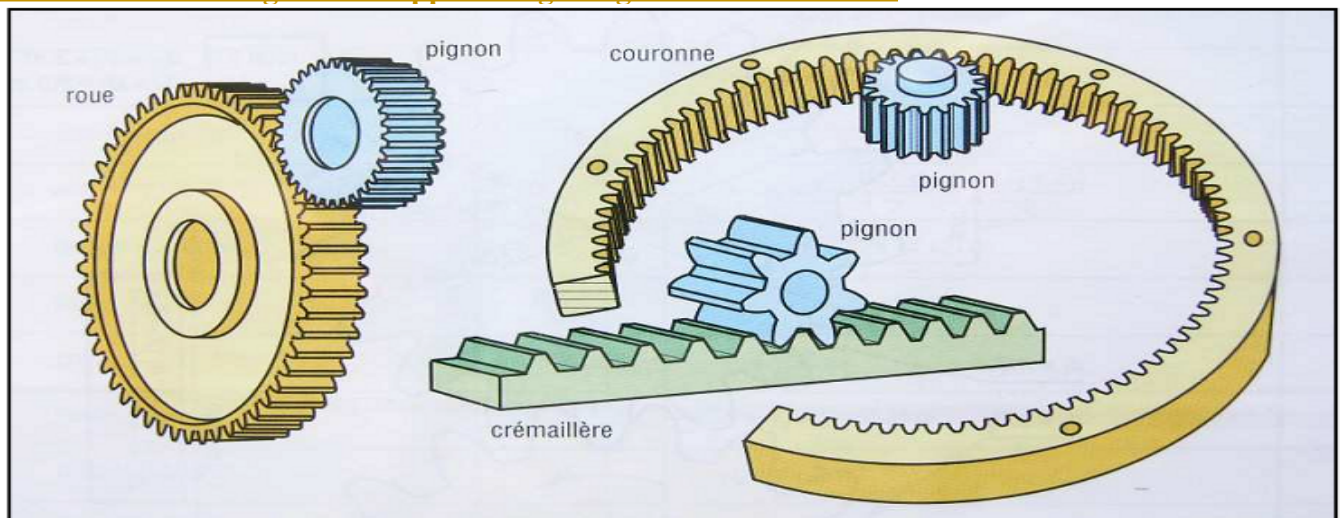
- L'une des roues ressemble à une vis et l'autre à une roue hélicoïdale;
- Le sens de rotation de la roue dépend de celui de la vis mais aussi de l'inclinaison de la denture, filet à gauche ou à droite;
- L'irréversibilité est possible.



