

29

ENGRENAGES ÉTUDE GÉNÉRALE

OBJECTIFS

- Décrire et indiquer les caractéristiques essentielles (terminologie, formules, étude cinématique, propriétés) des principaux types d'engrenages et des dentures en développante de cercle.

Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

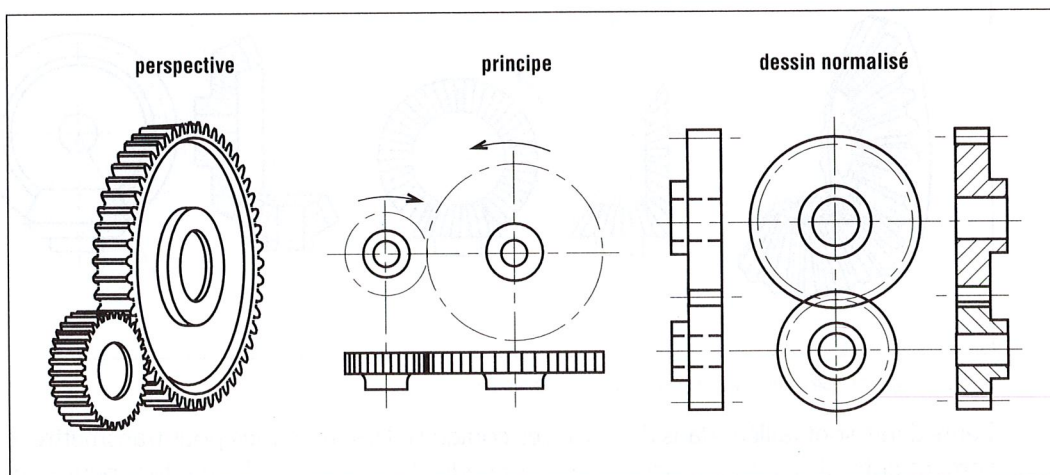
Ils sont normalisés. Les engrenages fabriqués avec la norme internationale ISO présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standards).

Lorsqu'il s'agit d'engrenages pour très grandes séries (automobiles...) les constructeurs s'écartent de ces standards afin d'optimiser les coûts.

I - Différents types d'engrenages

Définition : on appelle engrenage l'ensemble des deux roues dentées engrénant l'une avec l'autre.

1. Engrenages droits à denture droite

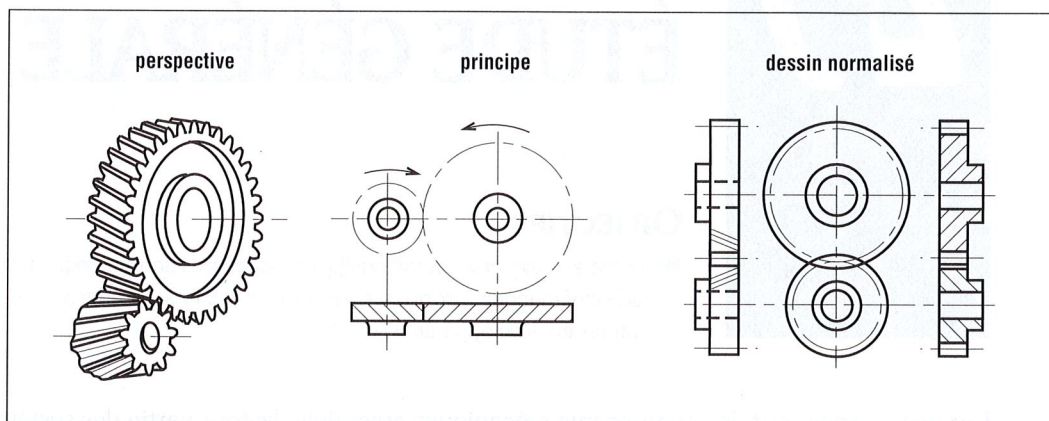


1. Engrenage droit à denture droite pour arbres parallèles.

Les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre le mouvement et la puissance entre deux arbres parallèles. Les dents des deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

Du fait de leur relative simplicité, ils sont souvent utilisés pour introduire les relations de cinématique et les définitions normalisées concernant la géométrie des engrenages.

