

VI. La transmission :

VI.1 Les engrenages :

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

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 dans un même plan).



VI.1.1 Engrenage parallèle :

VI.1.1.2 Engrenage parallèle à denture droite :

1. Cylindre primitif de fonctionnement :

Cylindre décrit par l'axe instantané de rotation 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 .

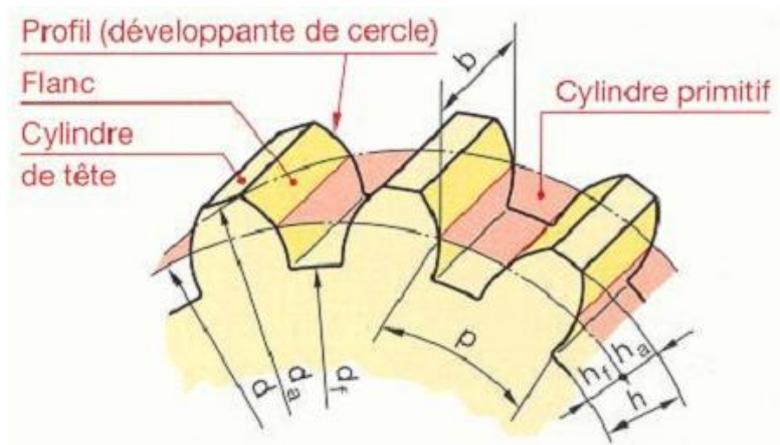
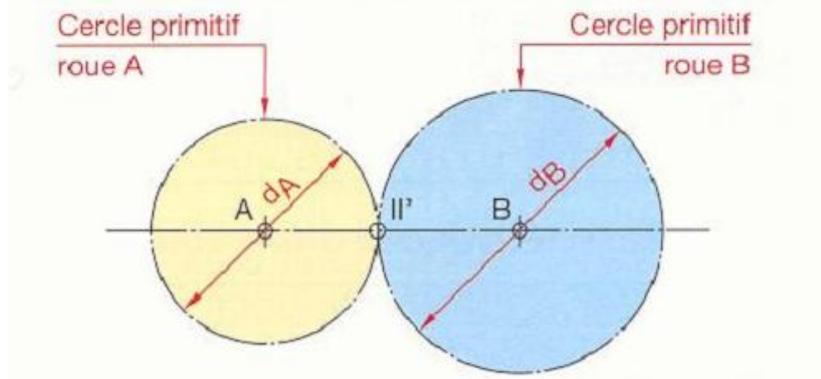
2. Cylindre de tête

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

3. Cylindre de pied

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

Cylindres primitifs de fonctionnement



4. Angle de pression (alpha)

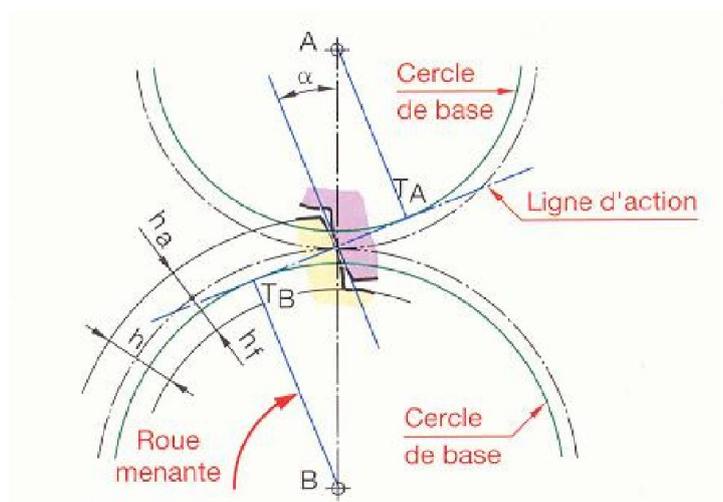
Angle aigu entre de rayon du cercle primitif passant pas le point où le profil coupe le cercle primitif et la tangente au profile de ce point.

