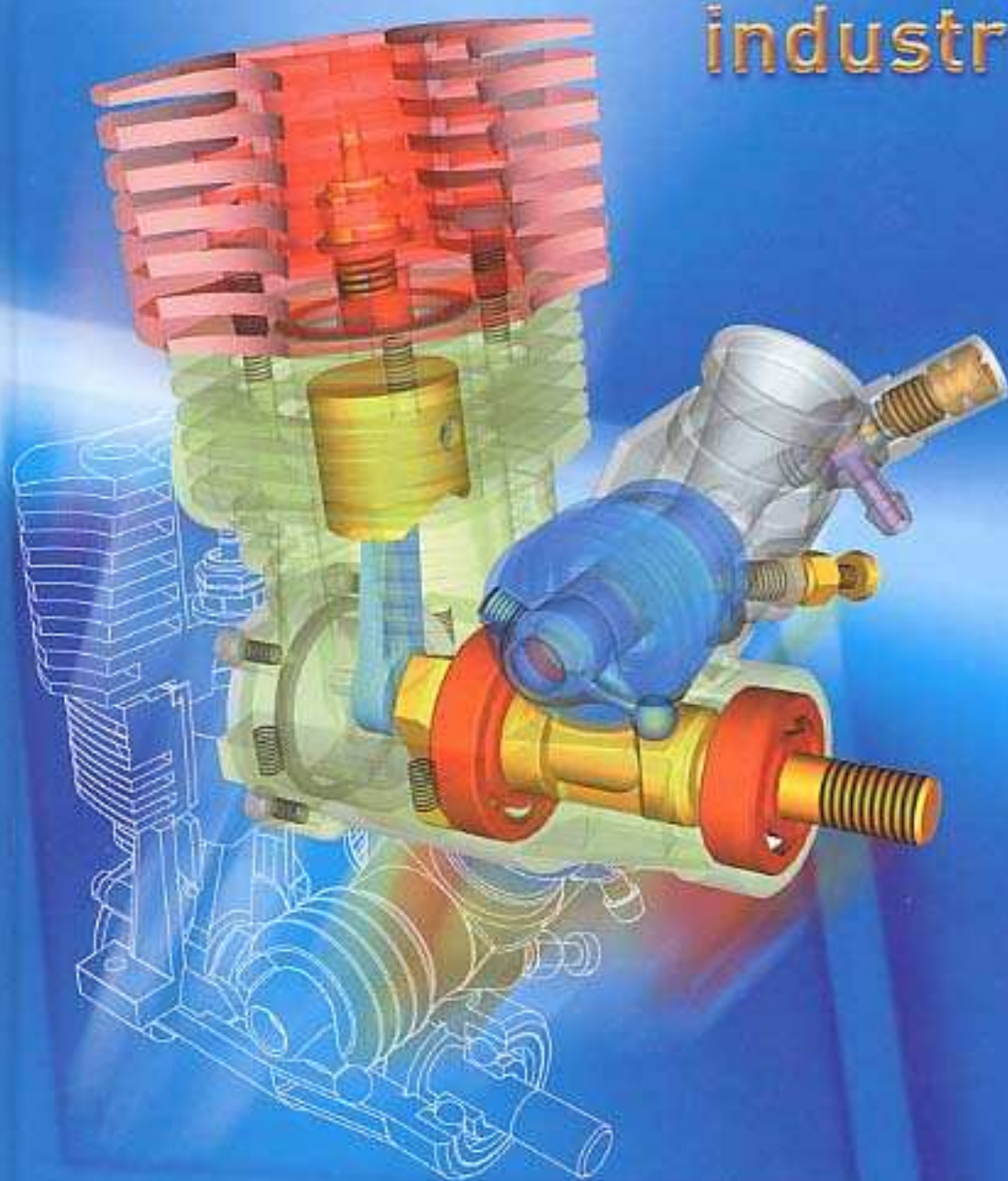


Pour maîtriser la communication technique

# Chevalier

## Guide du dessinateur industriel



**H** HACHETTE  
Technique



# 73 Engrenages

NF ISO 701 - NF EN ISO 2203

Un engrenage est un mécanisme élémentaire composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position relative invariable.