2. Engrenages droits à denture hélicoïdale



2. Engrenage droit à denture hélicoïdale pour arbres parallèles.

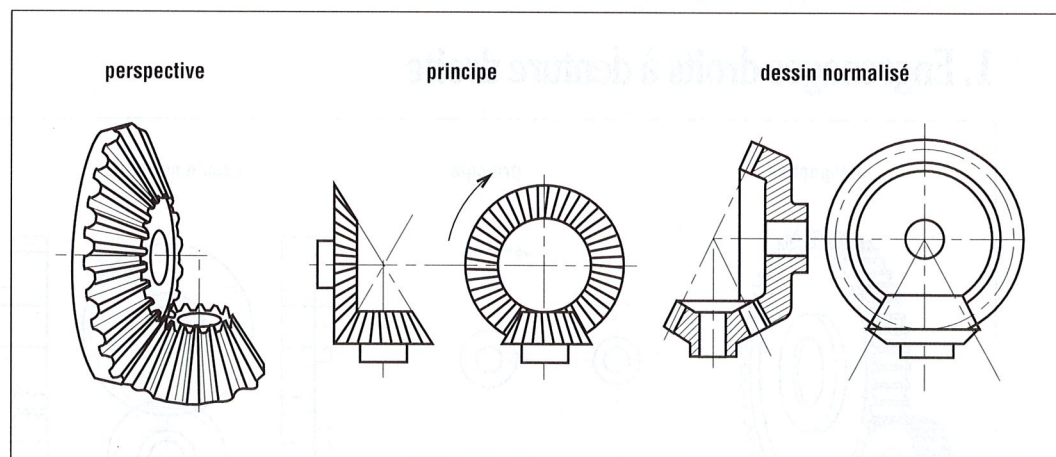
De même usage que les précédents, ils sont très utilisés en transmission de puissance ; les dents des roues sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des deux arbres.

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

L'inclinaison de la denture engendre des efforts axiaux, suivant l'axe de l'arbre, qui doivent être supportés par les paliers et des couples supplémentaires qui accentuent le fléchissement des arbres.

Remarque : ils sont parfois utilisés pour transmettre le mouvement entre des arbres non parallèles et sont appelés engrenages gauches.

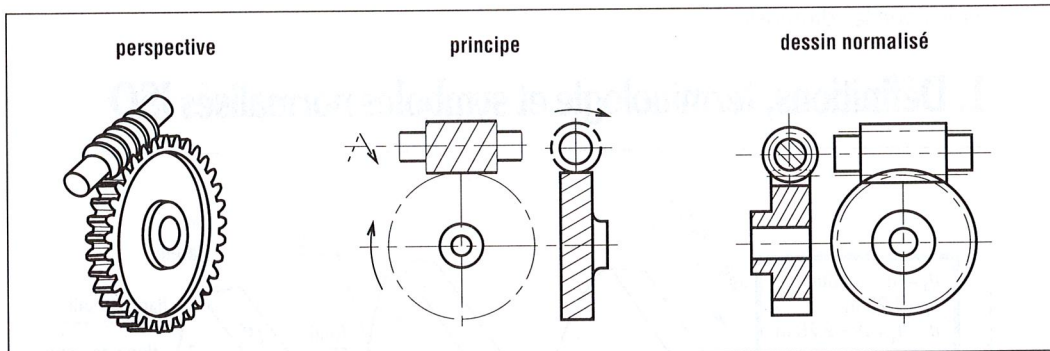
3. Engrenages coniques



3. Engrenage conique à denture droite pour arbres concourants.

Leurs 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.