5. Angle 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.

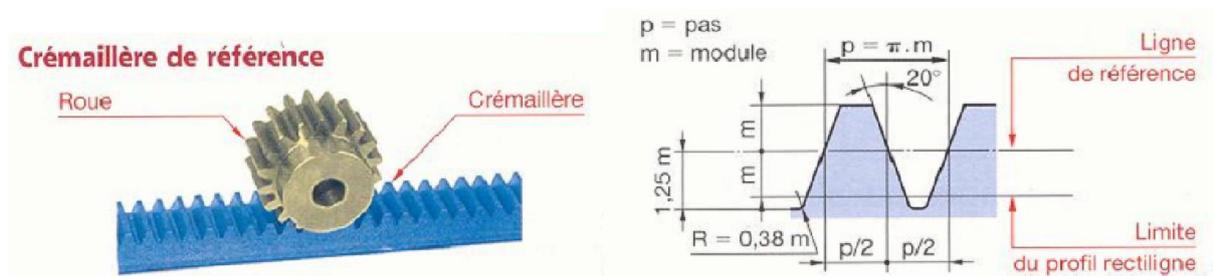
6. Hauteur de dent (h)

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)



7. Crémaillère de référence :

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



8. Module (m)

Le module est le quotient du pas exprimé en millimètres par le nombre π . En première approximation, le module peut être calculé par la formule :

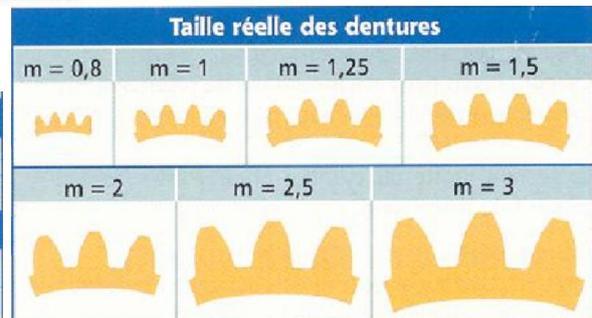
$$m = 2,34 \sqrt{\frac{\|F_t\|}{k \cdot R_{pe}}}$$

$\|F_t\|$ = force tangentielle en newtons.

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

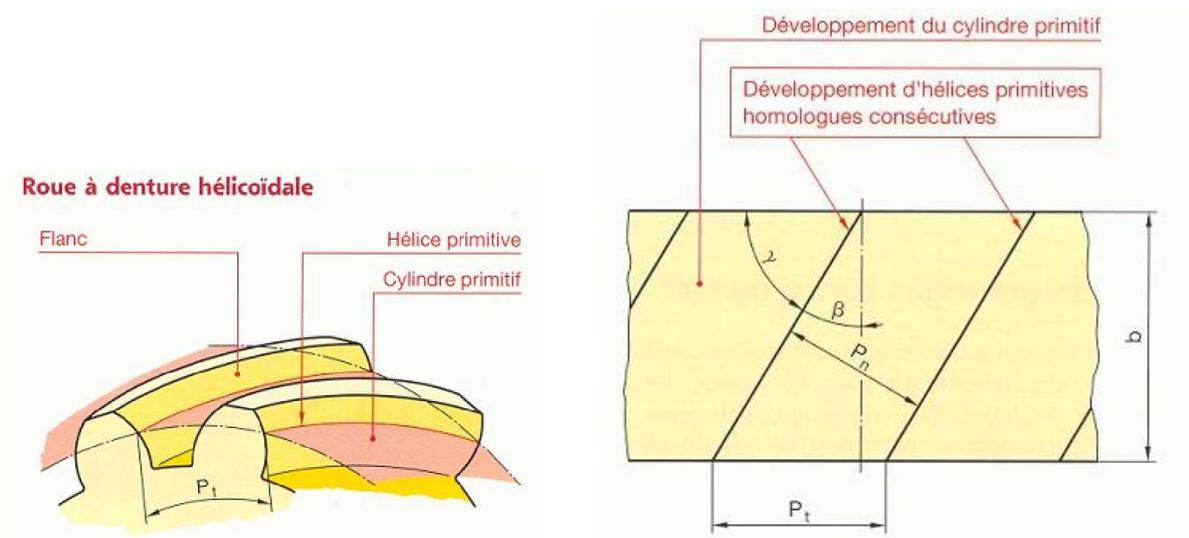
R_{pe} = résistance pratique à l'extension du matériau de la dent en mégapascals.

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



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	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = \frac{m \cdot z_A}{2} + \frac{m \cdot z_B}{2} = \frac{m(z_A + z_B)}{2}$

VI.1.1.3 Engrenage parallèle à denture hélicoïdale :



Définitions

1. Hélice primitive

Intersection d'un flanc avec le cylindre primitif d'une roue hélicoïdale. L'hélice pas p_z peut être « à droite » ou « à gauche ».