III. Engrenages droits à denture droite

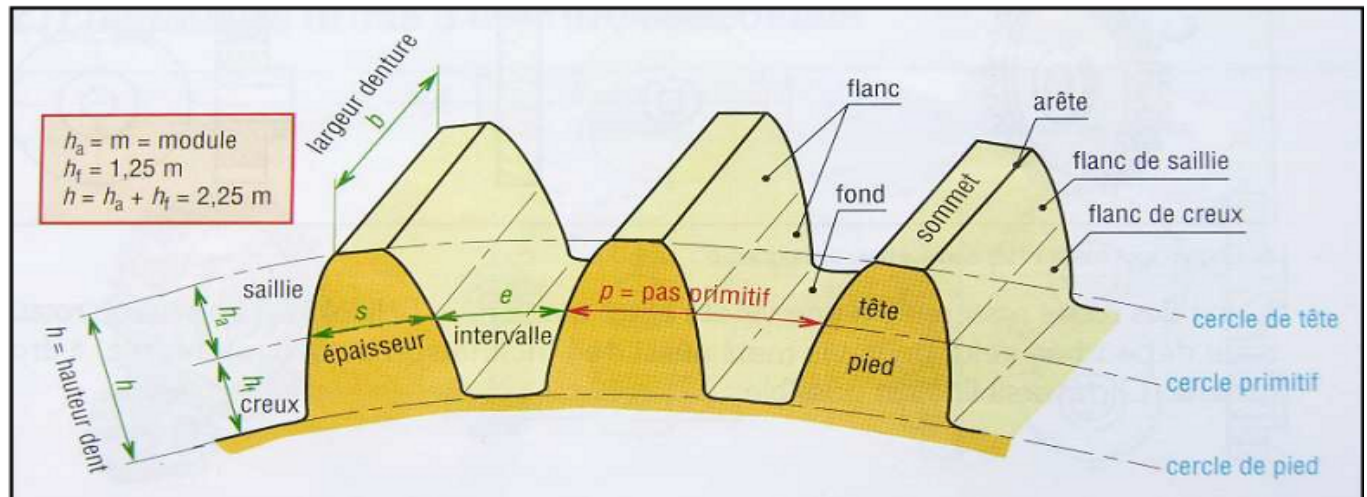
3.1 Types et nomenclature

– La couronne est également appelée engrenage à denture interne.



3.2 Définitions

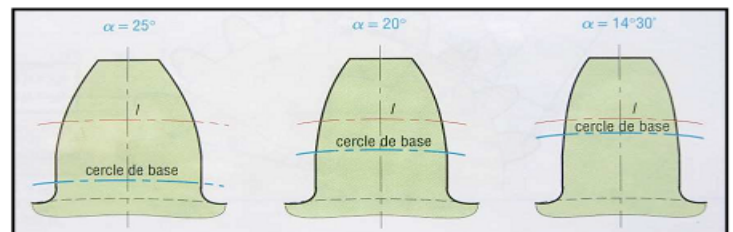
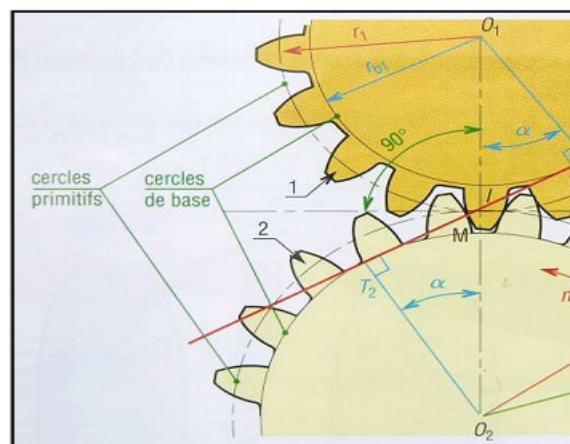
– La géométrie des engrenages est entièrement décrite par un ensemble de paramètres qui sont également utilisés pour leur normalisation.



Cercle primitif : Cercle sur lequel se trouvent les points de contact des engrenages.

Cercle de base : Cercle tangent à la droite normale tangente à la droite normale aux points de contact sur les dents (appelée droite de pression).

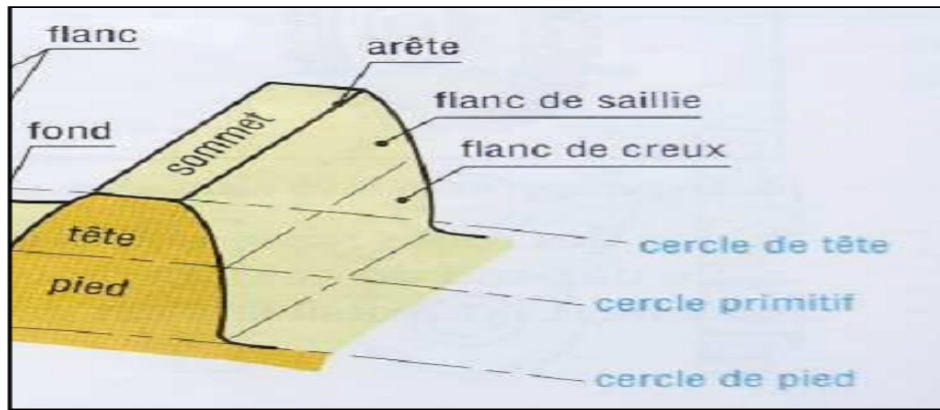
Angle de pression α : angle de la droite de pression qui caractérise aussi la forme des dents.



Cercle de tête : Cercle correspondant au diamètre maximal de l'engrenage.