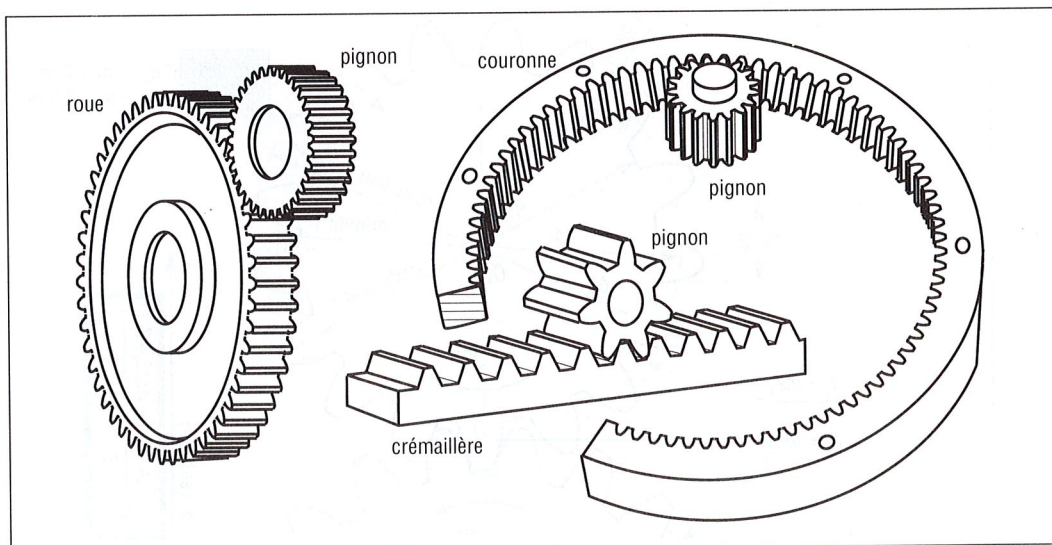
4. Engrenages roue et vis sans fin



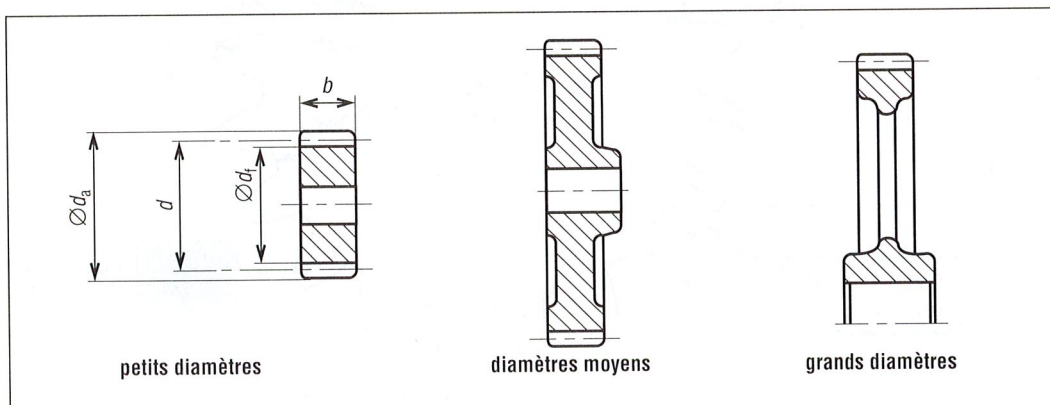
4. Engrenages roues et vis entre arbres orthogonaux.

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 droite ou à gauche. L'irréversibilité est possible.

II - Engrenages droits à denture droite



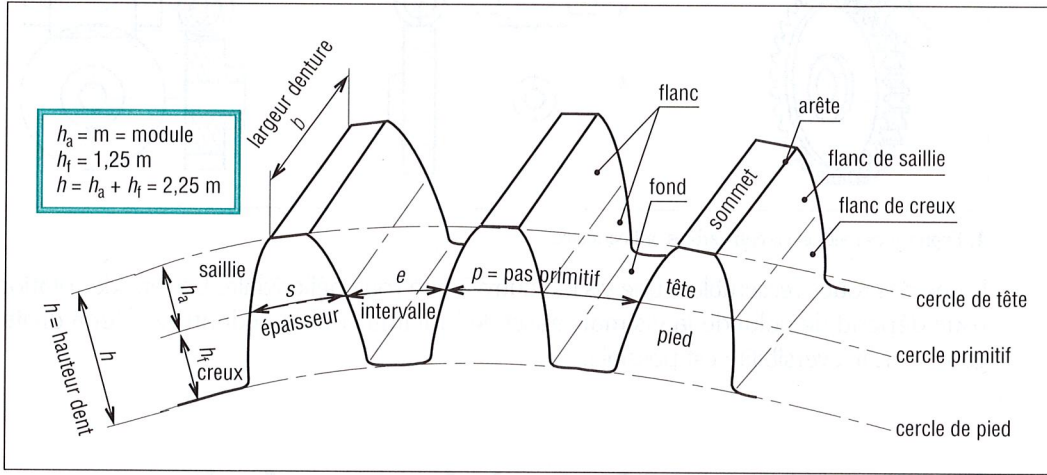
5. Différents types d'engrenages droits à dentures droites.