L'une des roues entraîne l'autre par l'action des dents successivement en contact.

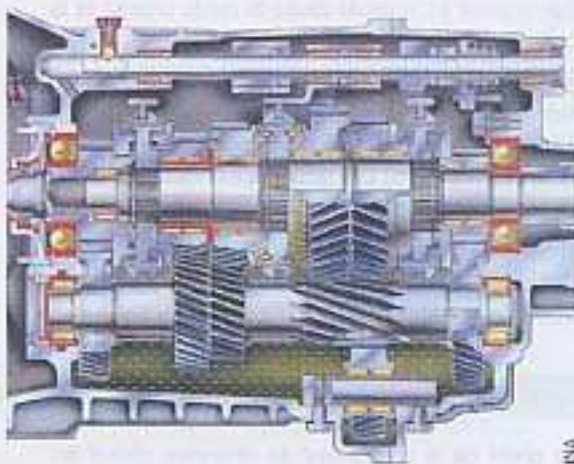
La roue qui a le plus petit nombre de dents est appelée pignon.

Suivant la position relative des axes des roues, on distingue :

- les engrenages parallèles (axes parallèles) ;
- les engrenages concourants (axes concourants) ;
- les engrenages gauches (les axes ne sont pas dans un même plan).

Une combinaison d'engrenages est appelée train d'engrenages.

## Boîte de vitesses d'automobile



### Engrenage parallèle



### Engrenage concourant



### Engrenage gauche



## 73.1 Engrenages parallèles\*

### 73.11 Définitions

#### CYLINDRE PRIMITIF DE FONCTIONNEMENT

Cylindre décrit par l'axe instantané de rotation II' du mouvement relatif de la roue conjugué par rapport à la roue considérée.

La section droite du cylindre primitif est le cercle primitif de diamètre  $d$ .

#### CYLINDRE DE TÊTE

Cylindre passant par les sommets des dents. Sa section droite est le cercle de tête de diamètre  $d_a$ .

#### CYLINDRE DE PIED

Cylindre passant par le fond de chaque entre-dent. Sa section droite est le cercle de pied de diamètre  $d_f$ .

#### LARGEUR DE DENTURE (b)

Largeur de la partie dentée d'une roue, mesurée suivant une génératrice du cylindre primitif.

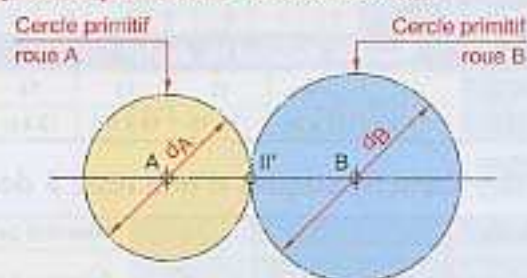
#### FLANC

Portion de la surface d'une dent comprise entre le cylindre de tête et le cylindre de pied.

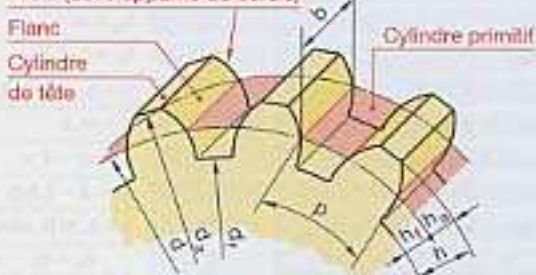
#### PROFIL

Section d'un flanc par un plan normal à l'axe (en mécanique générale, on n'utilise pratiquement que le profil en développante de cercle).

### Cylindres primitifs de fonctionnement



### Profil (développante de cercle)



\* Voir CD-Rom G.I.D.I. : animations.



### ANGLE DE PRESSION ( $\alpha$ )

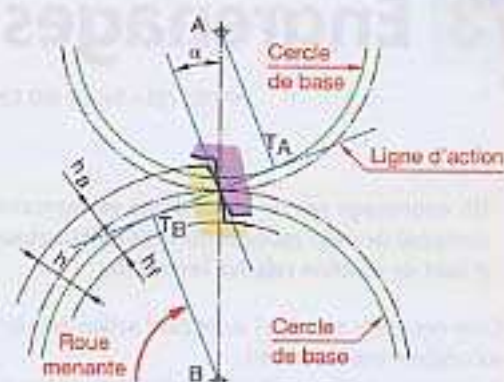
Angle aigu entre le rayon du cercle primitif passant par le point où le profil coupe le cercle primitif et la tangente au profil de ce point.

