

Éléments de Machine  
Cours de Construction Mécanique  
Première Année  
Sections MicroTechnique et Génie Mécanique

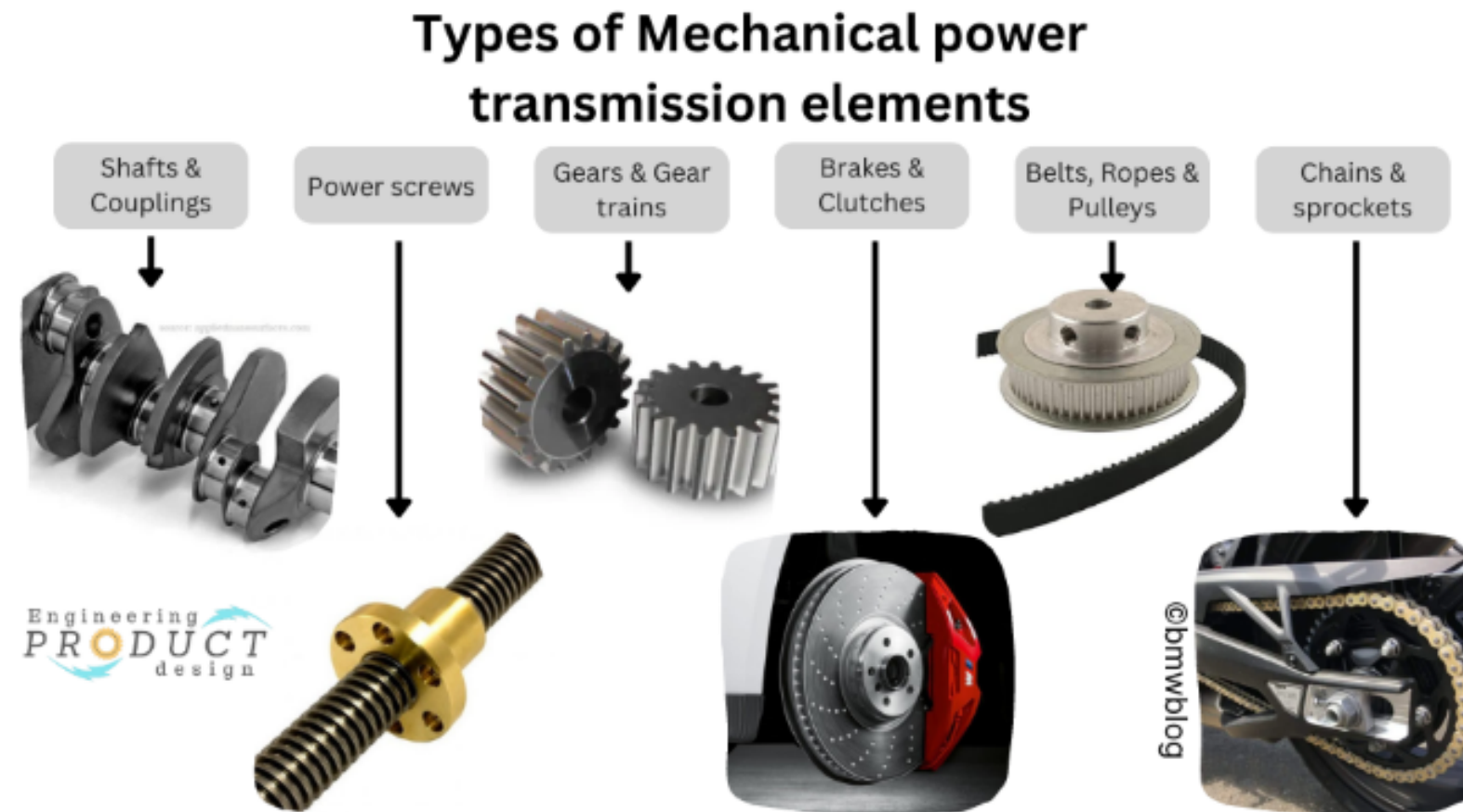
14 séances:

1. Introduction
2. Cycle de Vie – Matériaux, Produit et Développement
3. Energie & Puissance
4. Matériaux
5. Frottement
6. Guidages
7. Accouplements
- 8. Transmission de Mouvement et de Moment**
9. Transformation de Mouvement et de Moment
10. Ressorts



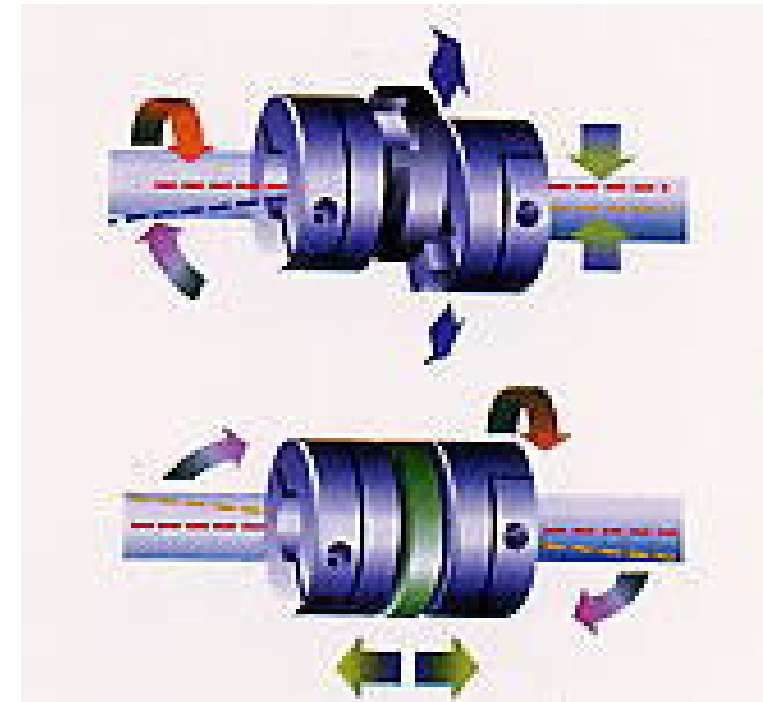
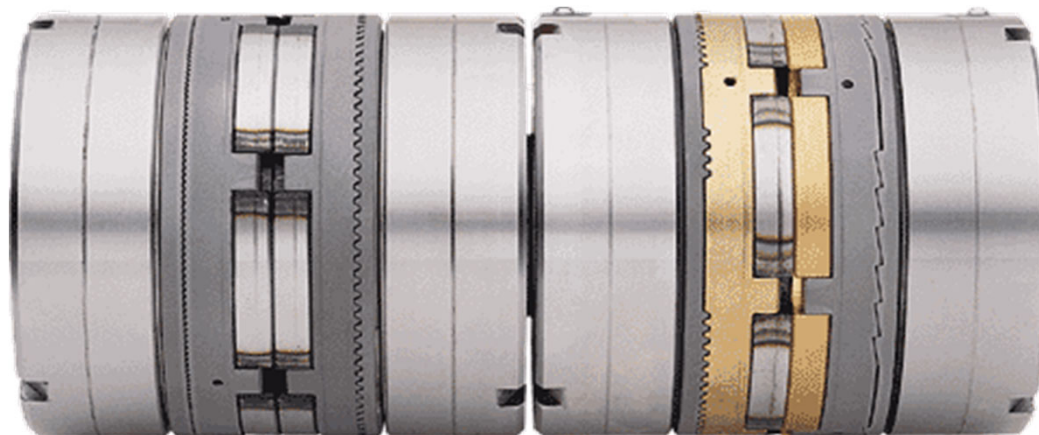
## 8. Transmission de Puissance

1. Introduction
2. Engrenages
3. Poulies - Courroies

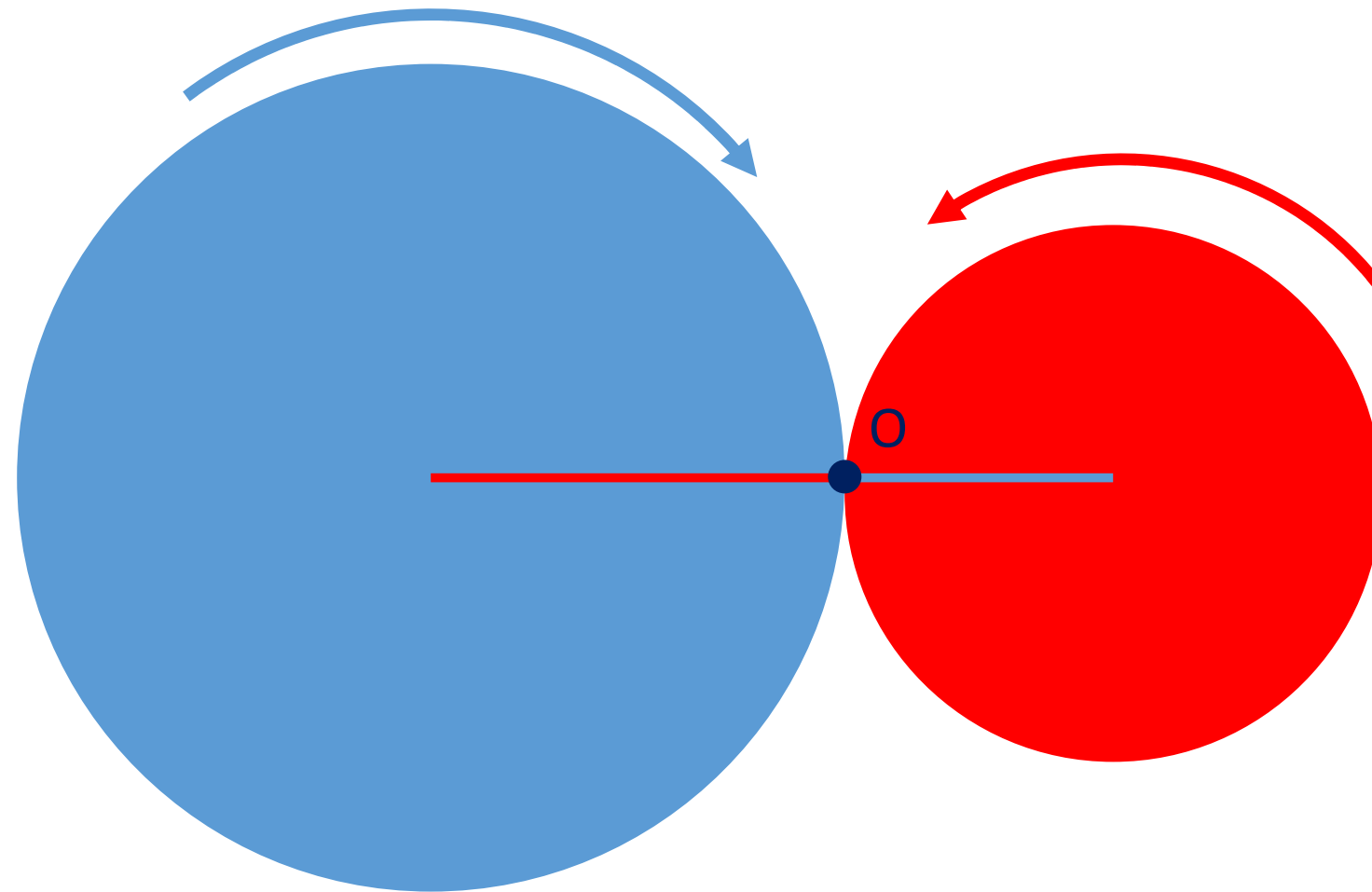


Moment ou Couple?

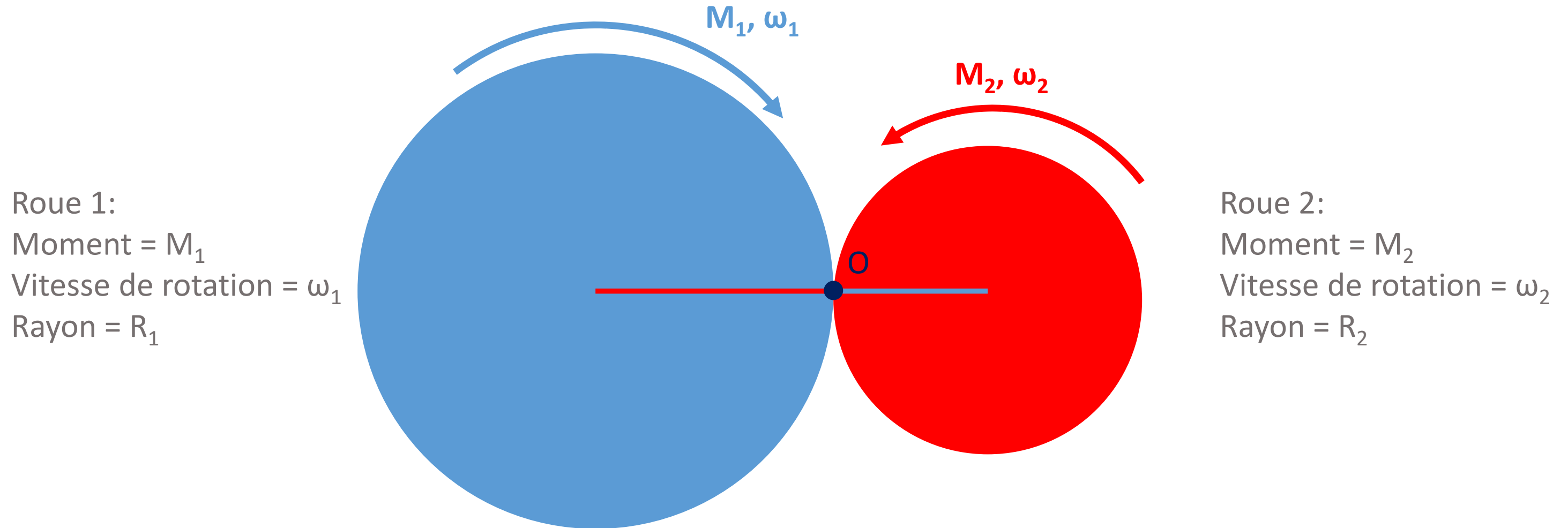
## Adhérence ou Obstacle



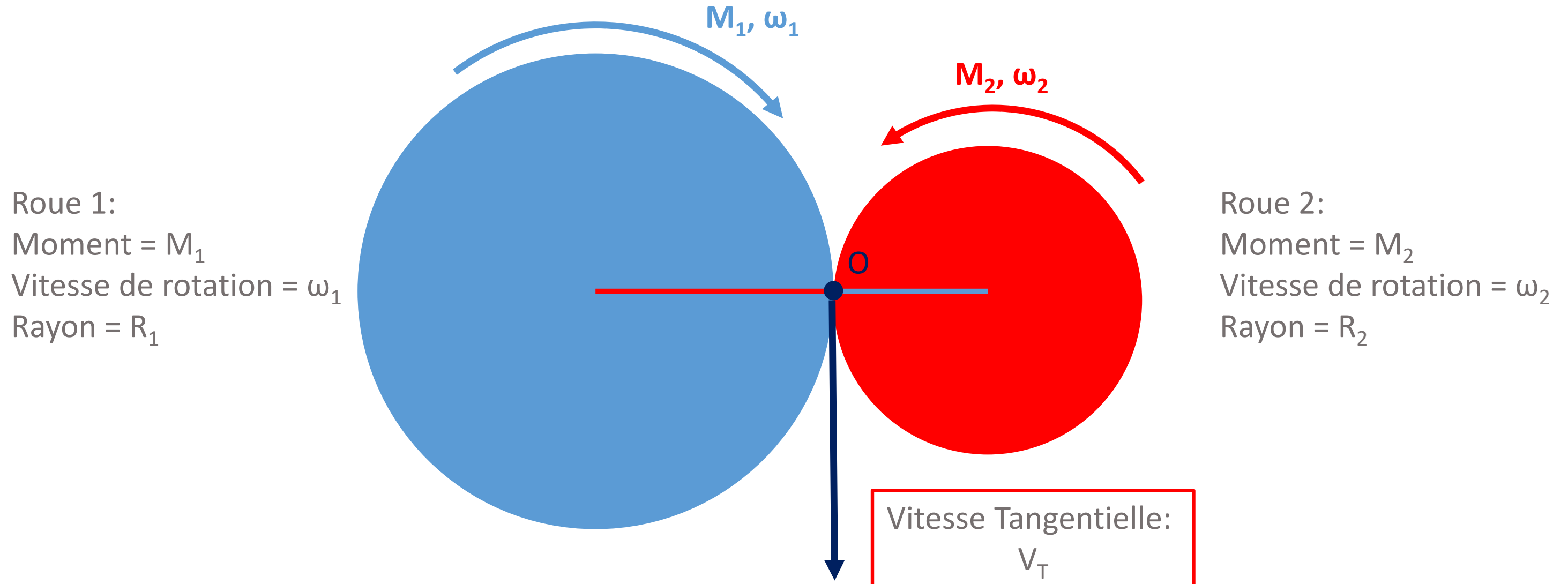
Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O  
Cinématique au point de contact O



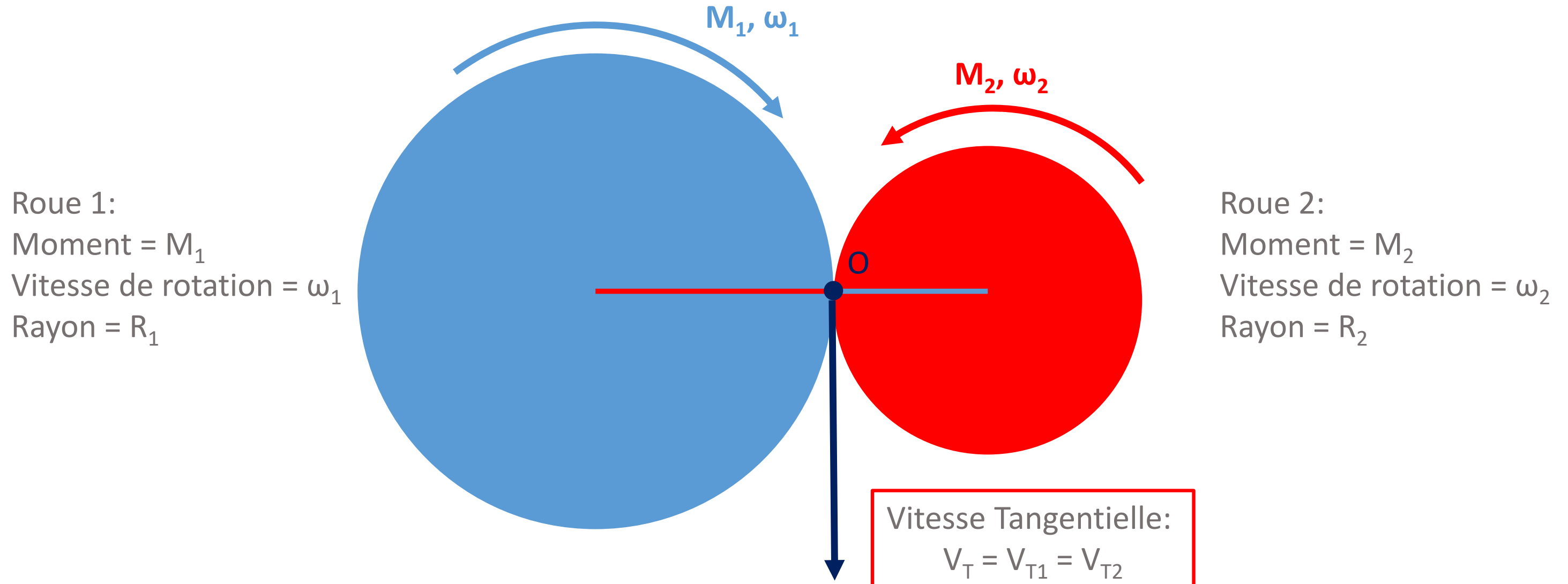
Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O  
Cinématique au point de contact O



Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O  
Cinématique au point de contact O

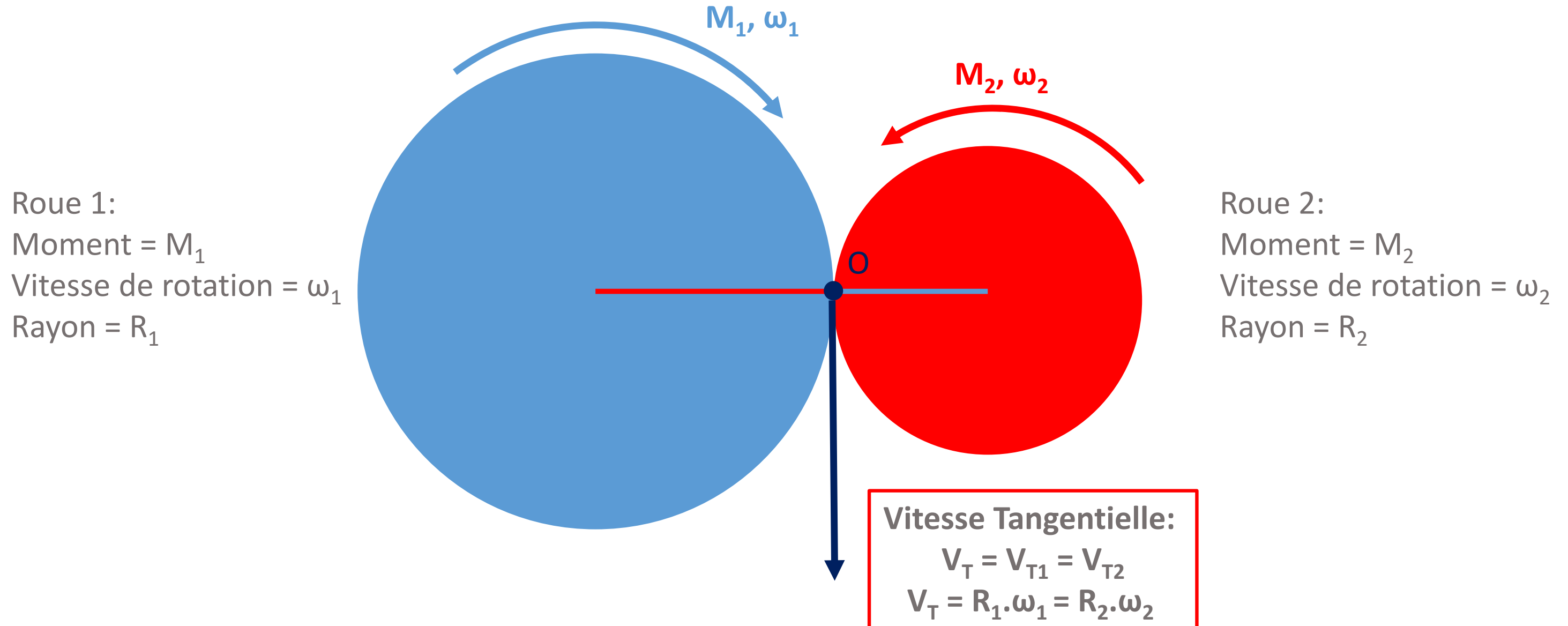


Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O  
Cinématique au point de contact O



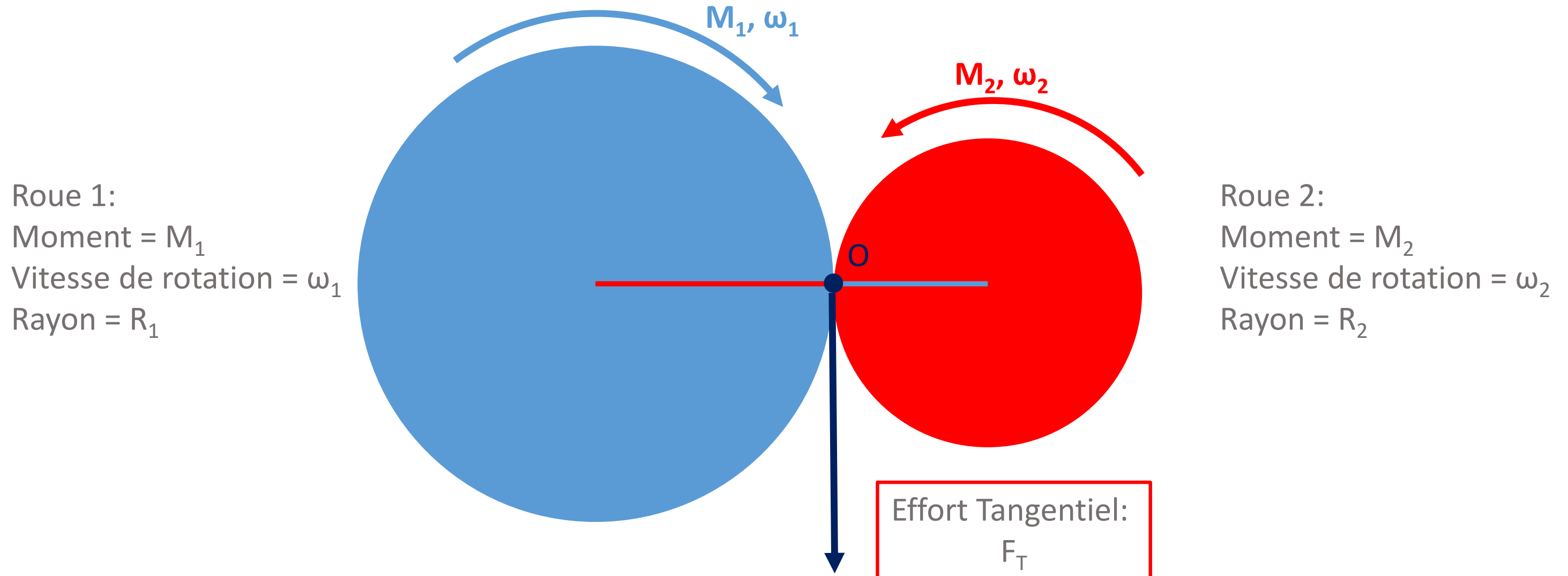


Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O  
Cinématique au point de contact O



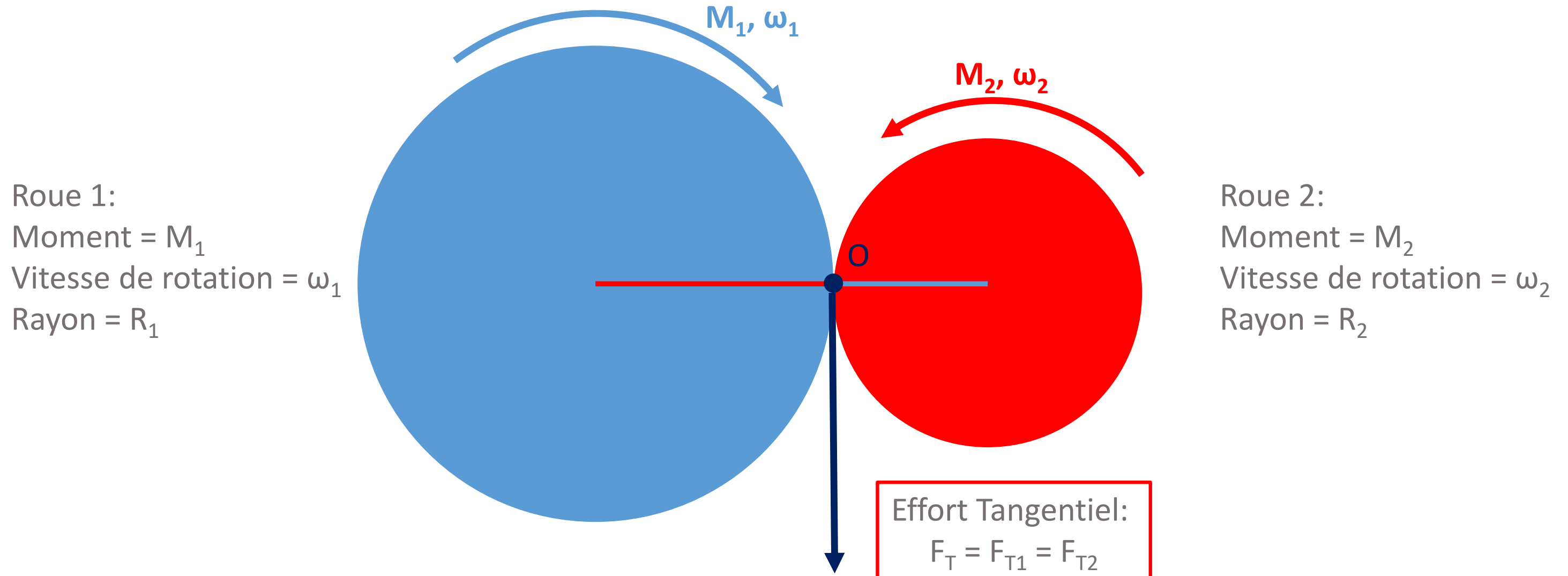
Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O

Efforts au point de contact O



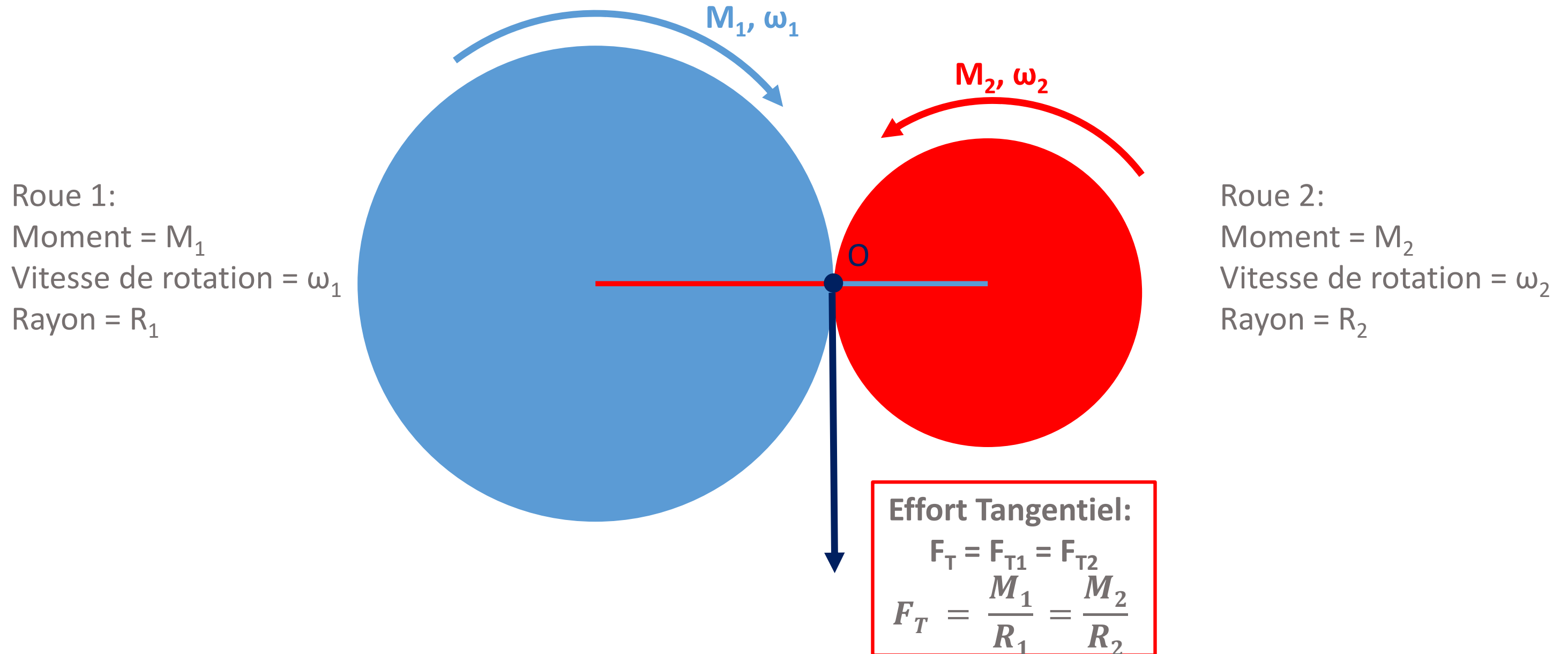
Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O

Efforts au point de contact O



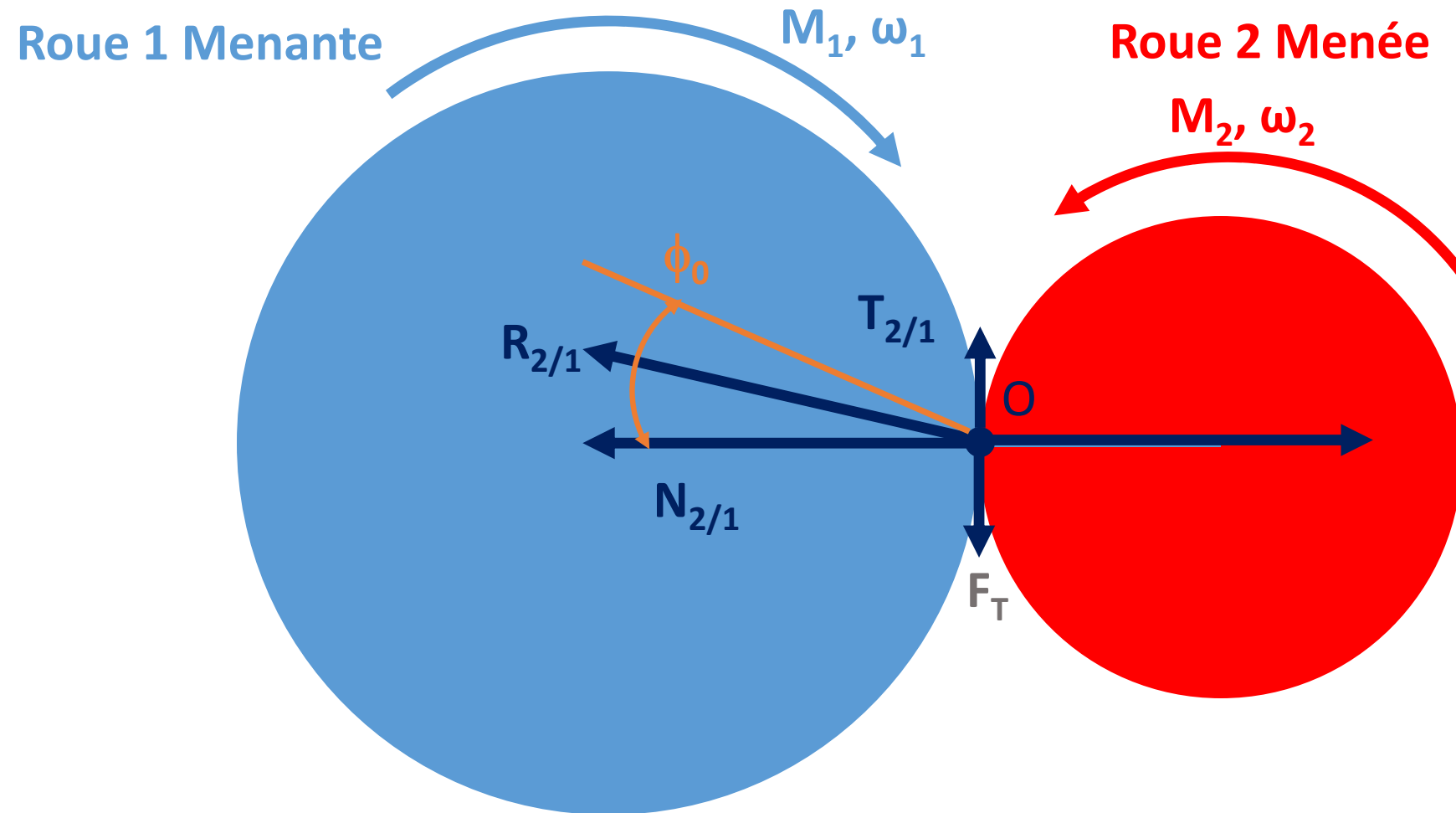
Principe: Adhérence et Roulement sans Glissement au point de contact O

Efforts au point de contact O



Transmission par adhérence:

Pas de glissement entre les roues 1 et 2 = Roulement sans Glissement, Adhérence



$R_{2/1}$  = Résultante des forces de 2 sur 1  
 $T_{2/1}$  = Tangente des forces de 2 sur 1  
 $N_{2/1}$  = Normale des forces de 2 sur 1  
 $\mu_0 = \tan \phi_0$  = coefficient de frottement statique ou coefficient d'adhérence

Adhérence si:

$$T_{2/1} < N_{2/1} \mu_0$$

La force tangentielle transmise est alors:

$$F_T = T_{2/1}$$

La force tangentielle transmissible est:

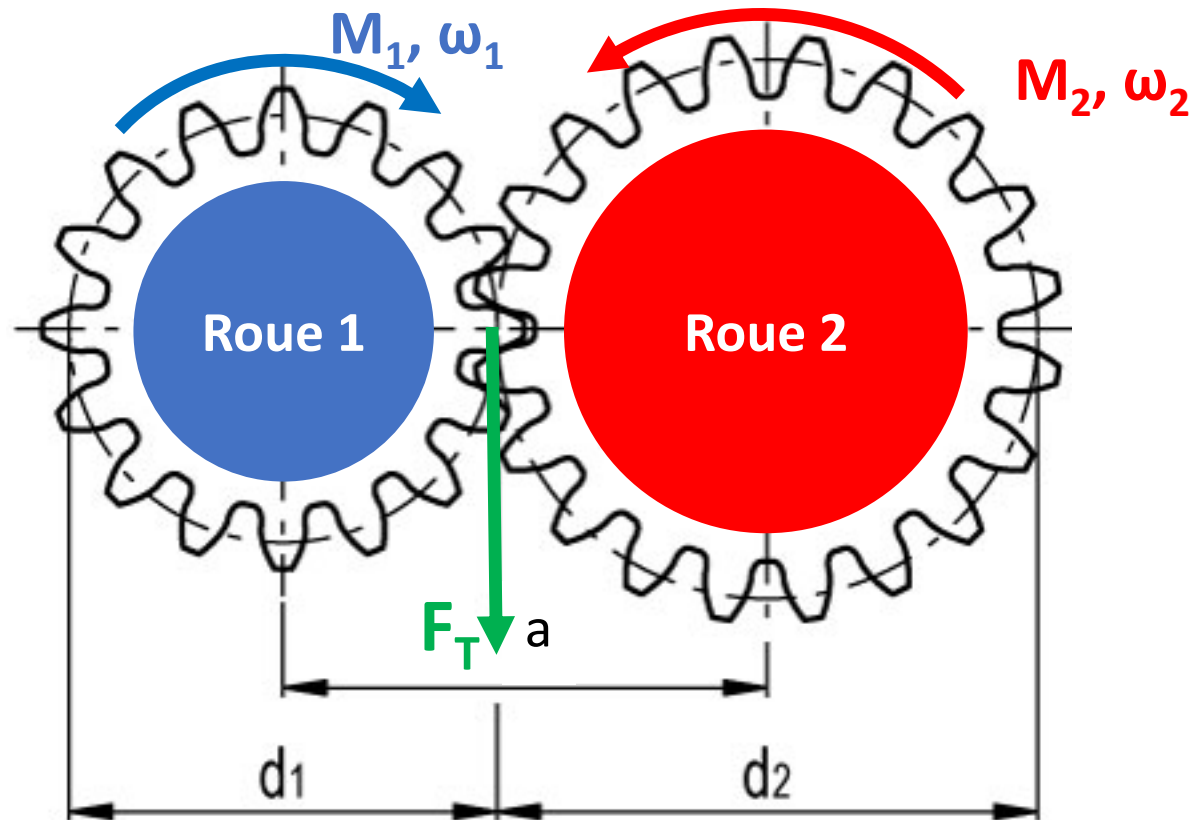
$$F_{T\max} = T_{2/1\max} = N_{2/1} \mu_0$$

Transmission par Obstacle: Cas des Roues Dentées

Pas de glissement entre les roues 1 et 2 = Roulement sans Glissement

Roue 1 Menante

Roue 2 Menée



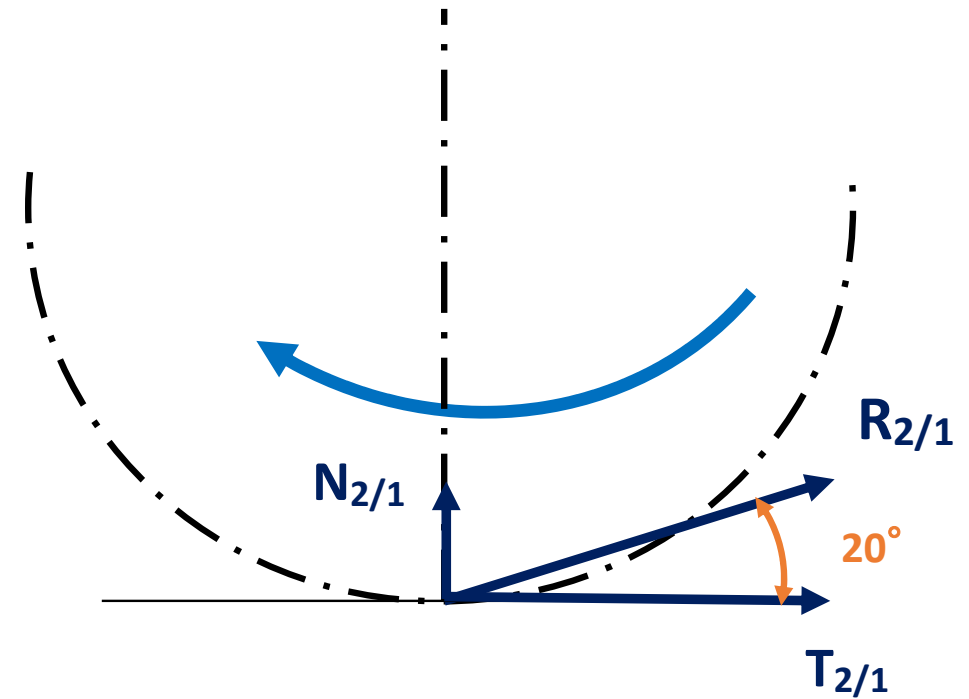
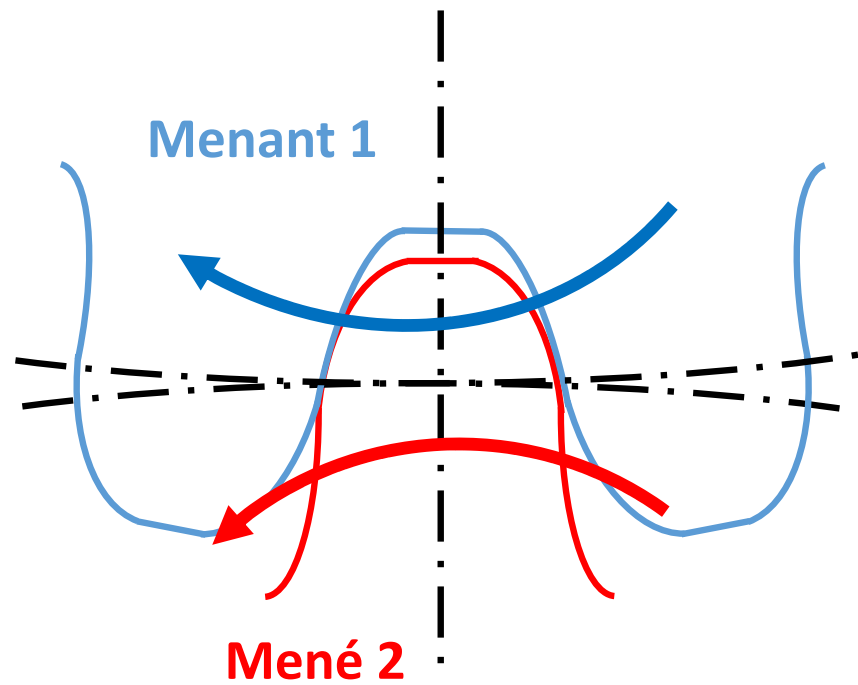
$\mathbf{R}_{2/1}$  = Résultante des forces de 2 sur 1

$\mathbf{T}_{2/1}$  = Tangente des forces de 2 sur 1

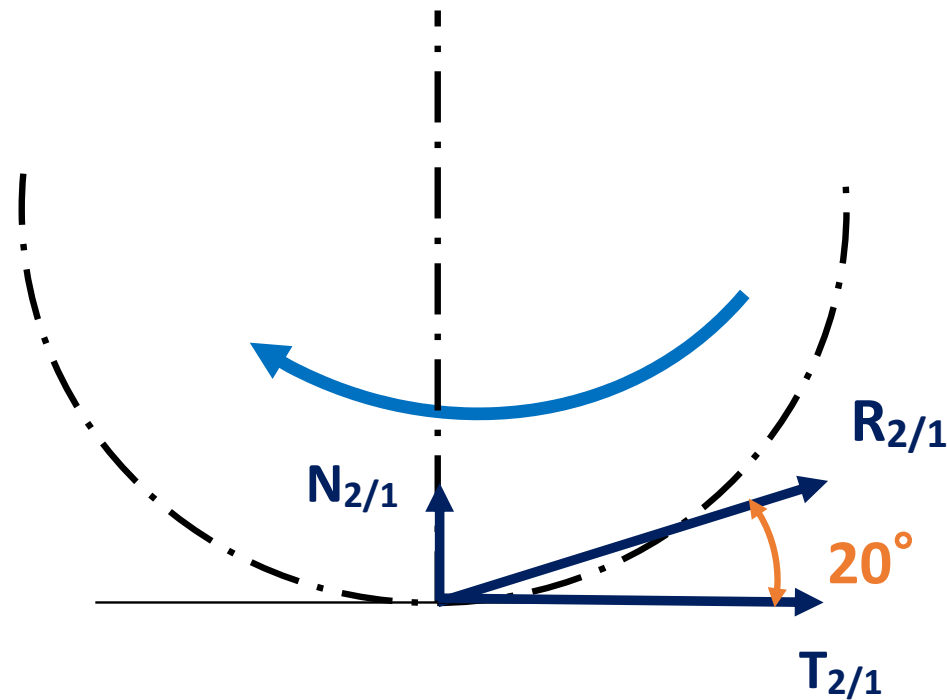
$\mathbf{N}_{2/1}$  = Normale des forces de 2 sur 1

Pas d'adhérence

Transmission par Obstacle:



## Transmission par Obstacle



$R_{2/1}$  = Résultante des forces de 2 sur 1

$T_{2/1}$  = Tangente des forces de 2 sur 1

$N_{2/1}$  = Normale des forces de 2 sur 1

Pas d'adhérence.