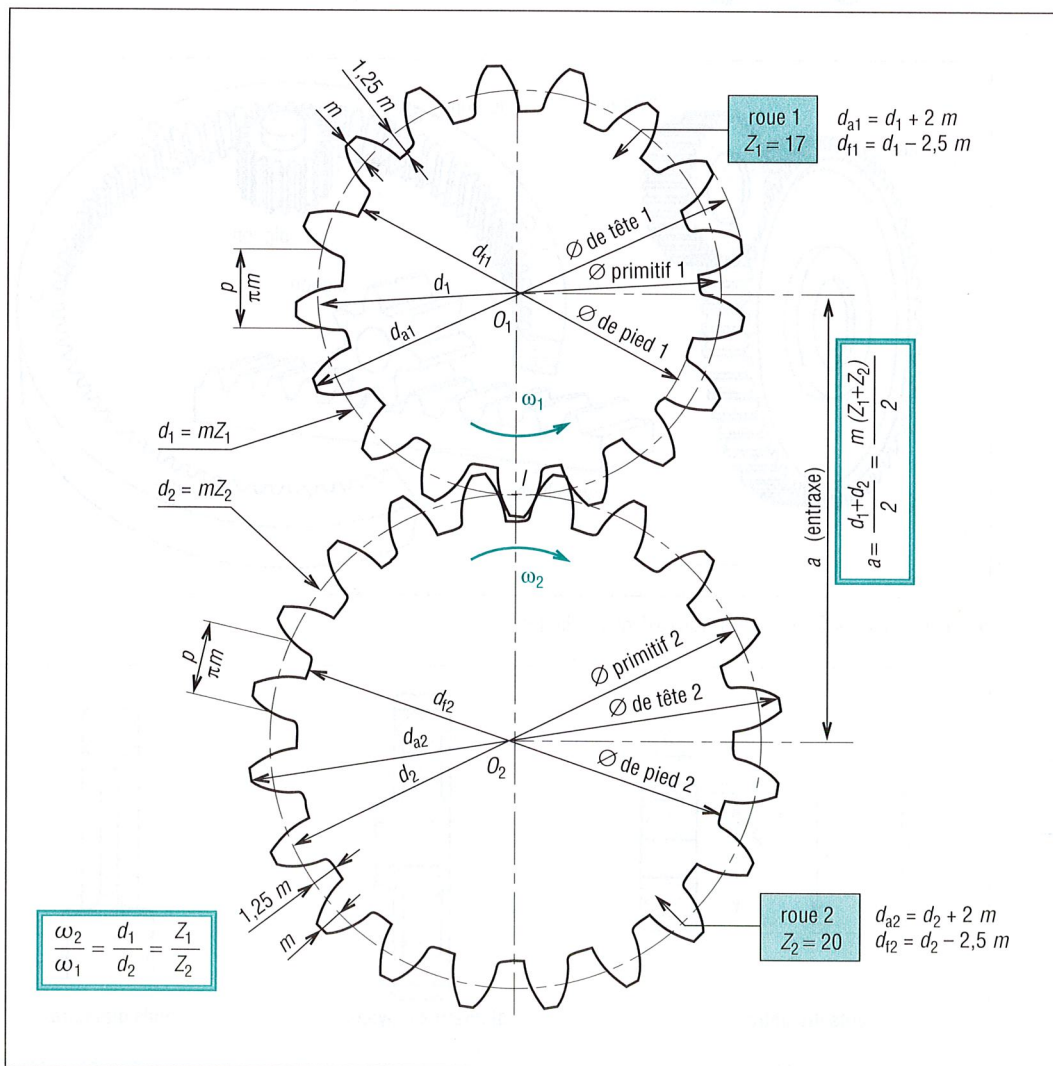
6. Différentes formes de roues dentées.

Les engrenages typiques sont pignon/roue, pignon/couronne intérieure et pignon crémaillère. Le pignon est la plus petite des deux roues ; c'est souvent la roue menante. La forme des roues varie avec les dimensions.