2. Angle d'hélice (β)

Longueur de l'arc du cercle primitif compris entre deux profils homologues consécutifs. Le complément de l'angle β est appelé inclinaison γ .

3. Pas apparent (P_t)

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

4. Pas réel (P_n)

Longueur de l'arc compris entre deux flancs homologues consécutifs, mesurée le long d'une hélice du cylindre primitif orthogonale aux hélices primitives.

5. Module apparent (m_t)

Quotient du pas apparent (en mm) par le nombre π

6. Module réel (m_n)

Quotient du pas réel (en mm) par le nombre π

Détermination des caractéristiques

Toutes les roues à denture hélicoïdales de même module (réel ou apparent) et de même angle d'hélice engrènent entre elles, quels que soient leur diamètre et leur nombre de dents, mais les hélices doivent être de sens contraire (l'une à droite et l'autre à gauche).

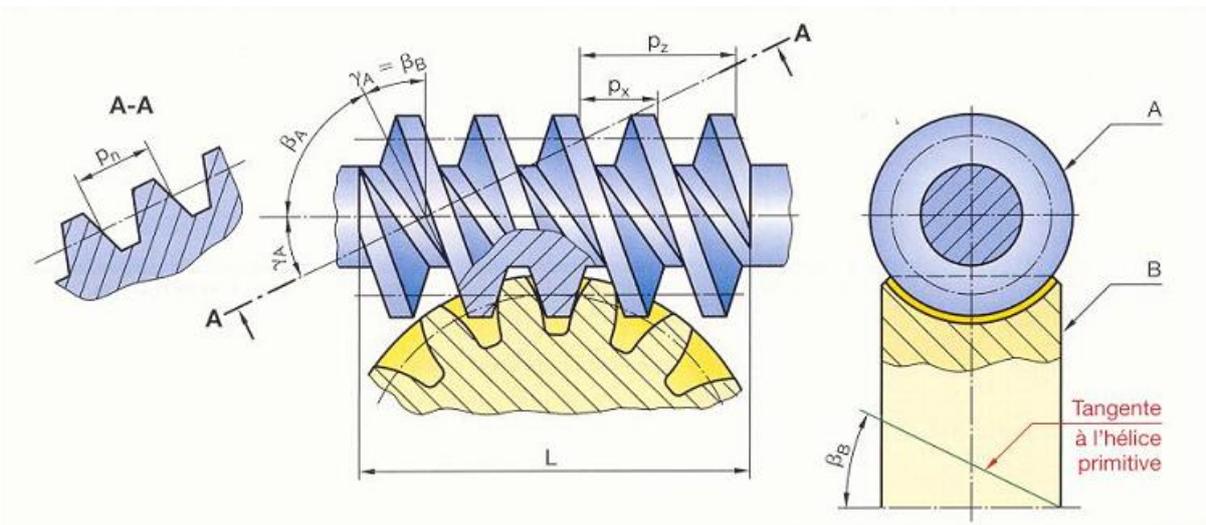
Module réel	m_n	Déterminé par la résistance des matériaux et choisi dans les modules normalisés (§ 73.12)**.	
Nombre de dents	z	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires : $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$	
Angle d'hélice	β	Choisi habituellement entre 20° et 30°.	
Sens de l'hélice « à droite » ou « à gauche »		Pour un même engrenage, les hélices des roues sont de sens contraire.	
Module apparent	m_t	$m_t = m_n / \cos \beta$	
Pas apparent	P_t	$P_t = m_t \cdot \pi$	
Pas réel	P_n	$P_n = m_n \cdot \pi$	$P_n = P_t \cdot \cos \beta$
Pas de l'hélice primitive	P_z	$P_z = \pi d / \tan \beta$	
Saillie	h_a	$h_a = m_n$	
Creux	h_f	$h_f = 1,25 m_n$	
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$	
Fin du tableau page suivante.			
Diamètre primitif	d	$d = m_t \cdot z$	
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2 m_n$	
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5 m_n$	
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 : $b \geq \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta}$	

VI.1.2 Transmission par roue et vis sans fin :

La transmission est réalisée à l'aide d'une vis à un ou plusieurs filets engrenant avec une roue. Afin d'augmenter la puissance transmissible, on choisit des matériaux à faible coefficient de frottement.