### LIGNE D'ACTION

Normale commune à deux profils conjugués en leur point de contact. Dans un engrenage à développante, la ligne d'action est une droite fixe tangente intérieurement aux deux cercles de base.

### HAUTEUR DE DENT ( $h$ )

Distance radiale entre le cercle de tête et le cercle de pied. Elle se compose de la saillie ( $h_a$ ) et du creux ( $h_f$ ).



## 73.12 Crémaillère de référence

Le profil de la crémaillère de référence définit les caractéristiques communes à toutes les roues cylindriques à développante de cercle.

### MODULE ( $m$ )

Le module est le quotient du pas exprimé en millimètres par le nombre  $\pi$ .

En première approximation, le module peut être calculé par la formule :

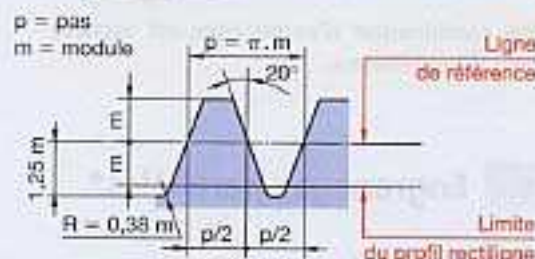
$$m = 2,34 \sqrt{\frac{|F_t|}{k \cdot R_{p_e}}}$$

$|F_t|$  = force tangentielle en newtons.

$k$  = coefficient de largeur de denture, valeur choisie entre 6 et 10.

$R_{p_e}$  = résistance pratique à l'extension du matériau de la dent en mégapascals.

### Crémaillère de référence



Modules normalisés						
Série principale	0,3	0,5	0,8	1	1,25	1,5
	2,5	3	4	5	6	8
	10	12,5	16	20	25	32
Nombre minimal de dents*						
$Z_A$	13	14	15	16	17	18
$Z_B$	13 à 16	13 à 26	13 à 45	13 à 101	13 à ∞	13 à ∞

Taille réelle des dentures			
$m = 0,8$	$m = 1$	$m = 1,25$	$m = 1,5$
$m = 2$	$m = 2,5$	$m = 3$	

## 73.13 Caractéristiques d'une roue à denture droite normale ( $\alpha = 20^\circ$ )

Module	$m$	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux (§ 73.12)**
Nombre de dents	$z$	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires : $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Pas	$p$	$p = m \cdot \pi$
Saillie	$h_a$	$h_a = m$
Creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m$
Diamètre primitif	$d$	$d = m \cdot z$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2 m$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m$
Largeur de denture	$b$	$b = k \cdot m$ ( $k$ valeur à se fixer, fréquemment on choisit entre 6 et 10.)
Entraxe de deux roues	$a$	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = \frac{m \cdot z_A}{2} + \frac{m \cdot z_B}{2} = \frac{m(z_A + z_B)}{2}$

\* Afin d'éviter l'interférence entre les dents de la roue et du pignon. \*\* Voir aussi le Guide du Calcul en Mécanique.



Diamètre primitif	$d$	$d = m_t \cdot z$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2 m_t$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m_t$
Entraxe de deux roues A et B	$a$	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = \frac{m_t \cdot z_A}{2} + \frac{m_t \cdot z_B}{2}$
Largeur de denture	$b$	La transmission du mouvement est continue si, le contact cessant entre un couple de dents, un autre couple de dents est déjà en prise, soit : $b \geq \frac{\pi \cdot m_t}{\sin \beta}$

La figure représente, en coupe pédagogique, une boîte de vitesses d'automobile.

Les dentures hélicoïdales assurent une transmission avec un faible frottement d'un flanc sur l'autre (moins de vibrations, bon rendement), mais elles engendrent une poussée axiale.