La force tangentielle transmise est:

$$F_T = T_{2/1} = N_{2/1} \cdot \cotan 20^\circ$$



Transmission de Mouvement et de Moment par Accouplements:

$$P = M \cdot \omega$$

Transmission de Mouvement et de Moment (Couple) par Engrenages:

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1 \quad P_2 = M_2 \cdot \omega_2$$

Rendement:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1}$$

Si pas de pertes:

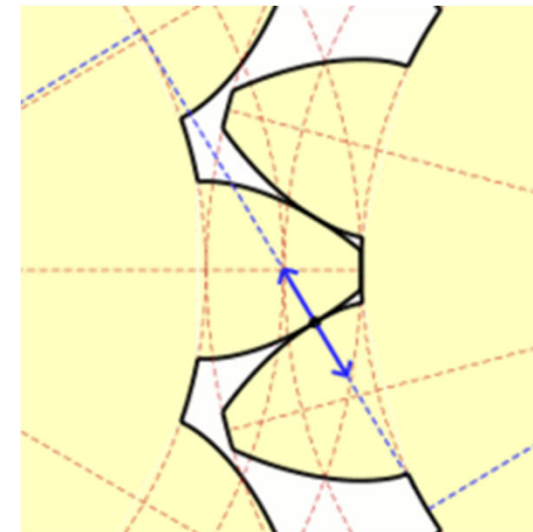
$$P = P_1 = P_2 = M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2$$

Rapport de transmission:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

\*arbres parallèles, perpendiculaires, orthogonaux et même de position quelconque

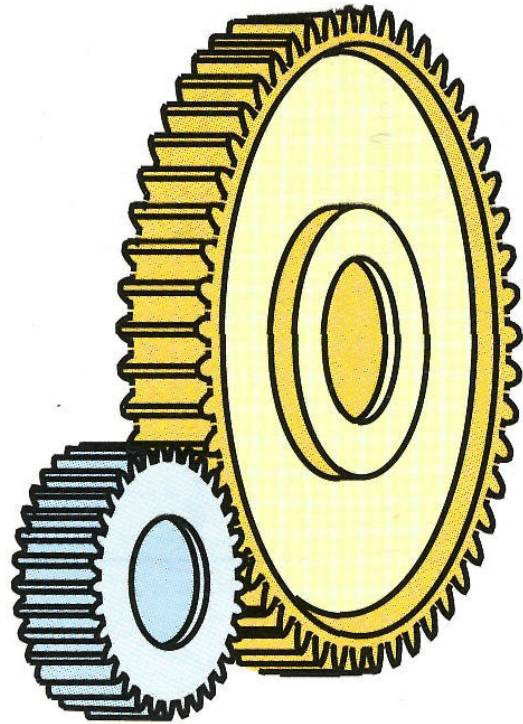
- Engrenages = ensemble des deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre
- Composants mécaniques essentiels pour la transmission de mouvement et de puissance, les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables
- Fabrication normalisée
- Engrenages très grandes séries (automobiles...) s'écartent de ces standards pour optimiser les coûts.



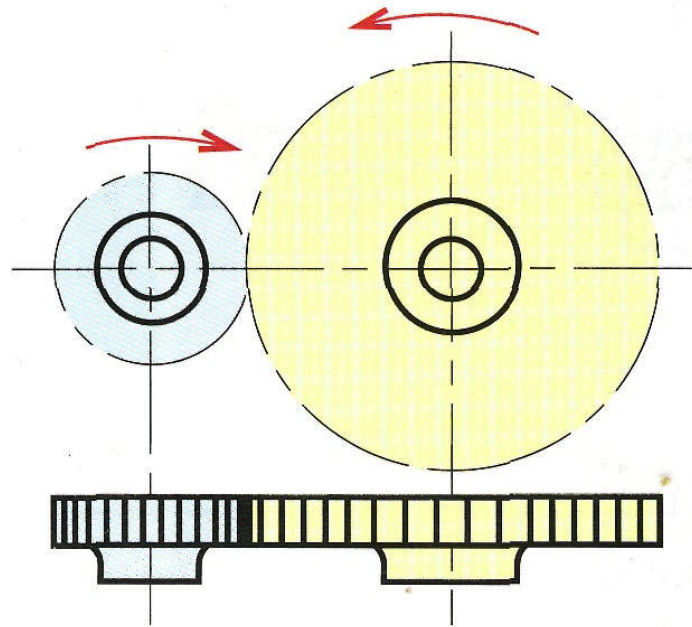


## Engrenages droits a denture droite

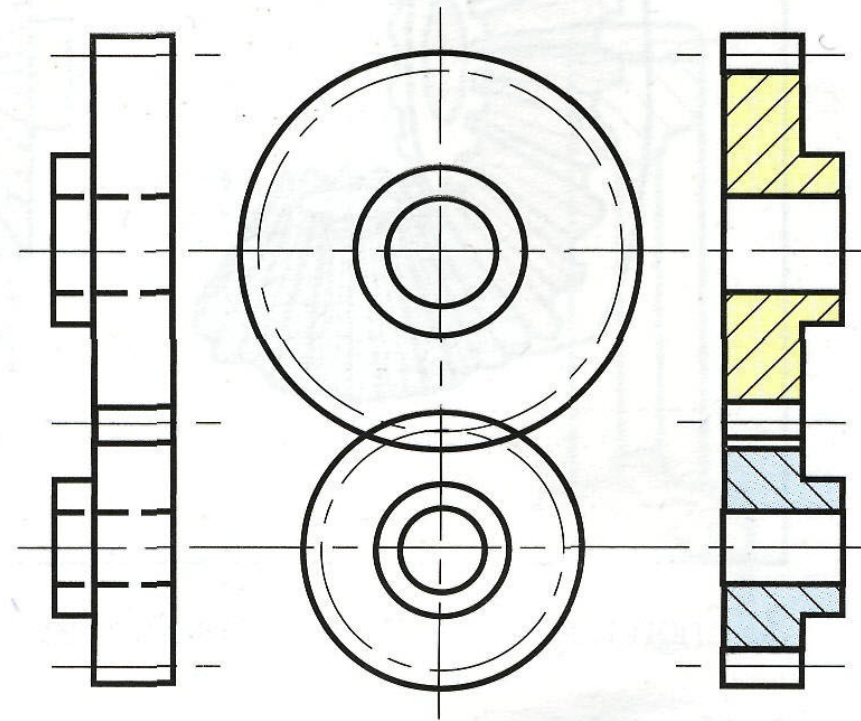
perspective



principe

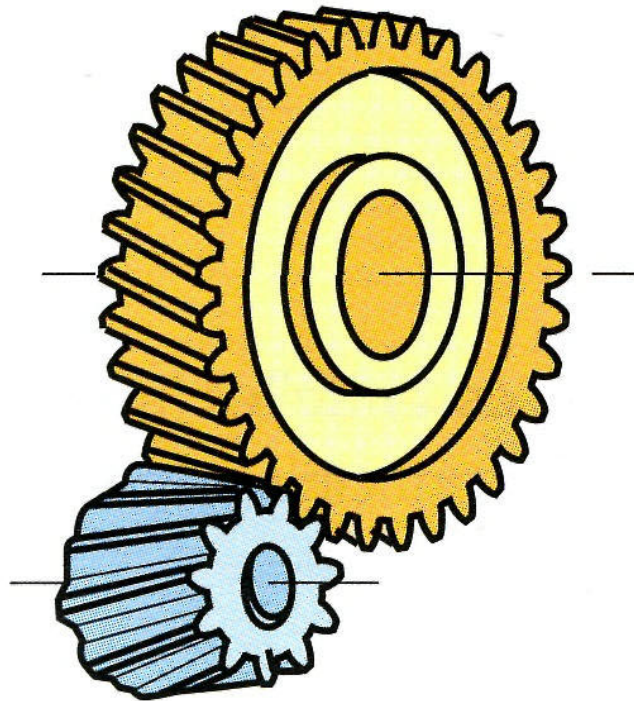


dessin normalisé

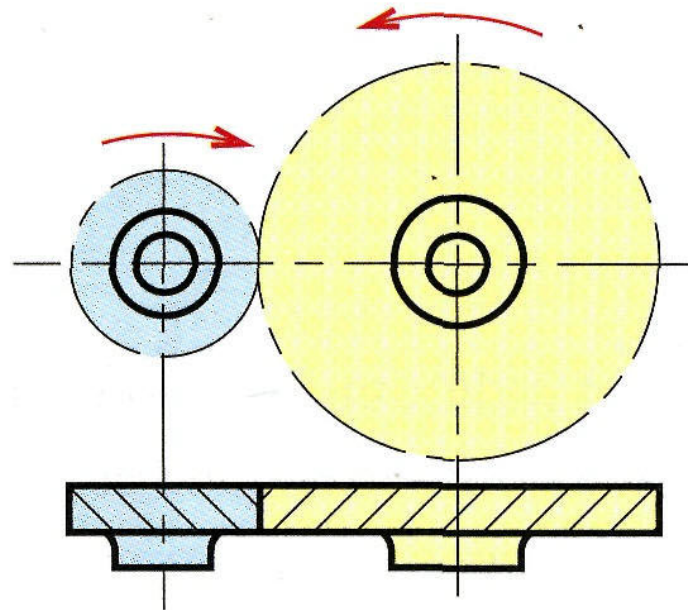


## Engrenages droits à denture hélicoïdale

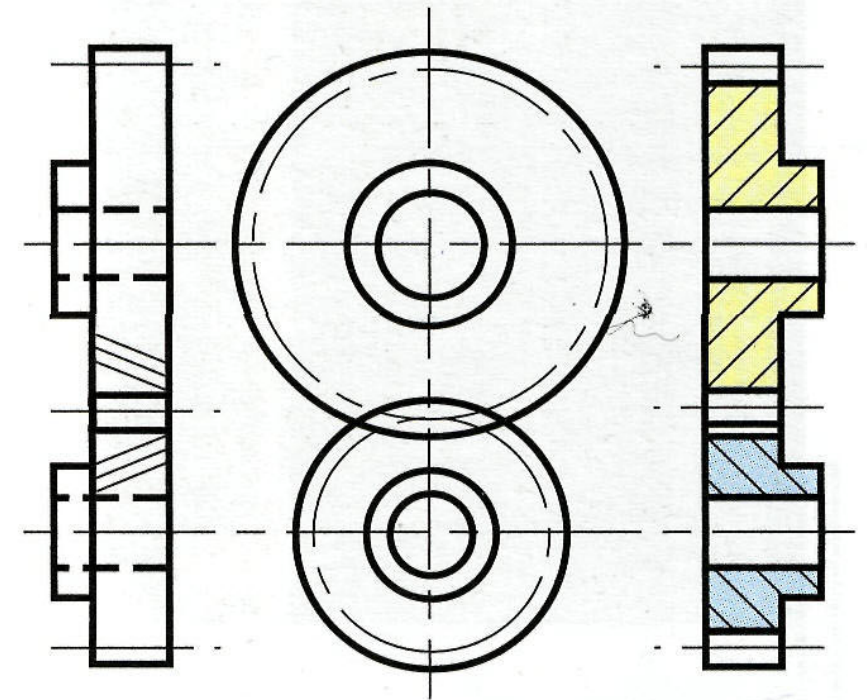
perspective



principe



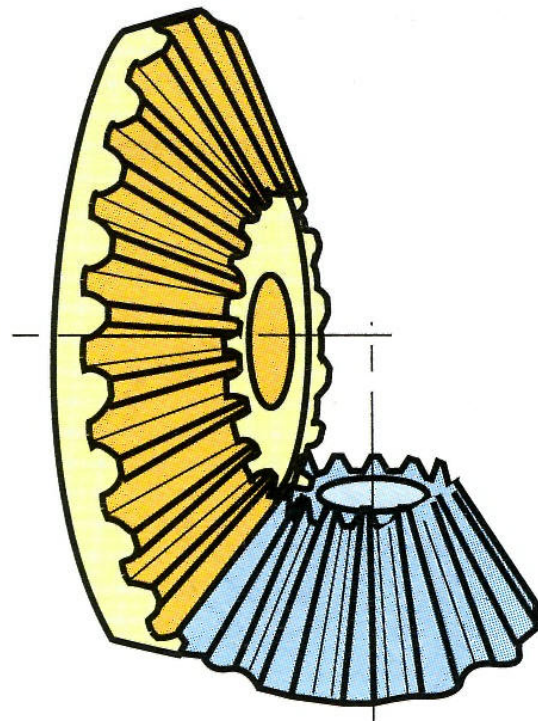
dessin normalisé



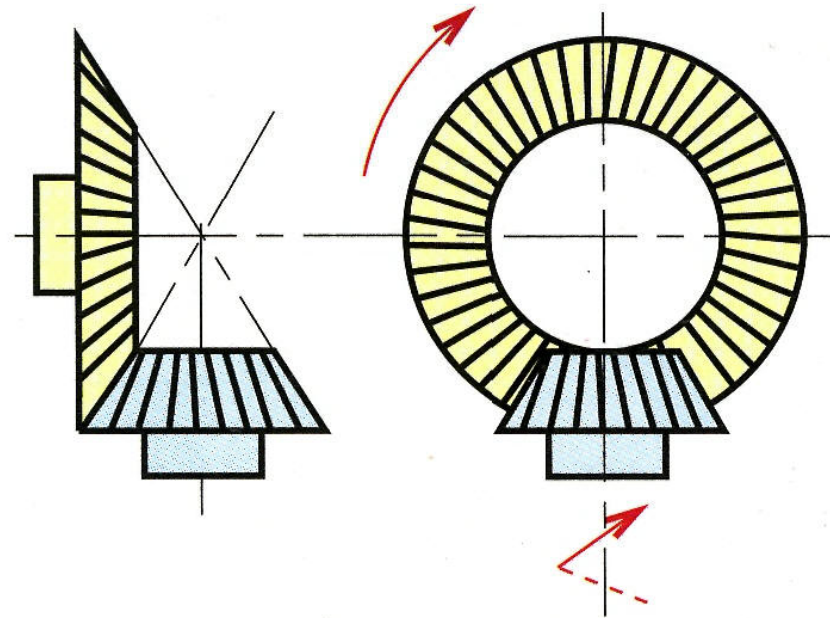


## Engrenages coniques

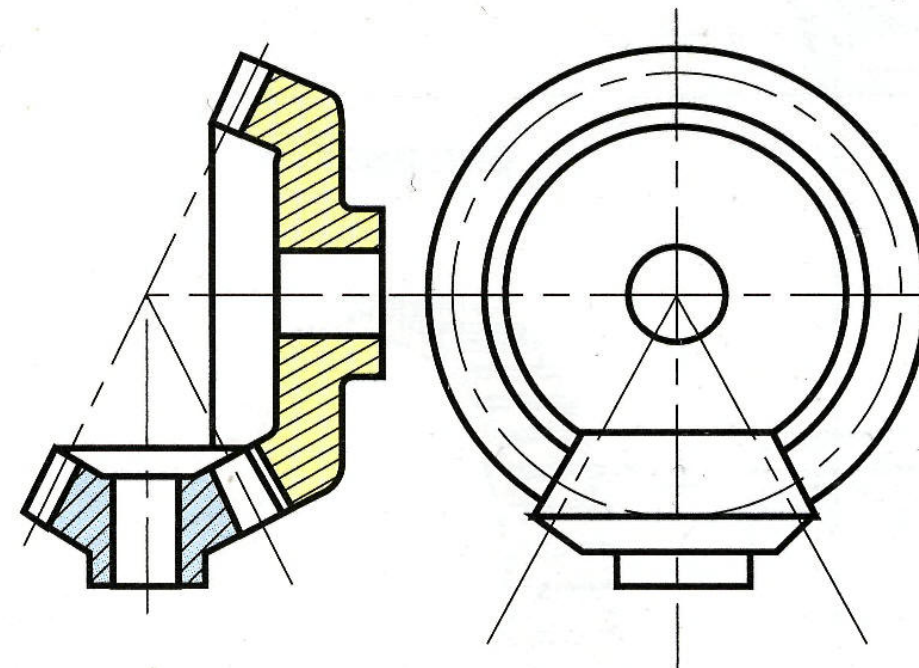
perspective



principe

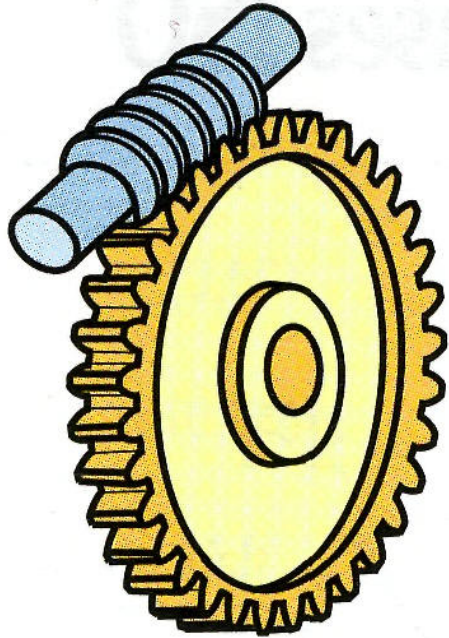


dessin normalisé

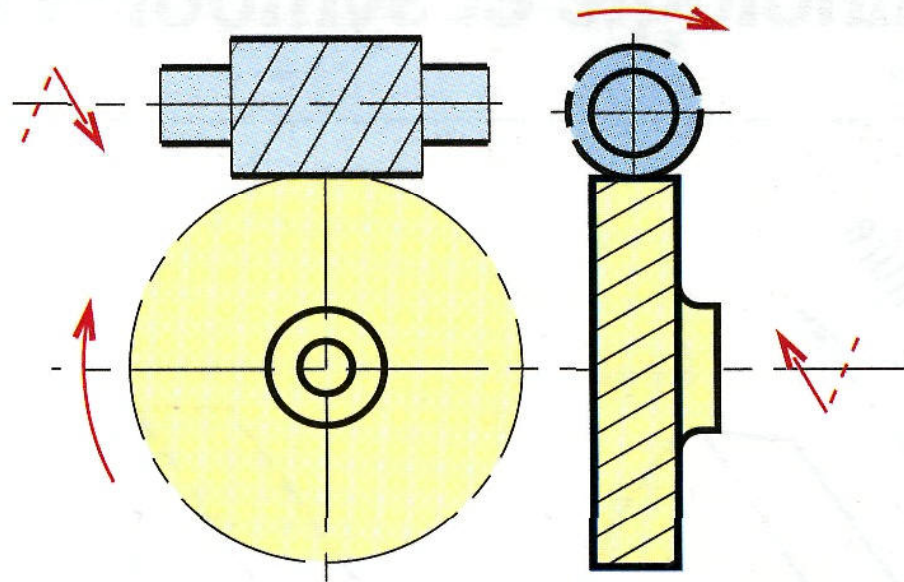


## Engrenages roues et vis sans fin

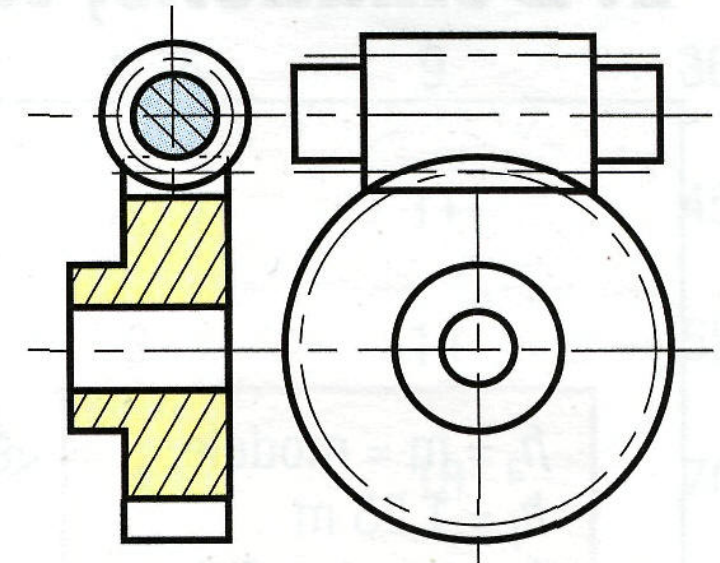
perspective



principe

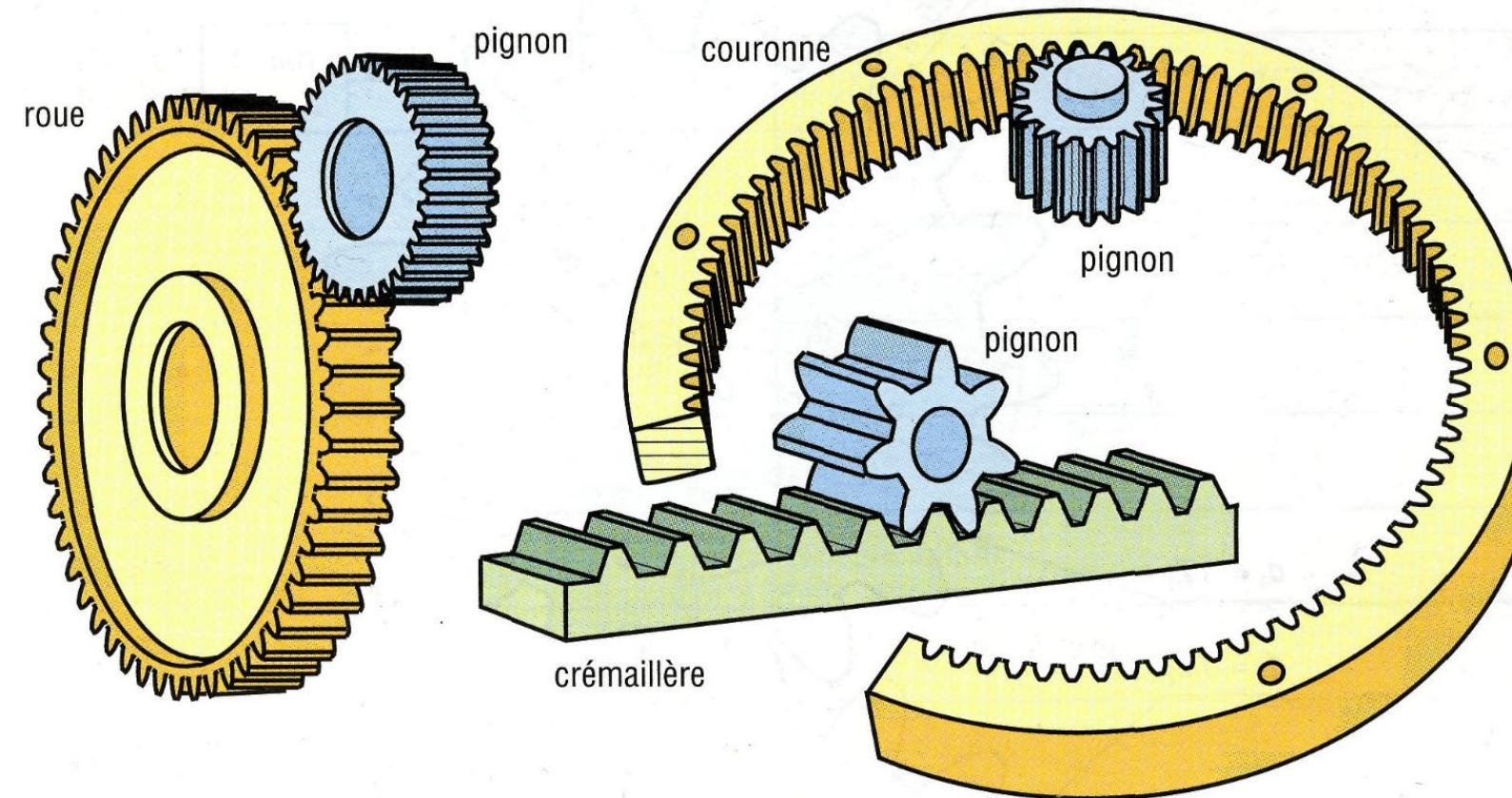


dessin normalisé

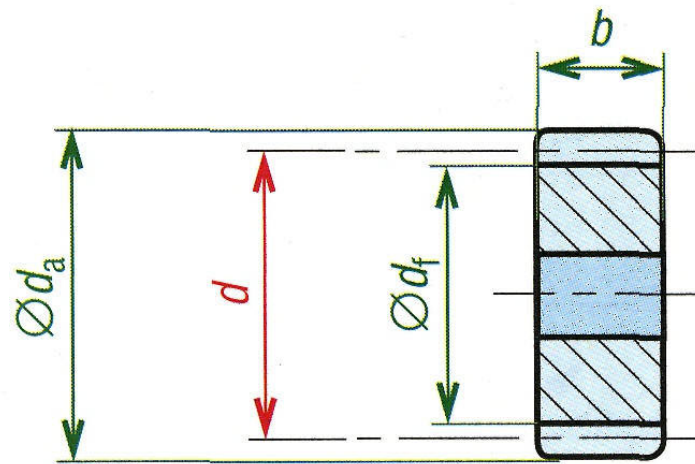




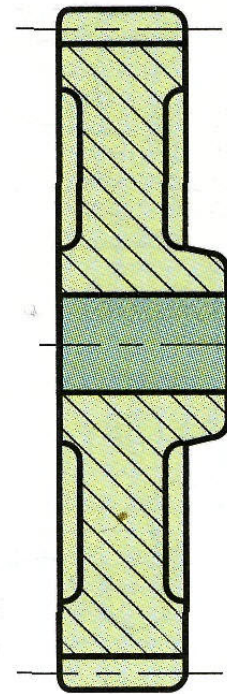
- Pour arbres parallèles
- Les plus courants
- Les plus économiques
- Dents parallèles à l'axe de rotation des arbres



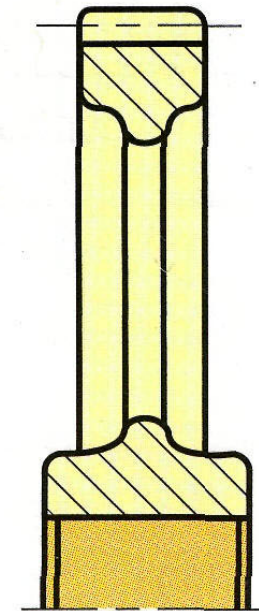




petits diamètres



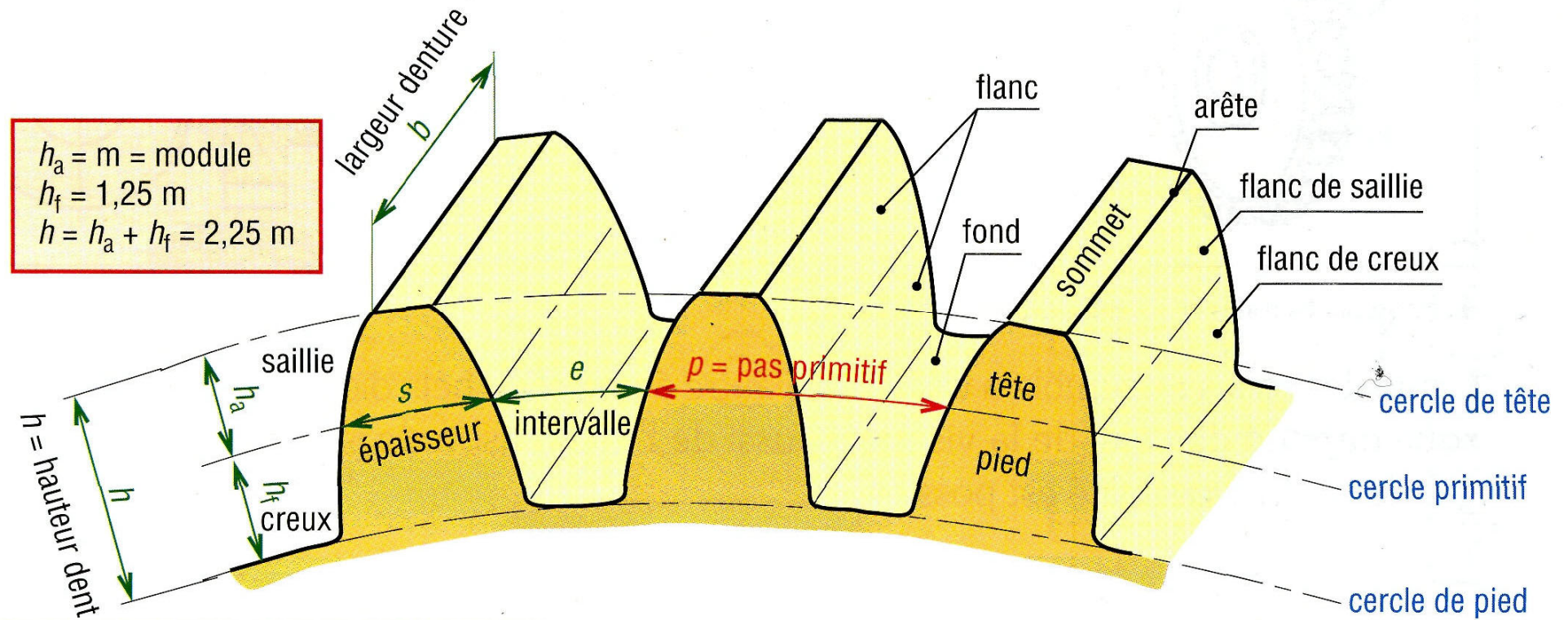
diamètres moyens



grands diamètres

Normalisés ISO:

Il faut un nombre entier de dents !

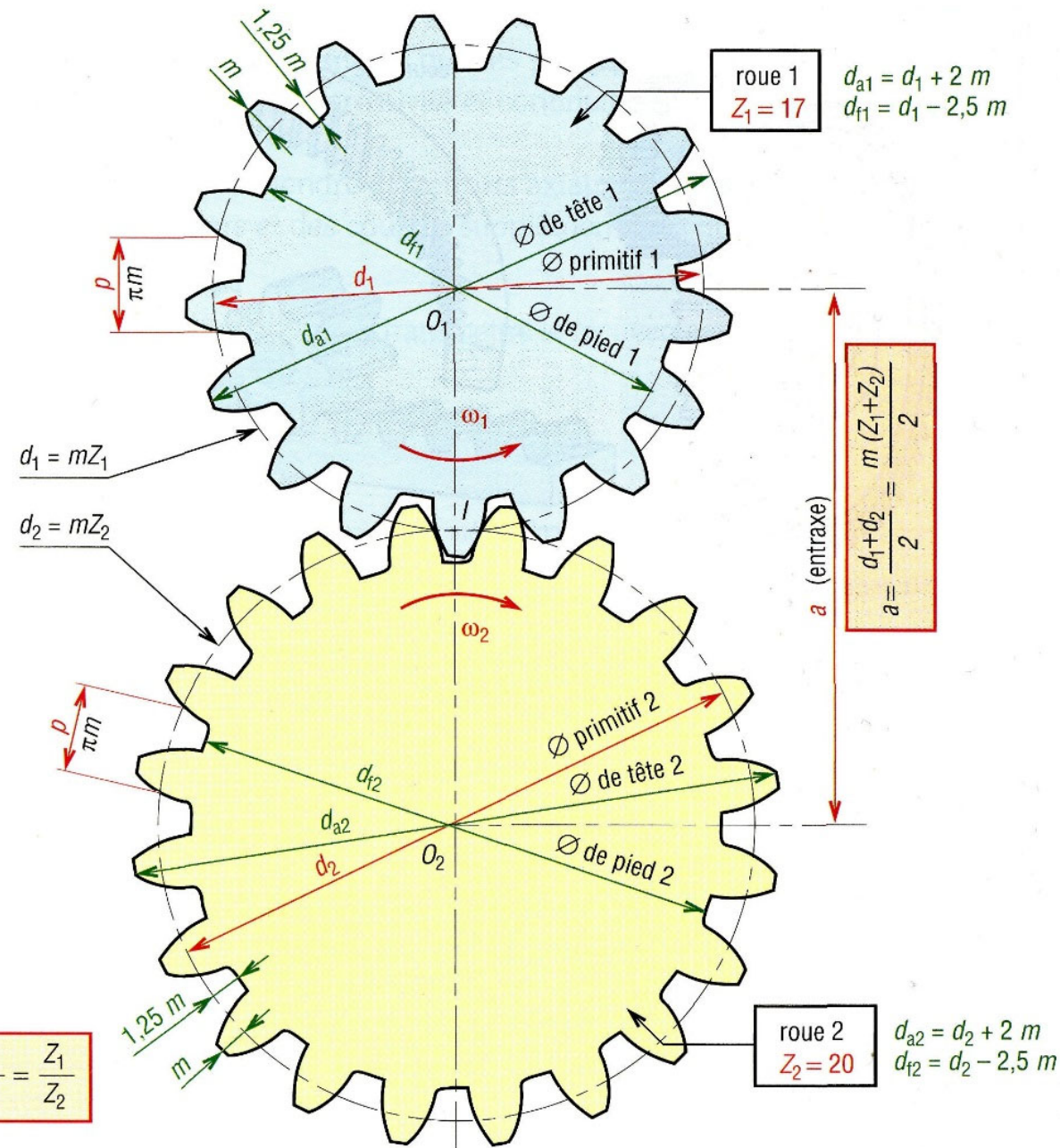


Valeurs normalisées du module  $m$  (NF ISO 54...)