Cercle de pied : Cercle correspondant au diamètre minimal de l'engrenage.

Ces deux derniers cercles ne sont toutefois pas utilisés dans les calculs d'engrenages.



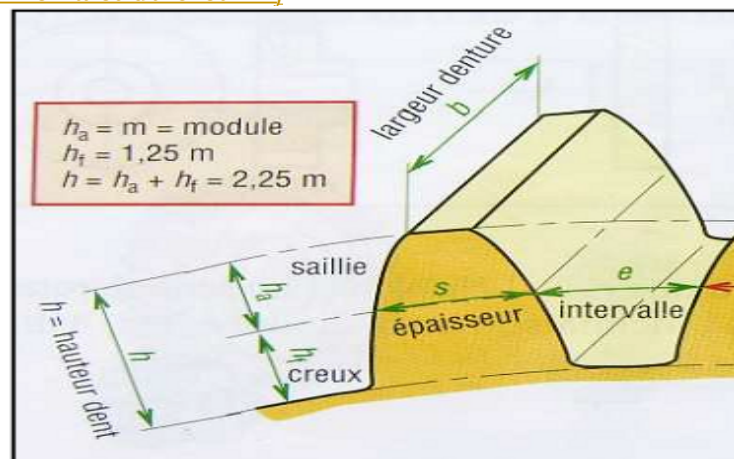
– Le cercle primitif sert de référence pour la définition des dimensions de la dent et d'autres paramètres :

Saillie h_a : Différence entre les rayons du cercle de tête et du cercle primitif.

Creux h_f : Différence entre les rayons du cercle primitif et du cercle de pied.

Hauteur h : Différence entre les rayons du cercle de tête et de pied.

C'est aussi la somme de la saillie h_a et du creux h_f

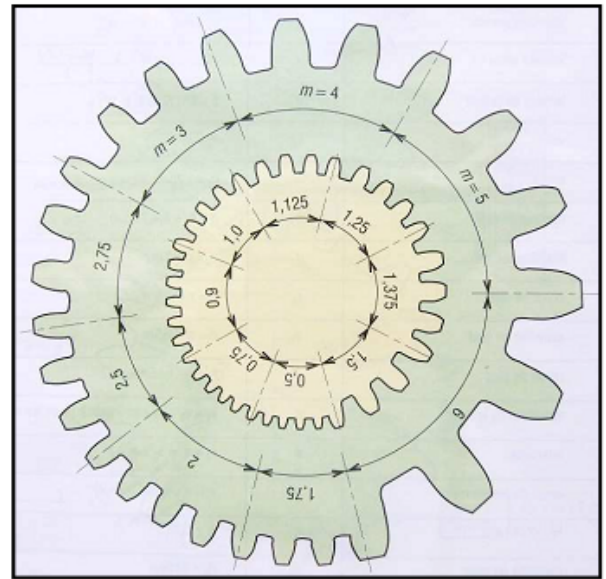
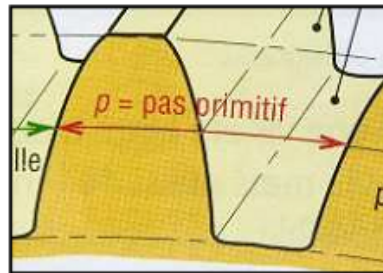


– Les paramètres suivants sont fréquemment utilisés dans diverse formules décrivant la géométrie des engrenages:

Pas primitif p : Longueur d'arc entre deux dents successives mesurée sur le cercle primitif.

Module m : Quotient du pas exprimé en mm par le nombre π . L'épaisseur de la dent et sa résistance dépendent du module.

$$m = \frac{p}{\pi} (mm)$$



– En plus des paramètres présentés précédemment, il faut aussi définir les variables

suivantes : Vitesse angulaire : ω .

Nb. de tours/minute : n .

Nb. de tours/minute : n .

Nombre de dents : Z .

Rayon primitif : r .

Diamètre primitif : d .

Entraxe : a .

. Note : À chaque variable peut être associé un indice permettant associé un indice permettant de distinguer les deux engrenages.