1. Définitions, terminologie et symboles normalisés ISO



7. Symboles et vocabulaire utilisés pour décrire la forme de la denture (denture normale).



8. Entraxe, diamètres, pas et m module normalisé (denture normale).

Valeurs normalisées du module m (NF ISO 54...)									
valeurs principales en mm					valeurs secondaires en mm				
0,06	0,25	1,25	5	20	0,07	0,28	1,125	5,5	22
0,08	0,30	1,5	6	25	0,09	0,35	1,375	7	28
0,10	0,40	2	8	32	0,11	0,45	1,75	9	36
0,12	(0,50)	2,5	10	40	0,14	(0,55)	2,75	11	45
0,15	(0,80)	3	12	50	0,18	(0,7)	3,5	14	55
0,20	1,0	4	16	60	0,22	(0,9)	4,5	18	70

() entre parenthèses, ancienne normalisation

Caractéristiques et formules des engrenages droits à denture droite		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesse angulaire	ω	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours par minute	n	n_1 (roue 1) et n_2 (roue 2)
module	m	valeurs normalisées (tableau des modules)
pas primitif	p	$p = \pi m = 3,14159 m$ ($p = p_1 = p_2$)
nombre de dents	Z	Z_1 (roue 1) et Z_2 (roue 2)
rayon primitif	r	r_1 (roue 1) et r_2 (roue 2) ; $r = d/2$
diamètre primitif	d	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
entraxe entre les 2 roues	a	$a = r_1 + r_2 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
largeur de la dent	b	$b = k \cdot m$ ($7 \leq k \leq 12$)
saillie	h_a	$h_a = m$
creux	h_f	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25m$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m$
rayon de tête	r_a	$r_a = r + m = d_a/2$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m$
rayon de pied	r_f	$r_f = r - 1,25m = d_f/2$
épaisseur de la dent	s	$s_1 = e_2 = s_2 = e_1 = \pi m/2$ (avec jeu nul)
intervalle	e	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$
angle de pression	α	valeur usuelle : $\alpha = 20^\circ$
rayon de base	r_b	$r_b = d_b/2$
diamètre de base	d_b	$d_b = d \cdot \cos \alpha$
pas de base	p_b	$p_b = p \cdot \cos \alpha$

a) Circonférence primitive : de périmètre ($\pi.d$), elle doit impérativement comporter un nombre entier de dents (Z) toutes placées à intervalles successifs égaux au pas primitif (p). Il en résulte que :

$$\pi.d = p.Z = \text{périmètre circonférence primitive.}$$

En posant :

$$m = p/\pi = \text{module}$$

l'expression se simplifie et devient :

$$d = m.Z$$

Indices normalisés utilisés	
indice	observations
1	relatif au pignon
2	relatif à la roue
a	de tête
b	de base
f	de pied
n	réel (ou normal)
t	apparent (ou tangentiel)

b) Pas primitif (p)