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

$$p = \pi \cdot m = \pi \cdot d / Z$$

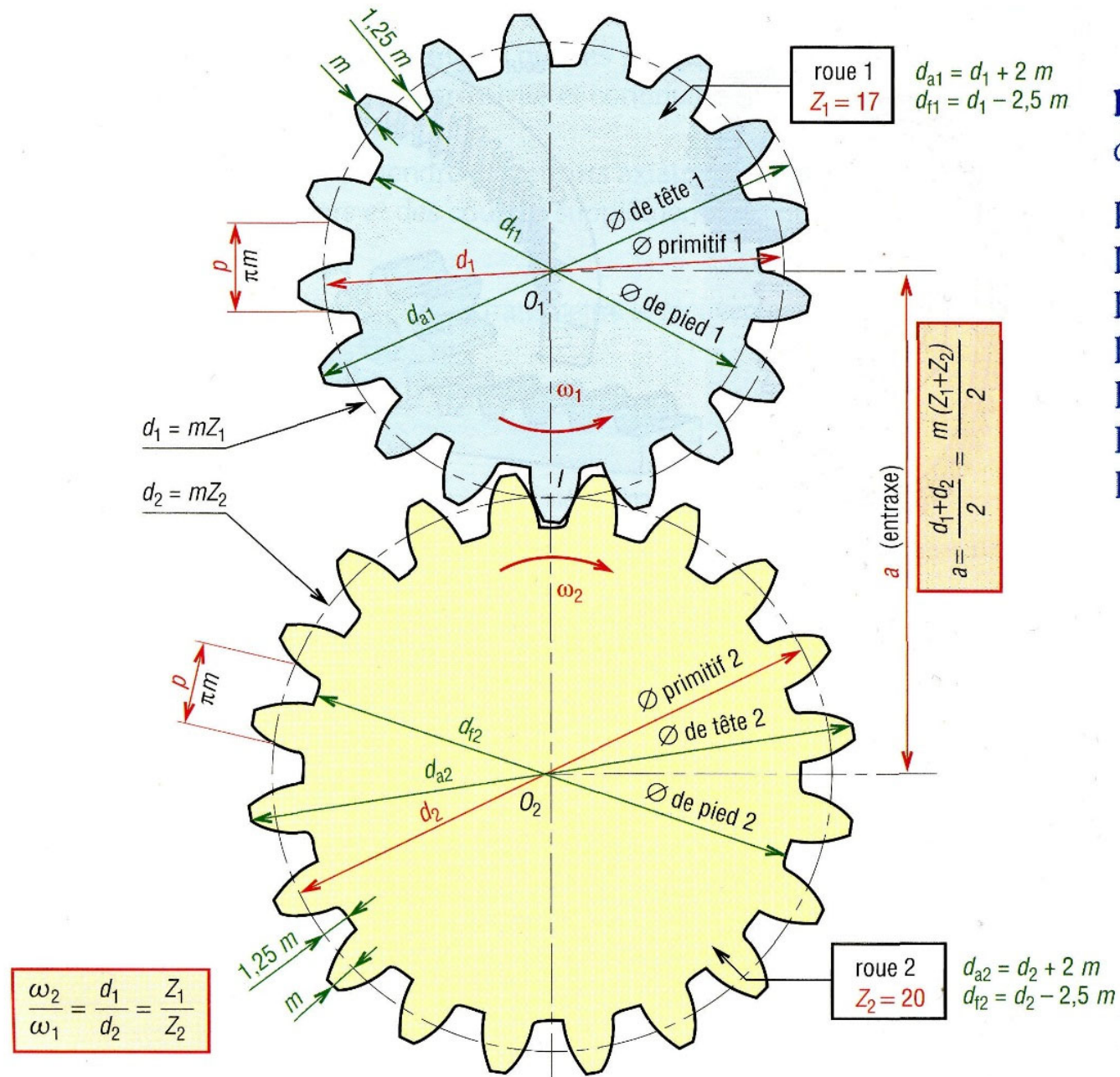


Droits à denture droite:  **$d=m.Z$** 

Caractéristiques et formules des engrenages droits à denture droite

caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi.n}{30} \approx 0,1n$ (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	$b$	$b = k.m$ ( $7 \leq k \leq 12$ )
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	$\alpha$	valeur usuelle : $\alpha = 20^\circ$
rayon de base	$r_b$	$r_b = d_b/2$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cos \alpha$
pas de base	$p_b$	$p_b = p \cos \alpha$





**Exemple** : pour l'engrenage dessiné déterminons les principales caractéristiques.

$Z_1 = 17$  dents,  $Z_2 = 20$  dents, module  $m = 4$  mm,

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

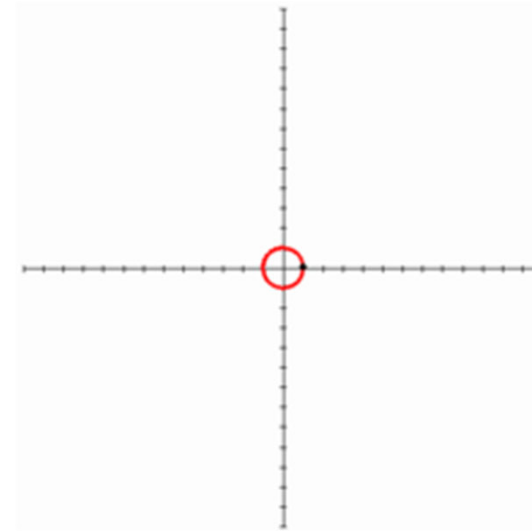
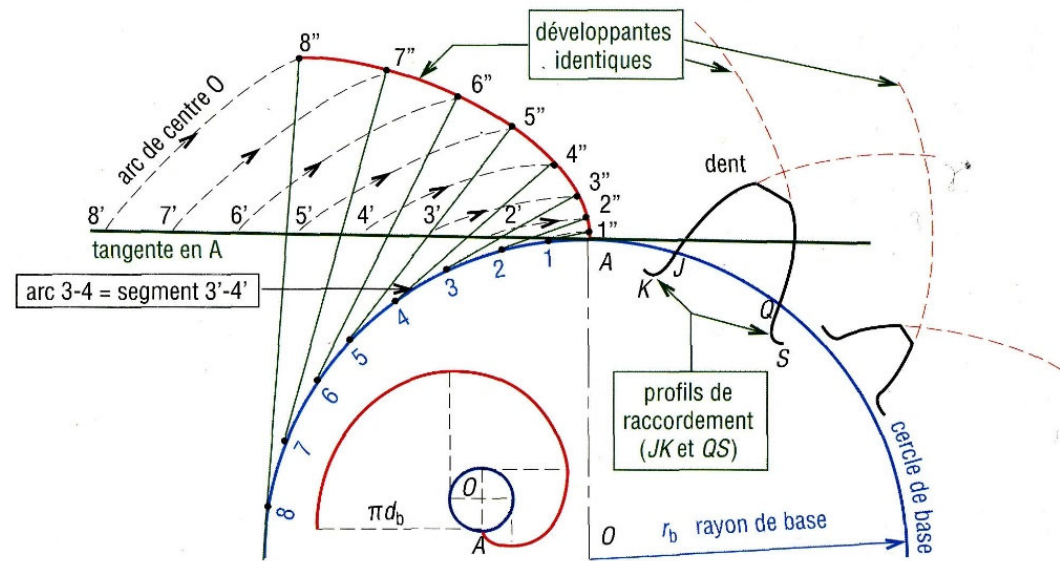
Hauteur de saillie :  $ha_1 = ha_2 = m = 4$  mm

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

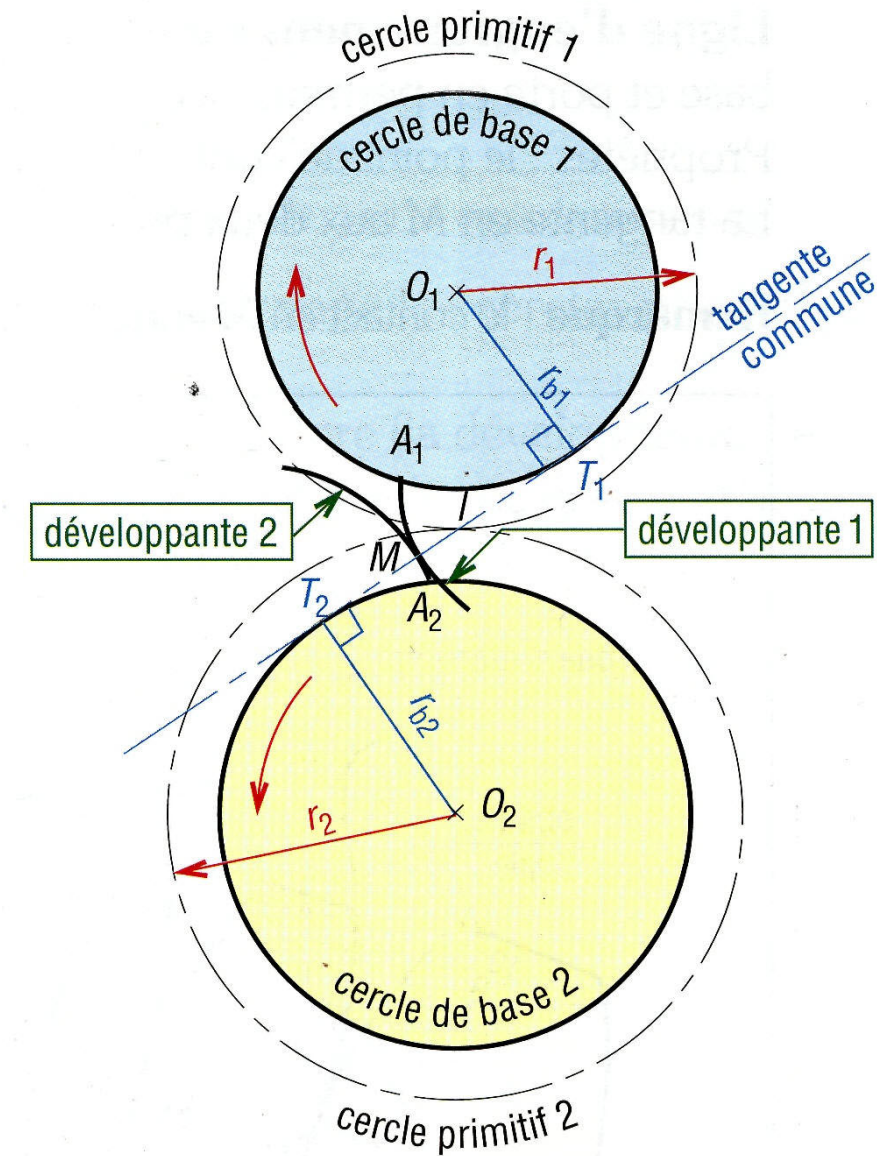
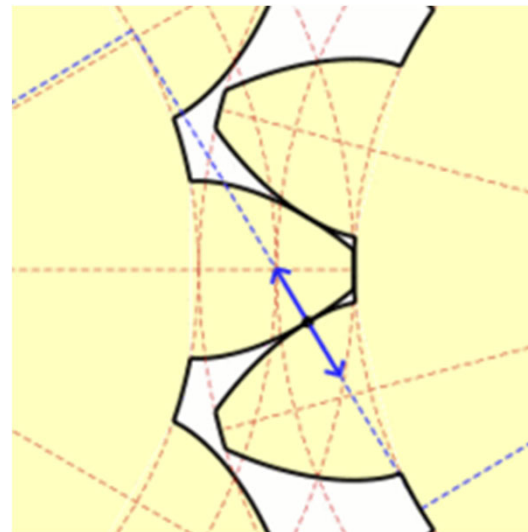
Hauteur de dent :  $h_1 = h_2 = ha + hf = 9$  mm

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

A développante de cercle  
Cinématique:



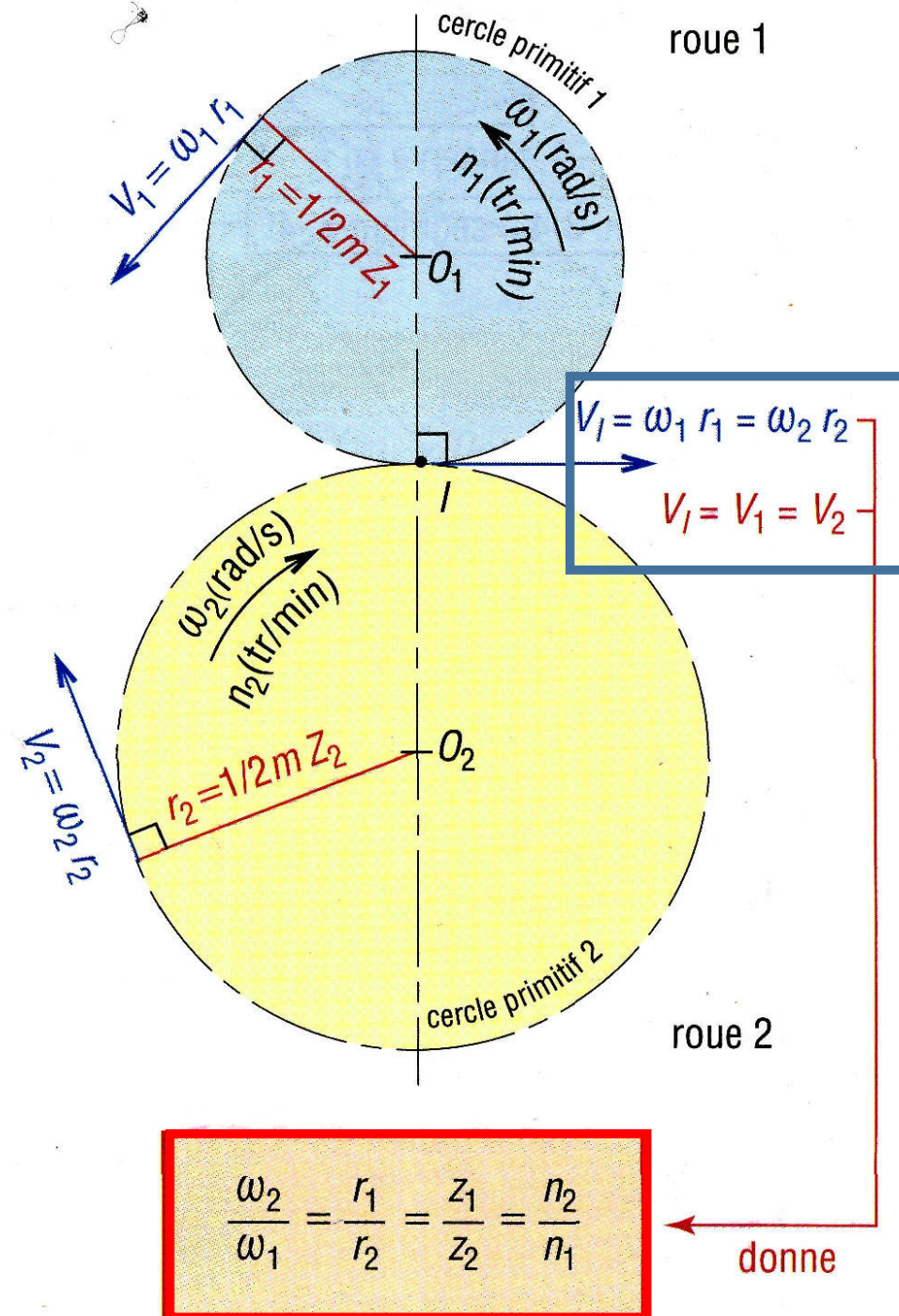
Angle de pression 20deg



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{r_{b1}}{r_{b2}} = \frac{r_1}{r_2}$$



Cinématique:



## Cinématique:

**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 :  $Z_2/Z_1 = n_1/n_2 = 3/1 = 3$

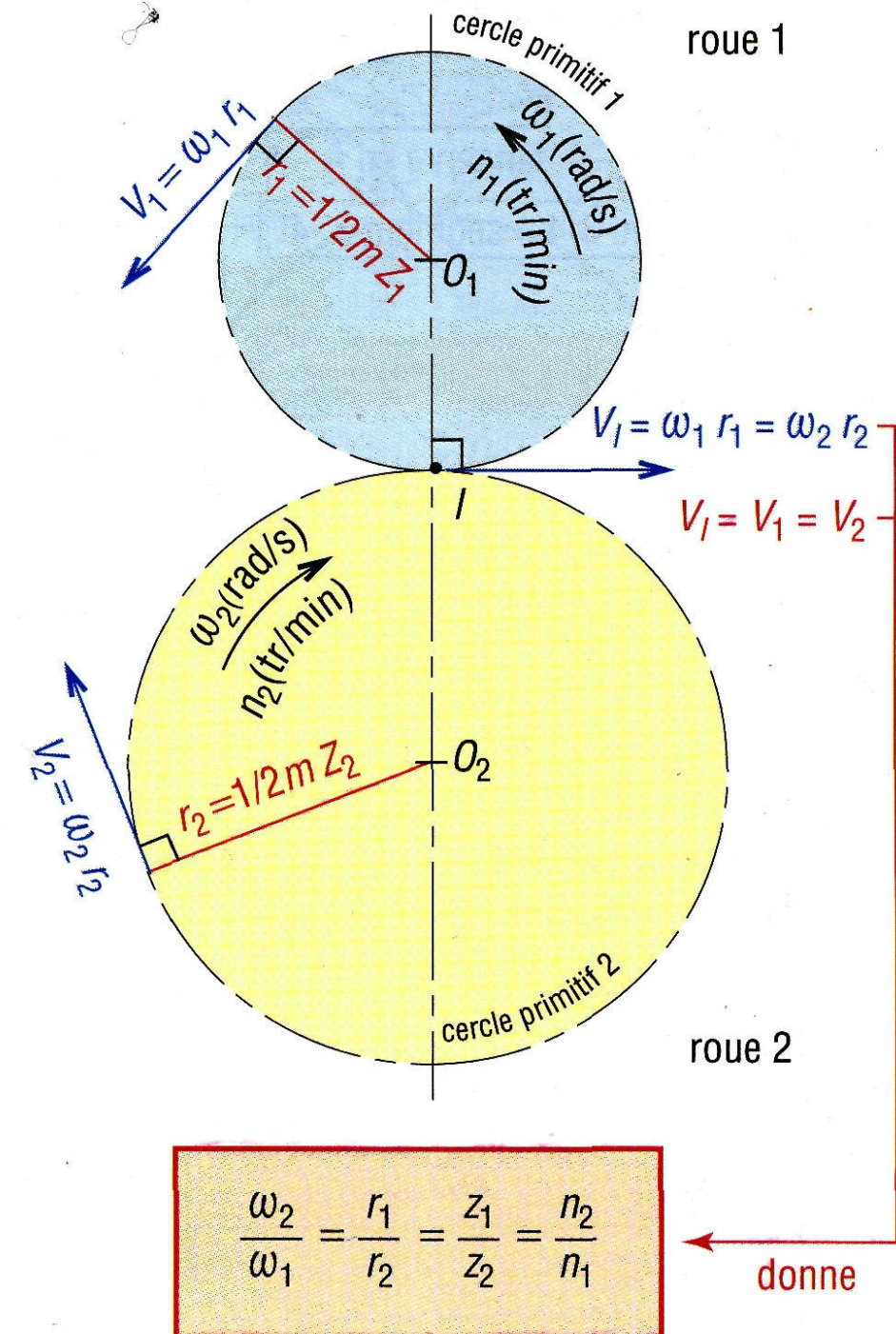
$Z_2 = 3.Z_1 = 54$  dents

$d_2 = mZ_2 = 3.54 = 162$  mm

**Remarque** :

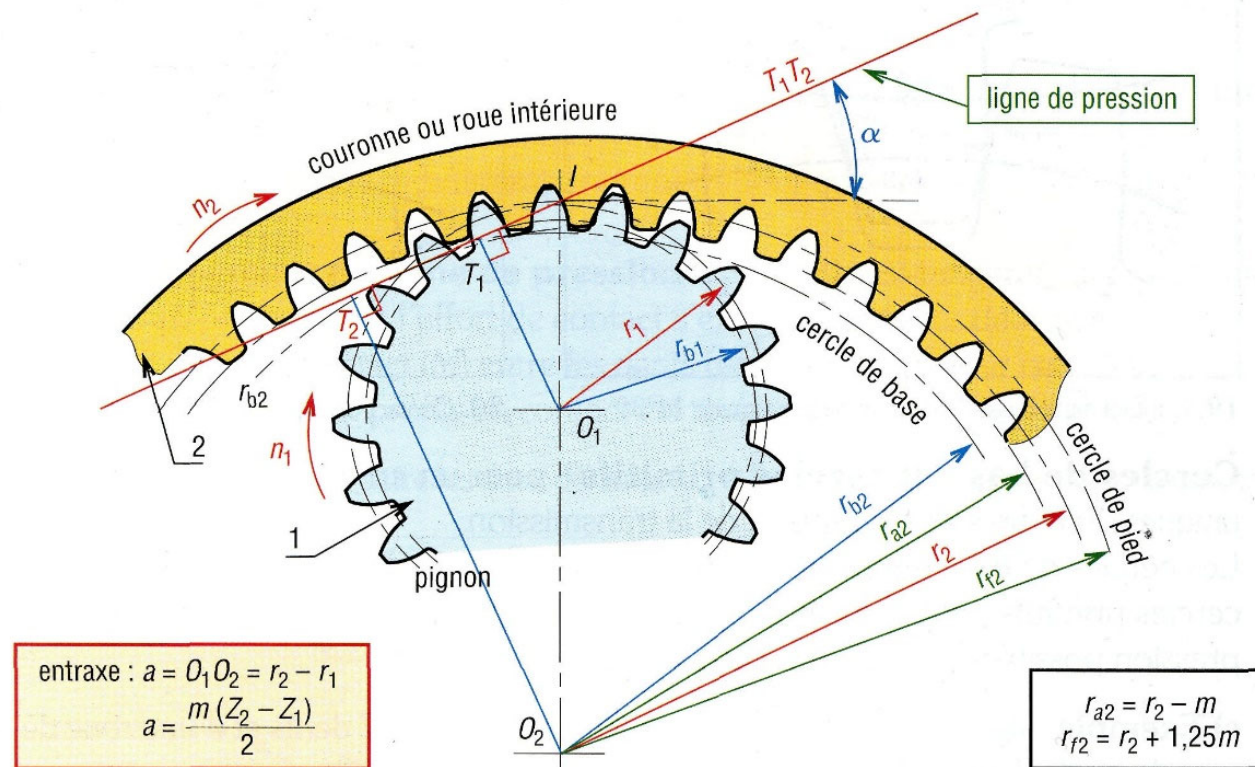
$d_1 = mZ_1 = 3.18 = 54$  mm

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

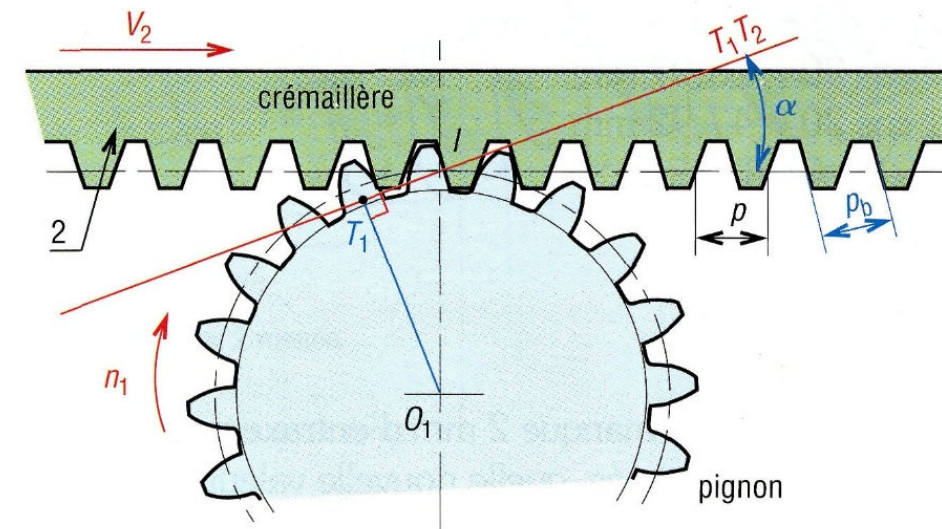




## Roues intérieures

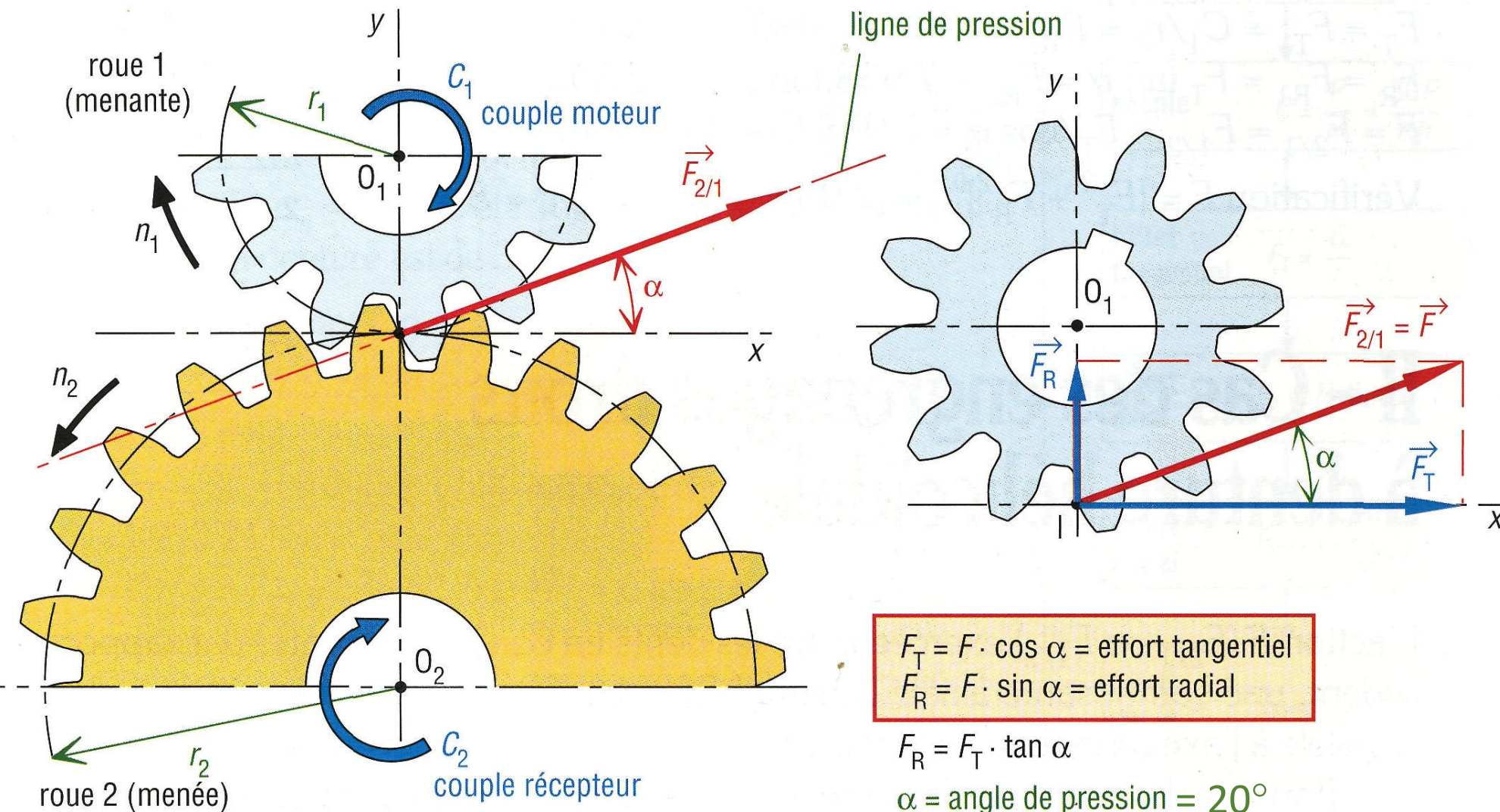


## Crémaillères





## Efforts sur les dents



$$F_T = F \cdot \cos \alpha = \text{effort tangentiel}$$

$$F_R = F \cdot \sin \alpha = \text{effort radial}$$

$$F_R = F_T \cdot \tan \alpha$$

$$\alpha = \text{angle de pression} = 20^\circ$$

$$F_T = \frac{C_1}{r_1} = \frac{C_2}{r_2}$$

Effort tangentiel = 2.74 x

Effort radial

## Résistance/Tenue aux efforts:

### Simplification du problème à celui d'une poutre rectangulaire en flexion

- Effort tangentiel/de flexion:

$$F_T = \frac{C_1}{r_1} = \frac{C_2}{r_2}$$

- Moment de flexion:

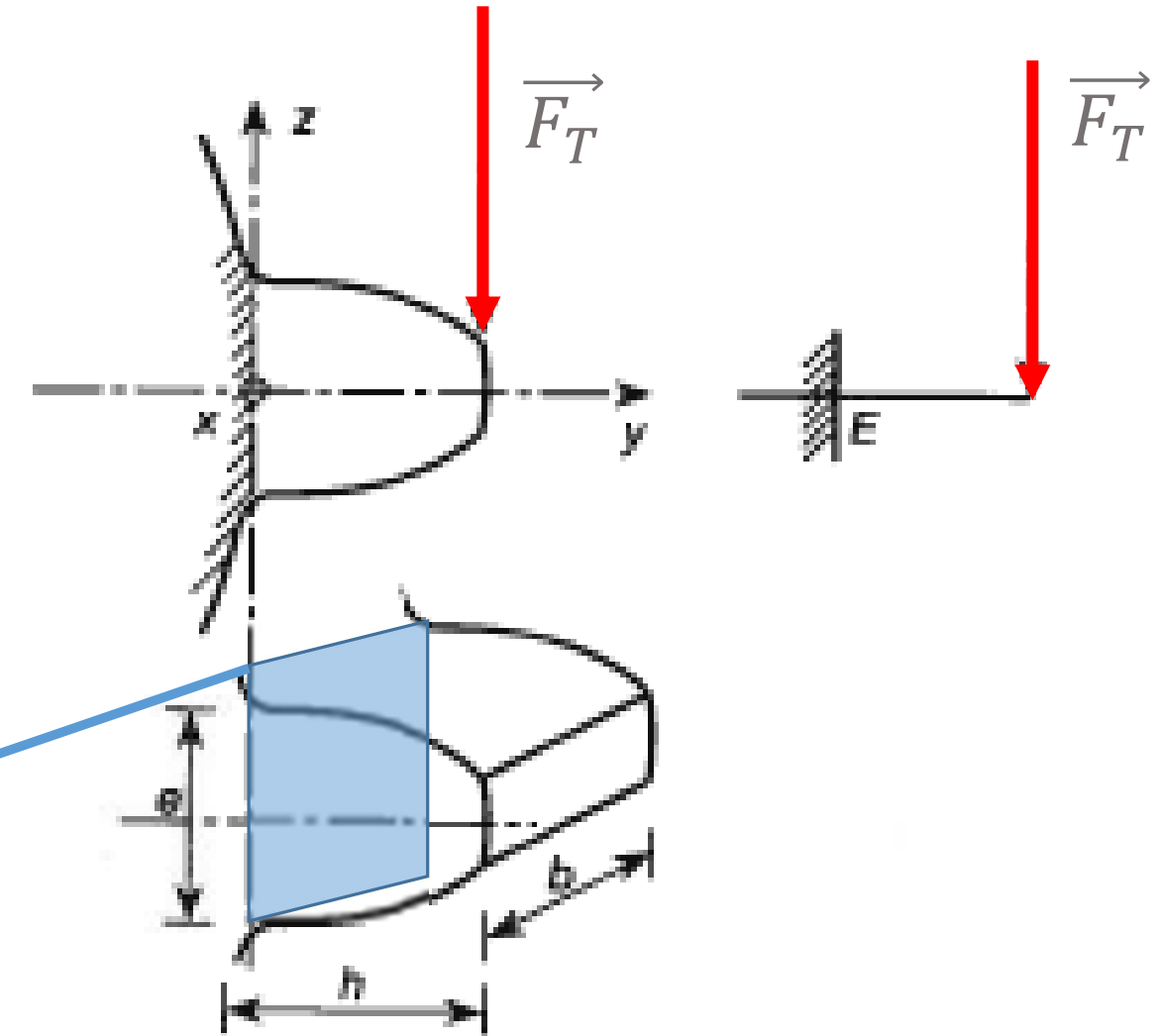
$$M_f = F_T \cdot h$$

- Moment d'inertie de la section:

$$I_{Gx} = \frac{b \cdot e^3}{12}$$

- Epaisseur de la dent:

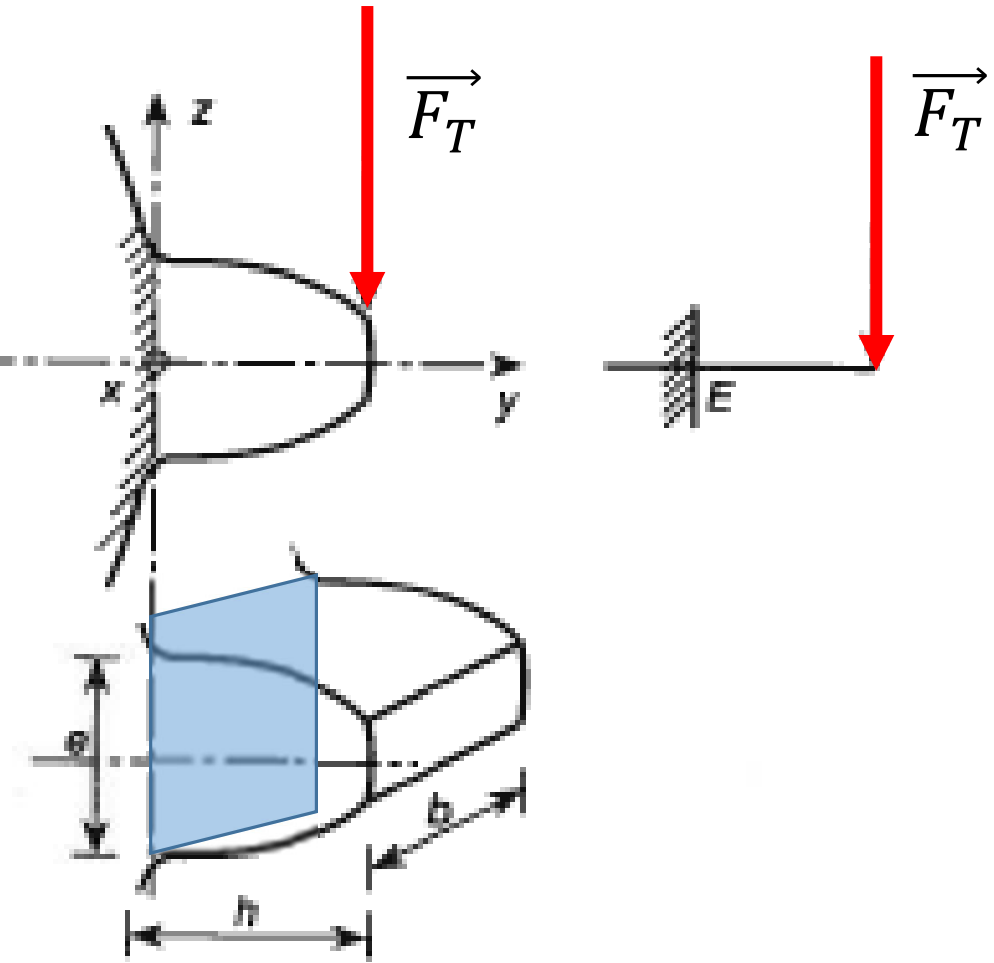
$$e = \frac{p}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}$$



## Tenue aux efforts

Contrainte maximale

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{\frac{I_{Gx}}{\frac{e}{2}}} = \frac{F_T \cdot h}{\left( \frac{b \cdot e^3}{12} \right) \frac{\left( \frac{\pi \cdot m}{2} \right)}{2}} = \frac{F_T \times 2.25m}{\left( \frac{k \cdot m \cdot \left( \frac{\pi \cdot m}{2} \right)^3}{12} \right) \frac{\pi \cdot m}{4}} = \frac{F_T \times 2.25m}{\left( \frac{k \cdot m \cdot \left( \frac{\pi \cdot m}{2} \right)^2}{6} \right)}$$



$$\sigma_{max} = 5.47 \frac{F_T}{k \cdot m^2}$$

avec  $b = k \cdot m$  ( $7 \leq k \leq 12$ )  
fixé par le fournisseur

$$\sigma_{max} = 5.47 \frac{F_T}{b \cdot m}$$

## Tenue aux efforts

Condition de résistance en flexion:  $\sigma_{max} \leq \sigma_{pe}$

$$5.47 \frac{F_T}{b \cdot \sigma_{pe}} \leq m$$

$$2,34 \sqrt{\frac{F_T}{k \cdot \sigma_{pe}}} \leq m$$

Résistance pratique en traction  $R_{pe}$  = Résistance élastique en traction  $R_e$  / ( $s = 2$ )

$$\sigma_{pe} = R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

Valeurs indicatives des contraintes admissibles	
métaux	$R_{pe}$ (N/mm <sup>2</sup> ) MPa
aciers trempés et revenus ou cémentés	110 à 370
fontes FGL	50 à 80
bronze	80 à 120
nylon PA6.6	≈ 30

Exemple 1:

### Tenue aux efforts

1000N sur une dent en acier a  $R_{pe}=210\text{MPa}$  et  $k=12$

On calcule le module minimum pour tenir les 1000N:

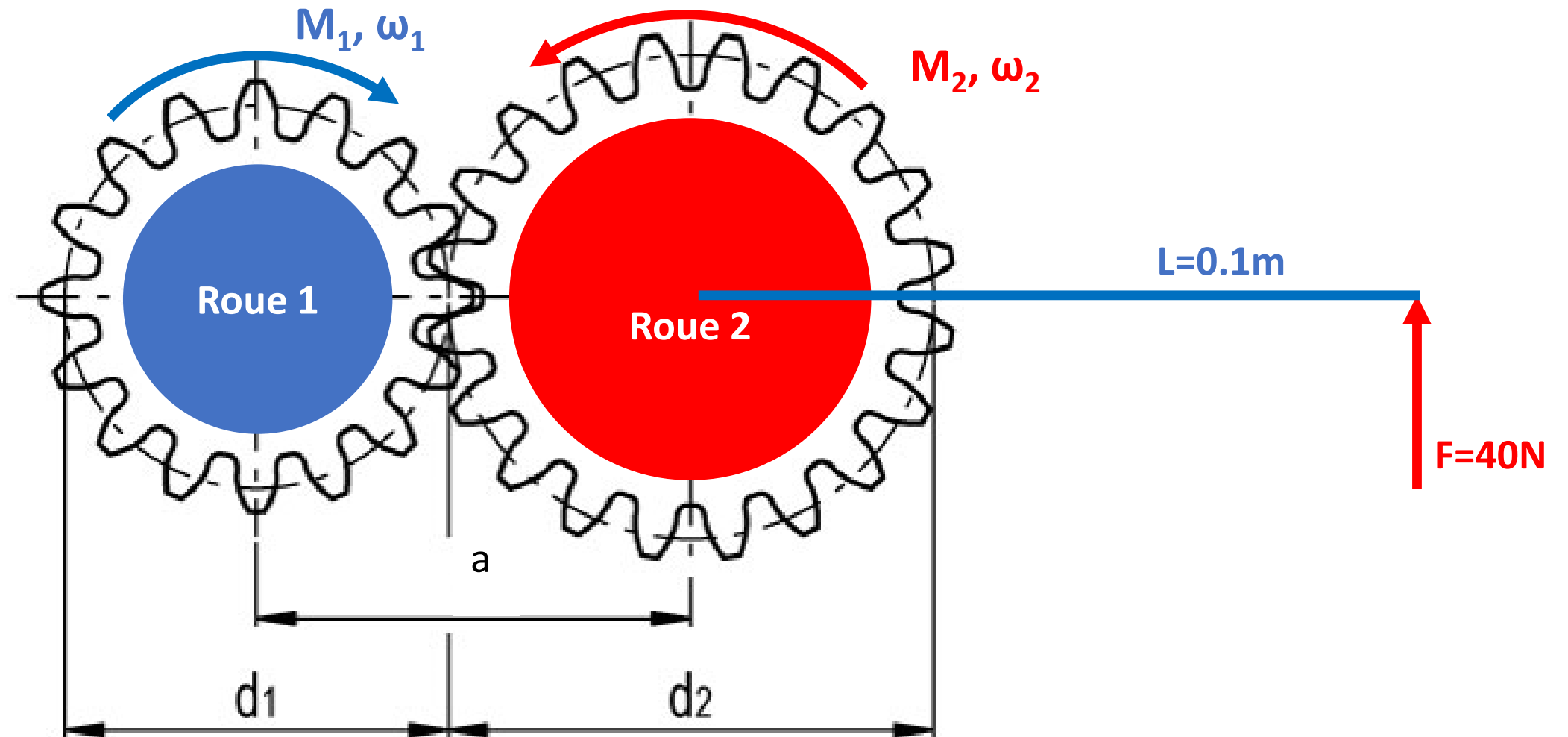
$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{T}{k \cdot \sigma_{pe}}} = 2.34 \sqrt{\frac{1000}{12 \times 210}} = 1.47\text{mm}$$

Roue dentée de module 1.5 mini et de largeur  $b=k.m=17.64\text{mm}$  mini.



Exemple 2:

Tenue aux efforts

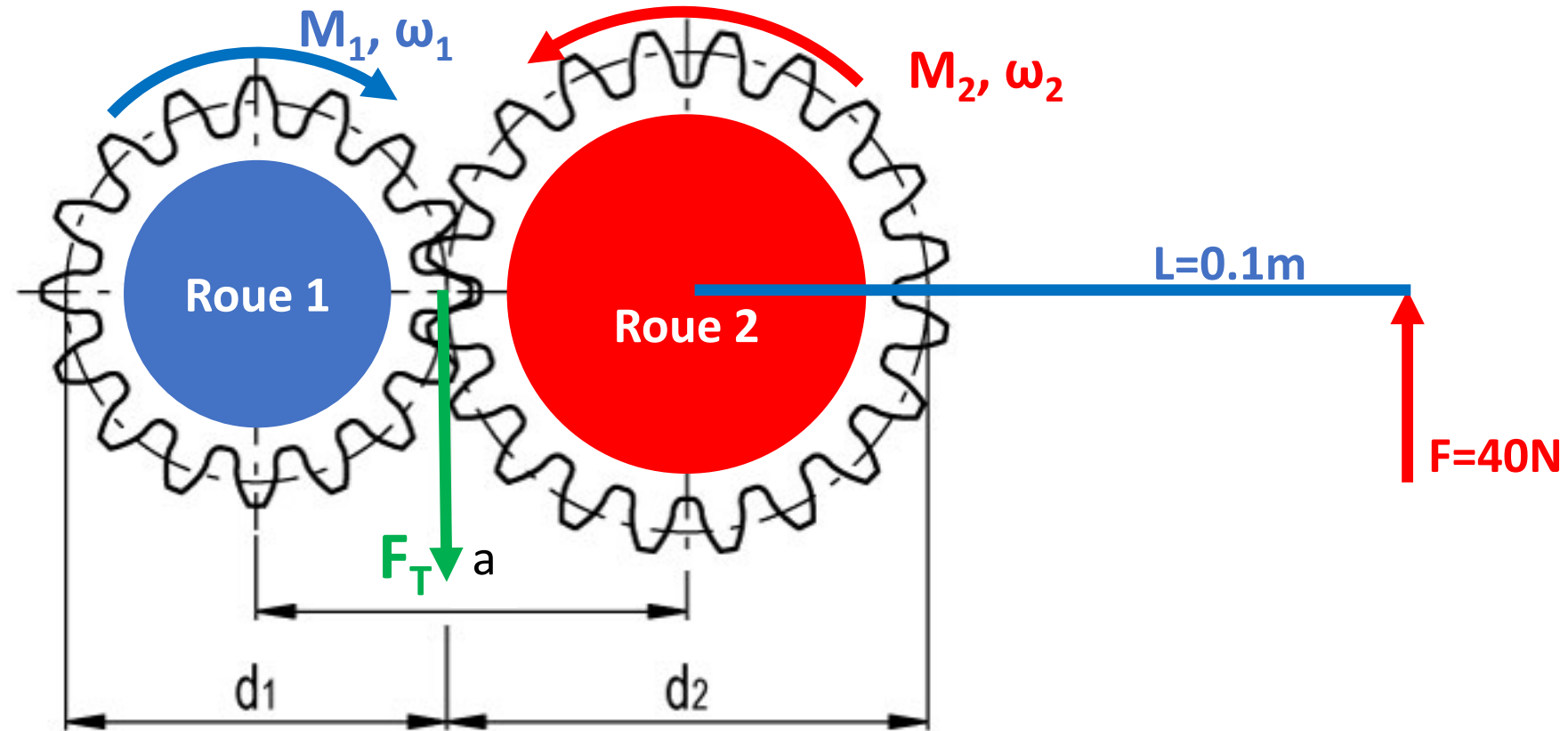


Une personne actionne une manivelle de 0.1m de longueur avec une force de 40N.