Pignon (menant) : 1.

Roue (menée) : 2.

3.3 Formules de base

– Formules relatives à un engrenage seul :

$$m = \frac{p}{\pi} = h_a (mm)$$

$$d = m \cdot Z (mm)$$

Où

- m : module (mm)
- p : pas primitif (mm)
- h_a : saillie (mm)
- d : diamètre primitif (mm)
- $\pi \cdot d$: circonférence primitive (mm)
- Z : nombre de dents

$$p = \frac{\pi \cdot d}{Z} = \frac{\pi \cdot (m \cdot Z)}{Z} = \pi \cdot m (mm)$$

– Formules relatives au fonctionnement d'une paire d'engrenages :

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot (Z_1 + Z_2)}{2} \quad (mm)$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Où a : entraxe (mm)

Correspondance des indices :

- ◊ Pignon (menant) : 1.
- ◊ Roue (menée) : 2.

m : module (mm)

d : diamètre primitif (mm)

Z : nombre de dents

ω : vitesse angulaire (rad/s.)

n : vitesse en tours/minutes

r : rayon primitif

T : couple transmis

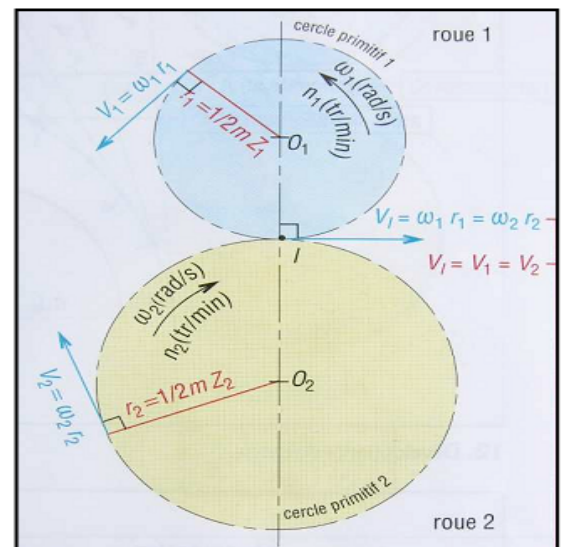
– Commentaire relatif aux rapports de vitesse ou de couple :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Où Z : nombre de dents
 ω : vitesse angulaire (rad/s.)
 n : vitesse en tours/minutes
 r : rayon primitif
 T : couple transmis

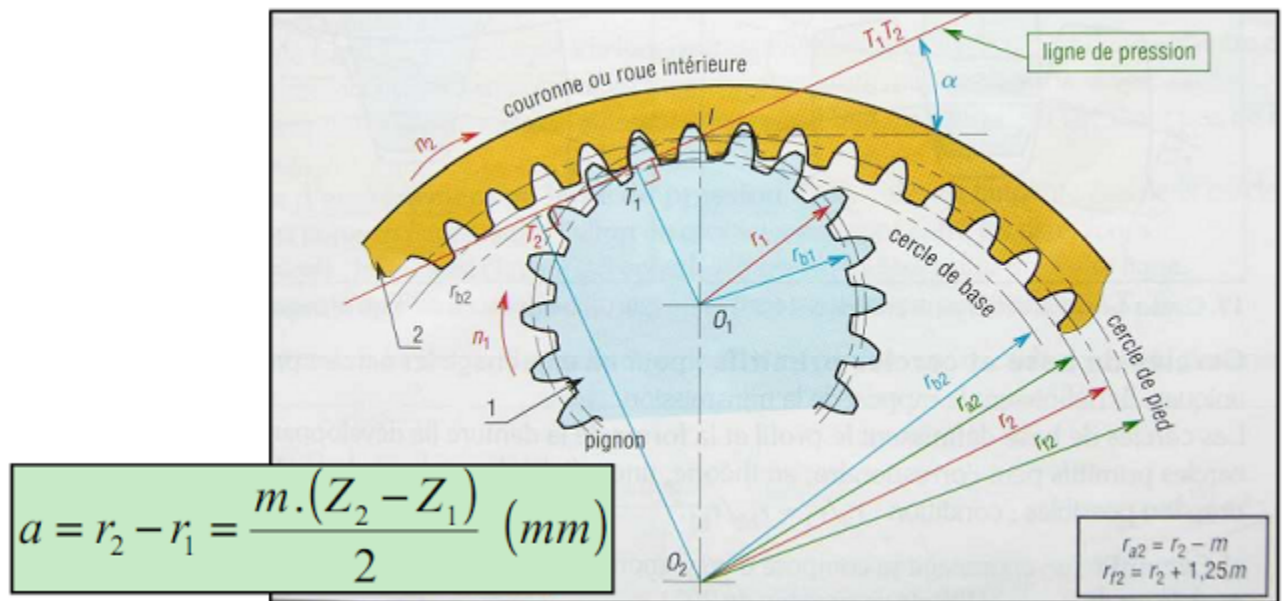
Fondement de la formule :