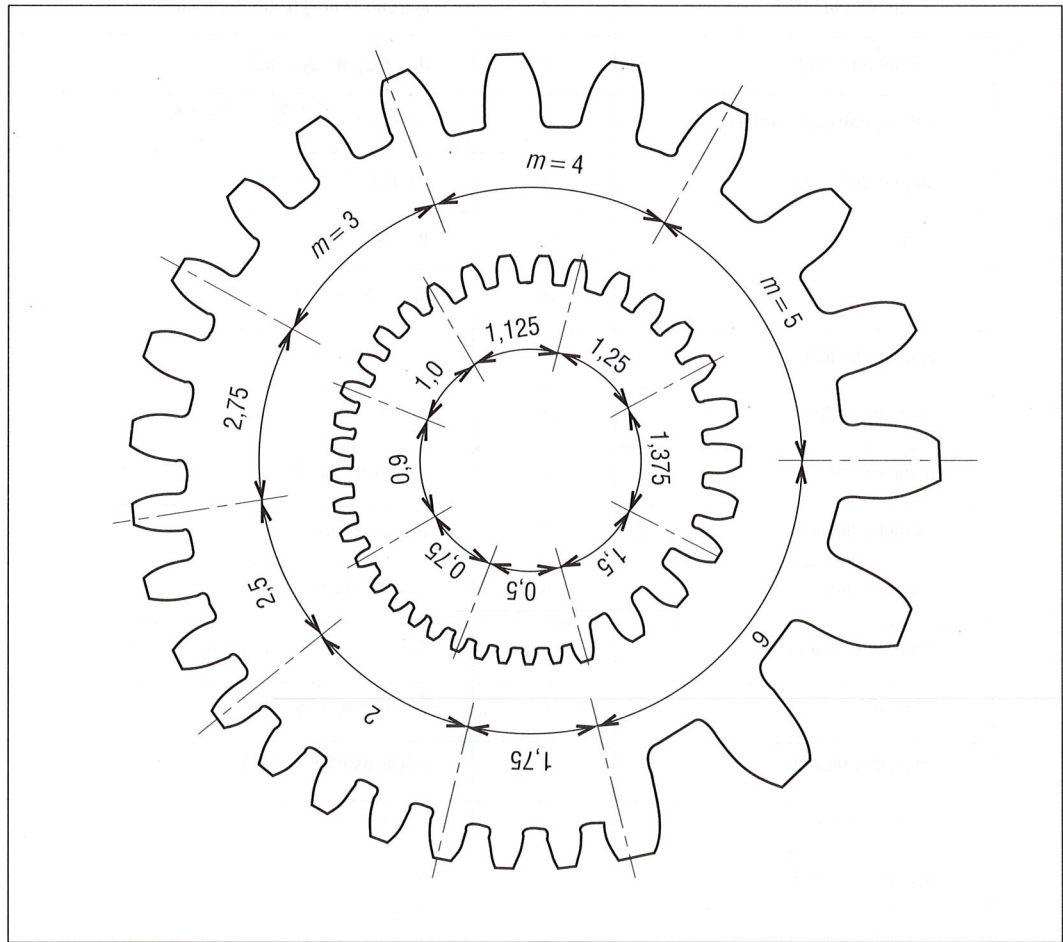
$$p = \frac{\text{circonférence primitive}}{\text{nombre de dents}} = \frac{\pi.d}{Z} = \frac{\pi.(mZ)}{Z} = \pi m = 3,141\ 59 m$$

c) Module (m)

Quel que soit le nombre de dents, toutes les roues de même module et de même angle de pression (α) peuvent être fabriquées à partir du même outil.

Pour limiter le nombre des outils et des systèmes de mesure, une série de modules a été normalisée (tableau p. 337).

L'épaisseur de la dent et sa résistance dépendent du choix du module. Ce choix ne doit pas être improvisé mais étudié et calculé (voir chapitre 31 : efforts sur les dentures).



9. Exemples de modules.

Exemple : pour l'engrenage dessiné (fig. 8) $Z_1 = 17$ dents, $Z_2 = 20$ dents, module $m = 4$ mm, déterminons les principales caractéristiques.

Pas primitif : $p = \pi m = \pi \times 4 = 12,56$ mm

Diamètres primitifs : $d_1 = mZ_1 = 4 \times 17 = 68$ mm et $d_2 = mZ_2 = 4 \times 20 = 80$ mm

Entraxe : $a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = 74$ mm

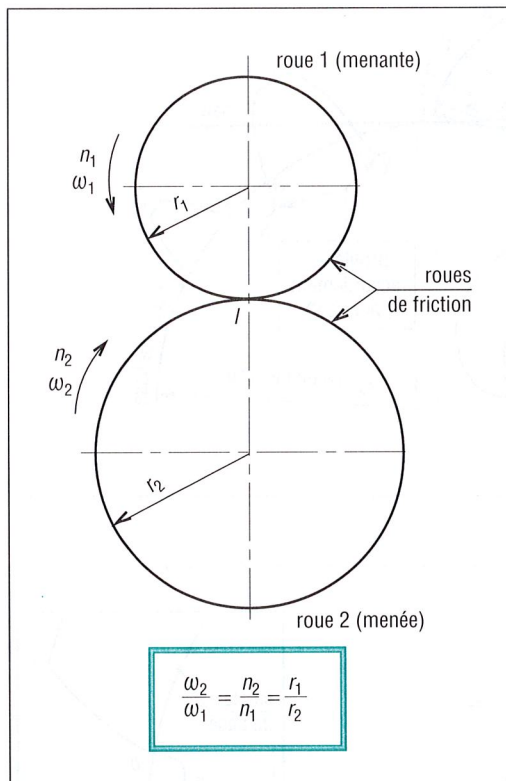
Hauteur de saillie : $ha_1 = ha_2 = m = 4$ mm