La roue 1 doit tourner 2 fois plus vite que la roue 2.

Exemple 2:

Tenue aux efforts



La roue 2 a un diamètre 2 fois plus grand que la roue 1 et possède 2 fois plus de dents.

$$2.d_1 = d_2$$

$$2.m.Z_1 = m.Z_2$$

Moment sur la roue 2 engendré par la manivelle:

$$M_2 = F.L = 4N.m$$

## Exemple 2:

## Tenue aux efforts

2 roues dentées sont choisies chez un fournisseur:

Roue 1: 18 dents – module 1

$$d_1 = 18\text{mm}$$

Roue 2: 36 dents – module 1

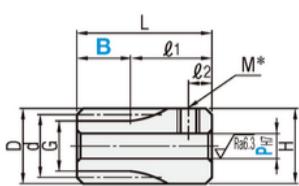
$$d_2 = 36\text{mm}$$

b est choisi tel que  $b=10$ .

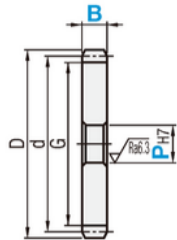
$$b = k.m = 10\text{mm} \text{ donc } k = 10$$

Gear Shape

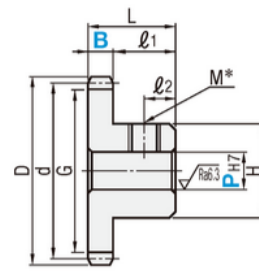
Shape K



Shape A



Shape B



[NG] Tapped shaft bores are not available for Shape A

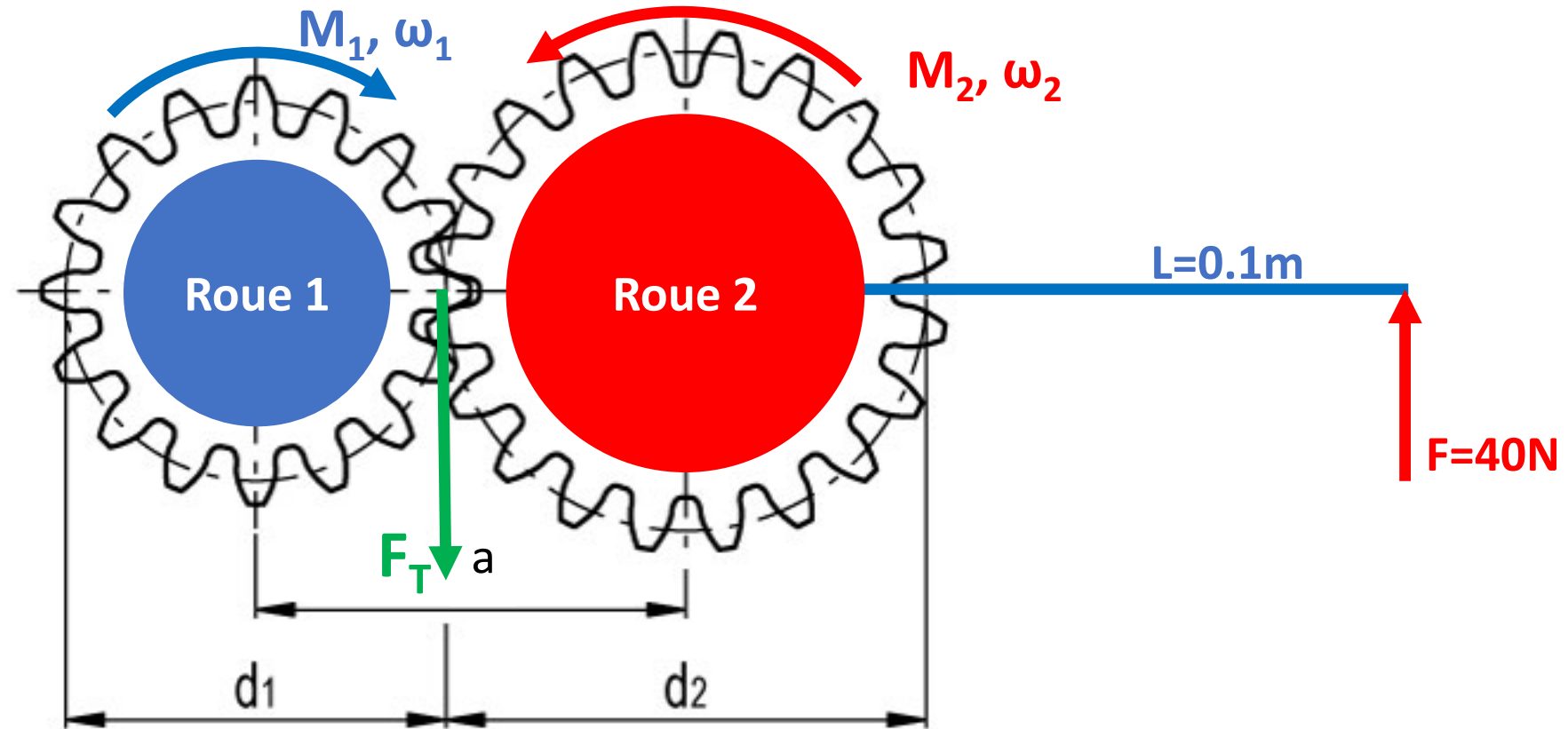
Shaft Bore Specifications (Selectable Gear Shapes)	
Straight Bore (Shape A, Shape B, Shape K)	Straight Bore + Tap (Shape B, Shape K)
Keyway (Shape A)	Keyway + Tap (Shape B)

Référence pièce		Nombre de dents	B	Engrenages droits	Diam. d'alésage d'arbre P <sub>H7</sub> (Incrément de 1mm)		d Diam. de référence	Diam. de l'embout D	G Diam. intérieur	H	L	ℓ <sub>1</sub>	ℓ <sub>2</sub>	M (normal)	
Type	Module				Alésage droit Alésage droit + taraudage	Rainure, rainure + taraudage									
Alésage droit (forme A, forme B, forme K) GEAHB GEAHBB GEAHBG GEAHS		12	12	K	6~8	-	12	14	9.5	14	30	20 (B=10)	5	M4	
		*13		K	6~10		13	15	10.5	15					
		14					A	-	14	16				11.5	16
		15		K					8~12	15				17	12.5
		*16			16		18			13.5		18			
		*17			17		19	14.5		19					
		*18		18	20		15.5	20							
		*19		K	8~10	8N	19	21	16.5	16	10 (B=10) 8 (B=12)	4	M4		
		20			6~10		20	22	17.5	16					
		21		A	6~12	8N, 10N	21	23	18.5	18					
		*22					22	24	19.5	18					
		*23					23	25	20.5	20					
		24					24	26	21.5	20					
		*25					25	27	22.5	22					
		26					26	28	23.5	22					
		*27					27	29	24.5	24					
		28			8~17	10N~12N	28	30	25.5	24					
		*29			6~17	8N~15N	29	31	26.5	26					
		30			8~17	10N~15N	30	32	27.5	27					
		32			8~18		32	34	29.5	28					
		*34			34		36	31.5	28						
		35					35	37	32.5						
		Alésage droit +			36			36	38	33.5					



Exemple 2:

Tenue aux efforts

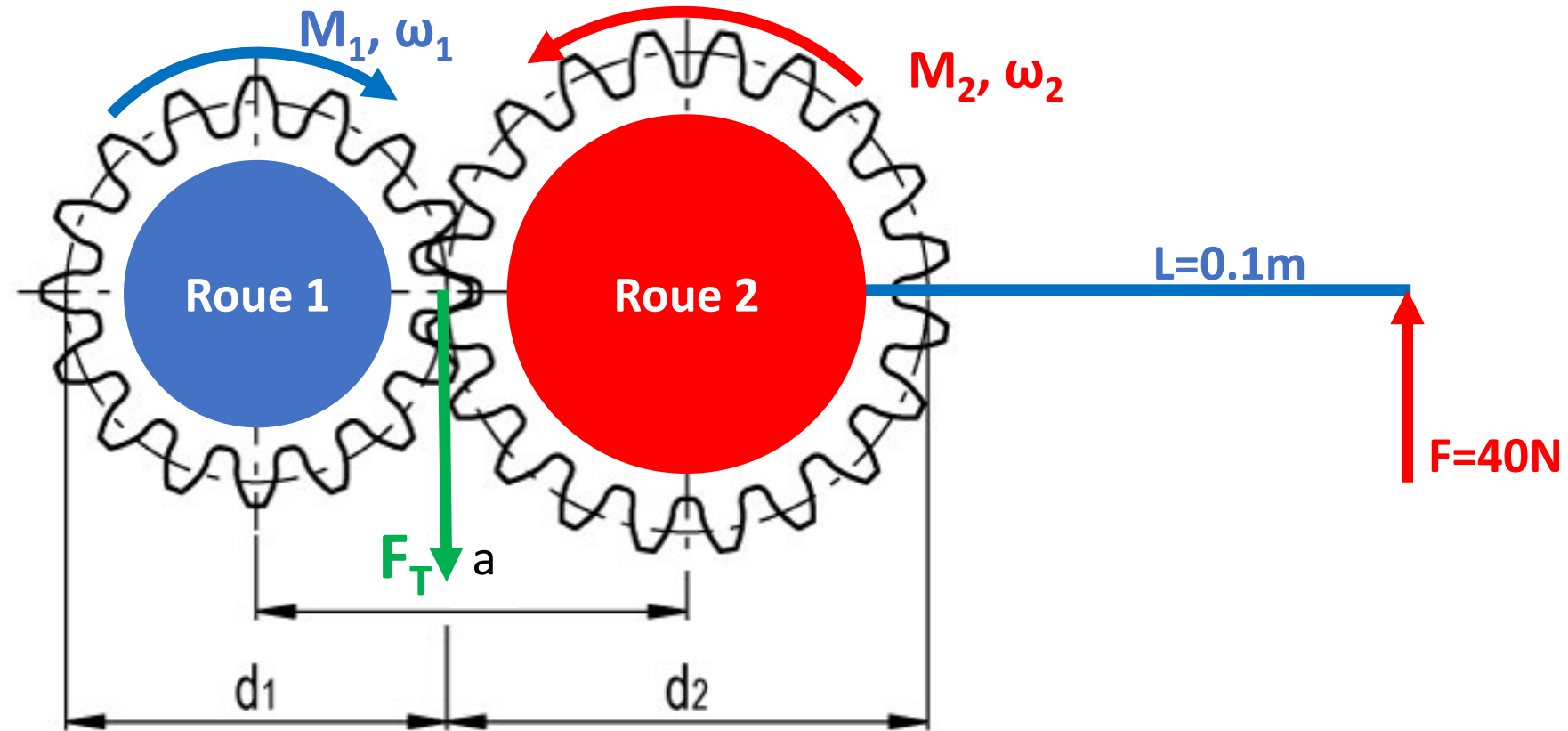


Effort tangentiel sur les dents engendré par la force sur la manivelle:

$$F_T = \frac{M_1}{r_1} = \frac{M_2}{r_2} = \frac{4}{0.018} = 222\text{N}$$

Exemple 2:

Tenue aux efforts



Les roues dentées résistent-elles aux efforts?

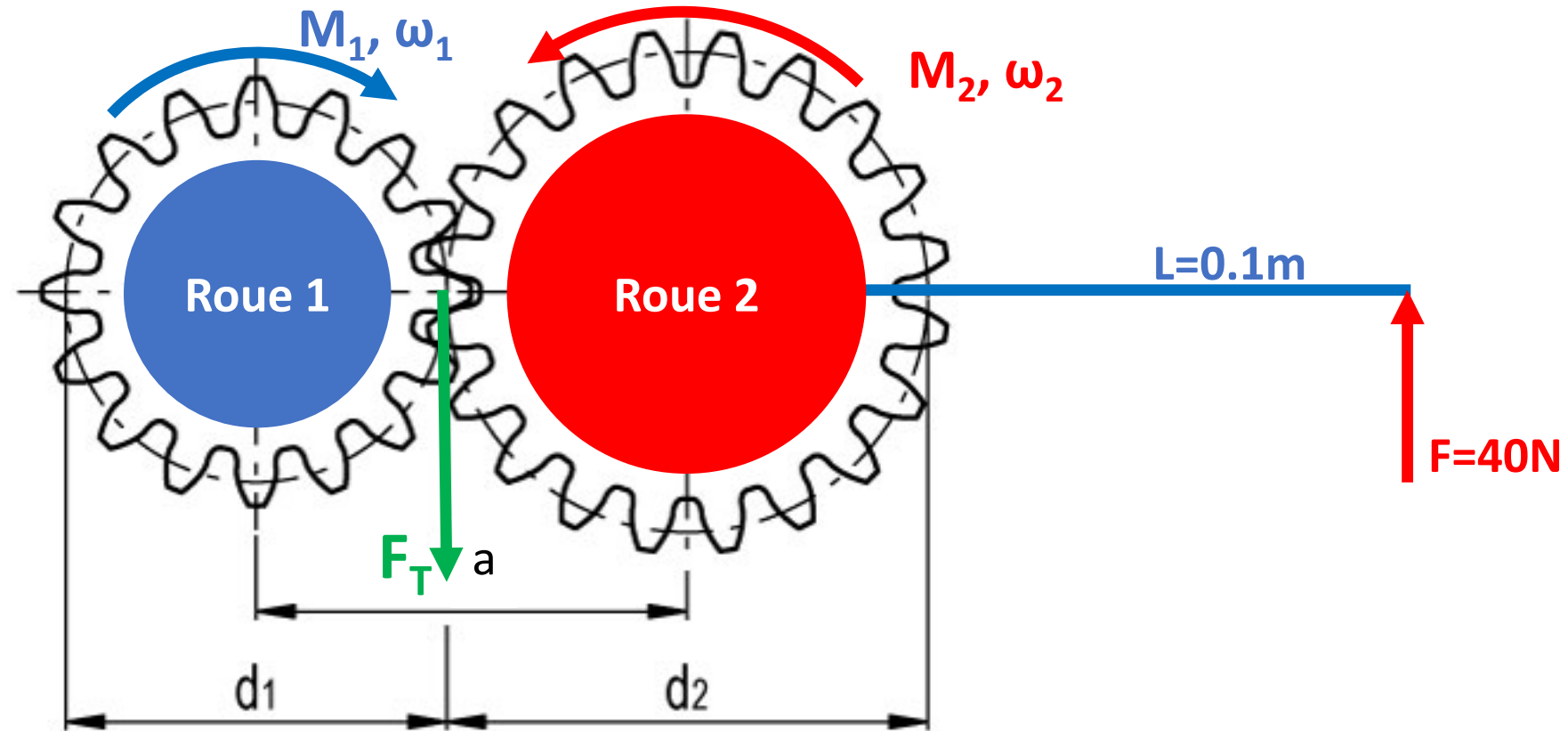
$$\sigma_{max} = 5.47 \frac{F_T}{k.m^2} = 5.47 \frac{222}{10} = 121.4\text{MPa}$$

Les roues sont en aciers avec  $R_{pE} = 210\text{MPa}$ .

Les dents des roues résistent donc aux efforts.

Exemple 2:

Tenue aux efforts



On calcule le module minimum pour tenir les 222N:

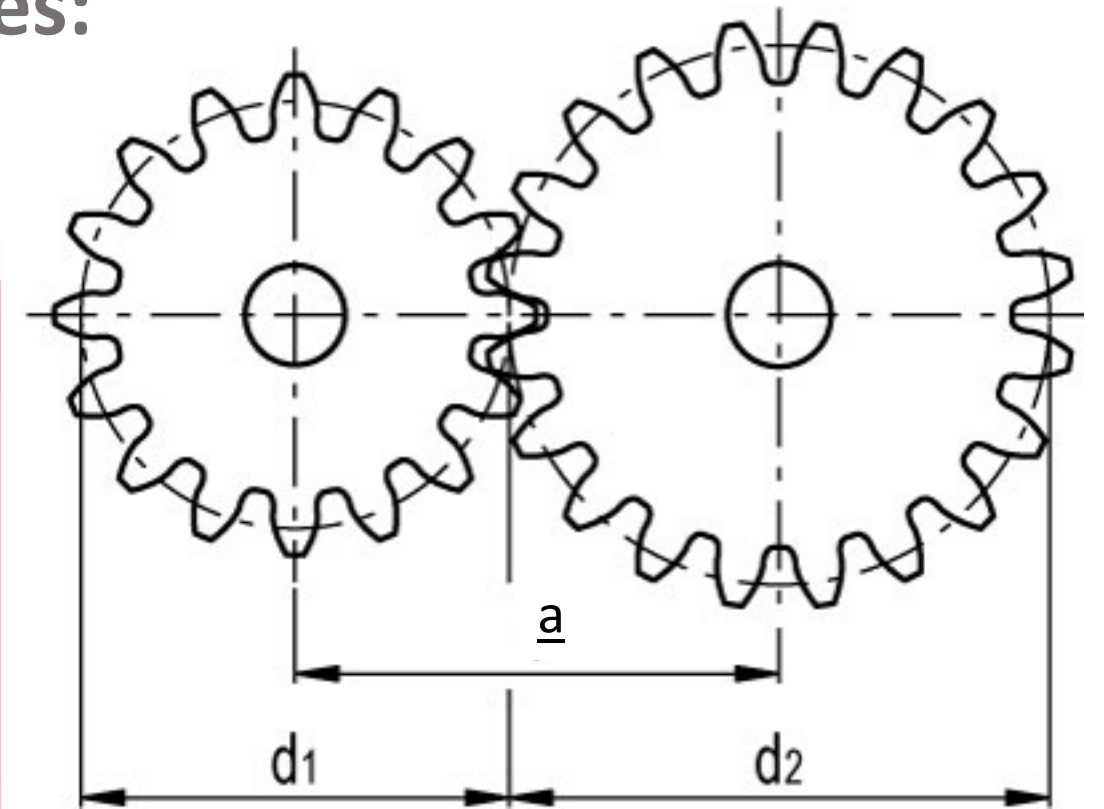
$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{F_T}{k \cdot \sigma_{pe}}} = 2,34 \sqrt{\frac{222}{10 \times 210}} = 0,76mm$$

Roue dentée de module 0.76mm minimum et de largeur  $b=k.m=7.6mm$  minimum.  
 $m=0.4mm$  trop petit.  
 $m=0.8mm$  ancienne normalisation donc  $m=1$  est conservé.

## Limites de rapport pour éviter les interférences:

En l'absence de correction de denture:

TABLE 8-7 Number of Pinion Teeth to Ensure No Interference				
For a pinion meshing with a rack		For a 20°, full-depth pinion meshing with a gear		
Tooth form	Minimum number of teeth	Number of pinion teeth	Maximum number of gear teeth	Maximum ratio
14½°, involute, full-depth	32	17	1309	77.00
20°, involute, full-depth	18	16	101	6.31
25°, involute, full-depth	12	15	45	3.00
		14	26	1.85
		13	16	1.23



18 dents minimum pour un engrenage pignon / crémaillère.

Au delà, il faut corriger les dentures.

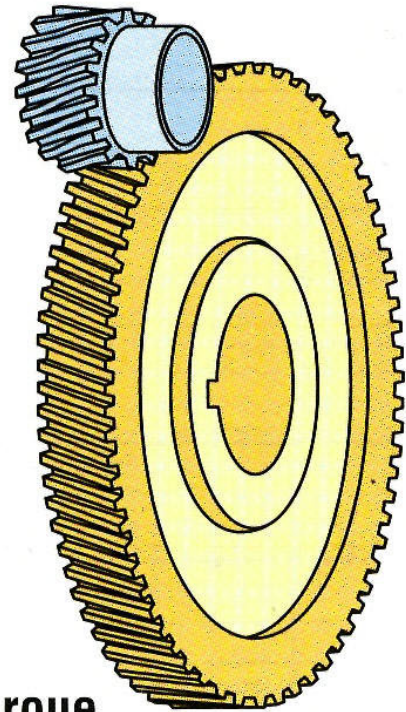
Source: MACHINE ELEMENTS IN MECHANICAL DESIGN Sixth Edition

Robert L. Mott University of Dayton - Edward M. Vavrek Purdue University - Jyhwen Wang Texas A&M University



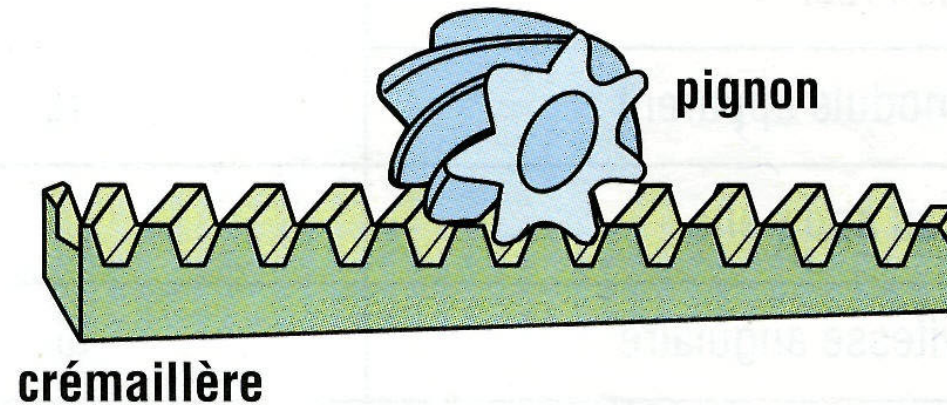
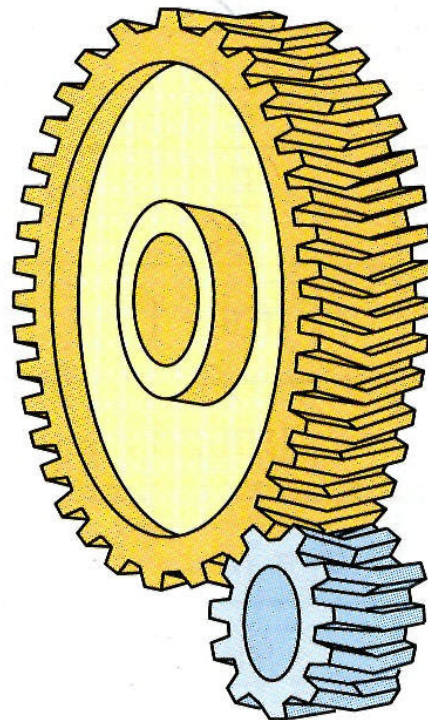
- Pour arbres parallèles
- Plus silencieux, plus progressif
- Plus performants en puissance et couple (plusieurs dents en prise: 2, 3, 4)
- Dents inclinées par rapport à l'axe de rotation des arbres: efforts axiaux sur arbres

pignon



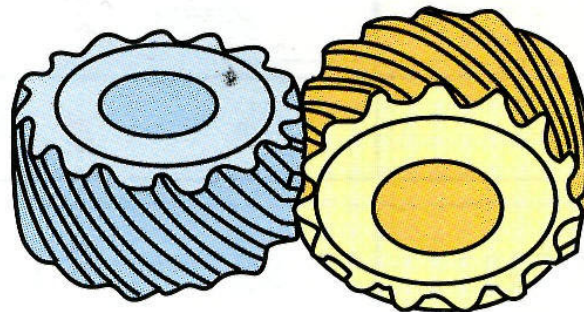
roue

denture chevron

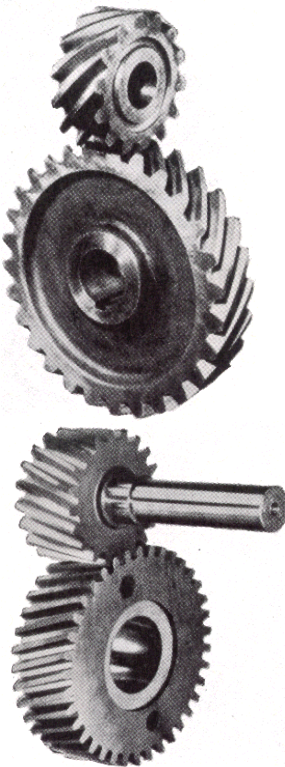
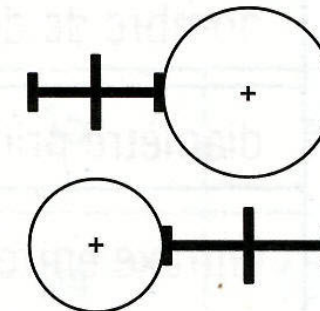


crémaillère

engrenages gauches

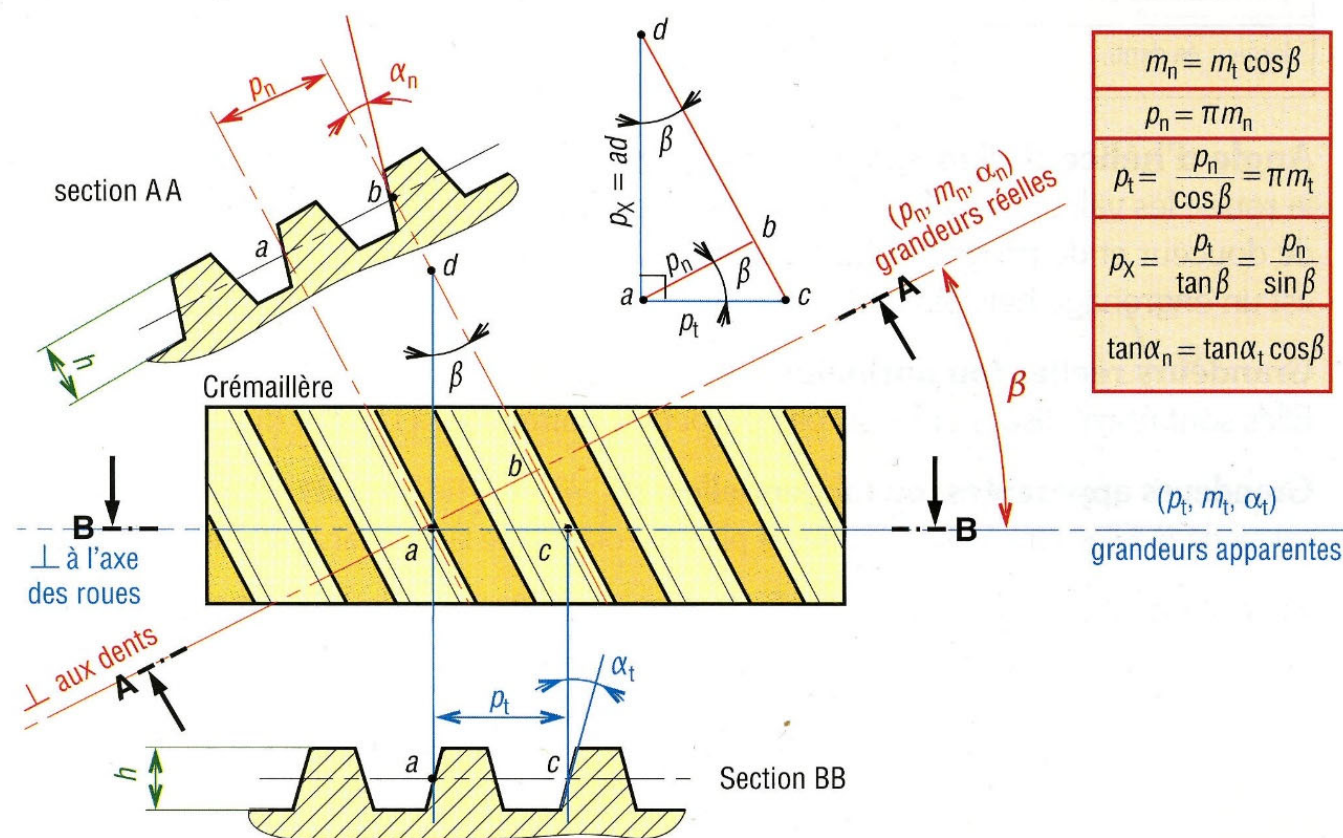


schéma





## Droits à denture hélicoïdale

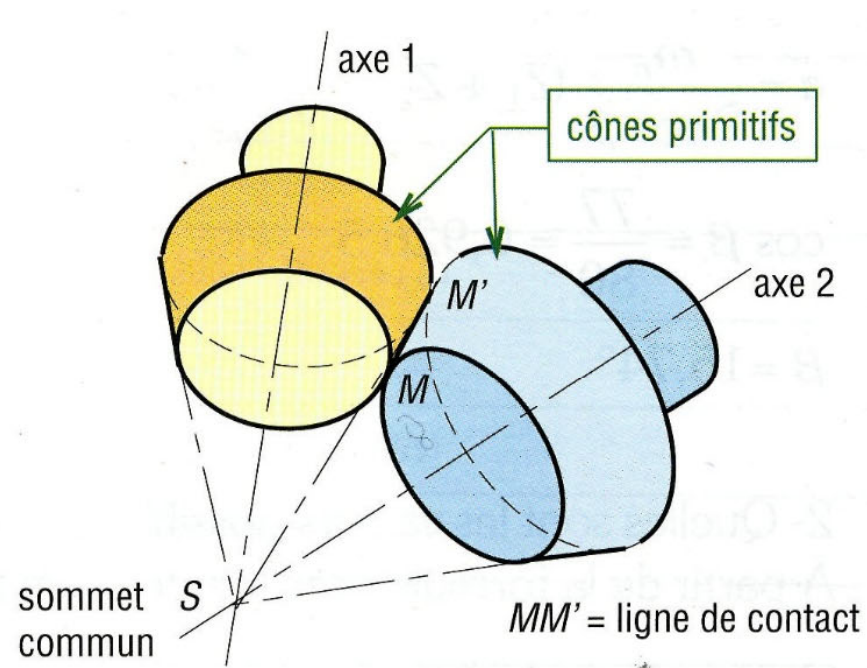
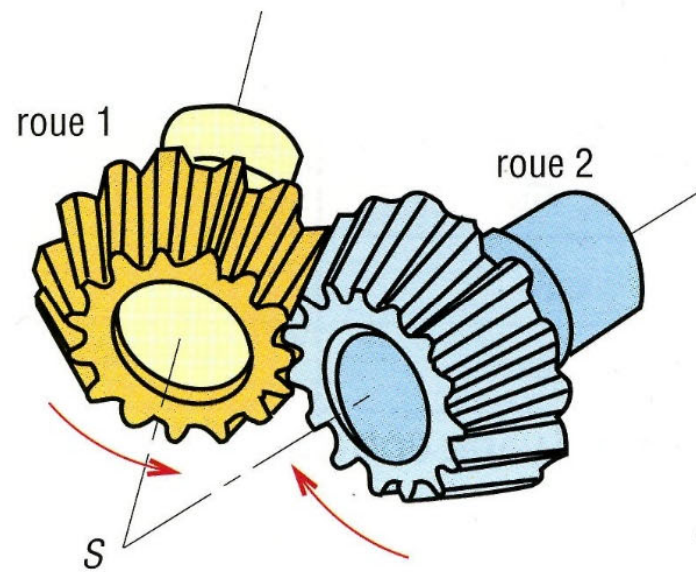


## Principales caractéristiques des engrenages droits à denture hélicoïdale

caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
angle d'hélice	$\beta$	valeurs usuelles : $15^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
sens de hélice		si la roue 1 a une hélice à droite, alors la roue 2 a une hélice à gauche
module réel	$m_n$	$m_n$ est à choisir dans la série des modules normalisés
pas réel	$p_n$	$p_n = \pi \cdot m_n$
module apparent	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$ (augmente avec $\beta$ )
pas apparent	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta} = \pi \cdot m_t$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1 n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = m_t Z_1$ et $d_2 = m_t Z_2$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_t (Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n (Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2 m_n$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m_n$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cos \alpha_t$
angle de pression réel	$\alpha_n$	valeur la plus usuelle : $\alpha = 20^\circ$
angle de pression apparent	$\alpha_t$	$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cdot \cos \beta$
pas de base réel	$p_{bn}$	$p_{bn} = p_n \cdot \cos \alpha_n$
pas de base apparent	$p_{bt}$	$p_{bt} = p_t \cdot \cos \alpha_t$
pas axial	$p_x$	$p_x = \frac{p_t}{\tan \beta} = \frac{p_n}{\sin \beta} = \frac{p_z}{Z}$
pas de l'hélice primitive	$p_z$	$p_z = \frac{\pi \cdot d}{\tan \beta} = Z \cdot p_x$
largeur de dent	$b$	$b > 2 \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta} = 2 p_x$

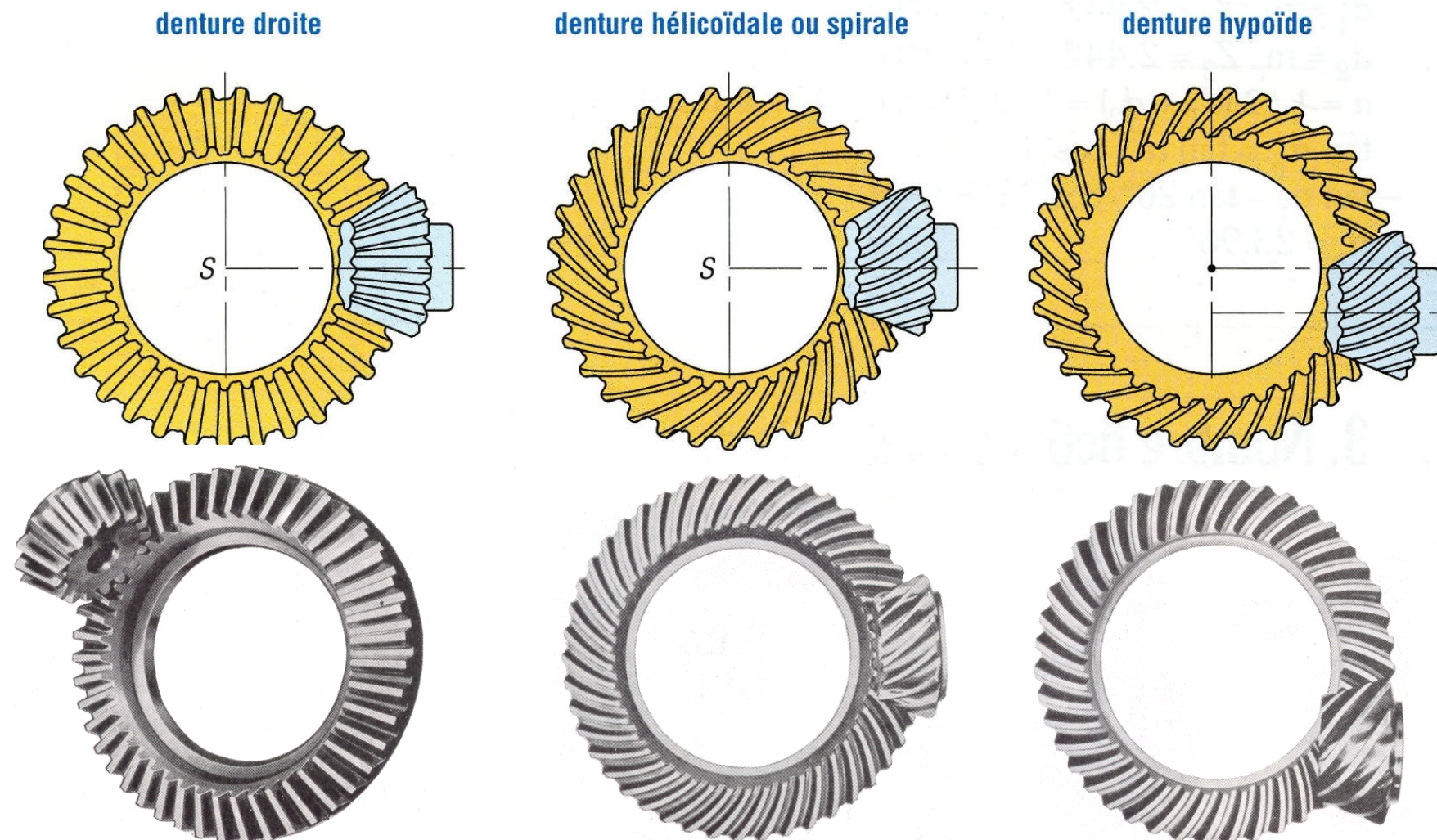


- Pour arbres non parallèles à axes concourants (axes à  $90^\circ$  les plus courants)



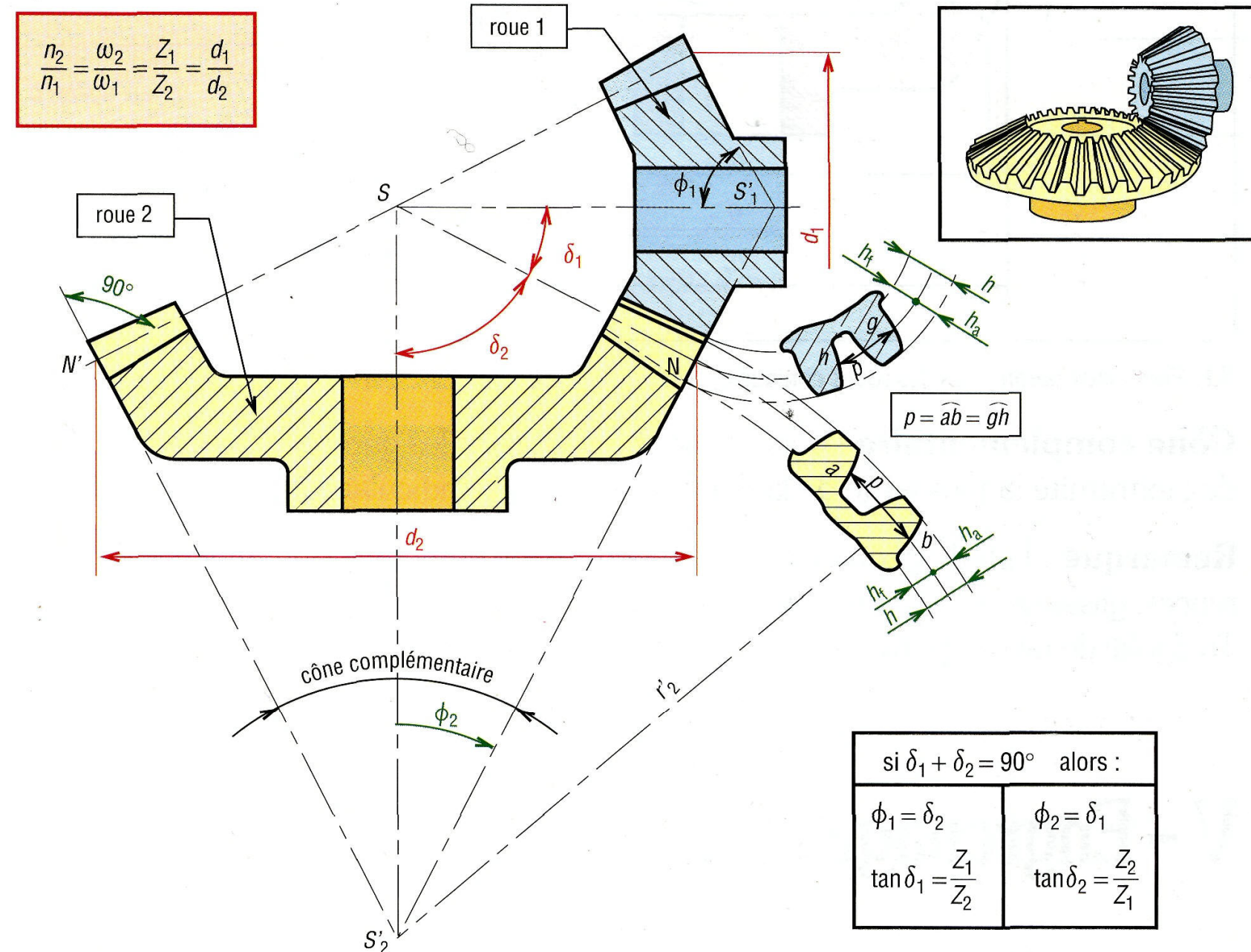
Dentures:

- Droites: les plus simples: plus bruyants, contraintes élevées sur les dents
- Hélicoïdales, Spirales: plus silencieux, progressifs