On peut remédier à cette poussée en utilisant deux dentures inclinées en sens inverse (denture en chevrons).



INA

## 73.2 Engrenages concourants\*

Les roues assurant la transmission sont coniques. Afin d'assurer une transmission sans glissement, les sommets des roues d'un engrenage concourant doivent être confondus avec le point de rencontre S des axes de chaque roue.

L'étude est limitée aux roues coniques à denture droite.

### Engrenage concourant



Cherrier

## 73.21 Définitions

### CÔNE PRIMITIF

Cône décrit par l'axe instantané SM du mouvement relatif de la roue conjuguée par rapport à la roue considérée.

### CÔNE COMPLÉMENTAIRE

Cône S'MM' dont les génératrices sont perpendiculaires à celles du cône primitif, à l'extrémité externe de la largeur de denture.

### CÔNE DE TÊTE

Cône passant par le sommet des dents.

### CÔNE DE PIED

Cône passant par le fond de chaque entre-dent.

### DIAMÈTRE PRIMITIF (d)

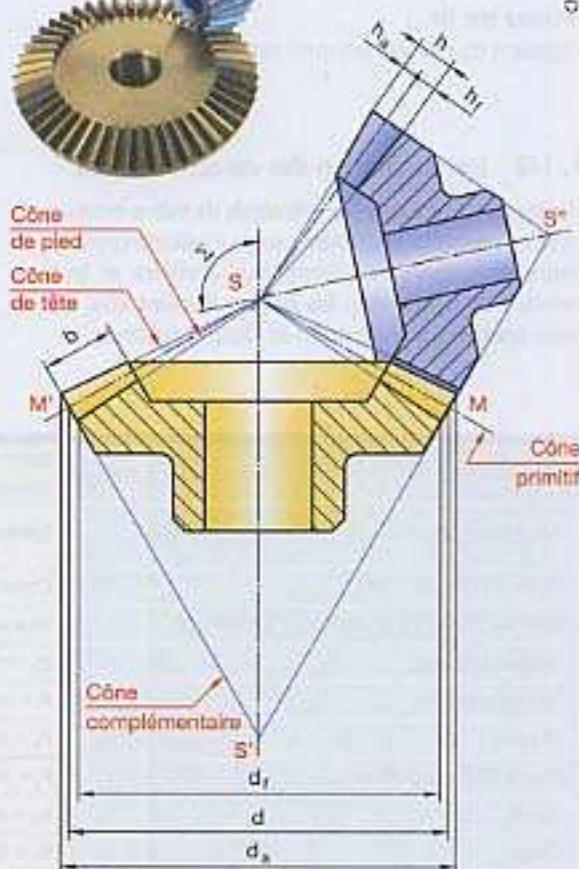
Diamètre du cercle d'intersection du cône primitif avec le cône complémentaire.

### DIAMÈTRE DE TÊTE ( $d_a$ ) ET DIAMÈTRE DE PIED ( $d_f$ )

Diamètre du cercle d'intersection du cône de tête (ou de pied) avec le cône complémentaire.

### LARGEUR DE DENTURE (b)

Largeur de la partie dentée de la roue et mesurée suivant une génératrice du cône primitif.



\* Voir CD-Pom G.I.D.I. : animations.



**Pas (p)**

Longueur de l'arc du cercle primitif compris entre deux profils homologues consécutifs.

**Module (m)**

Quotient du pas (en mm) par le nombre  $z$ .

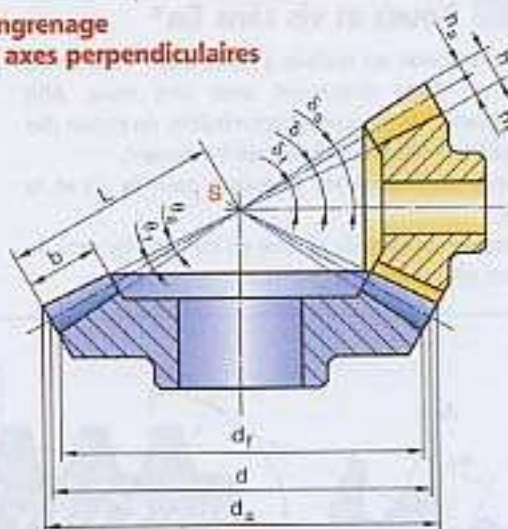
**Hauteur de dent (h)**

Distance entre le cercle de tête et le cercle de pied, mesurée suivant une génératrice du cône complémentaire. Elle se compose de la saillie ( $h_a$ ) et du creux ( $h_f$ ).