- ◊ Vitesses tangentielles égales
- ◊ Puissances $P = T \cdot \omega$ égales



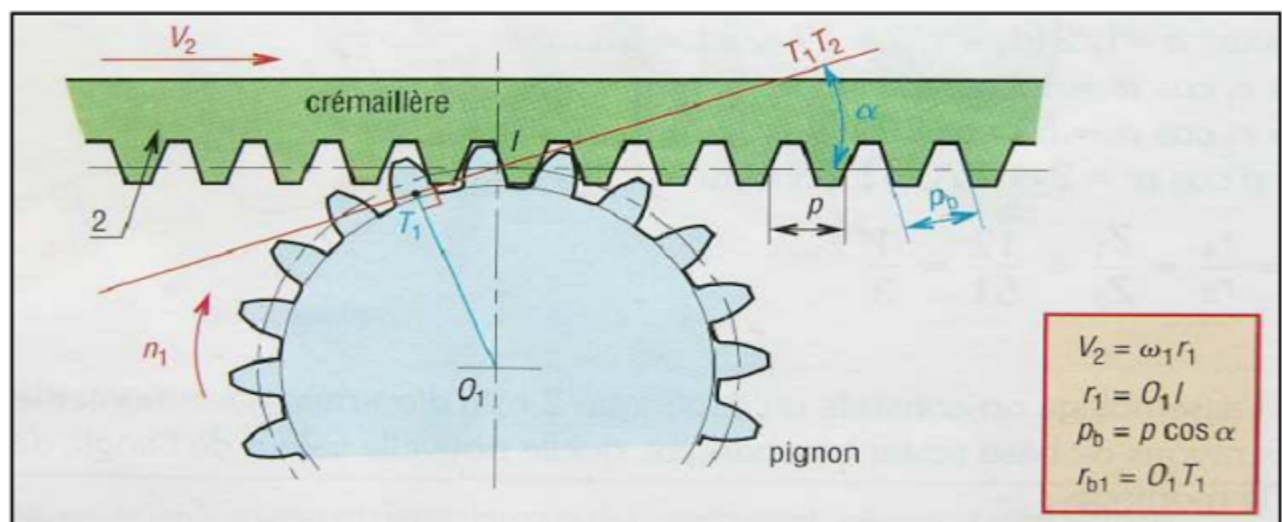
3.4 Cas des roues intérieures

– Les formules précédentes s'appliquent à l'exception de l'entraxe a .



3.4 Cas d'une crémaillère

– Les formules relatives aux paires d'engrenages ne peuvent plus s'appliquer ici.



3.5 Phénomène d'interférence

– Selon le nombre de dents des engrenages, il peut y avoir des problèmes d'interférence au niveau du pied des dents.

Pour éviter ce type de problèmes, il faut respecter le tableau suivant :

Module m: Quotient du pas exprimé en Module m: Quotient du pas exprimé en mm
par le nombre π . L'épaisseur de la dent et sa résistance dépendent du module.

Nombre de dents évitant l'interférence ($\alpha = 20^\circ$)					
Z_1	13	14	15	16	17
$Z_{2\max}$	16	26	45	101	1309