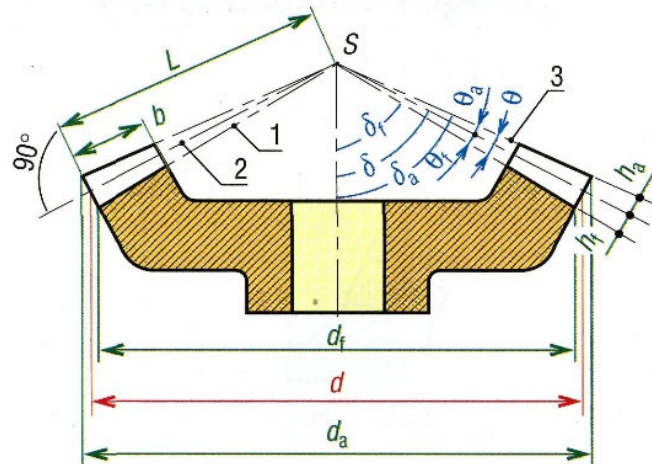




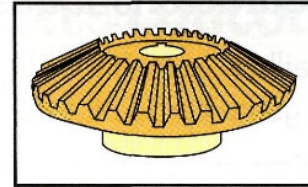
# Cinématique







1 : cône de pied  
2 : cône primitif  
3 : cône de tête



### Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite

caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = (\pi \cdot n)/30 \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
module	$m$	valeurs normalisées (tableau 1) mesurée sur cône complémentaire
pas primitif	$p$	$p = \pi \cdot m = 3,141\,59m$ (avec $p = p_1 = p_2$ )
nombre de dents	$z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
angle primitif	$\delta$	$\delta_1$ (roue 1) $\delta_2$ (roue 2)
angle de pression	$\alpha$	valeur la usuelle $\alpha = 20^\circ$
angle de tête	$\delta_a$	$\delta_a = \delta + \theta_a$
angle de creux	$\delta_f$	$\delta_f = \delta - \theta_f$
angle de saillie	$\theta_a$	$\tan \theta_a = 2m \cdot \sin \delta / d$
angle de creux	$\theta_f$	$\tan \theta_f = 2,5m \cdot \sin \delta / d$
angle de hauteur	$\theta$	$\theta = \theta_a + \theta_f$
longueur génératrice primitive		$L = d_1/2 \sin \delta_1 = d_2/2 \sin \delta_2$
largeur de dent	$b$	$L/4 \leq b \leq L/3$ (raisons de taillage)
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	$d_a$	$d_a = d + 2m \cdot \cos \delta$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m \cdot \cos \delta$
$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$		$\delta_1 + \delta_2 < 90^\circ$
$\phi_1 = \delta_2$ $\phi_2 = \delta_1$ $\tan \delta_1 = Z_1/Z_2$ $\tan \delta_2 = Z_2/Z_1$		$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{Z_1/Z_2 + \cos(\delta_1 + \delta_2)}$
		$\delta_1 + \delta_2 > 90^\circ$
		$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}{Z_1/Z_2 - \cos[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}$



## Exemple : Tenue aux efforts

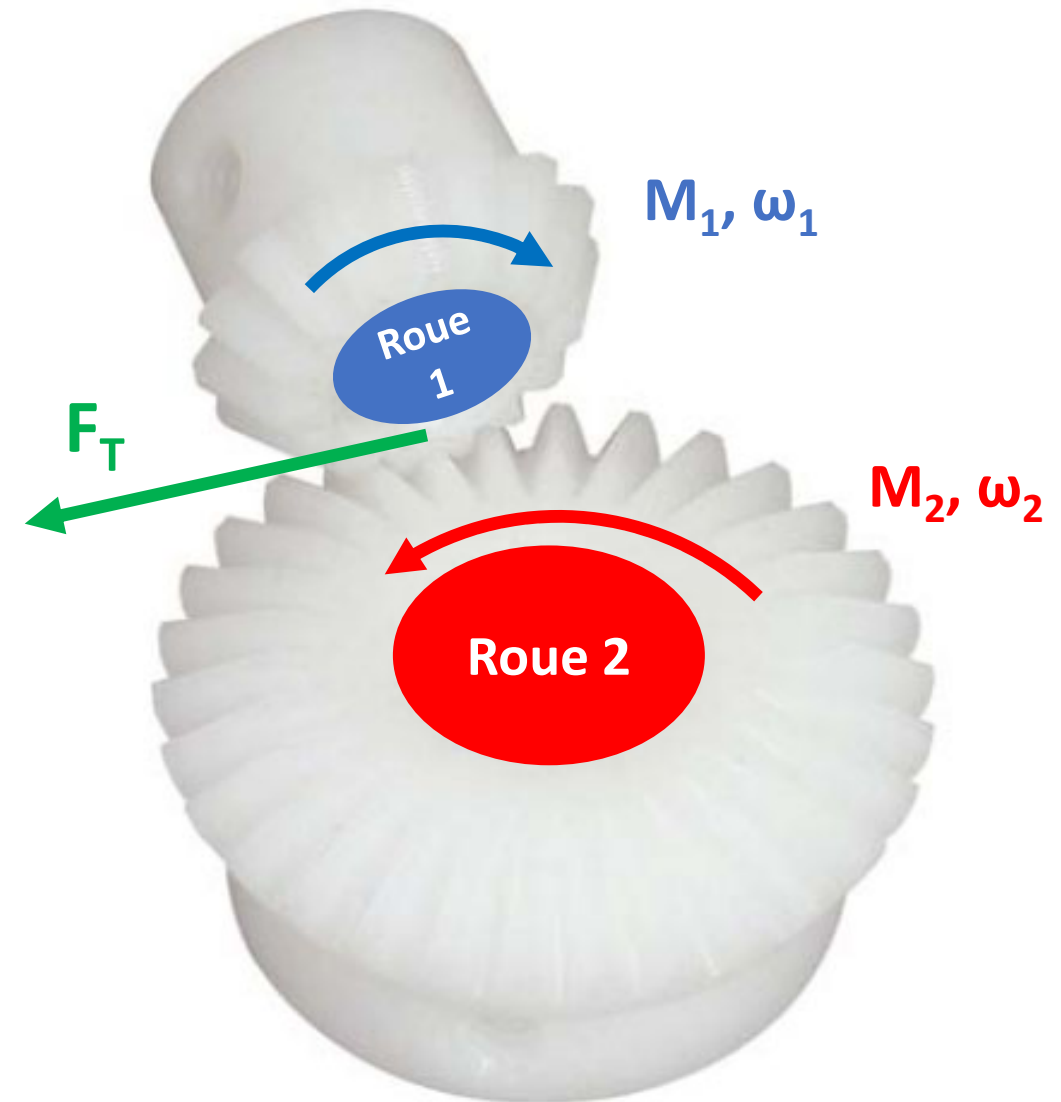
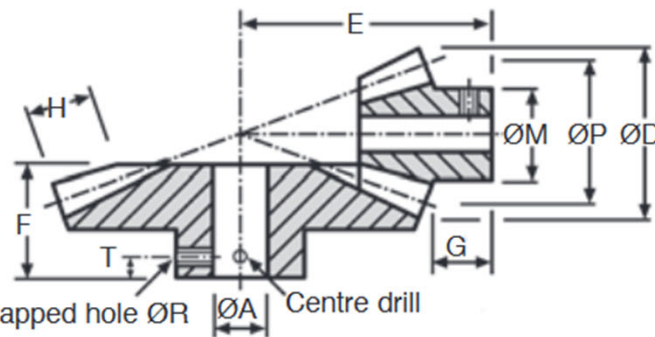


### Machined plastic bevel gear

Delrin

Ratio  
2:1  
3:1  
4:1

- Module 0.8 to 2.5
- Machined parts
- Pressure angle 20°
- Teeth Gleason
- Material:  
Delrin plastic
- Working temp. -50° to +80°C



TORQUE AND POWER INDICATION	For 20 teeth at 1000 rpm					
	2.5 MOD	2.0 MOD	1.5 MOD	1.25 MOD	1.0 MOD	0.8 MOD
Torque (Nm)	0.91	0.46	0.20	0.15	0.12	0.03
Power (kW)	0.09	0.05	0.02	0.016	0.013	0.003

#### DISCOUNTS

Qty	1+	6+	30+
Disc.	List	-22%	On request

Part number	Teeth											Price each	
	Z	Module	ØP	E	ØD	ØA	ØM	F	G	H	ØR	T	1 to 5
ZDB0.8-15	15	0,8	12,00	20,00	13,93	6	10	11,90	7,50	4,02	M3	3,50	16,99 €
ZDB0.8-30	30		24,00	14,00	24,64	8	20	10,08	5,50	4,02	M3	3,50	20,09 €
ZDB1-15	15	1	15,00	24,00	17,42	8	14	13,87	8,76	5,03	M4	4,00	19,28 €
ZDB1-30	30		30,00	18,00	30,58	10	25	13,11	7,00	5,03	M4	4,00	23,70 €
ZDB1.5-15	15	1,5	22,50	35,00	26,12	10	21	19,84	12,13	7,55	M4	5,00	26,74 €
ZDB1.5-30	30		45,00	27,00	45,87	10	30	19,66	11,00	7,55	M4	5,00	26,90 €
ZDB2-15	15	2	30,00	45,00	34,83	12	28	24,76	14,86	10,06	M5	7,50	23,24 €
ZDB2-30	30		60,00	35,00	61,16	12	40	25,21	14,00	10,06	M5	8,00	32,33 €

### Exemple : Tenue aux efforts

Données fournisseur:

Roue Z=20 dents – Module m=2mm

$$M_{\max} = 0.46 \text{ N.m}$$

Effort tangentiel maximum correspondant sur une dent:

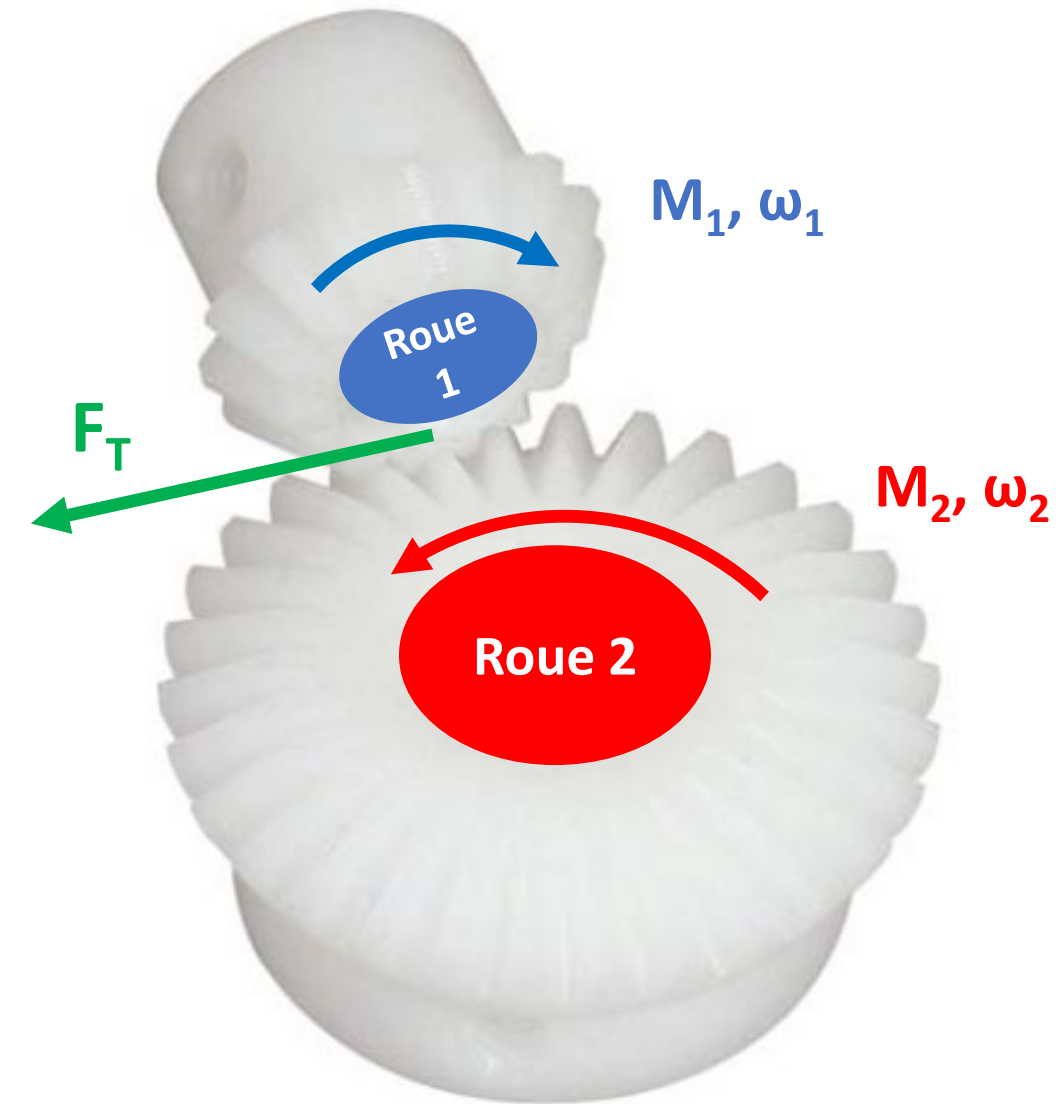
$$F_{T\max} = M_{\max} / R = M_{\max} / (m \cdot Z / 2) = 23 \text{ N}$$

1 dent résiste à un maximum de 23N.

Moment maximum sur les roues 15 et 30 dents:

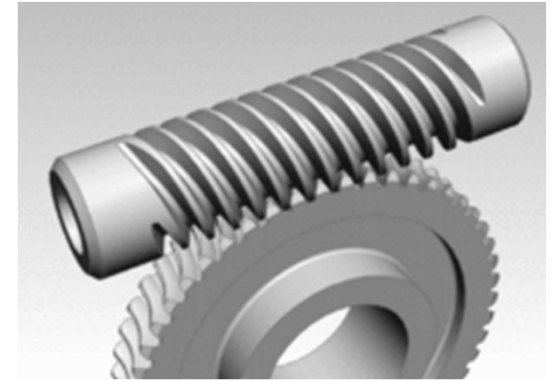
$$M_{15\text{dents}} = F_{T\max} \cdot R_{15\text{dents}} = 23 \times (0.002 \times 15 / 2) = 0.345 \text{ N.m}$$

$$M_{30\text{dents}} = F_{T\max} \cdot R_{30\text{dents}} = 23 \times (0.002 \times 30 / 2) = 0.69 \text{ N.m}$$

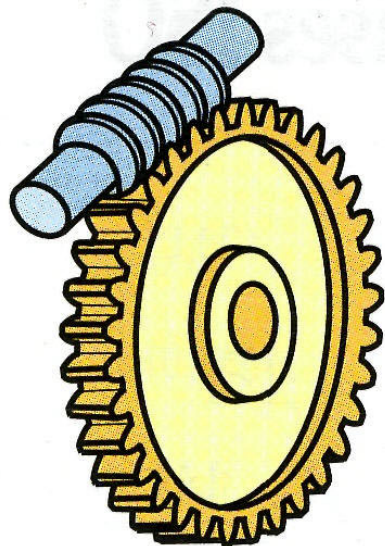




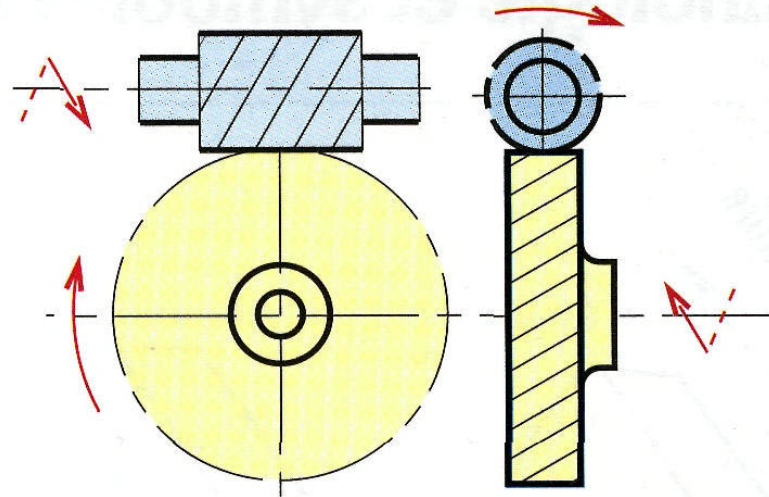
- Vis sans fin: filet à droite ou à gauche pour sens de rotation
- Axes orthogonaux
- Rapport de réduction jusqu'à 1/200
- Engrenement doux (silencieux, sans chocs)
- Attention à l'irréversibilité du mouvement !
- Glissement et frottement importants: rendement médiocre
- Il faut des matériaux en contact à faible frottement et lubrification.



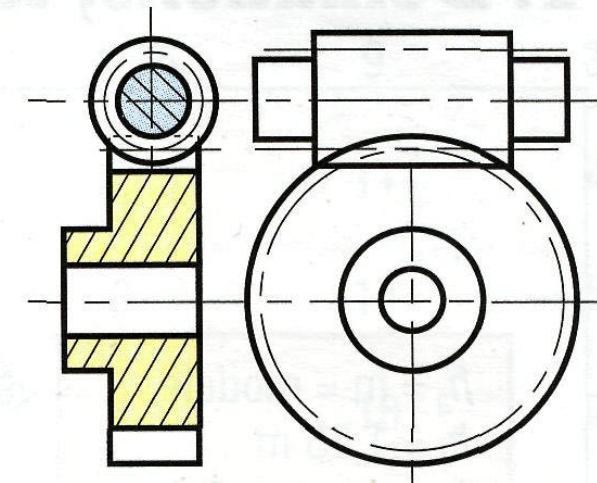
perspective



principe



dessin normalisé



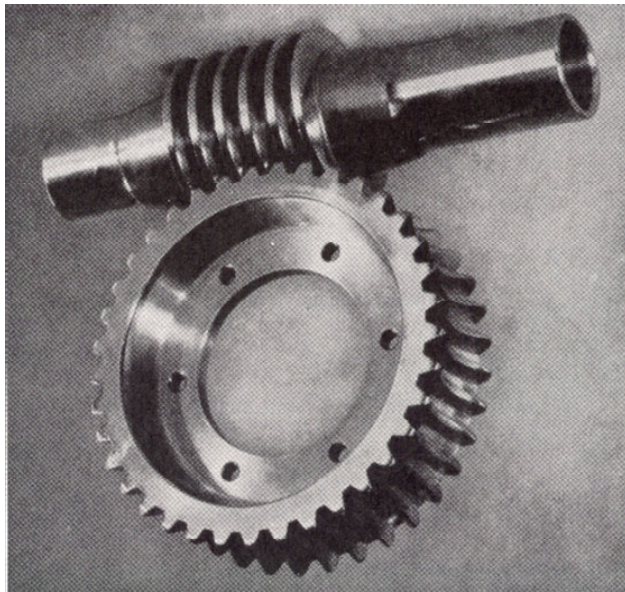


Principales caractéristiques des engrenages roue et vis

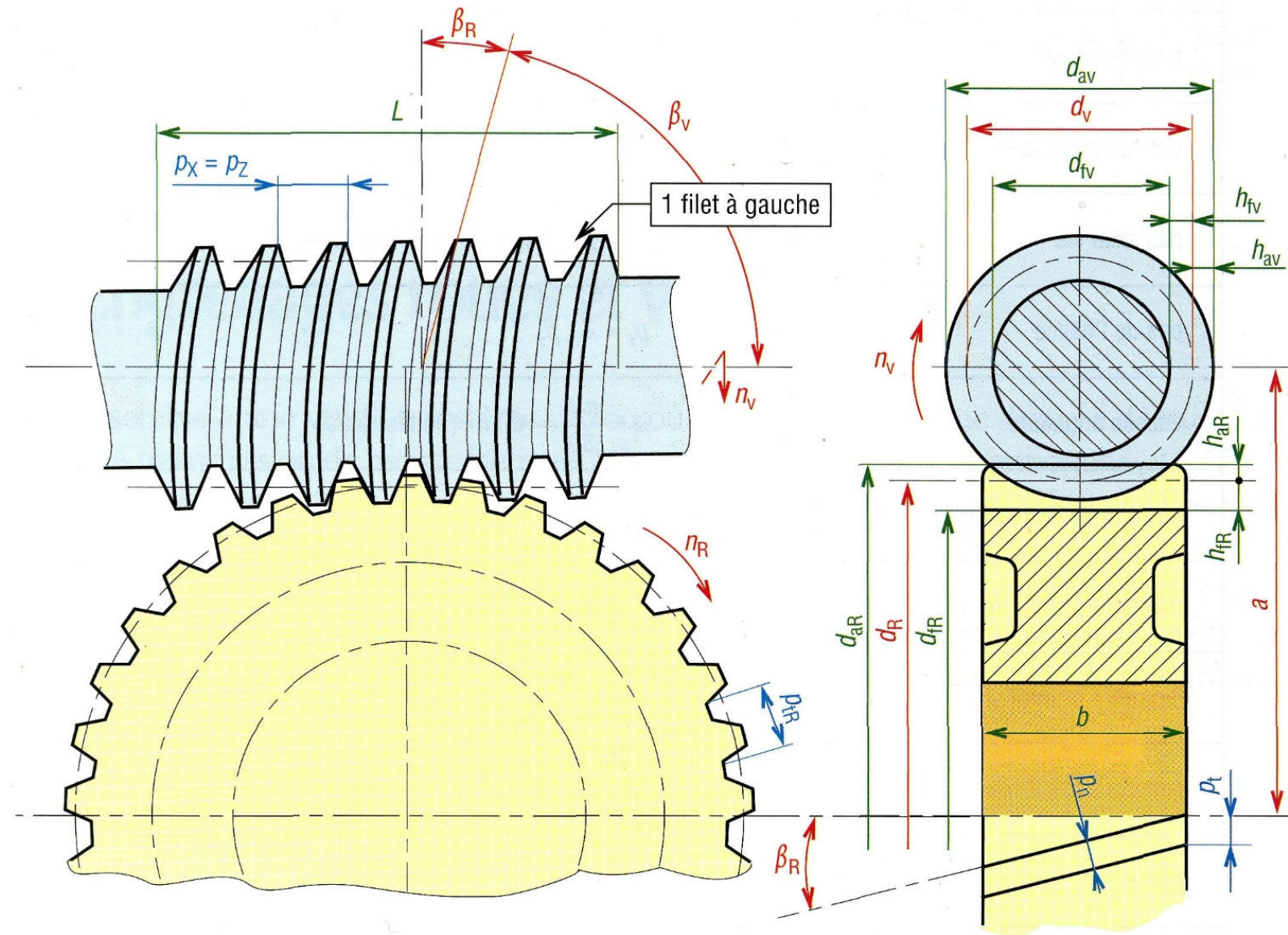
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
nombre de filets vis	$Z_V$	
nombre de dents roue	$Z_R$	$Z_R + Z_V > 40$
angle d'hélice vis	$\beta_V$	irréversibilité si $\beta_R < 6^\circ$ à $10^\circ$
angle d'hélice roue	$\beta_R$	$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$
sens des hélices		le sens (à droite ou à gauche) est le même pour la vis et la roue
module réel roue	$m_n$	$m_n$ (le même pour la vis et la roue)
module axial vis	$m_x$	$m_x = \frac{p_x}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_R} = \frac{m_n}{\sin \beta_V}$
pas réel roue	$p_n$	$p_n = \pi \cdot m_n$
pas apparent roue	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta_R} = \pi \cdot m_t$
pas axial vis	$p_x$	$p_x = p_t$ (pas axial vis = pas apparent roue)
pas de l'hélice	$p_z$	$p_z = Z_V \cdot p_x$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_V$ vis et $n_R$ roue

diamètre primitif roue	$d_R$	$d_R = m_t \cdot Z_R$
diamètre primitif vis	$d_V$	$d_V = \frac{p_z}{\pi \tan \beta_R}$ et $\frac{a^{0,875}}{3} \leq d_V \leq \frac{a^{0,875}}{1,7}$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_V + d_R}{2}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f$
diamètre de tête vis	$d_{aV}$	$d_{aV} = d_V + 2m_n$
diamètre de pied vis	$d_{fV}$	$d_{fV} = d_V - 2,5m_n$
angle de pression réel	$\alpha_n$	commun à la vis et à la roue valeur : $14^\circ 30'$ , $20^\circ$ , $25^\circ$ et $30^\circ$
angle de pression axial vis	$\alpha_x$	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
longueur de la vis	$L$	$L \approx 5p_x$ ou $6p_x$





Si  $\beta_R < 6$  à  $10^\circ$   
mécanisme irréversible



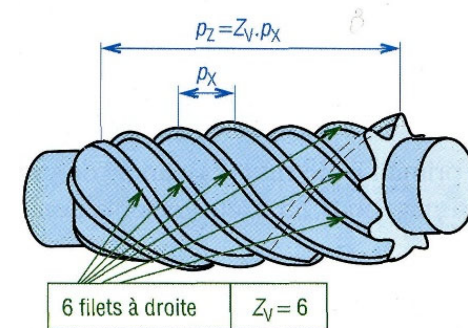
$$\frac{n_R}{n_V} = \frac{Z_V}{Z_R}$$

$$\frac{n_R}{n_V} \neq \frac{d_V}{d_R}$$

$$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$$

$$a = \frac{m_n}{2} \left( \frac{Z_V}{\sin \beta_R} + \frac{Z_R}{\cos \beta_R} \right)$$

$$\begin{aligned} p_{tR} &= p_X \\ p_n &= p_{nV} = p_{nR} \end{aligned}$$





## Cas du frottement

Si  $f$  est le coefficient de frottement entre les roues

$$F_{Tv} = F (\cos \alpha_n \cdot \sin \beta + f \cdot \cos \beta)$$

$$F_{Tr} = F (\cos \alpha_n \cdot \cos \beta - f \cdot \sin \beta)$$

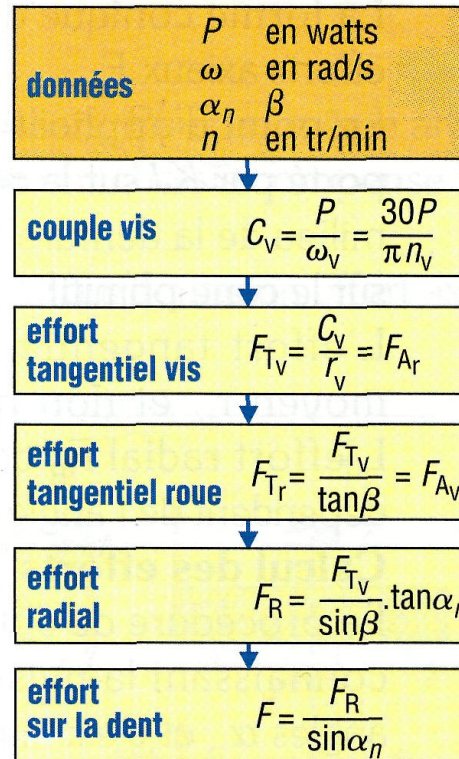
$$F_R = F \cdot \sin \alpha_n \text{ (inchangé)}$$

$$\eta = \frac{\text{puissance sortie}}{\text{puissance entrée}}$$

$$= \frac{\cos \alpha_n - f \cdot \tan \beta}{\cos \alpha_n + f \cdot \cot \beta}$$

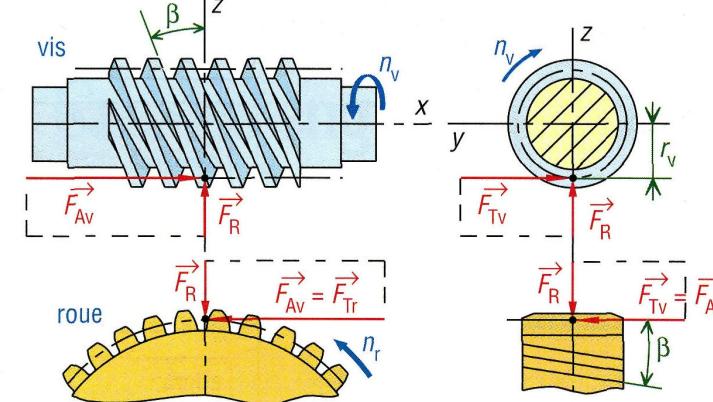
Variation du rendement  $\eta$  lorsque  $f = 0,05$  et  $\alpha_n = 20^\circ$

$\beta$ (deg)	1	2	3	5	8	15	25	30	40
$\eta$	0,25	0,40	0,49	0,62	0,72	0,82	0,88	0,89	0,90

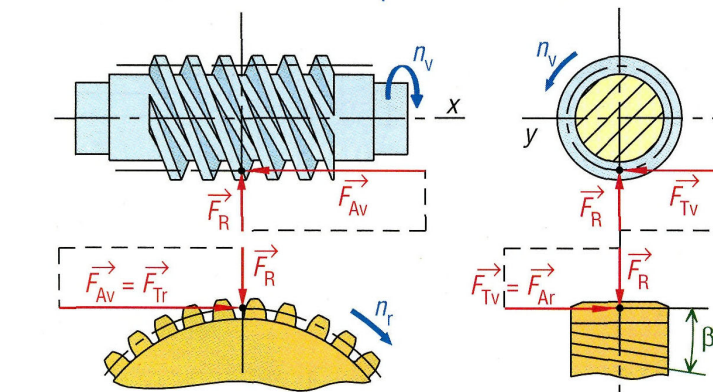


$F_{Av}$  : effort axial sur la vis  
 $F_{Tv}$  : effort tangentiel sur la vis  
 $F_R$  : effort radial (roue et vis)  
 $F_{Ar}$  : effort axial sur la roue  
 $F_{Tr}$  : effort tangentiel sur la roue  
 $F$  : effort total sur la dent (roue et vis)

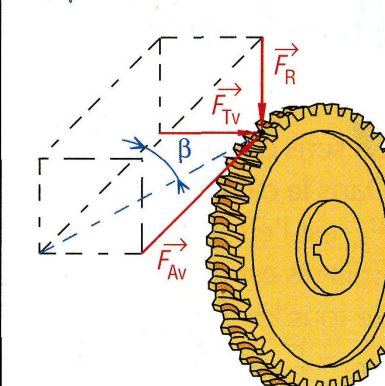
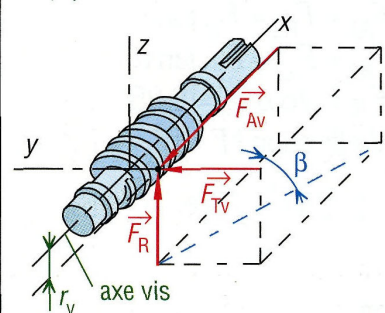
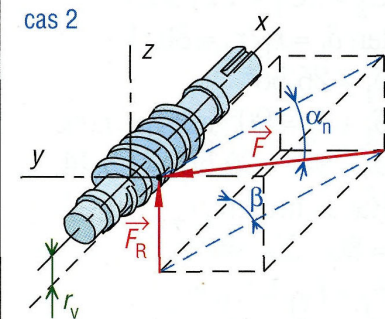
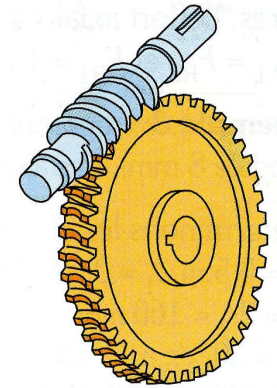
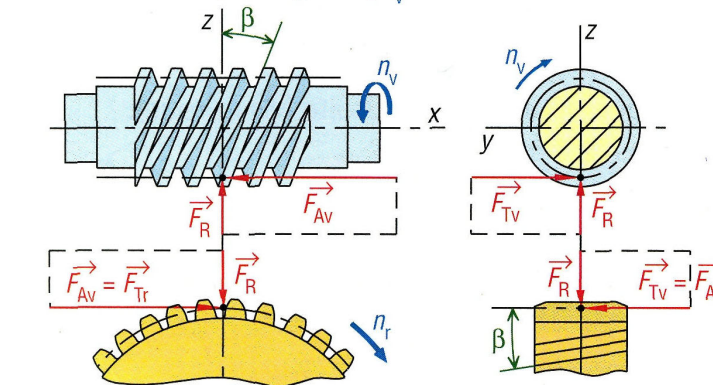
cas 1 : vis menante, filet à droite,  $n_v > 0$



cas 2 : vis menante, filet à droite,  $n_v < 0$

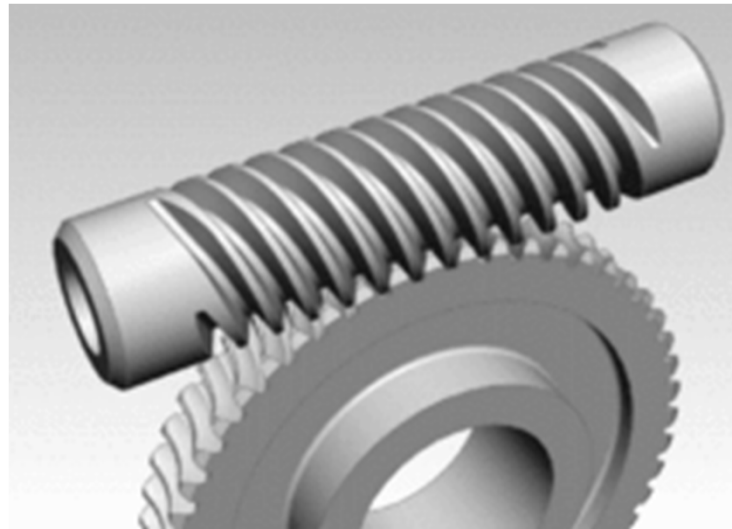


cas 3 : vis menante, filet à gauche,  $n_v > 0$

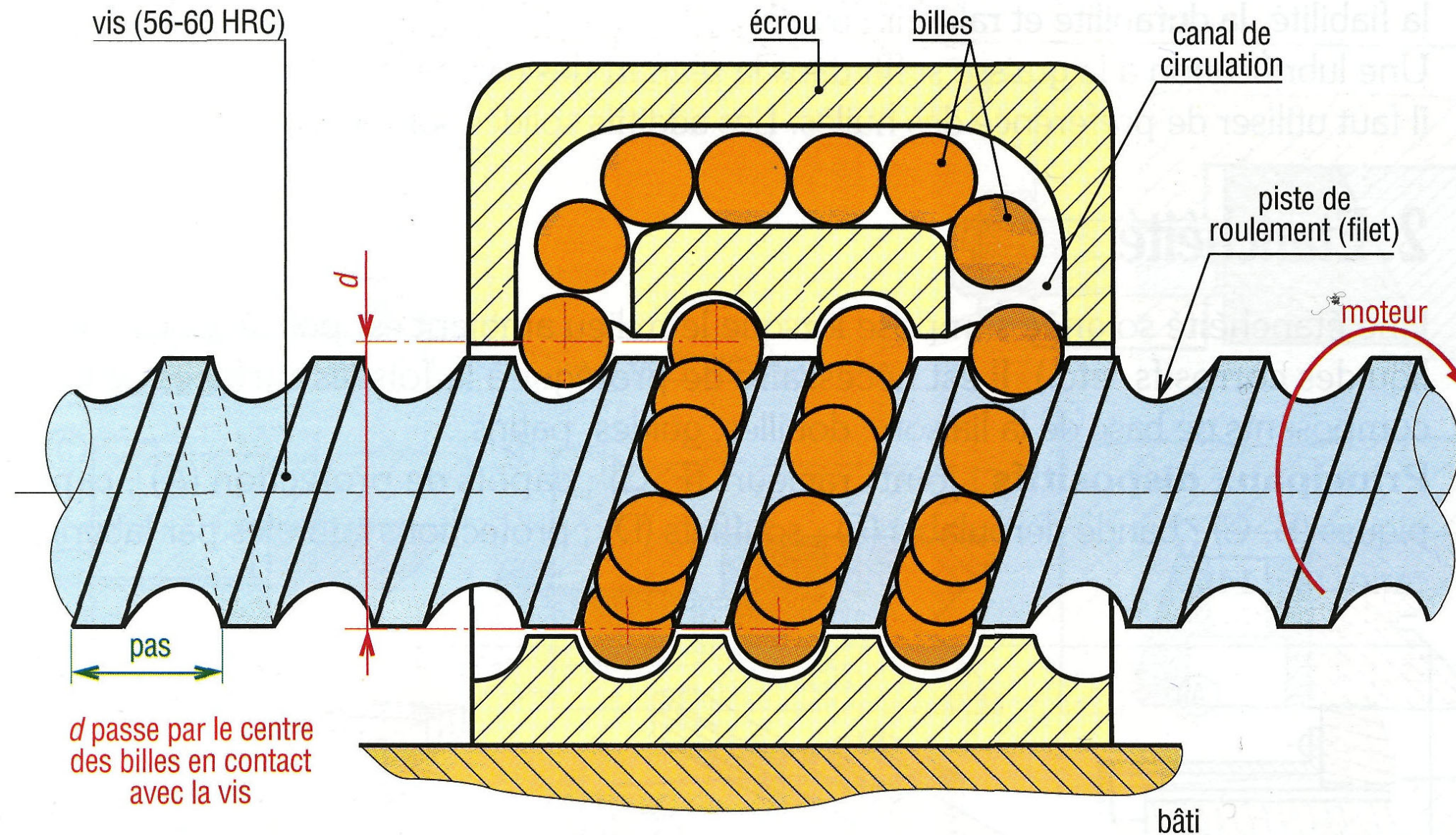




- La vis peut toujours entraîner la roue.
- Mouvement irréversible:  
La roue ne peut pas entraîner la vis si  $\beta_R < 6$  à  $10^\circ$  = mécanisme irréversible.  
Il y a blocage si on ne tourne pas la vis.  
Propriété intéressante pour mécanismes avec non-retour.