### 73.22 Caractéristiques d'un engrenage à axes perpendiculaires

Deux roues coniques n'engrènent correctement que si les modules sont égaux et si les cônes primitifs ont à la fois une génératrice commune et leurs sommets confondus.

#### Engrenage à axes perpendiculaires



Module (sur le cône complémentaire)	m	Déterminé par la résistance des matériaux et choisi dans les modules normalisés (§ 73.12)**.
Nombre de dents	z	Déterminé à partir du rapport des vitesses angulaires : $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Largeur de denture	b	Pour des raisons de taillage : $\frac{1}{4}L < b < \frac{1}{3}L$
Diamètres primitifs	d	$d_A = m \cdot z_A$ $d_B = m \cdot z_B$
Angles primitifs	$\delta$	$\tan \delta_A = z_B / z_A$ $\tan \delta_B = z_A / z_B$
Saillie	$h_a$	$h_a = m$
Creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25 m$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_{aA} = d_A + 2 m \cos \delta_A$ $d_{aB} = d_B + 2 m \cos \delta_B$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_{fA} = d_A - 2,5 m \cos \delta_A$ $d_{fB} = d_B - 2,5 m \cos \delta_B$
Angle de saillie	$\theta_a$	$\tan \theta_a = m/L$ avec $L = \frac{d_A}{2 \sin \delta_A}$
Angle de creux	$\theta_f$	$\tan \theta_f = 1,25 m/L$
Angle de tête	$\delta_a$	$\delta_{aA} = \delta_A + \theta_a$ $\delta_{aB} = \delta_B + \theta_a$
Angle de pied	$\delta_f$	$\delta_{fA} = \delta_A - \theta_f$ $\delta_{fB} = \delta_B - \theta_f$

### 73.3 Engrenages gauches\*

Les deux axes ne se rencontrent pas et forment un angle  $\Sigma$  quelconque. Ces transmissions engendrent des frottements importants.

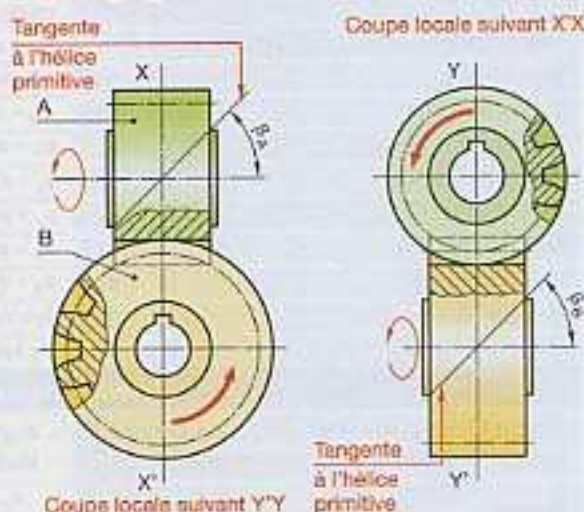
#### 73.31 Engrenages gauches hélicoïdaux

Les engrenages gauches hélicoïdaux sont composés, chacun, de deux roues à denture hélicoïdale (caractéristiques § 73.14), mais contrairement aux engrenages hélicoïdaux à axes parallèles, le sens des hélices primitives est le même pour les deux roues.

Dans le cas d'axes orthogonaux ( $\Sigma = 90^\circ$ ), on a souvent :  $\beta_A = \beta_B = 45^\circ$ .

Les engrenages gauches hélicoïdaux sont également appelés « engrenages hélicoïdaux à axes croisés ».

#### Engrenage gauche hélicoïdal



\* Voir CD-Rom G.E.D.J. : animations. \*\* Voir aussi le Guide du Calcul en Mécanique.