Hauteur de creux : $hf_1 = hf_2 = 1,25m = 5$ mm

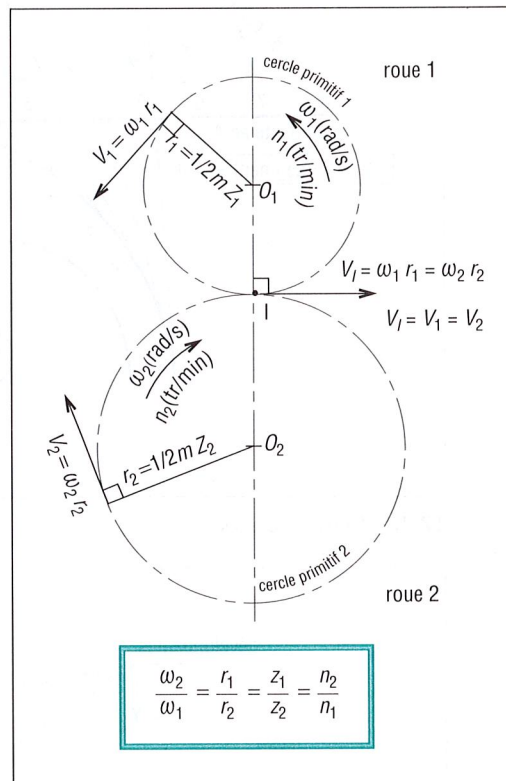
Hauteur de dent : $h_1 = h_2 = ha + hf = 9$ mm

Largeur des dents : $7m \leq b \leq 12m$ ou $28 \leq b \leq 48$ mm

2. Étude cinématique



10. Roues de friction.



11. Cas des engrenages.

Lorsque la roue 1 engrène avec la roue 2, les cercles primitifs des deux roues roulent l'une sur l'autre sans glisser au point I (pas de patinage, analogie avec deux roues de friction roulant l'une sur l'autre sans glisser).

Si V_1 est la vitesse linéaire des points du cercle primitif 1 et V_2 celle des points du cercle primitif 2, le non glissement en I , point de contact des deux cercles, se traduit par $V_1 = V_2 = V_I$.

Exemple : on souhaite construire un réducteur de façon à ce que la vitesse d'entrée de 1 500 tr/min soit réduite à 500 tr/min. Si $Z_1 = 18$, quelle est la valeur de Z_2 ? Si $m = 3$, quelle est la valeur de d_2 ?

Rapport de transmission : $n_2/n_1 = 500/1\,500 = 1/3$

Rapport des nombres de dents : $Z_2/Z_1 = n_1/n_2 = 3/1 = 3$

$Z_2 = 3 \cdot Z_1 = 54$ dents

$d_2 = mZ_2 = 3 \cdot 54 = 162$ mm

Remarque :