Vis a billes (rendement 98%):



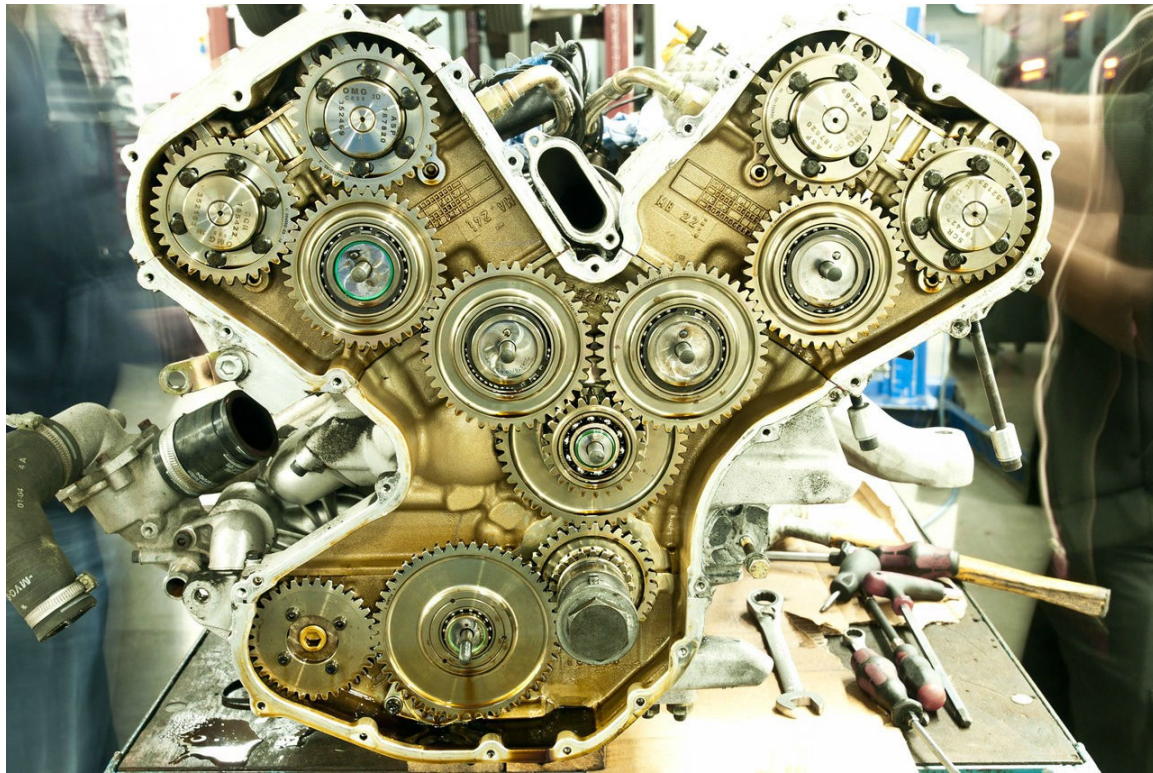
Fabrication

<https://www.youtube.com/watch?v=XZgsV0AZJJ0>



### Train d'Engrenages:

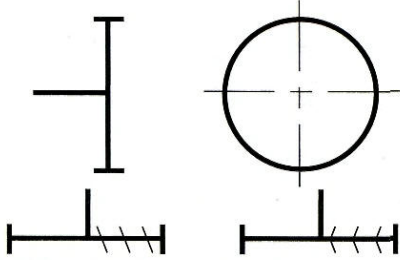
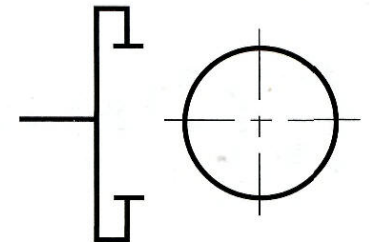
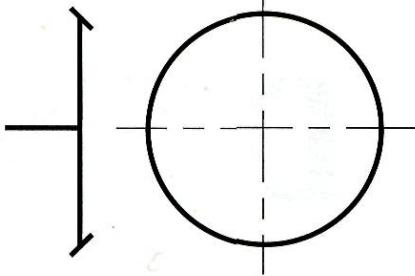
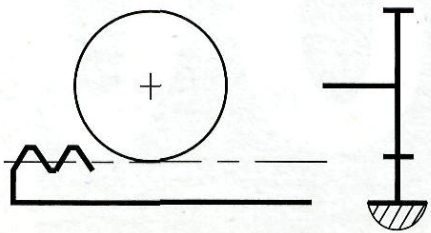
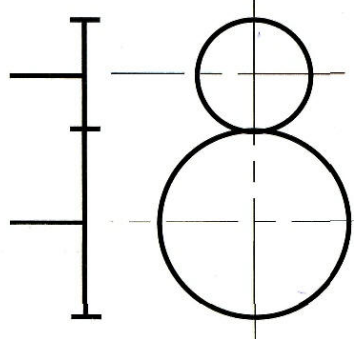
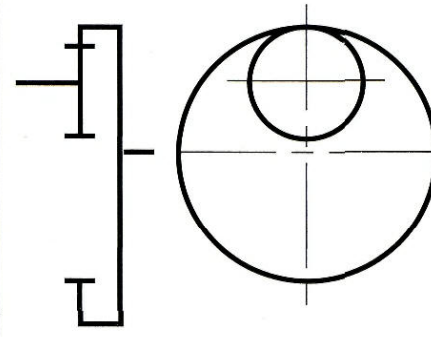
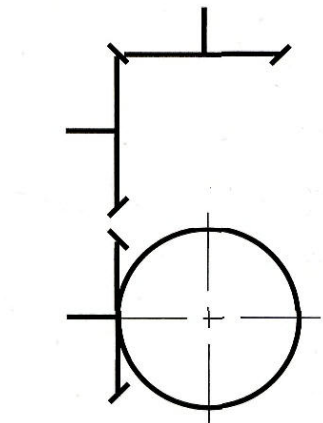

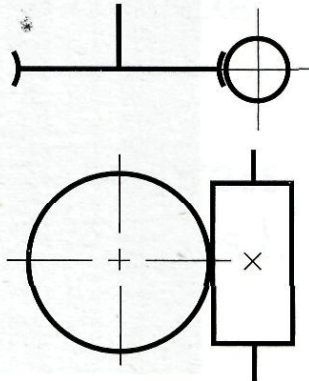
- Engrenages cylindriques: les plus courants
- Dentures droites pour faible puissance, engrenages intérieurs, trains épicycloïdaux
- Dentures hélicoïdales pour grande puissance, silence
- Fonctionnement en réducteur: vitesse réduite, couple augmenté



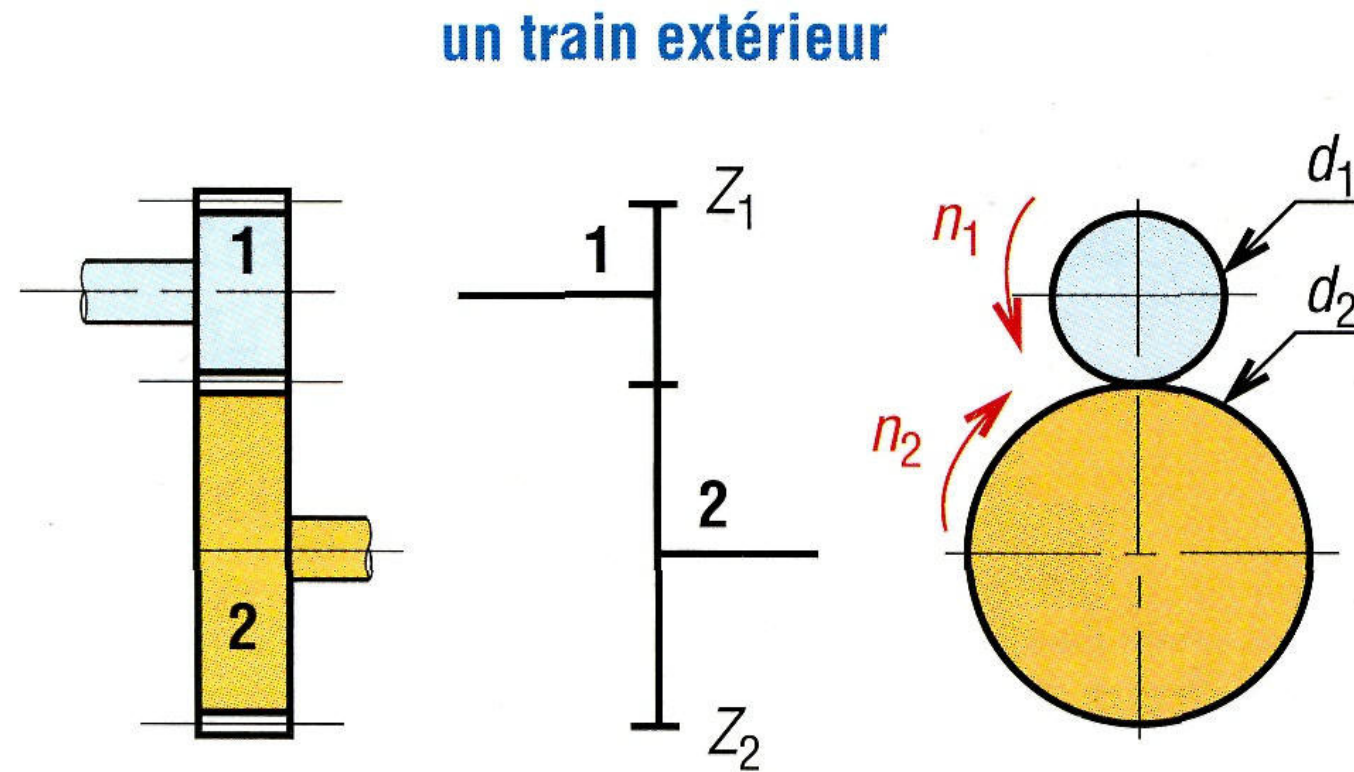
Distribution V12 Ferrari F140



## Train d'Engrenages - Schématisation

Schémas cinématiques (normalisation)			
 héliçoïdale    chevron			
roue extérieure	roue intérieure	roue conique	roue et crémaillère
		 spirale	
denture extérieure	denture intérieure		
engrenages droits		engrenages coniques	roue et vis sans fin

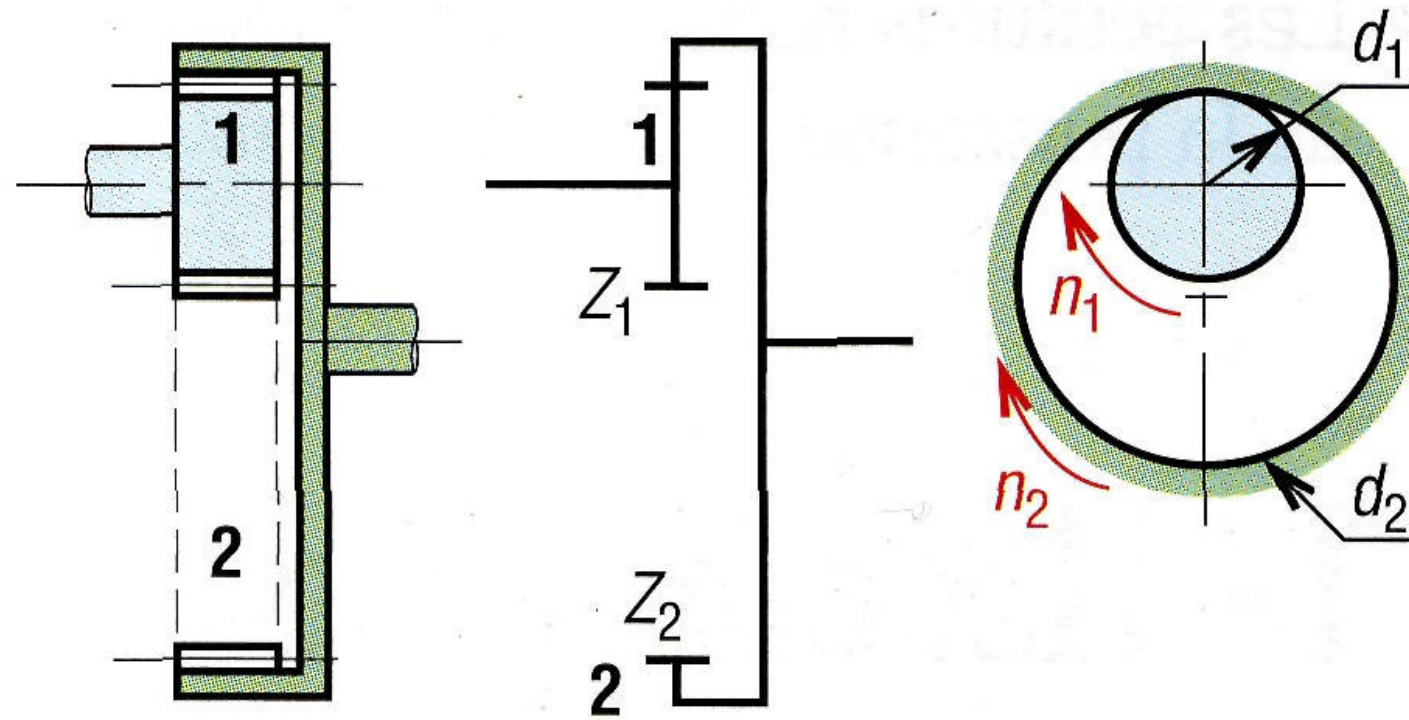
Train réducteur extérieur: inversion du sens de rotation entrée/sortie



$$R_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = -\frac{Z_1}{Z_2} = -\frac{d_1}{d_2}$$

Train réducteur intérieur: pas d'inversion du sens de rotation

un train intérieur



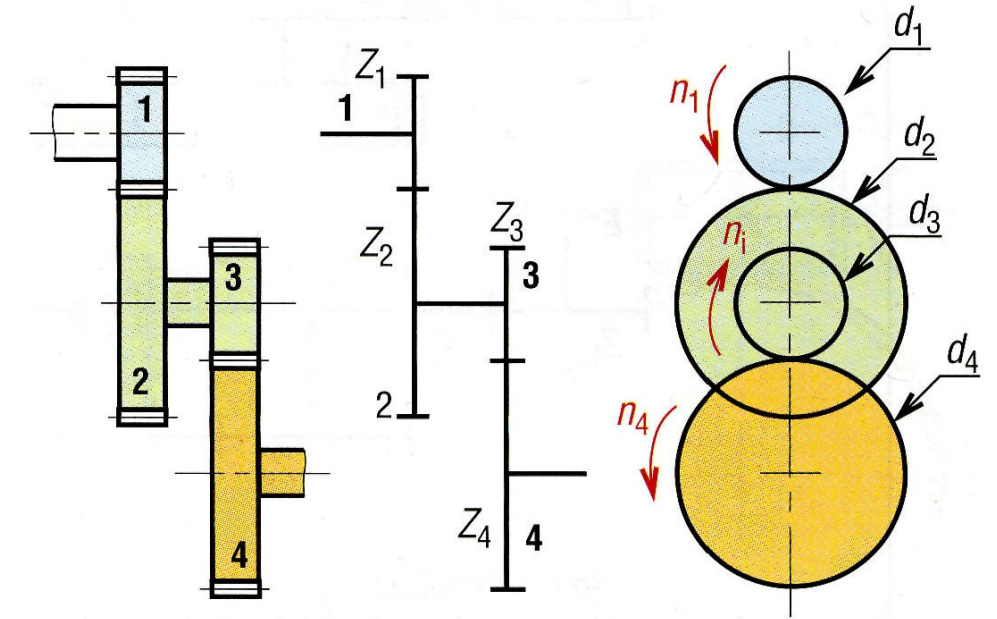
$$R_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{d_1}{d_2}$$



Trains a 2 engrenages:

$$R_{4/1} = \frac{\omega_4}{\omega_1} = R_{4/3} \cdot R_{2/1} = \frac{\omega_4}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = -\frac{Z_3}{Z_4} \cdot -\frac{Z_1}{Z_2}$$

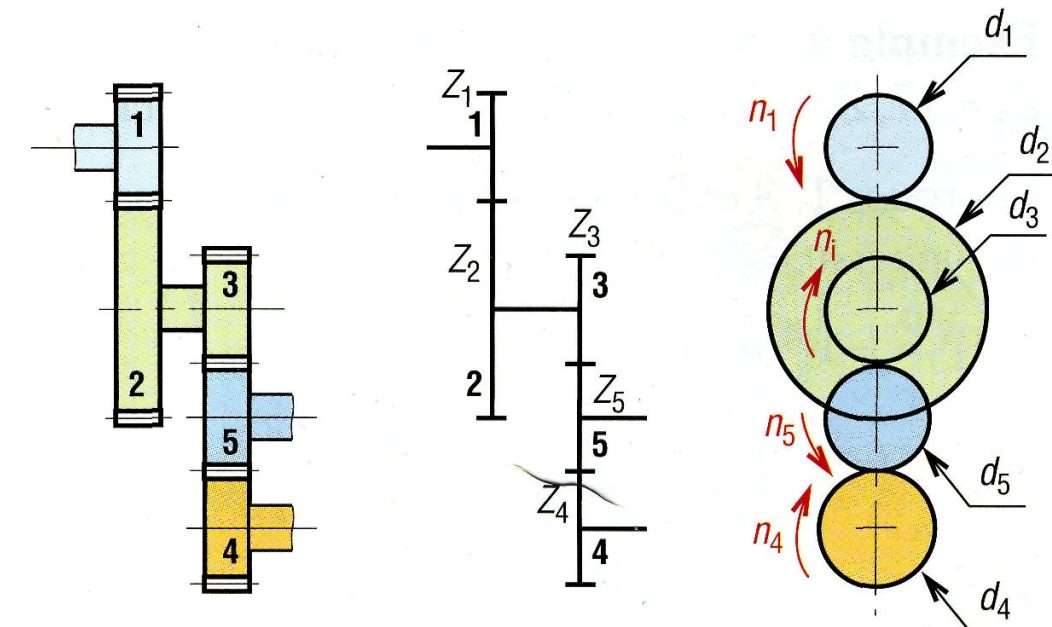
$$R_{4/1} = \frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 \cdot Z_2} = \frac{d_3 \cdot d_1}{d_4 \cdot d_2}$$



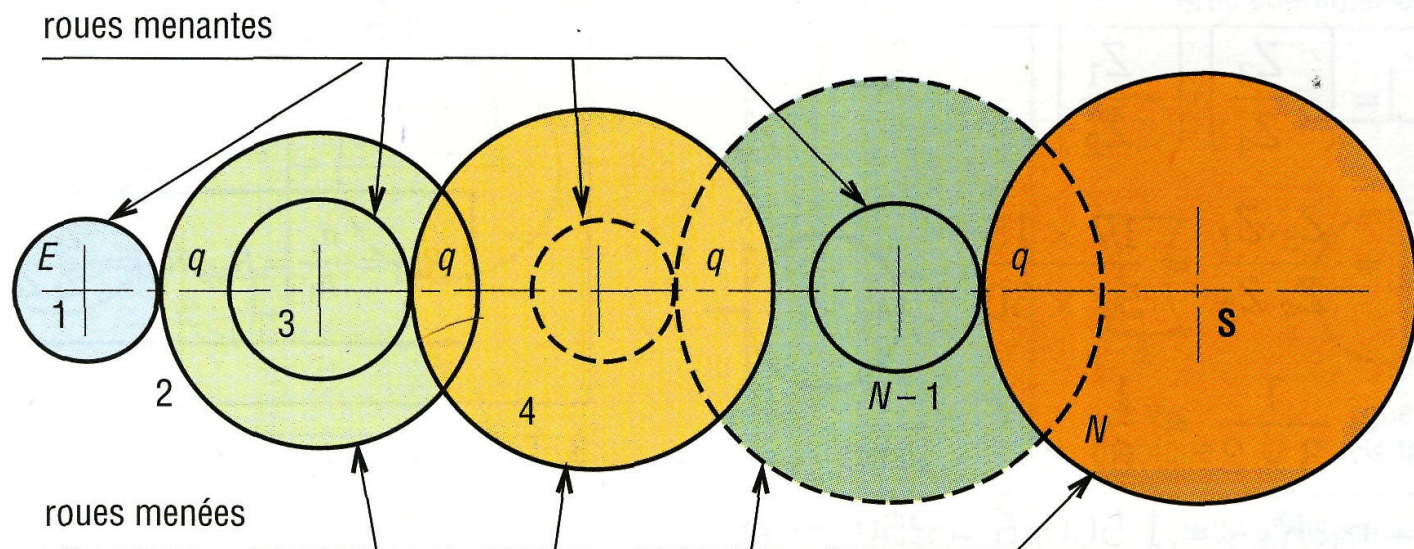
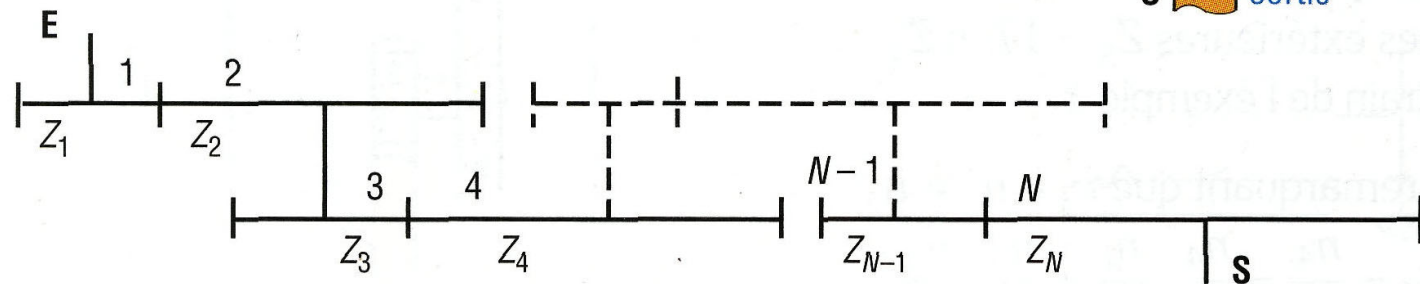
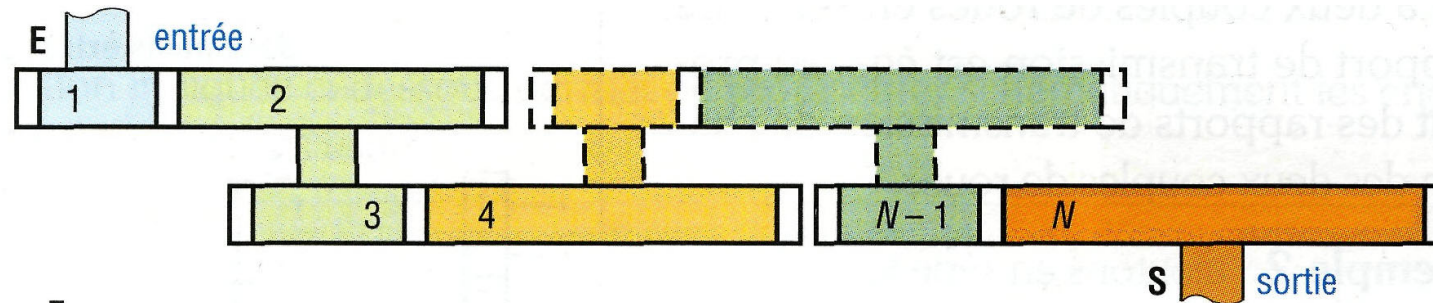
Trains a 2 engrenages et roue d'inversion:

$$R_{4/1} = \frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{\omega_4}{\omega_5} \cdot \frac{\omega_5}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = -\frac{Z_5}{Z_4} \cdot -\frac{Z_3}{Z_5} \cdot -\frac{Z_1}{Z_2}$$

$$R_{4/1} = -R_{4/3} \cdot R_{2/1} = \frac{\omega_4}{\omega_1} = -\frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 \cdot Z_2} = -\frac{d_3 \cdot d_1}{d_4 \cdot d_2}$$



## Trains a N engrenages:



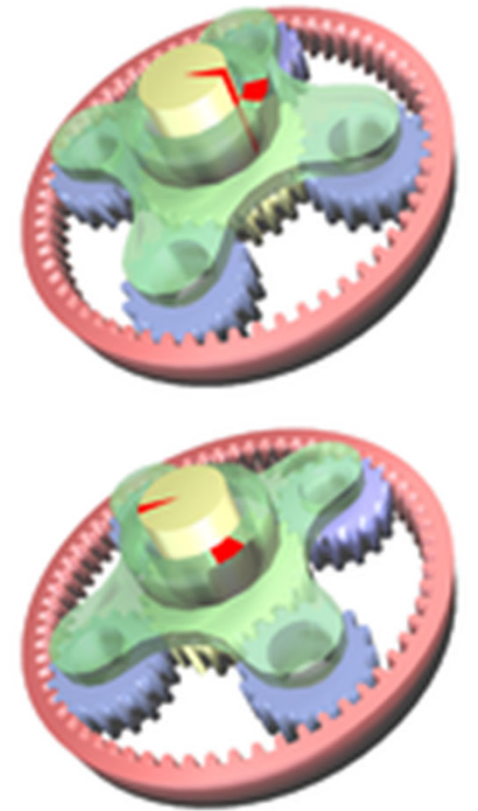
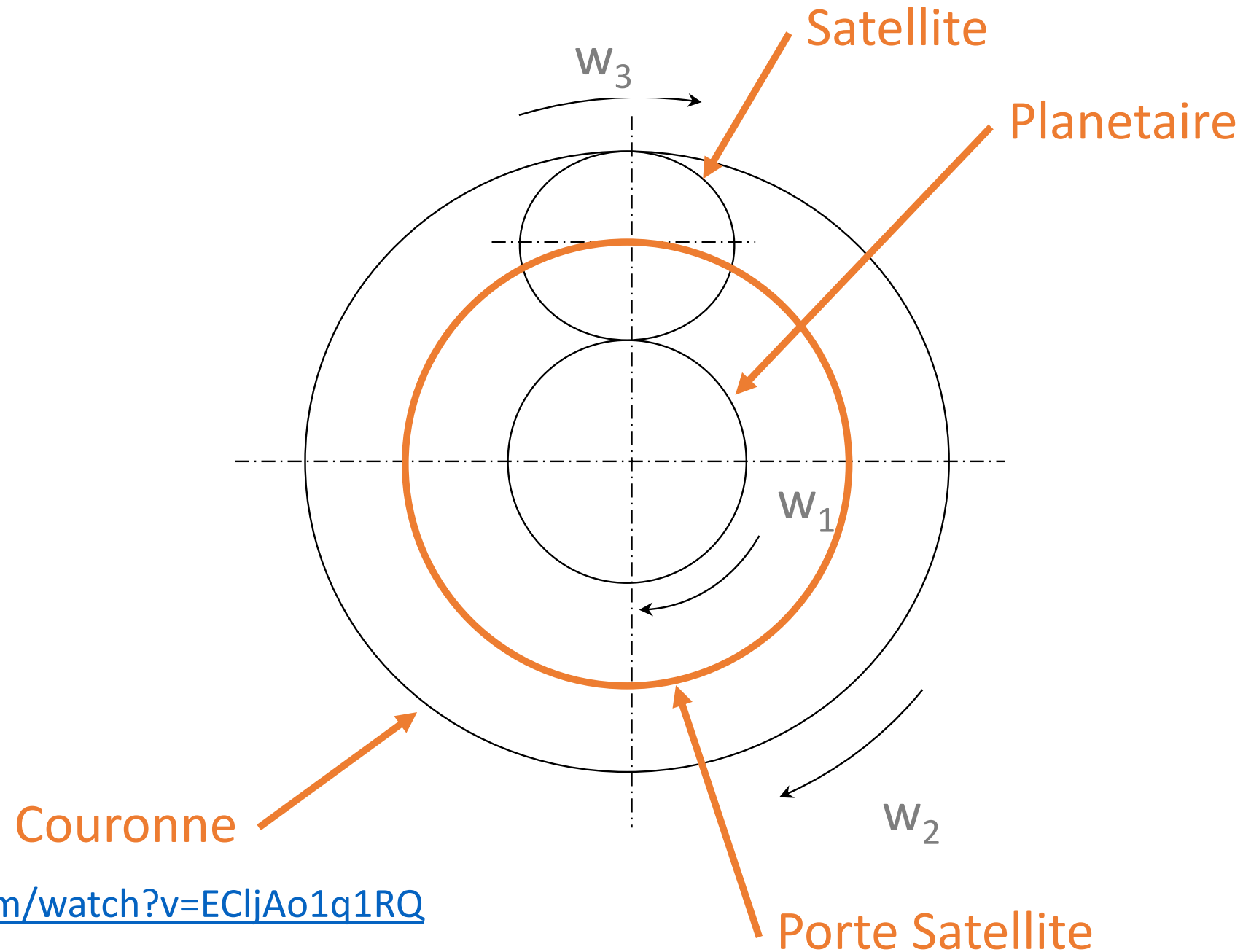
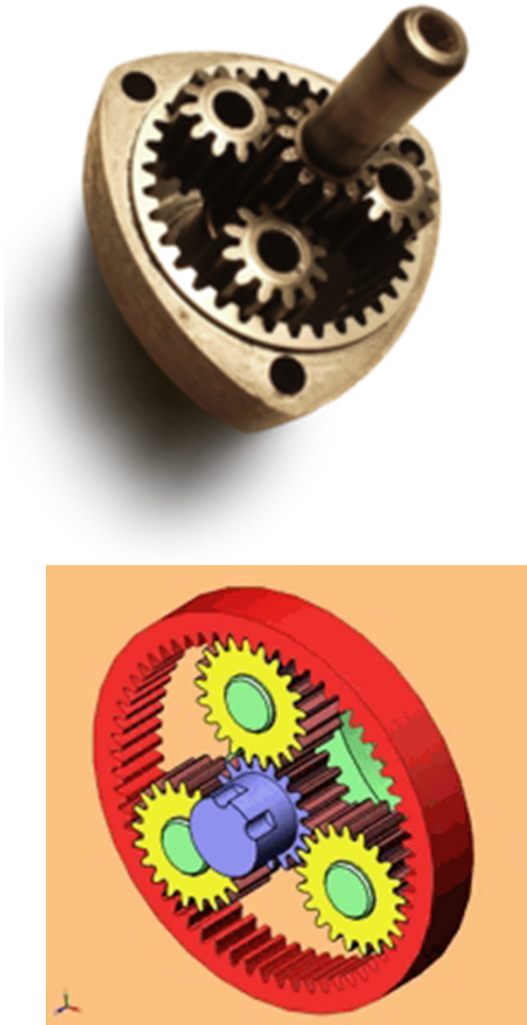
$$R_{S/E} = \frac{n_S}{n_E} = (-1)^y \frac{\text{produit nbre de dents des roues menantes}}{\text{produit nbre de dents des roues menées}}$$

avec  $y = \text{nbre de contact extérieur (type } q)$

$$R_{S/E} = \frac{n_S}{n_E} = (-1)^y \frac{Z_1 \cdot Z_3 \cdots Z_{N-1}}{Z_2 \cdot Z_4 \cdots Z_N} = R_{2/1} R_{4/3} \cdots R_{N/N-1}$$



Train épicycloïdal simple: grand rapport de réduction pour faible encombrement



<http://www.youtube.com/watch?v=ECljAo1q1RQ>



## Réducteur de Perceuse/Visseuse

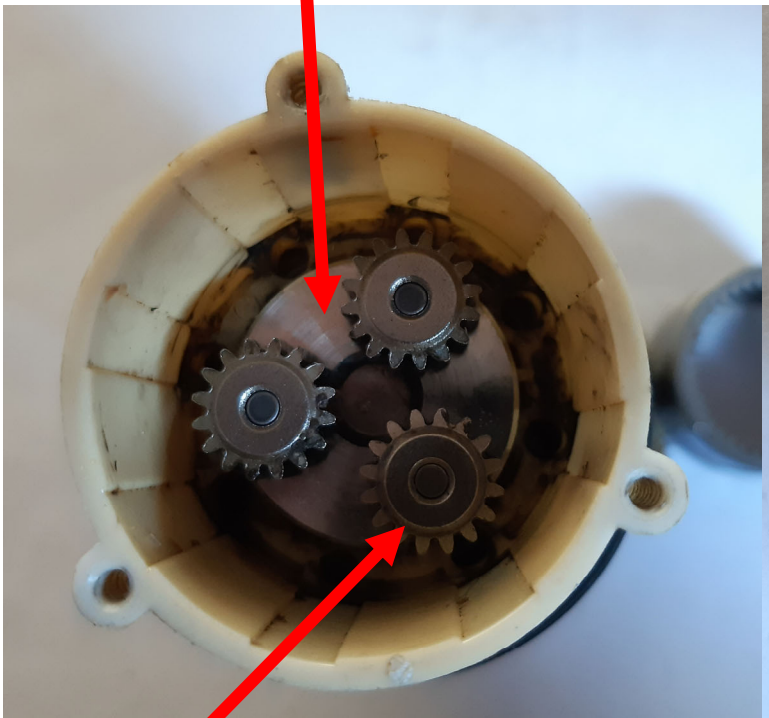
Réduit la vitesse du moteur  
Augmente le couple de la perceuse

Porte Satellite  
Visseuse



Moteur

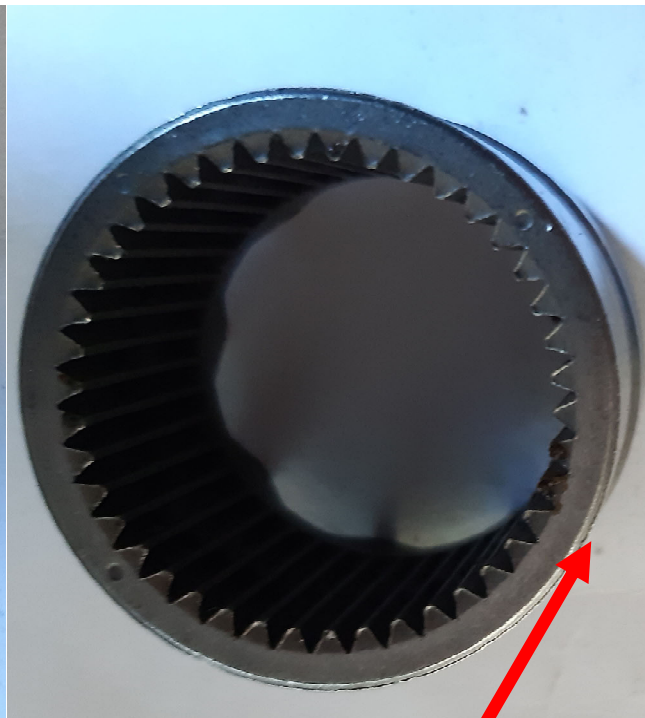
Porte Satellite  
Moteur



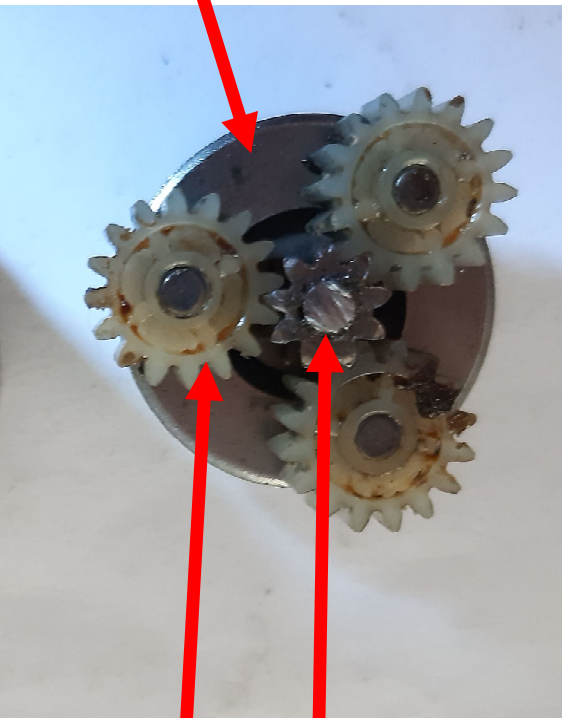
Satellite  
Visseuse



Planétaire  
Visseuse



Couronne



Satellite  
Moteur

Planétaire  
Moteur

Train épicycloïdal simple: Calcul du rapport de réduction

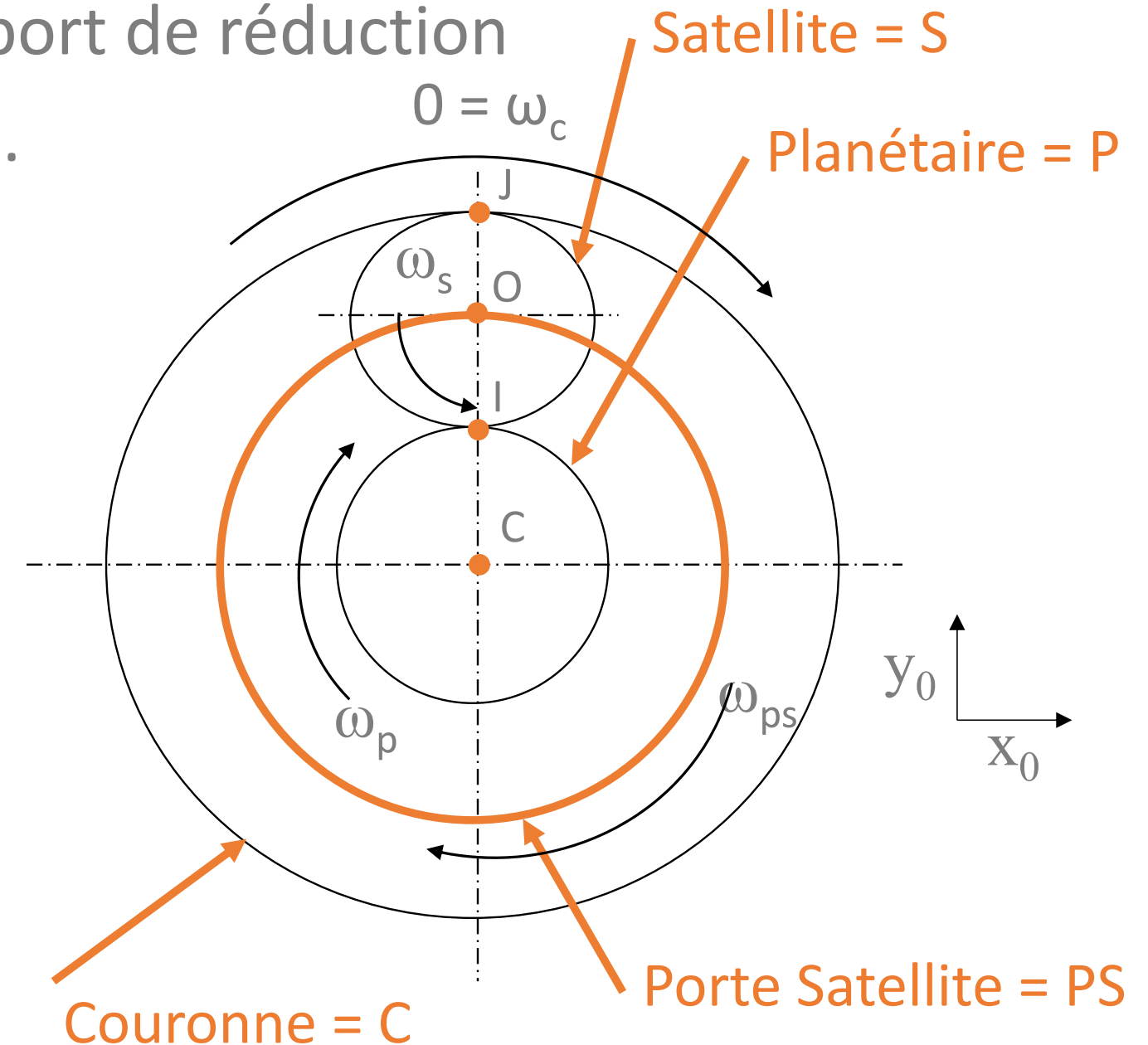
La couronne est bloquée. Couronne = 0.

Vitesses relatives du planétaire et du porte satellite ?