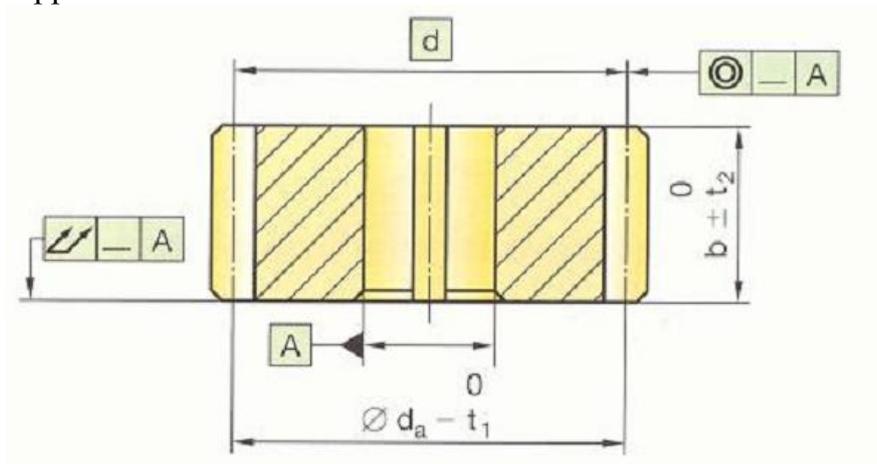
Le sens de l'hélice est le même pour la vis et la roue. Le sens de la rotation de la roue en fonction du sens de l'hélice est schématisé ci-dessous.



Caractéristiques de la vis A**		
Nombre de filets	z_A	Fonction du rapport des vitesses angulaires : $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Angle d'hélice	β_A	Fonction de la réversibilité de la transmission (si $\gamma_A < 5^\circ$ système pratiquement réversible). $\beta_A + \gamma_A = 90^\circ$.
Sens de l'hélice « à droite » ou « à gauche »		La vis a le même sens d'hélice que la roue
Module réel	m_n	Déterminé sur la roue, choisi suivant § 73.12
Module axial	m_x	$m_x = m_n / \cos \gamma_A$
Pas réel	p_n	$p_n = m_n \cdot \pi$
Pas axial	p_x	$p_x = p_n / \cos \gamma_A$
Pas de l'hélice	p_z	$p_z = p_x \cdot z_A$
Diamètre primitif	d_A	$d_A = p_z / \pi \tan \gamma_A$
Diamètre extérieur	d_a	$d_a = d_A + 2 m_n$
Diamètre intérieur	d_f	$d_f = d_A - 2,5 m_n$
Longueur de la vis	L	$L \approx 5 p_x$
Caractéristiques de la roue B		
Mêmes formules que pour une roue à denture hélicoïdale (§ 73.14) en tenant compte :		<ul style="list-style-type: none"> - Angle d'hélice $\beta_B = \gamma_A$ et de même sens que pour la vis et la roue - Module apparent de la roue égal au module axial de la vis
Entraxe	a	$a = \frac{d_A + d_B}{2}$

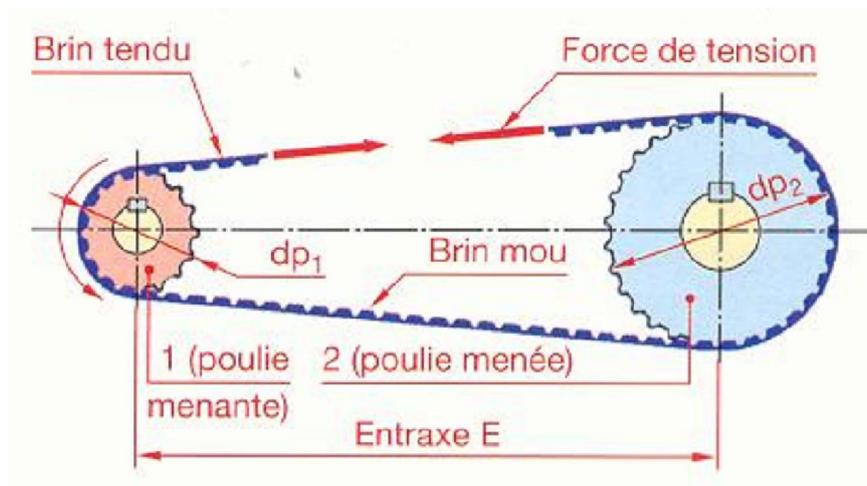
VI.1.3 Cotation d'une roue :

Cotation d'une roue d'engrenage doit respecter les règles de la cotation fonctionnelle. La cotation fonctionnelle d'une pièce ne peut se faire qu'en connaissant son emploi. C'est pourquoi seules sont indiquées les caractéristiques de denture communes à la majorité des applications.