$d_1 = mZ_1 = 3 \cdot 18 = 54$ mm

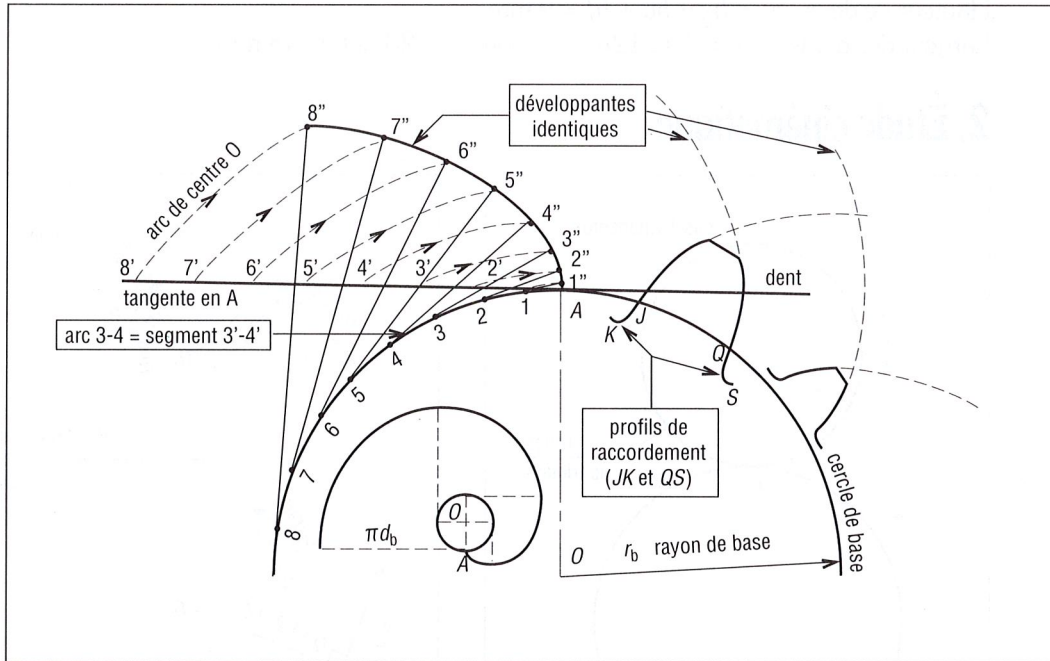
$d_2/d_1 = 162/54 = 3 = n_1/n_2$

3. Étude du profil en développante de cercle

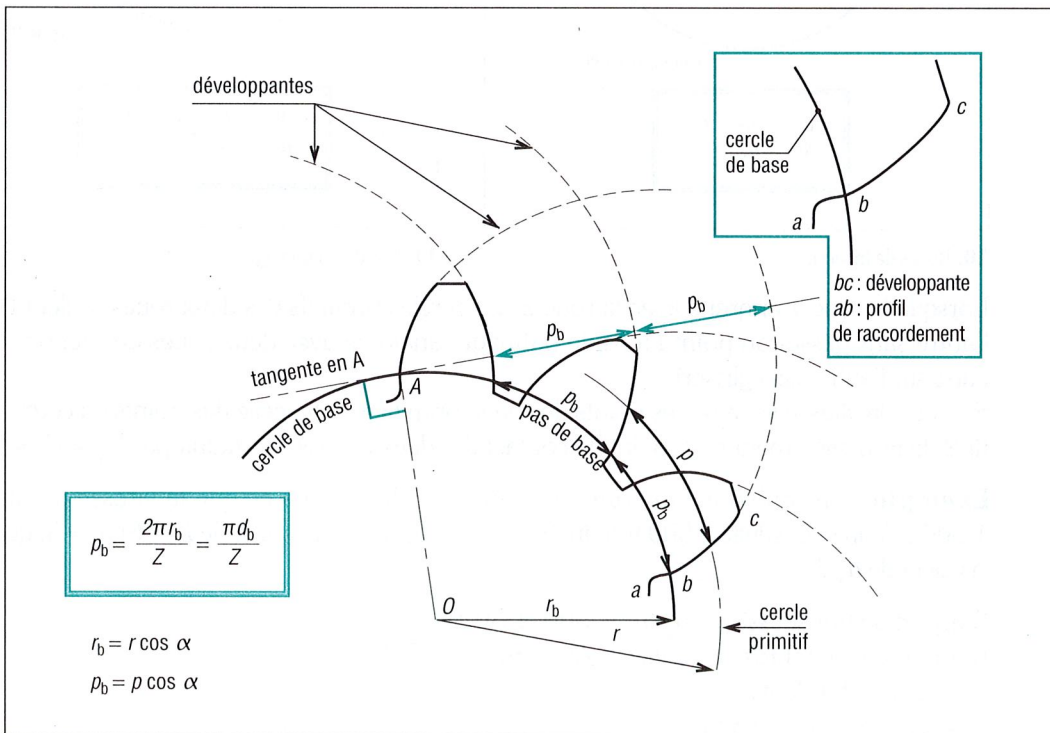
a) Développante de cercle

Le cercle qui sert de support au tracé de la développante est appelé cercle de base (rayon r_b). Les développantes tracées à partir d'un même cercle de base sont toutes géométriquement identiques ou superposables.

Les profils des flancs et faces des dents suivent rigoureusement la géométrie de la développante.



12. Développante de cercle.



13. Pas de base p_b .

Remarque : pour la tangente au point repère 8, le segment 88'' est égal à l'arc 8A lui-même égal au segment 8'A. La remarque est la même pour les autres points.