Roulement sans glissement en I et J:

$$\overrightarrow{V_S^C}(J) = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{V_P^S}(I) = \vec{0}$$



Relation de Chasles:

$$\overrightarrow{V_S^C(J)} = \overrightarrow{V_S^O(J)} + \overrightarrow{V_O^C(J)} = \vec{0}$$

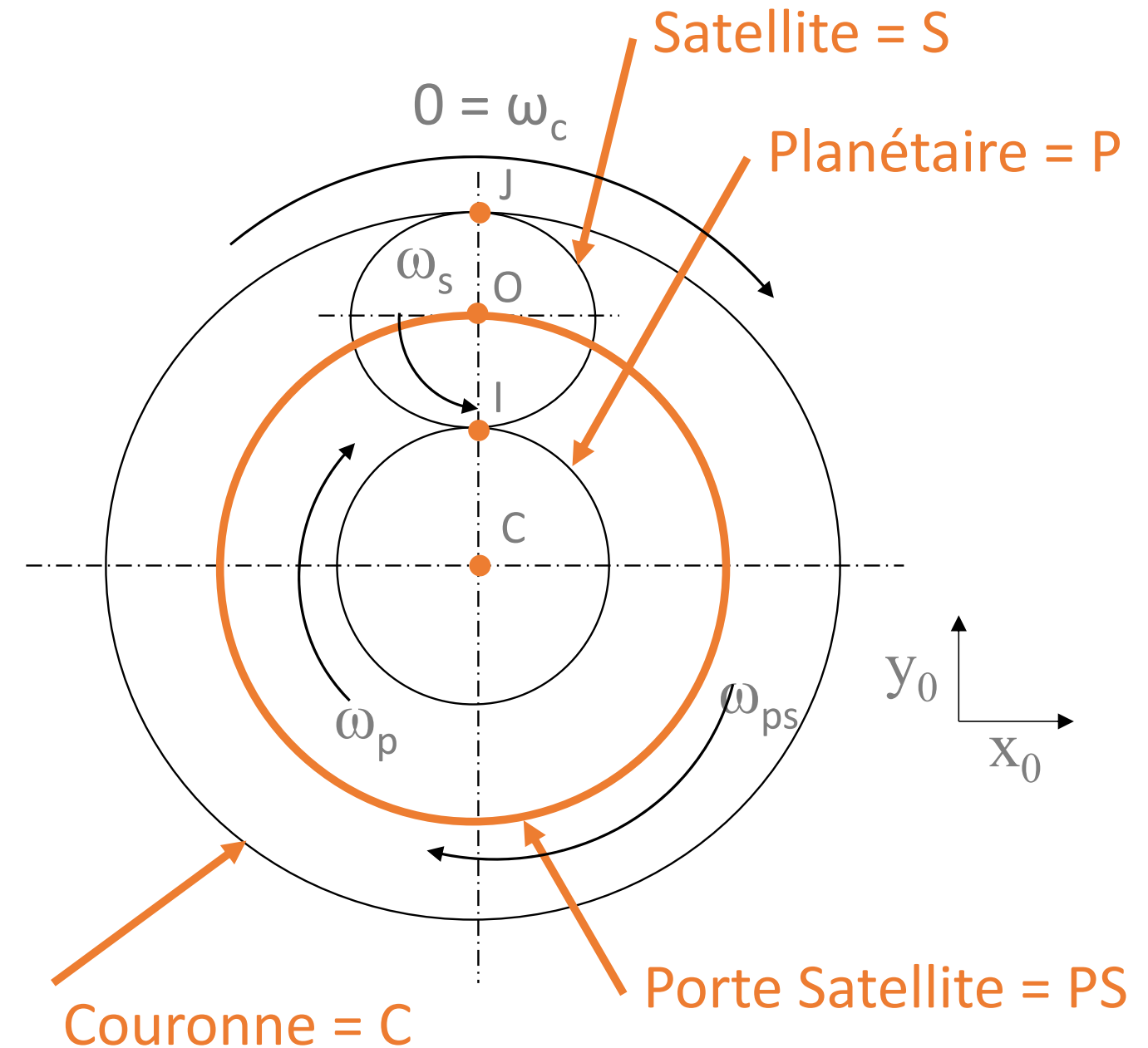
$$\overrightarrow{V_P^S(I)} = \overrightarrow{V_P^O(I)} + \overrightarrow{V_O^S(I)} = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{V_O^P(I)} = \overrightarrow{V_O^P(C)} + \overrightarrow{IC} \wedge \overrightarrow{\Omega_0^P} = R_P \cdot \omega_P \overrightarrow{x_0}$$

$$\overrightarrow{V_O^S(I)} = \overrightarrow{V_O^S(O)} + \overrightarrow{IO} \wedge \overrightarrow{\Omega_0^S} = \overrightarrow{V_O^S(O)} + R_S \cdot \omega_S \cdot \overrightarrow{x_0}$$

$$\overrightarrow{V_O^S(J)} = \overrightarrow{V_O^S(O)} + \overrightarrow{JO} \wedge \overrightarrow{\Omega_0^S} = \overrightarrow{V_O^S(O)} - R_S \cdot \omega_S \overrightarrow{x_0}$$

$$\overrightarrow{V_O^C(J)} = \vec{0} \text{ car } C = 0$$





Donc:

$$\overrightarrow{V_S^C(J)} = \overrightarrow{V_S^O(J)} = -\overrightarrow{V_O^S(O)} + R_S \cdot \omega_S \overrightarrow{x_0} = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{V_O^S(O)} = R_S \cdot \omega_S \overrightarrow{x_0}$$

Et:

$$\overrightarrow{V_P^S(I)} = 2\overrightarrow{V_O^S(O)} - R_P \cdot \omega_P \overrightarrow{x_0} = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{V_O^S(O)} = \frac{R_P \cdot \omega_P \overrightarrow{x_0}}{2}$$

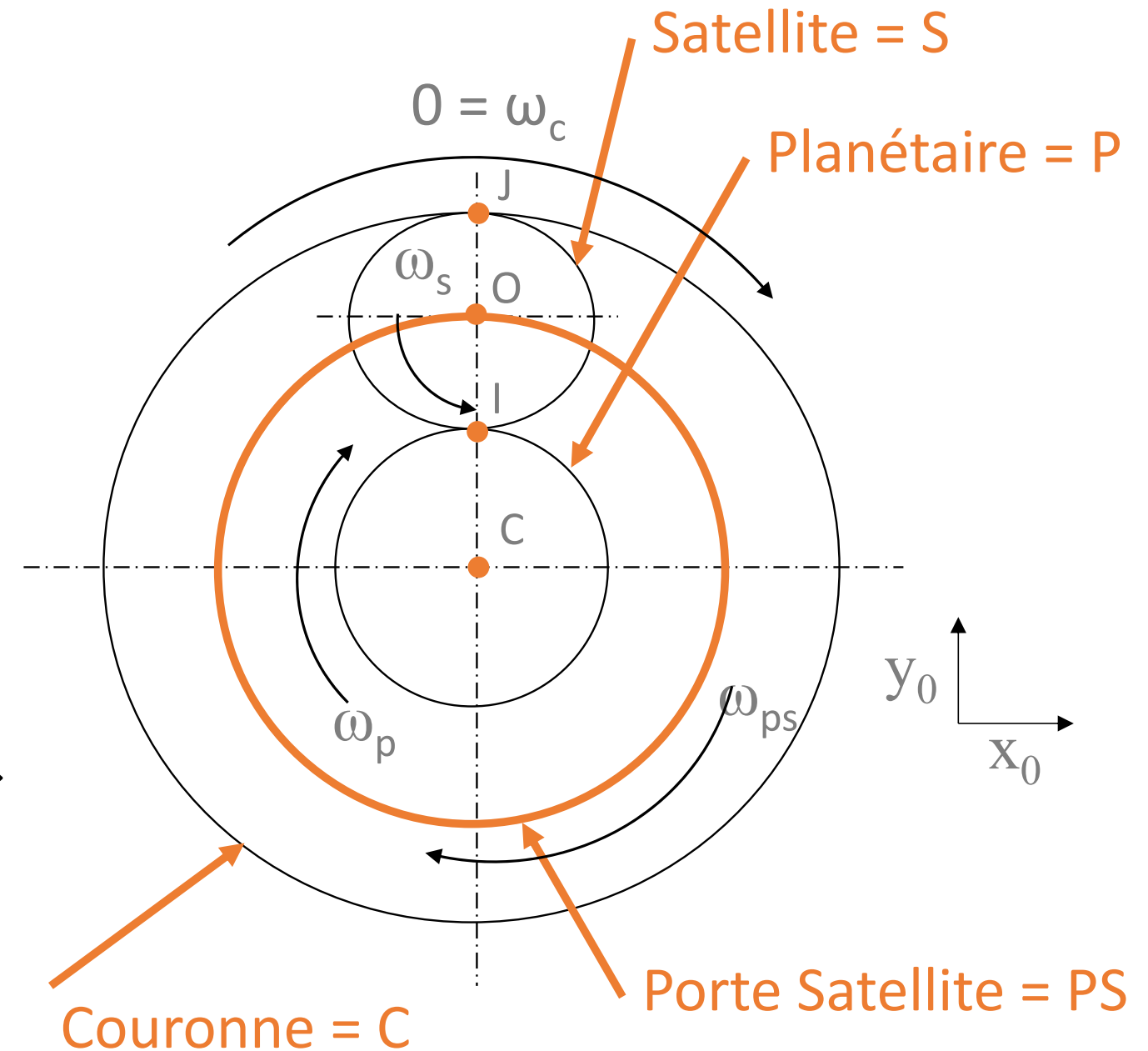
Aussi dans le porte satellite:

$$\overrightarrow{V_O^{PS}(O)} = \overrightarrow{V_O^S(O)} = \overrightarrow{V_O^{PS}(C)} + \overrightarrow{OC} \wedge \overrightarrow{\Omega_0^{PS}} = R_{PS} \cdot \omega_{PS} \overrightarrow{x_0}$$

$$\overrightarrow{V_O^S(O)} = \frac{R_P \cdot \omega_P \overrightarrow{x_0}}{2} = R_{PS} \cdot \omega_{PS} \overrightarrow{x_0}$$

Avec:  $R_{PS} = R_P + R_S = R_C - R_S$

$$R_{PS} = \frac{R_P + R_C}{2}$$



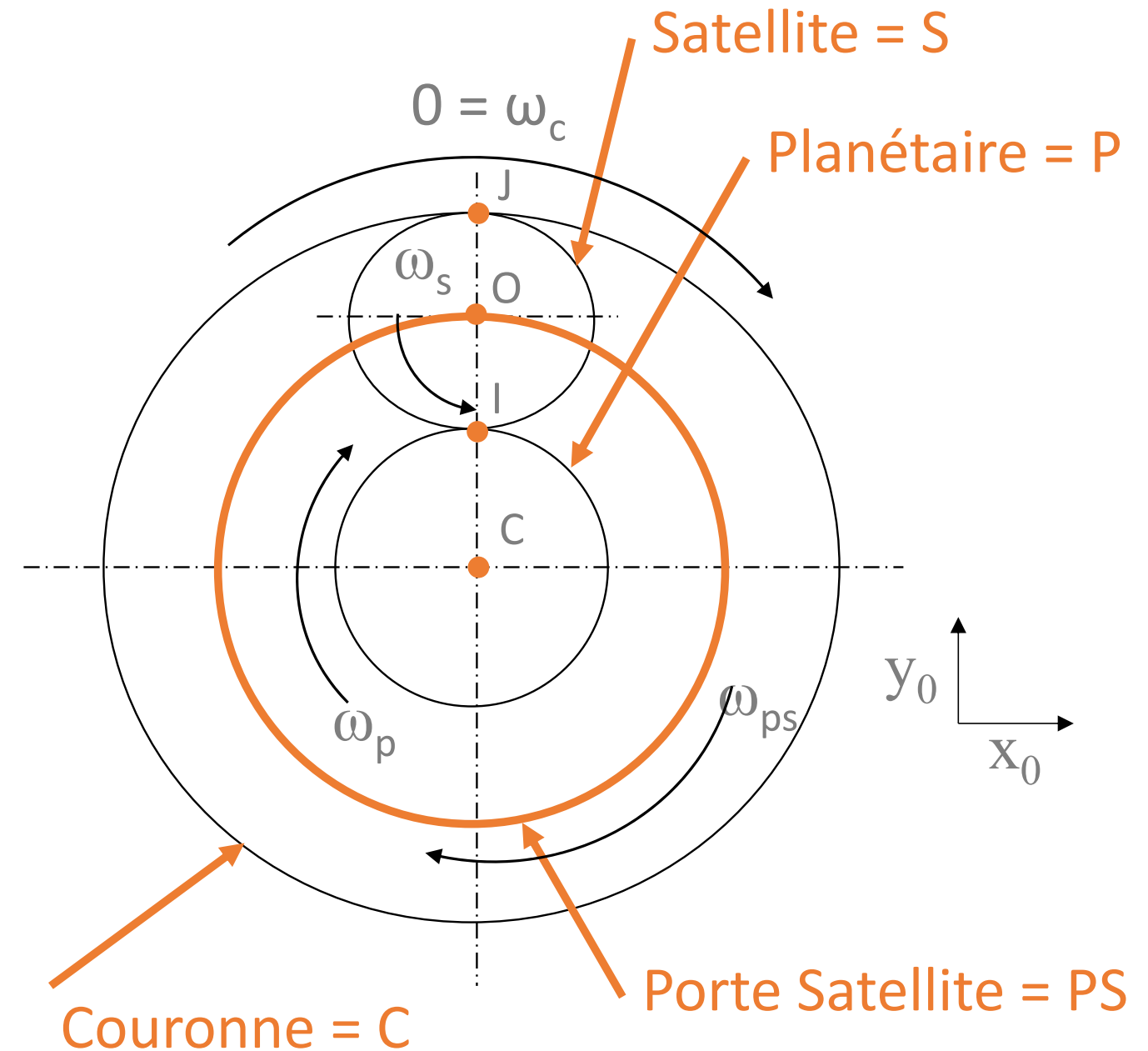
Donc:

$$\frac{R_P \cdot \omega_P}{2} = \frac{R_P + R_C}{2} \cdot \omega_{PS}$$

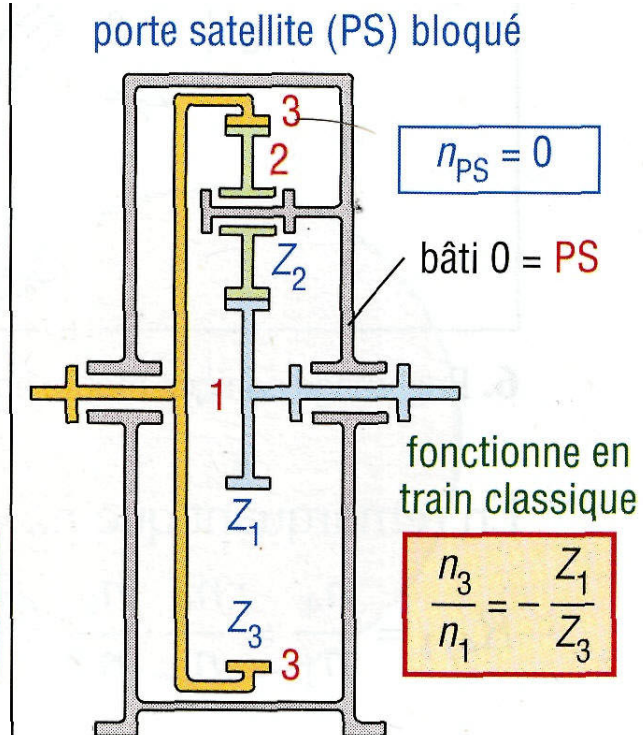
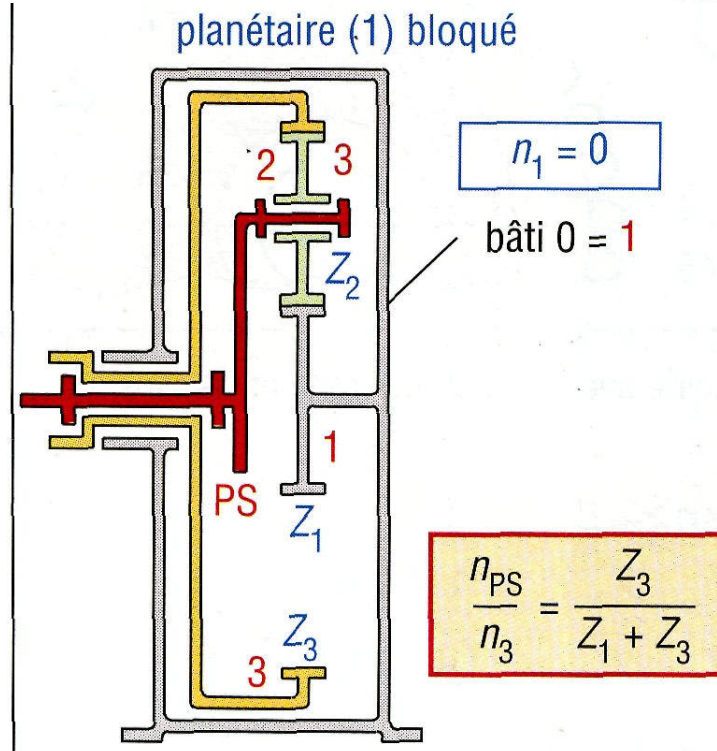
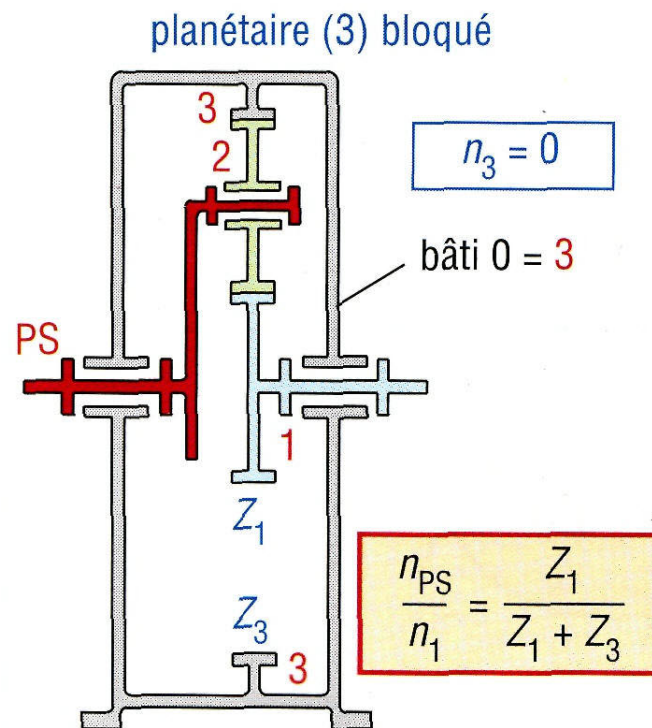
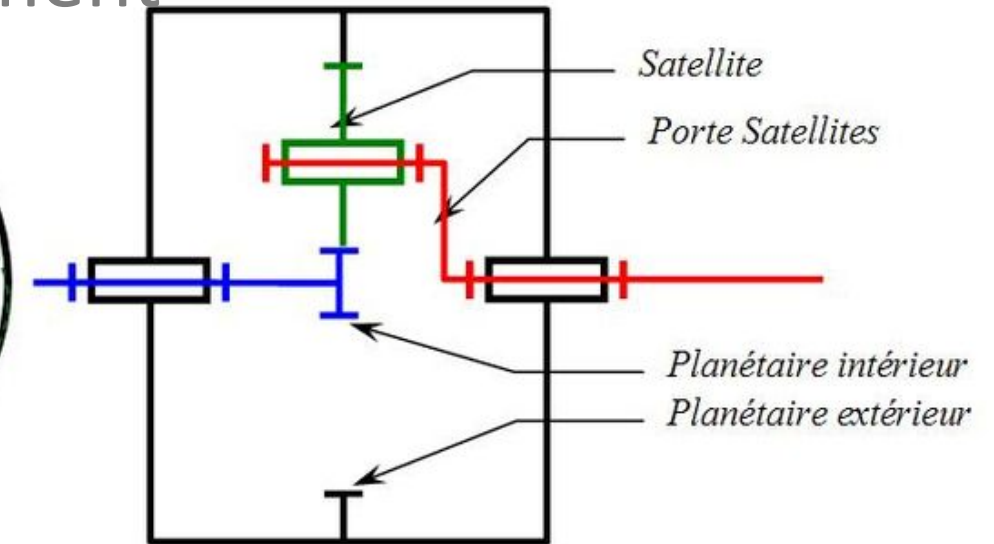
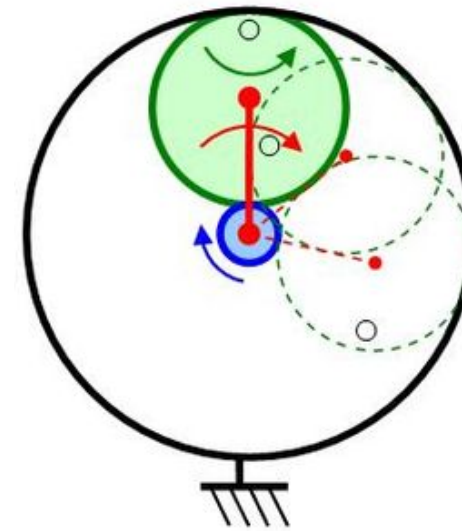
$$\frac{\omega_P}{\omega_{PS}} = \frac{R_P + R_C}{R_P} = \frac{mZ_P + mZ_C}{mZ_P}$$

$$\frac{\omega_P}{\omega_{PS}} = 1 + \frac{R_C}{R_P} = 1 + \frac{Z_C}{Z_P}$$

$$\frac{\omega_{PS}}{\omega_P} = \frac{Z_P}{Z_P + Z_C}$$



## Train épicycloïdal simple: cas usuel de fonctionnement

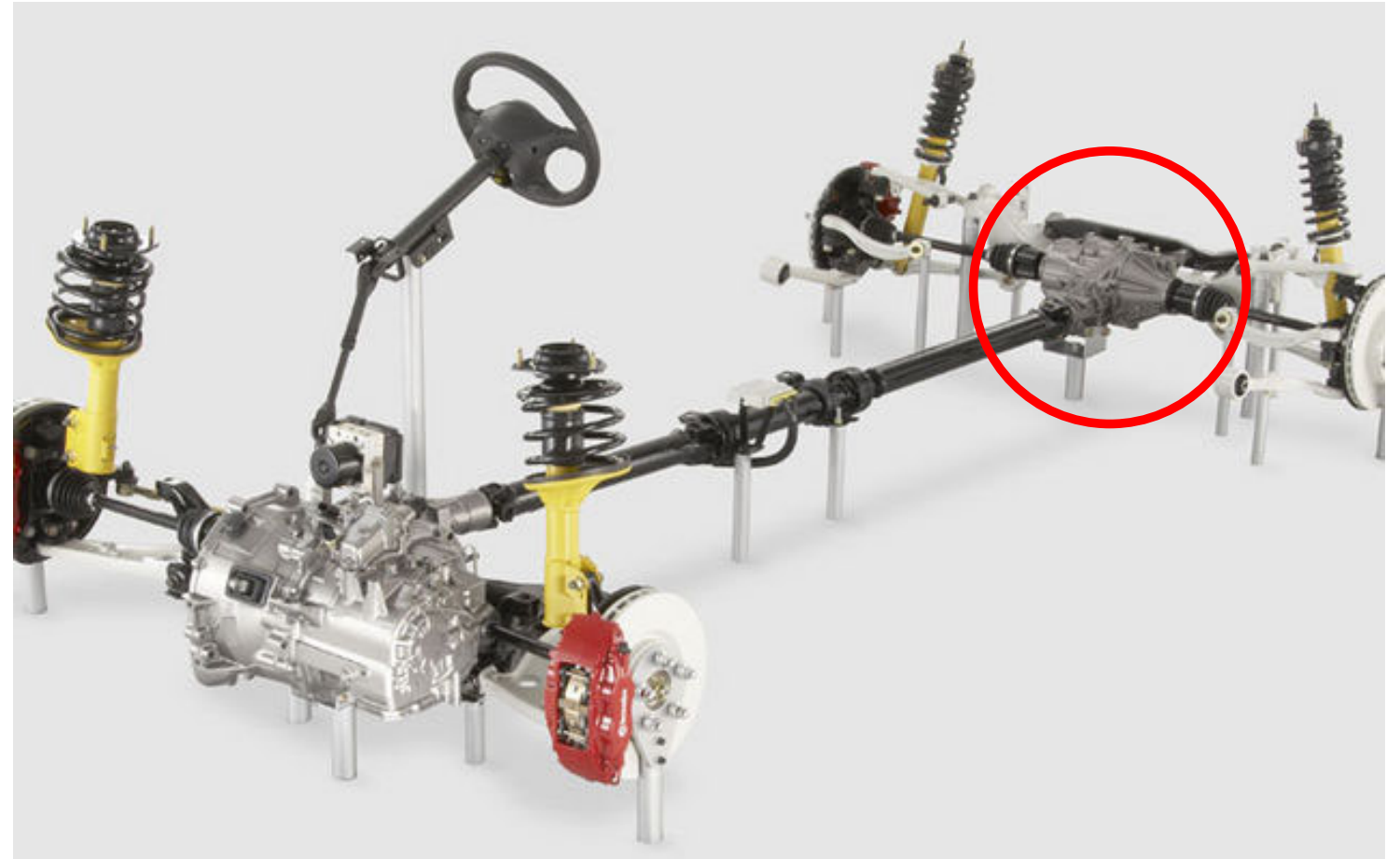




Train épicycloïdal – Animations:

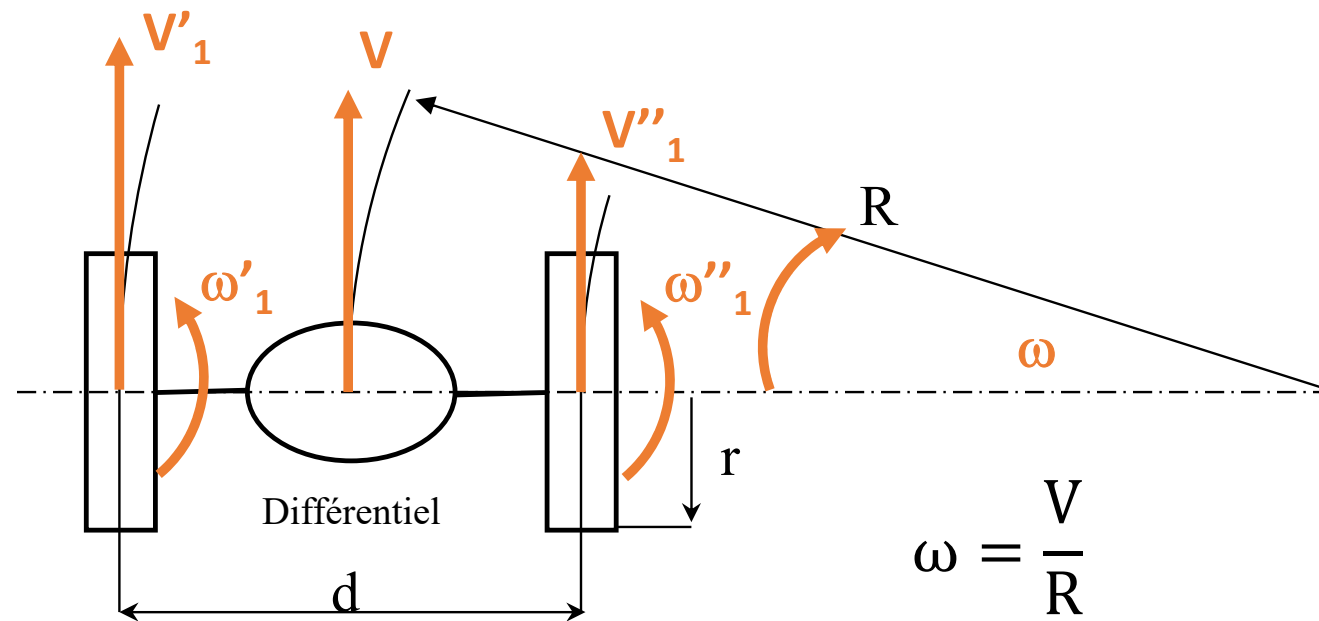
<https://sciencesindustrielles.com/glossary/train-epicycloidal/>

## Train épicycloïdal spatial: différentiel d'automobile



## Train épicycloïdal spatial: différentiel d'automobile

## Virage à droite



$$V = \omega \cdot R$$

$$V'_1 = \omega \cdot \left( R + \frac{d}{2} \right) = \omega'_1 \cdot r$$

$$V''_1 = \omega \cdot \left( R - \frac{d}{2} \right) = \omega''_1 \cdot r$$

$$\omega = \frac{V}{R}$$

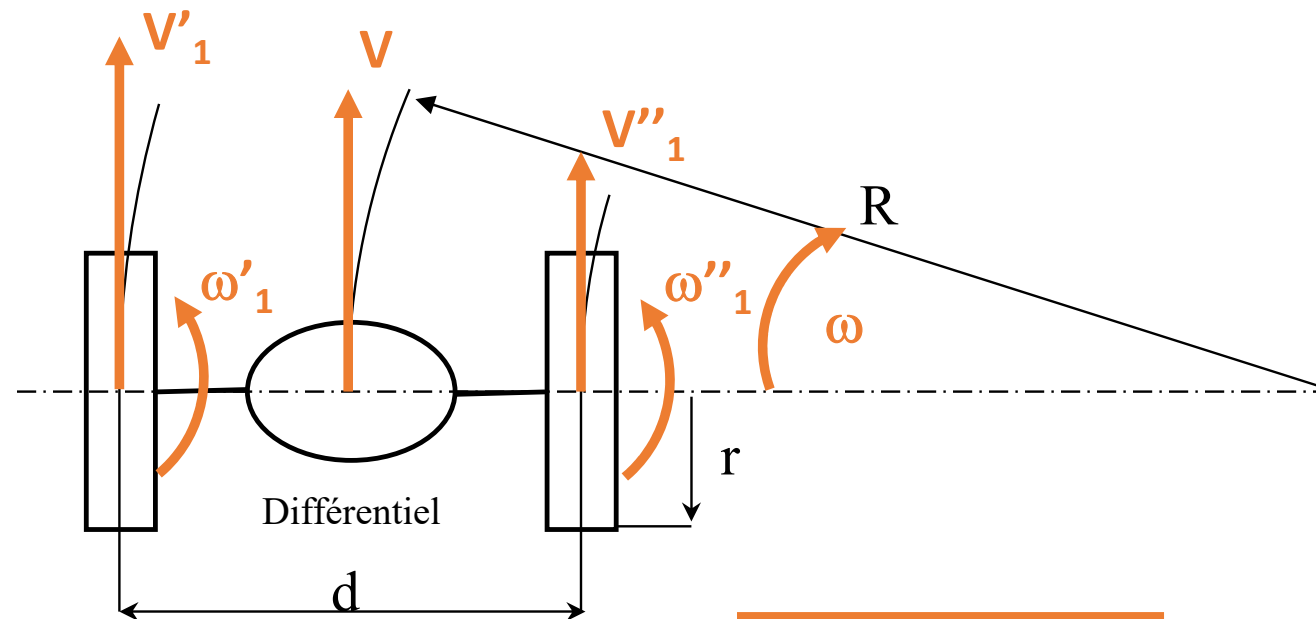
$$\omega'_1 = \frac{1}{r} \left( R + \frac{d}{2} \right) \frac{V}{R}$$

$$\omega''_1 = \frac{1}{r} \left( R - \frac{d}{2} \right) \frac{V}{R}$$



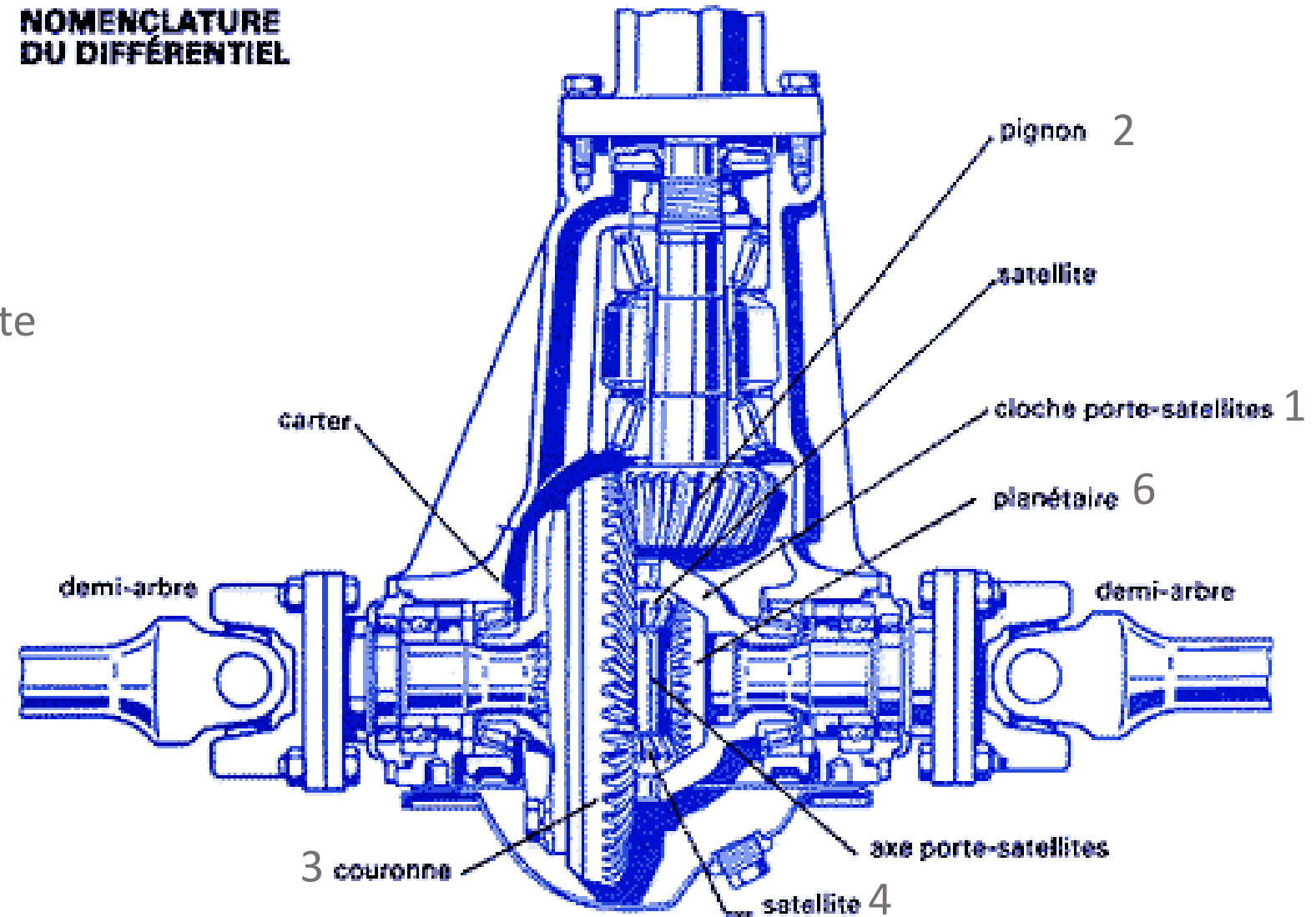
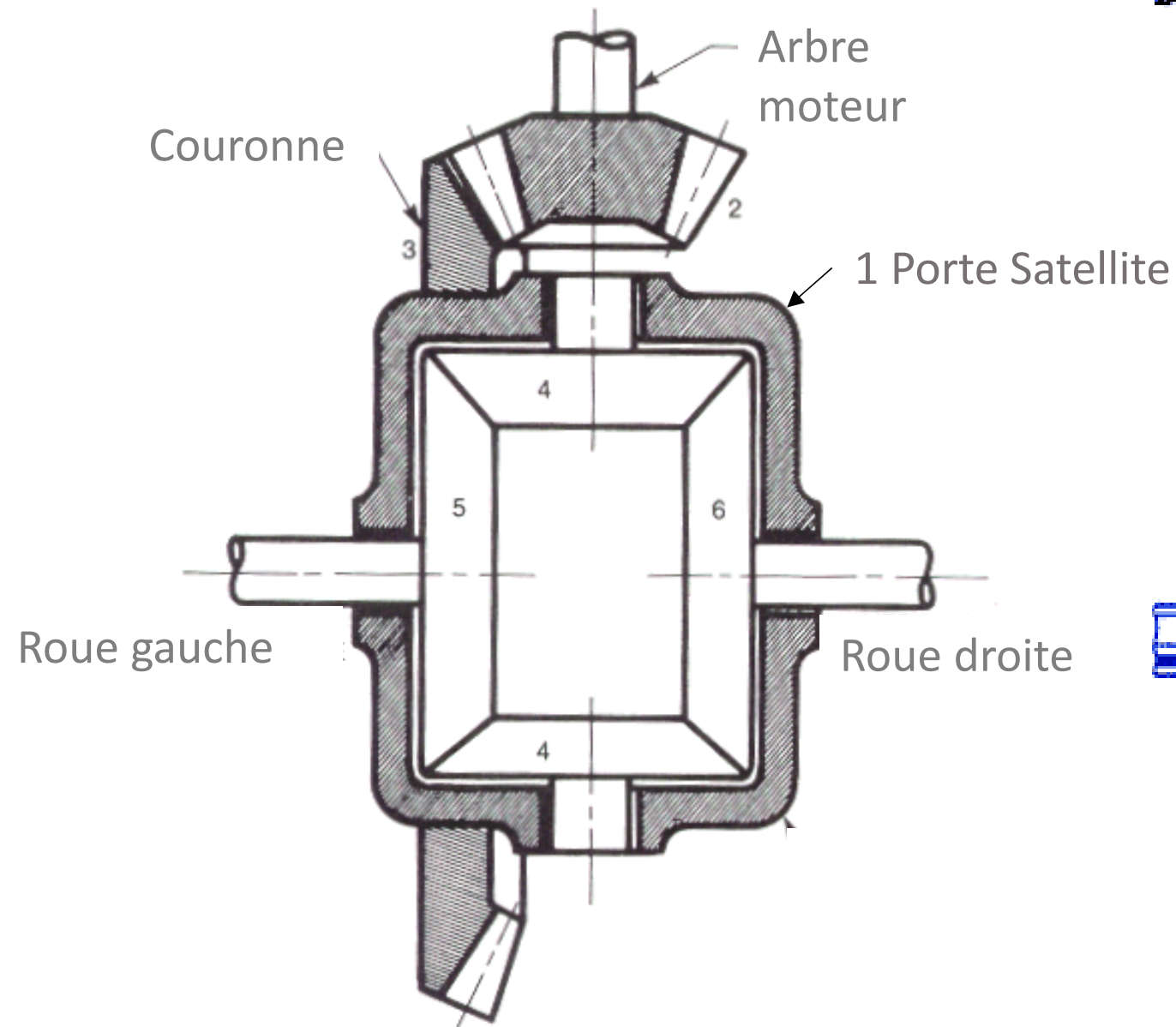
Train épicycloïdal spatial: différentiel d'automobile

Virage à droite



$$\frac{\omega'_1}{\omega''_1} = \frac{R + \frac{d}{2}}{R - \frac{d}{2}}$$

## Train épicycloïdal spatial: différentiel d'automobile

NOMENCLATURE  
DU DIFFÉRENTIEL

Différentiel

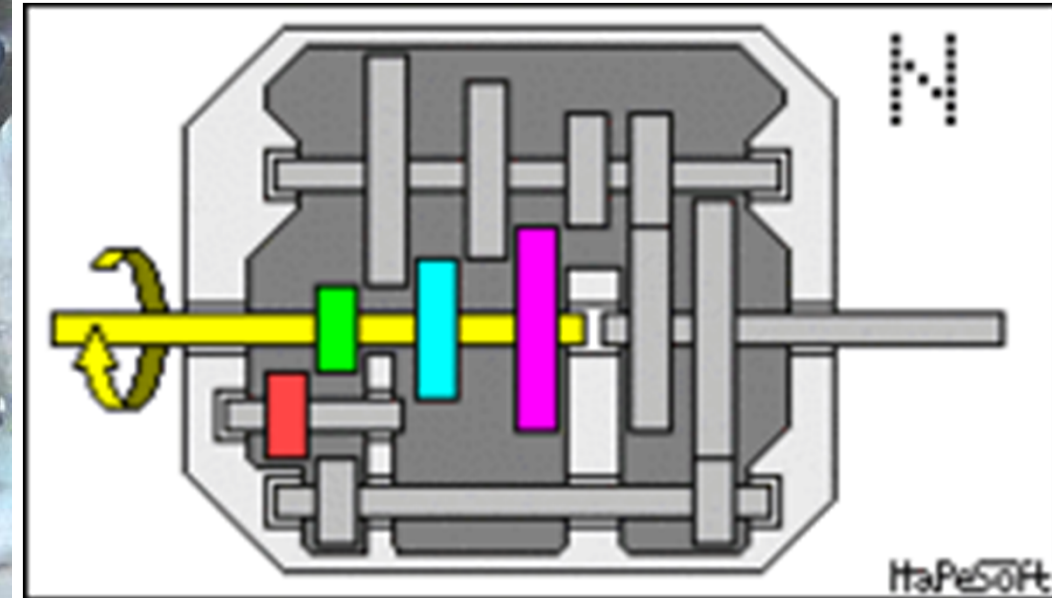
<https://www.youtube.com/watch?v=SOgoejxzF8c>

Limited Slip Differential

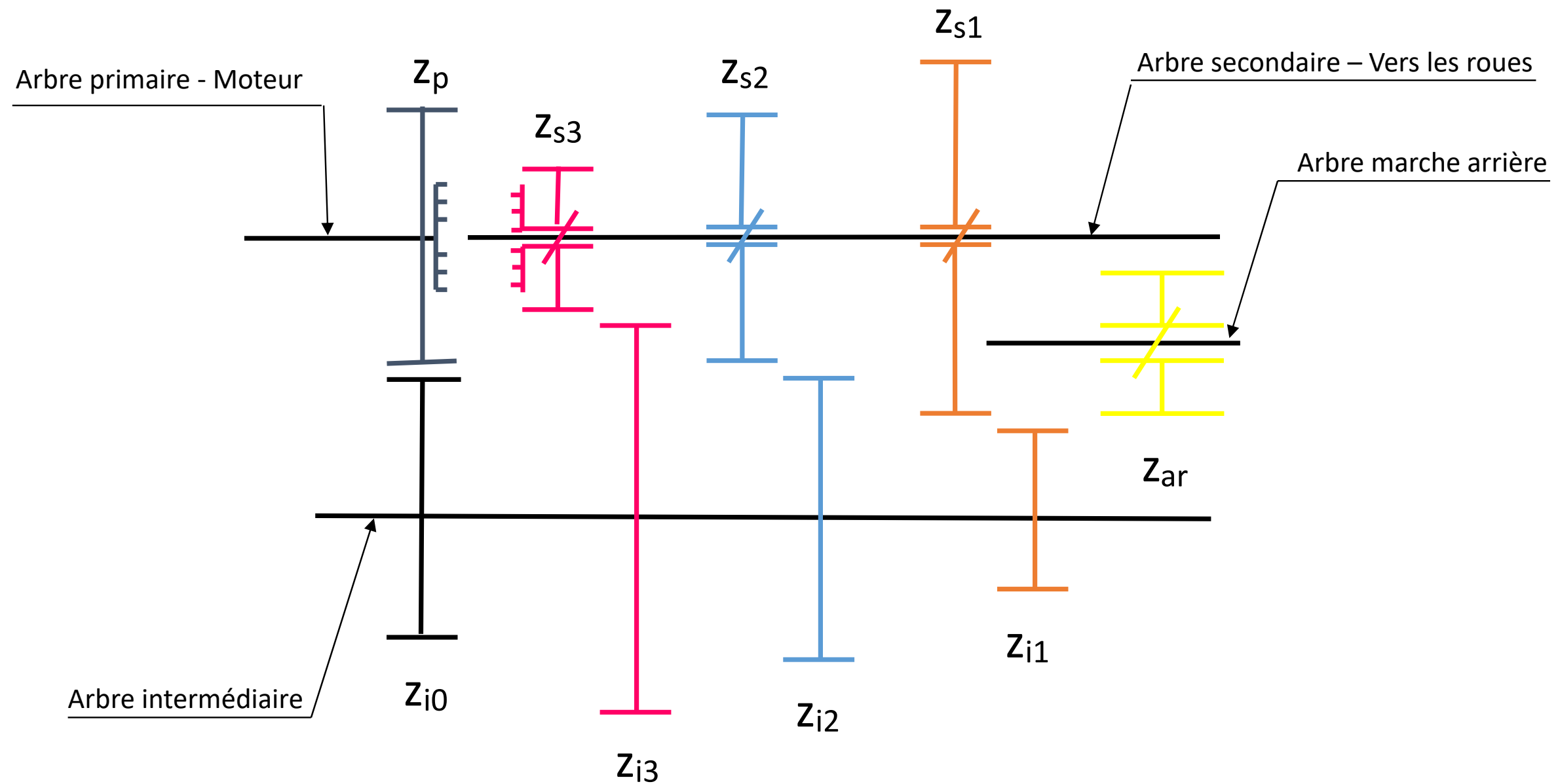
<http://www.youtube.com/watch?v=WeLm7wHvdxQ>