VI.2 Poulies et courroies

Ces systèmes sont utilisés pour transmettre la puissance en conservant le sens de rotation. Ils évitent les bruits mais nécessitent un entretien fréquent par remplacement de la courroie. Il existe des courroies synchrones (crantées), des courroies plates, des courroies toriques et des courroies trapézoïdales et polyvés (transmission par adhérence).



Rapport de transmission :

$$R = \frac{n_2 \text{ (poulie menée)}}{n_1 \text{ (poulie menante)}} = \frac{dp_1 \text{ (poulie menante)}}{dp_2 \text{ (poulie menée)}}$$

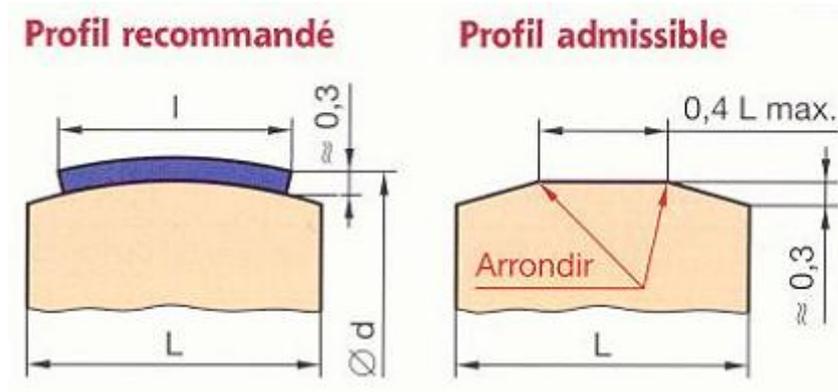
n : fréquence de rotation des poulies en tr/min.

dp : diamètres primitifs des poulies en mm.

Longueur primitif d'une courroie :

$$L = 2 E + 1,57 (dp_1 + dp_2) + \frac{(dp_2 - dp_1)^2}{4 E}$$

VI.2 .1 Les courroies plates



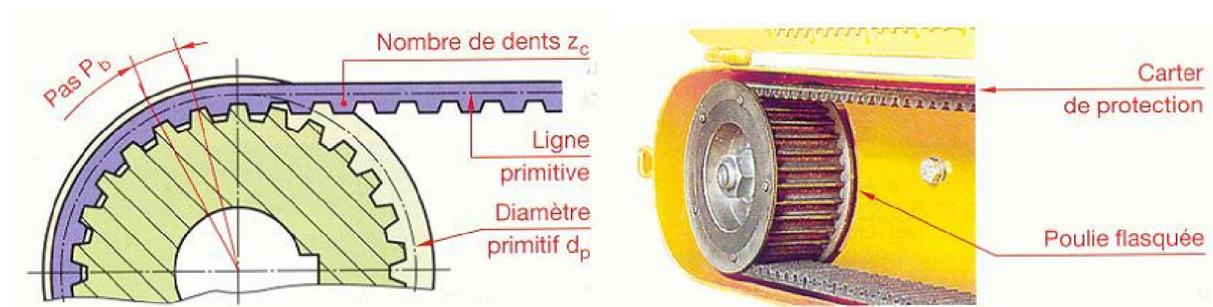
Les courroies plates permettent de transmettre de grandes fréquences de rotation. Afin de limiter l'action de la force centrifuge sur les courroies, on limite généralement les vitesses circonférentielle aux valeurs ci-dessous :

Matériau	Vitesse circonférentielle maximale
Aramide – Silicone	50 à 80 m/s
Polyuréthane	25 m/s
Tolérance sur l'entraxe E	
E max. = entraxe nominal + 3 % L	
E min. = entraxe nominal – 1,5 % L	

VI.2.2 Courroie synchrone

La face interne de ces courroies est dentée. Elles assurent ainsi une transmission sans glissement permettant la synchronisation ou l'indexage positif requis.

- Matière : matériau composite (polyuréthane armé de câbles en acier ou de câbles en aramide...)
- Température d'utilisation : -10 °C à $+60\text{ °C}$.

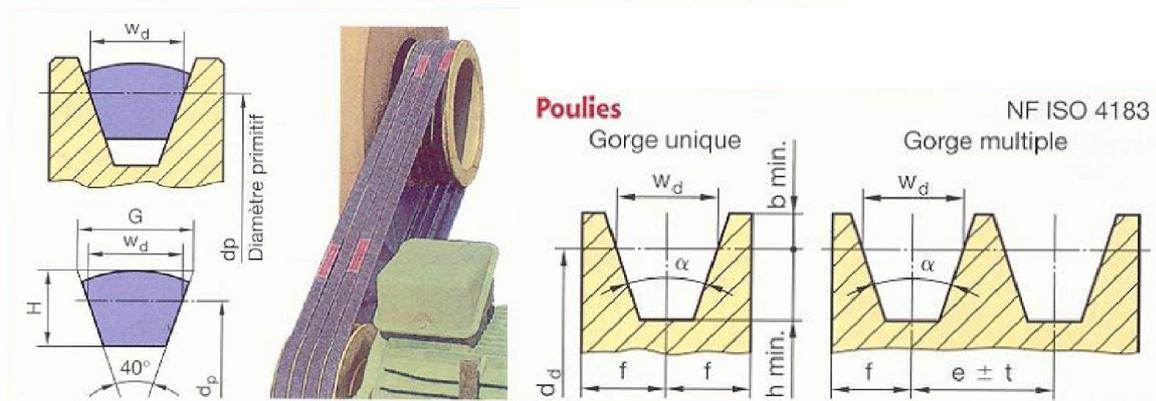


POULIES

- Afin que la courroie ne sorte pas des poulies, au moins une des deux poulies doit être flasquée, en principe la plus petite.
- Lorsque l'entraxe est supérieur à huit fois le diamètre primitif de la petite poulie, les deux poulies doivent être flasquées.
- Lorsque les axes des poulies sont verticaux, ou très inclinés par rapport à l'horizontale, utiliser des poulies flasquées.

VI.2.4 Courroies trapézoïdales

La courroie et la gorge de la poulie sont à section trapézoïdale. On obtient ainsi une forte adhérence par coincement de la courroie dans la gorge de la poulie (environ trois fois plus que pour une courroie plate dans un même matériau). Il est, ainsi, possible de réduire l'arc d'enroulement et d'avoir des entraxes relativement courts.



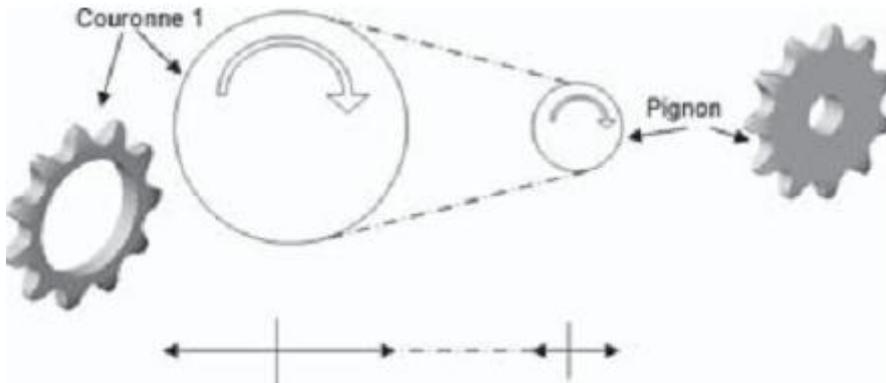
- Matière :
Matériau composite (chloroprène + fibres de verre + fils d'acier + ...).
- Température d'utilisation :
– 25 °C à + 85 °C.

LONGUEUR DE RÉFÉRENCE DE LA COURROIE L_d

C'est la longueur de la courroie, au niveau de la largeur de référence et sous tension normalisée.

VI.3 Pignon et chaîne :

Ces systèmes sont largement diffusés sur les cycles, notamment pour un gain de poids et de place. La mise en œuvre sur les vélos, par exemple, permet d'avoir des boîtes de vitesses compactes et légères, et dont la transmission est efficace.



Le rapport de transmission s'écrit :

$$i_{1/2} = \frac{\omega_{1/0}}{\omega_{2/0}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$