## Boite de vitesses

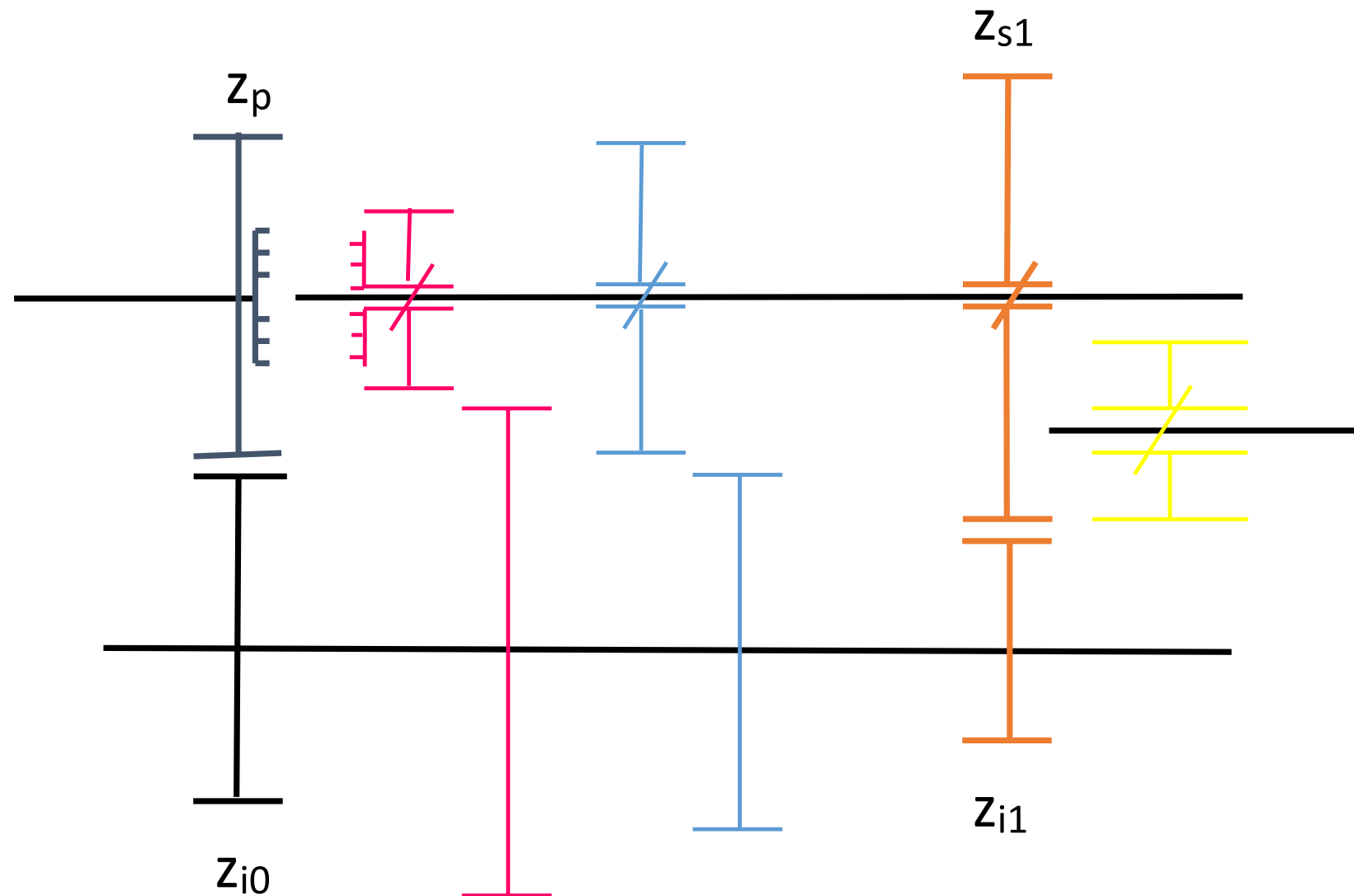


# Boite de vitesses



Boite de vitesses: 1ere

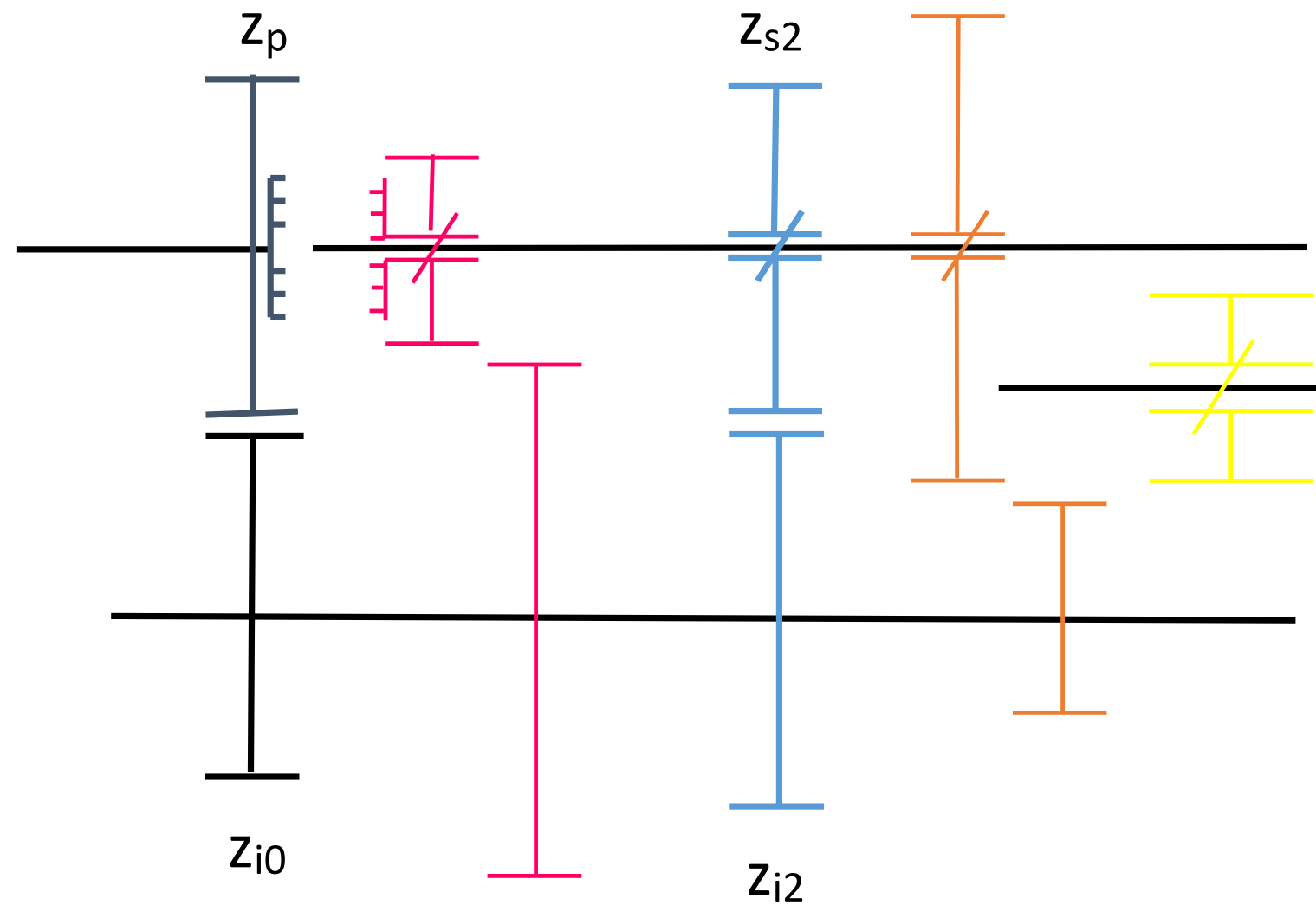
$$i = \frac{\omega_p}{\omega_s} = \frac{Z_{i0}}{Z_p} \frac{Z_{s1}}{Z_{i1}}$$





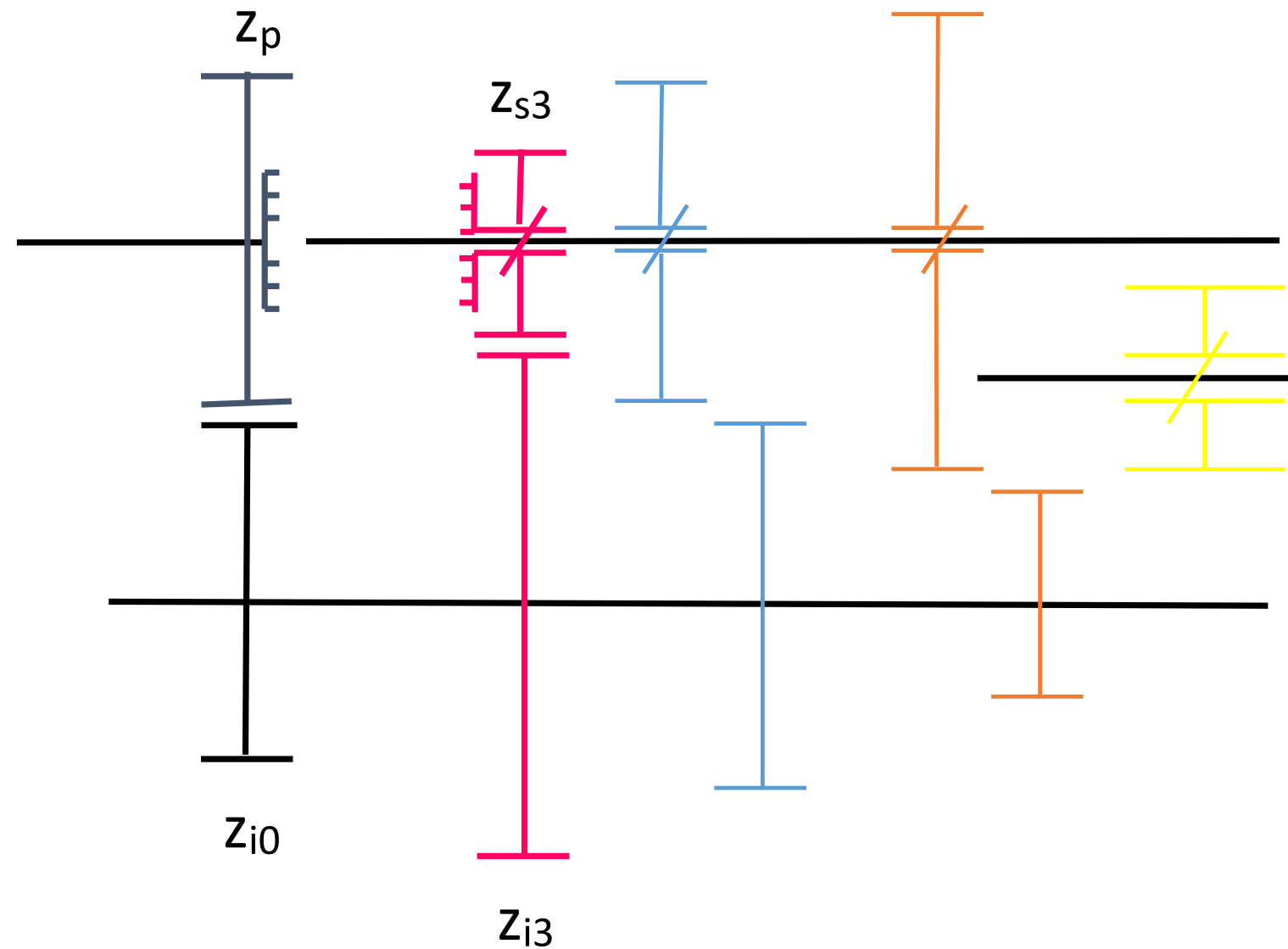
## Boite de vitesses: 2eme

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_s} = \frac{z_{i0}}{z_p} \frac{z_{s2}}{z_{i2}}$$



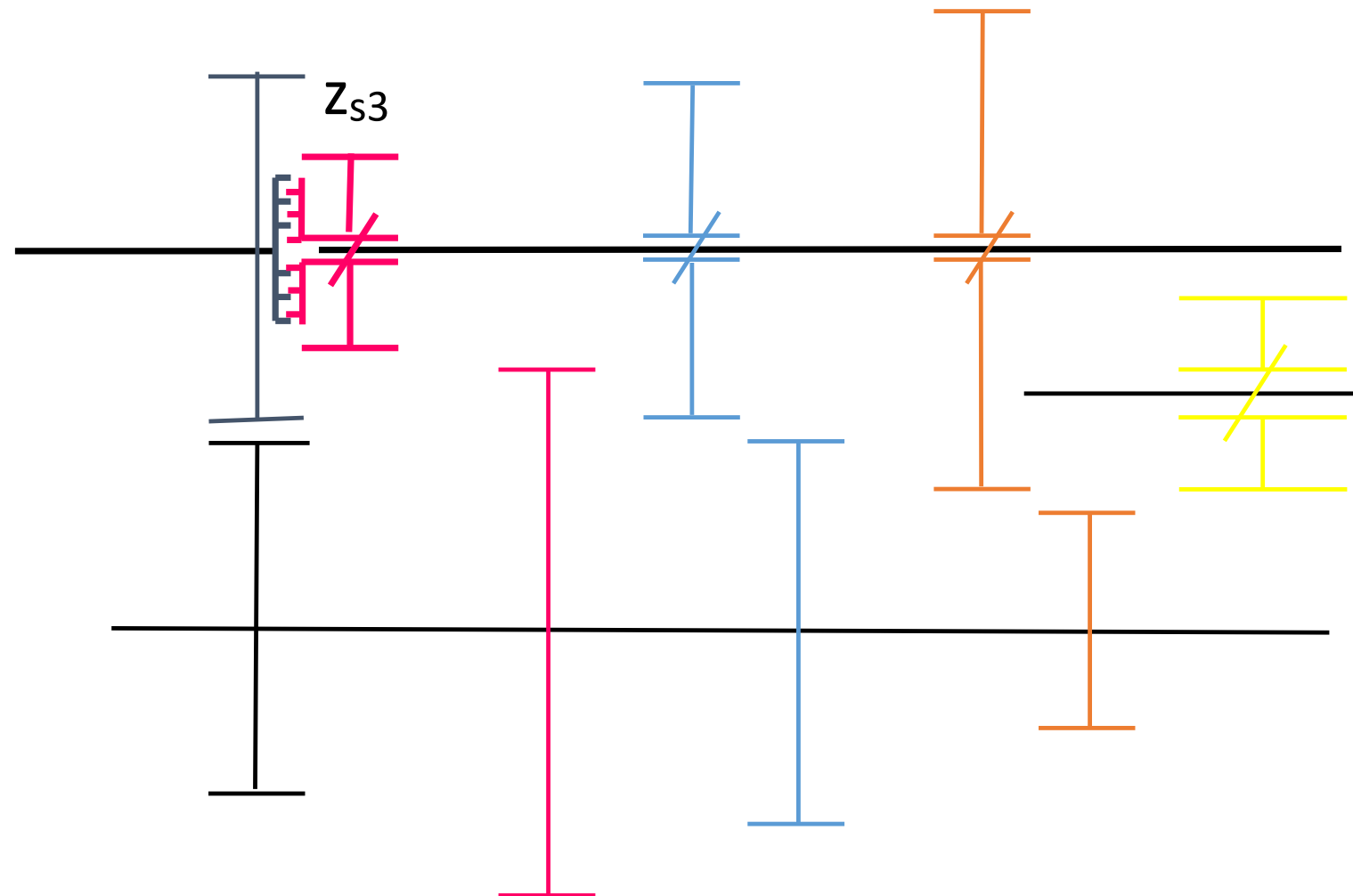
Boite de vitesses: 3eme

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_s} = \frac{z_{i0} z_{s3}}{z_p z_{i3}}$$



Boite de vitesses: 4eme

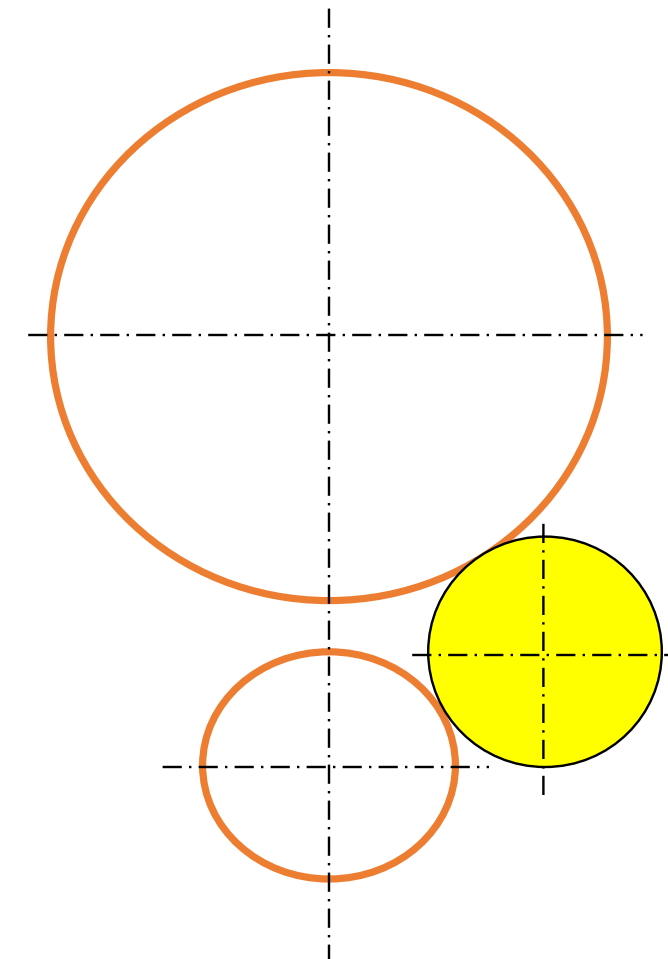
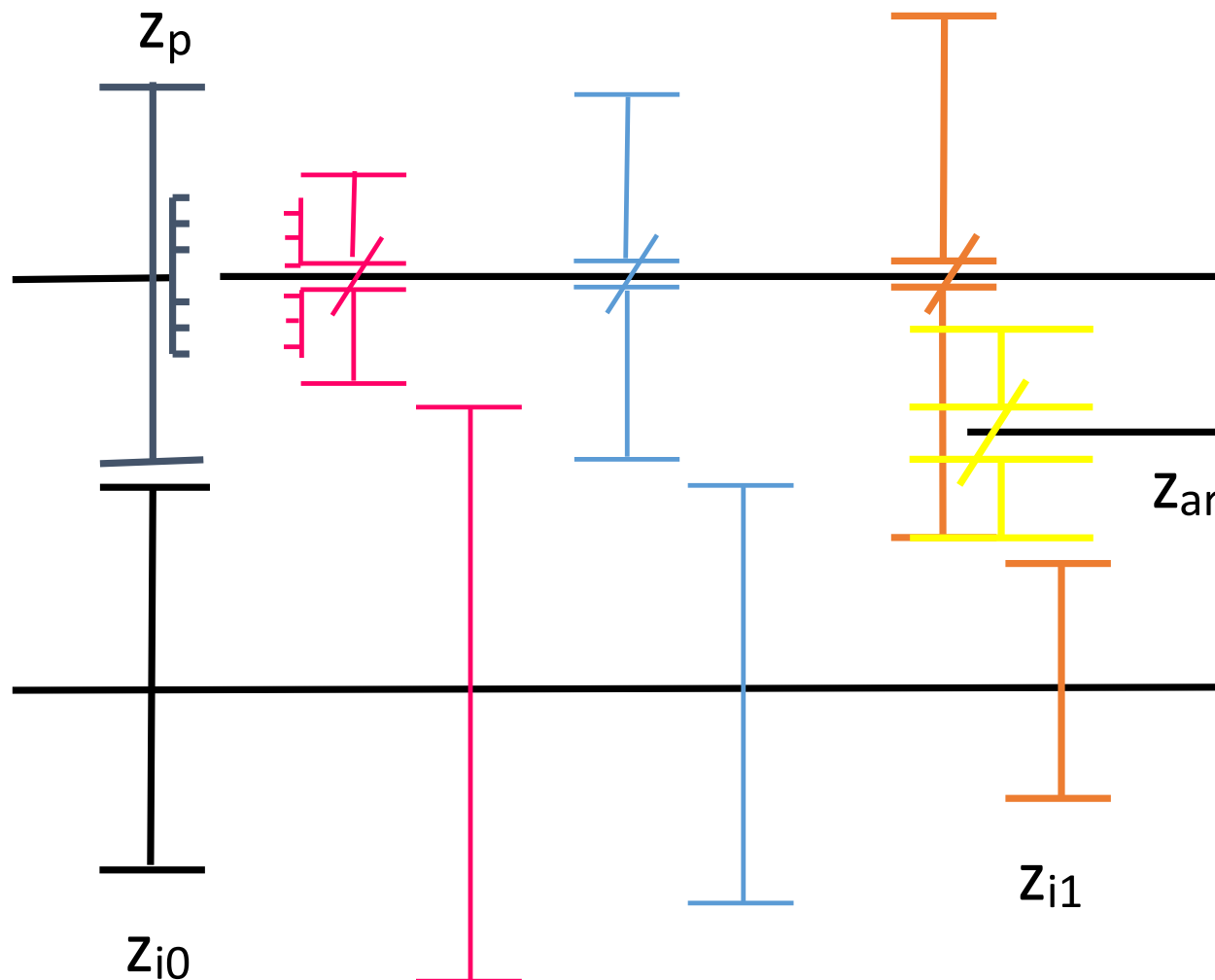
$$i = 1$$





## Boite de vitesses: marche arrière

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_s} = - \frac{z_{i0} z_{s1}}{z_p z_{i1}}$$



Boite de vitesse – 4 vitesses

<http://www.youtube.com/watch?v=K53cPGRE1Kk>

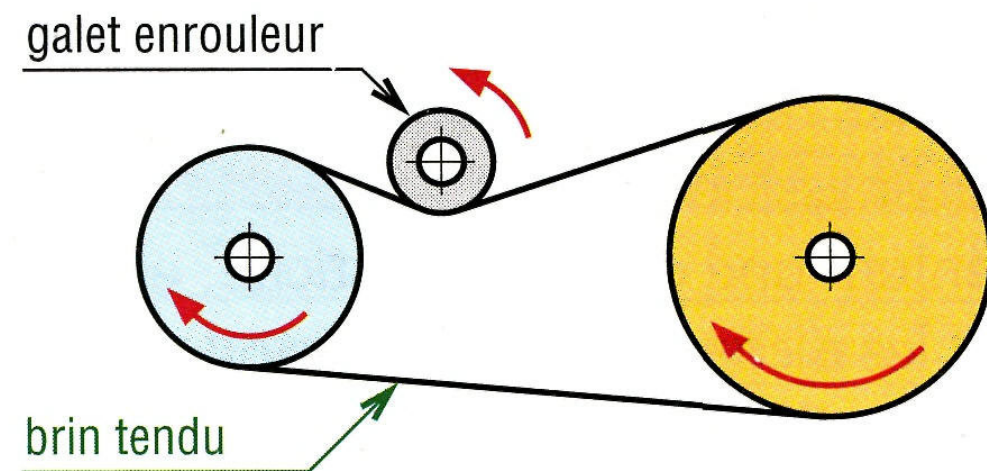
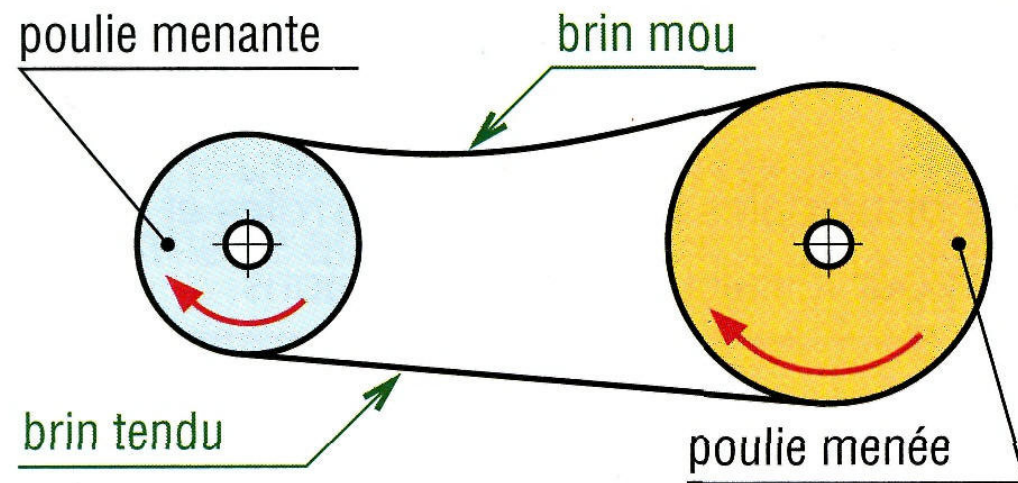
Boite de vitesse automatique

<http://www.youtube.com/watch?v=Y1zbE21Pzl0>

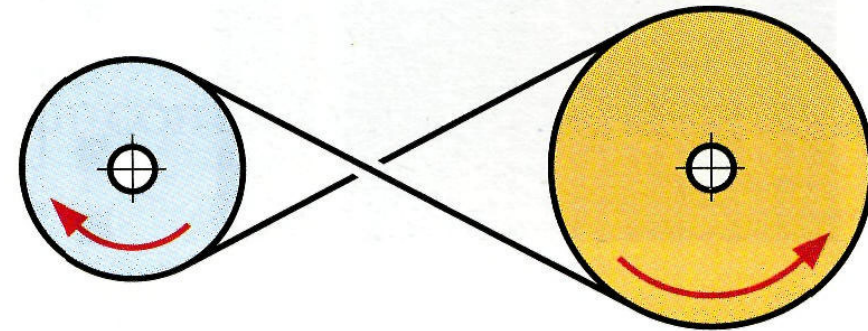
- Matériau souple
- Silencieuses
- Economiques
- Vitesses élevées
- Grands entraxes possibles entre poulies
- Elasticité: amortissement des vibrations, chocs
- Augmentation durée de vie des machines
- Fonctionnement par adhérence
- Leger glissement sauf pour courroies crantées: imprécision du rapport de transmission
- Tension initiale des courroies indispensable pour garantir l'adhérence et assurer la transmission du mouvement.
- Entraxe réglable ou mécanisme de tension pour palier a l'allongement des courroies



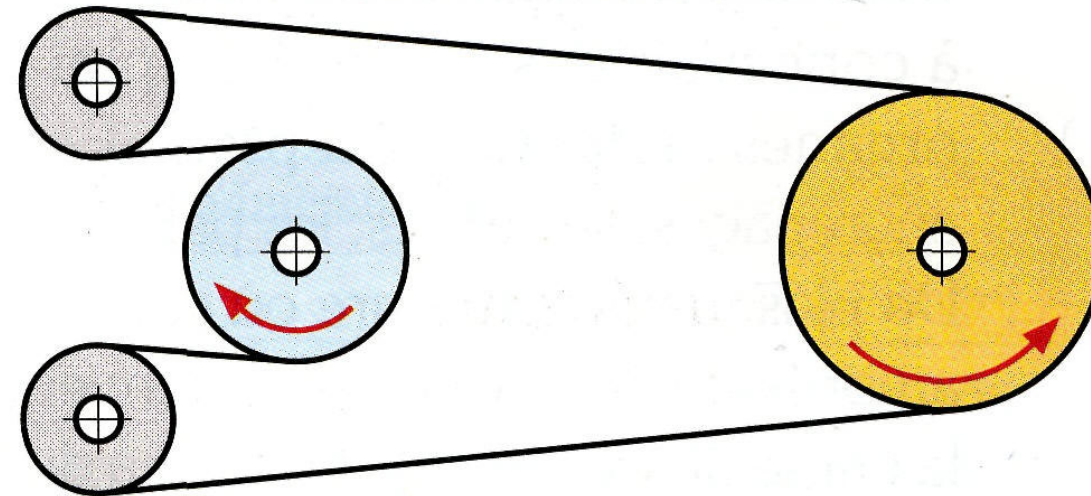




inverseur à courroies croisées



inverseur à courroies non croisées

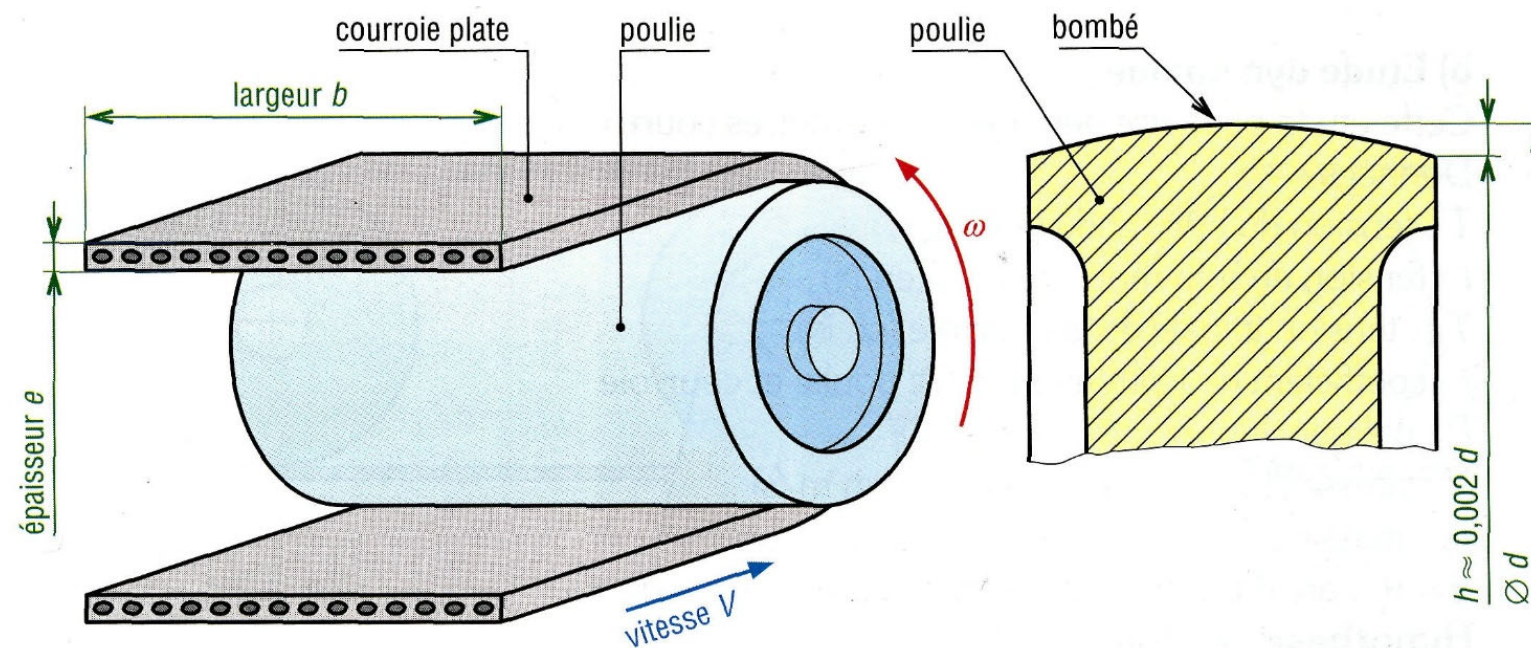




\*arbres parallèles, perpendiculaires, orthogonaux et même de position quelconque

Courroies plates:

- Couples faibles
- Grandes vitesses (80-100m/s)
- Grands entraxes et grandes longueurs possibles





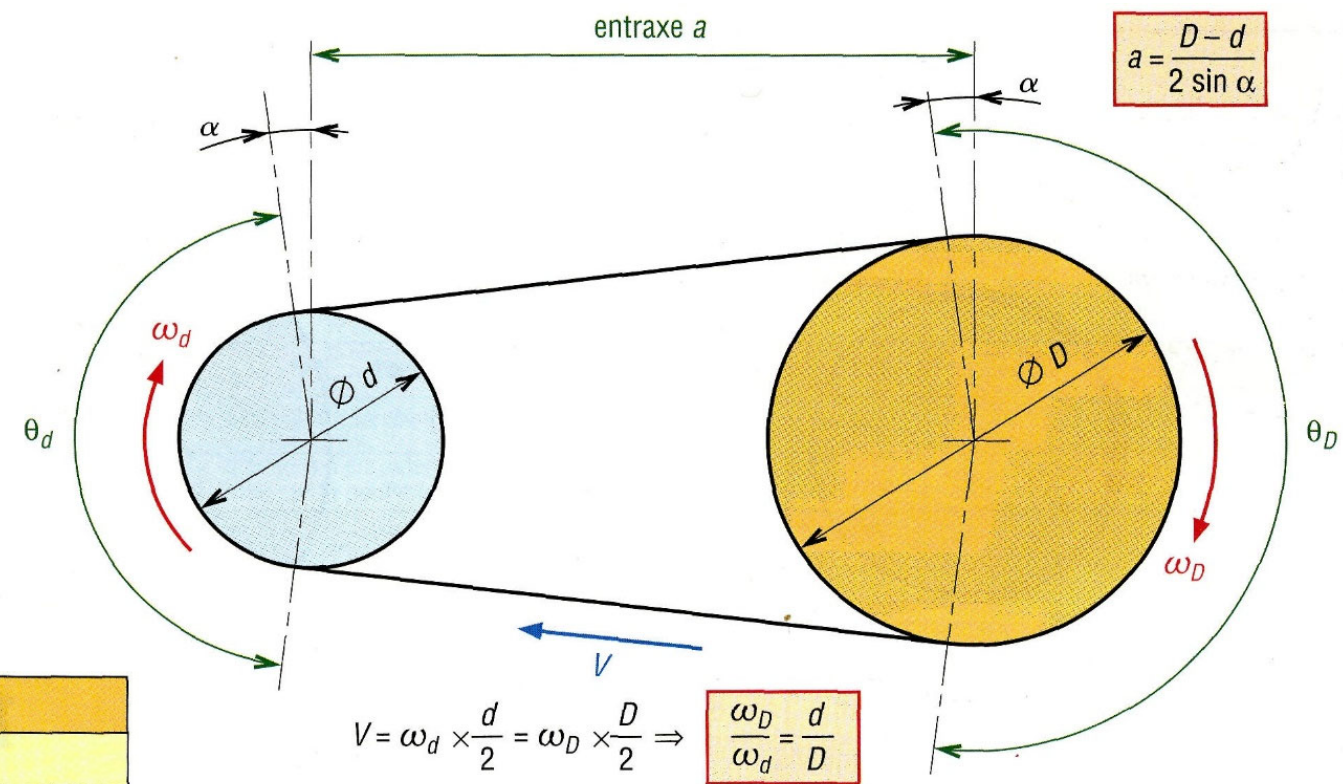
Courroies plates:

- Rapport de transmission

$$R = \frac{\omega_D}{\omega_d} = \frac{N_D}{N_d} = \frac{d}{D} = \frac{C_d}{C_D}$$

D, d: diamètres

C: moments sur les poulies



#### Longueurs des courroies et angles d'enroulement (notation $\sin^{-1} = \arcsin$ )

courroies non croisées

courroies croisées

angles d'enroulement

$$\theta_d = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2a} \right]$$

$$\theta_D = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2a} \right]$$

longueurs des courroies

$$L = [4a^2 - (D-d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} (\theta_D \cdot D + \theta_d \cdot d)$$

si  $\alpha$  est petit :

$$L \approx 2a + \pi \left[ \frac{D+d}{2} \right] + \frac{(D-d)^2}{4a}$$

$$\theta_D = \theta_d = \theta = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2a} \right]$$

$$L = [4a^2 - (D+d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \theta (D+d)$$

$$L \approx 2a + \pi \left[ \frac{D+d}{2} \right] + \frac{(D+d)^2}{4a}$$

## Courroies plates:

## • Tensions:

$T$  = tension du brin tendu (en N)

$t$  = tension du brin mou « $t < T$ » (en N)

$T_0$  = tension initiale de la courroie à l'installation (en N)

$f$  = coefficient de frottement statique entre poulie et courroie

$P$  = puissance transmissible (en W)

$V$  = vitesse (linéaire) de la courroie (en m/s)

$m$  = masse de 1 m de courroie (kg/m)

$\theta = \theta_d$ : arc d'enroulement sur la petite poulie (en rad)

$R$  = Rayon d'enroulement de la courroie (en m)

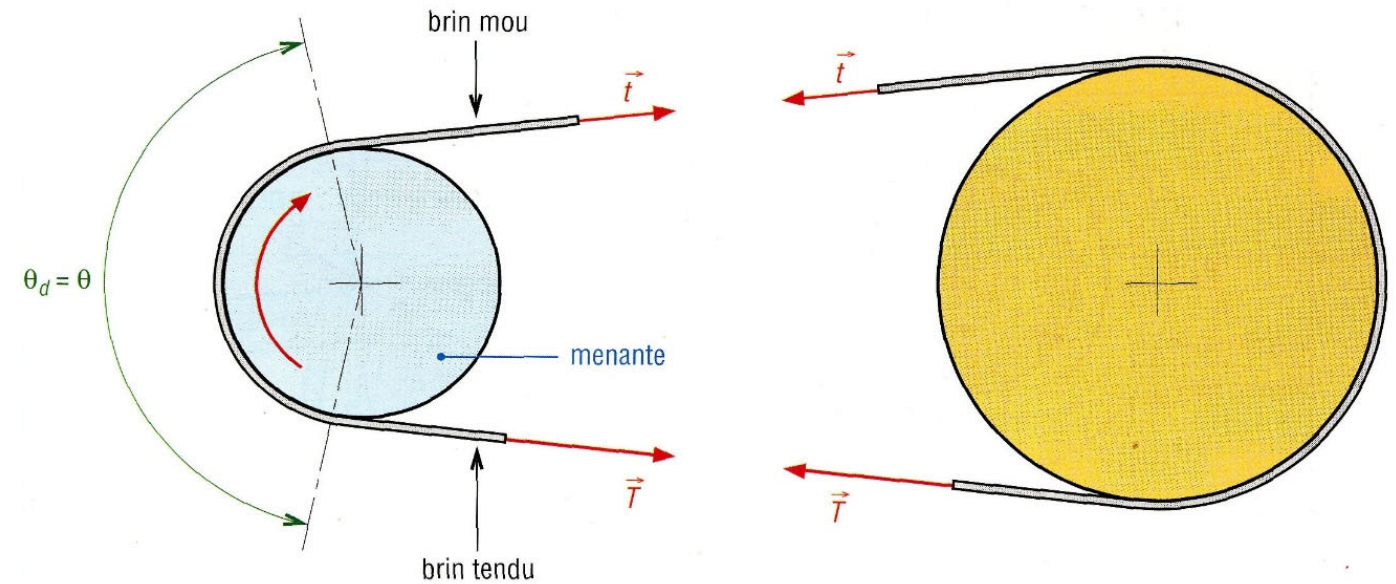
Les forces de frottement entre poulie et courroie sont supposées uniformes sur toute la longueur de l'arc d'enroulement.

$$\frac{T}{t} = e^{f\theta}$$

Sans force centrifuge sur la courroie

$$\frac{T - F_c}{t - F_c} = e^{f\theta}$$

Avec force centrifuge sur la courroie  
qui réduit l'adhérence



$$\text{avec } F_c = \frac{mV^2}{R} = m\omega^2 R$$

Courroies plates:

- Couples (moments) transmis:
- Grande poulie

$$C_D = (T - t) \cdot \frac{D}{2}$$

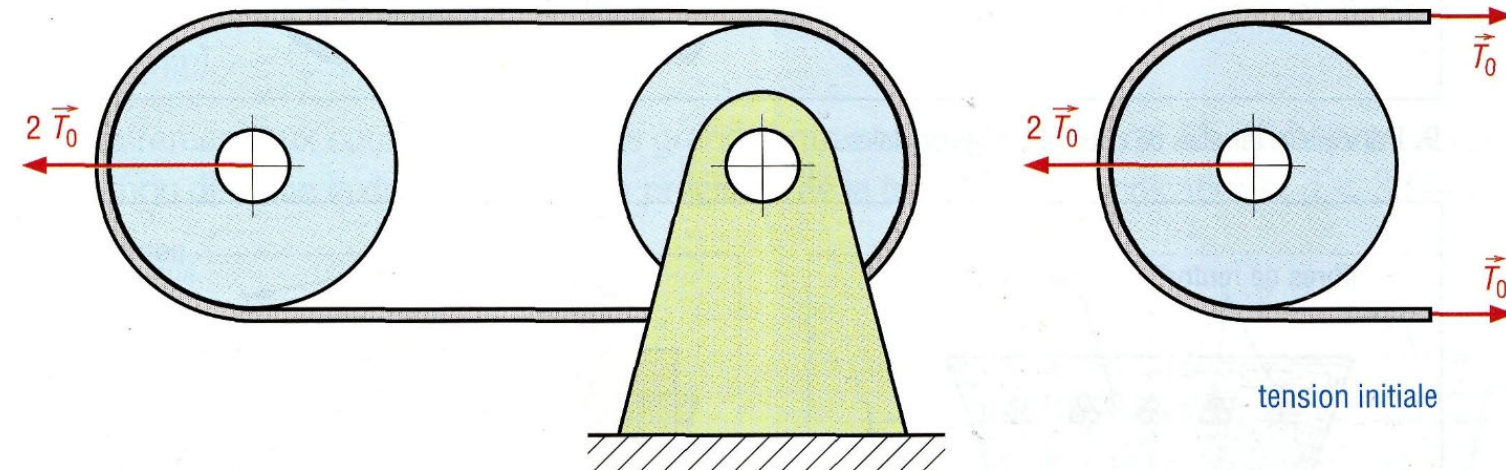
- Petite poulie

$$C_d = (T - t) \cdot \frac{d}{2}$$

- Tension T maximale admissible (Tmax) quand t est minimale:

$$T_0 = \frac{1}{2} \cdot (T + t)$$

$$T_{max} = 2 \cdot T_0$$





Courroies plates:

- Puissance transmissible:

$$P = (T - t) \cdot v$$

$$P = \frac{2 \cdot K_p K_v \cdot T_0}{K_s}$$

en pratique

P en watts

T0 en N

V en m/s

Kp : coefficient correcteur fonction du diamètre de la poulie

Kv : coefficient correcteur fonction de la vitesse (V) de la courroie

Ks : coefficient correcteur fonction des conditions de service



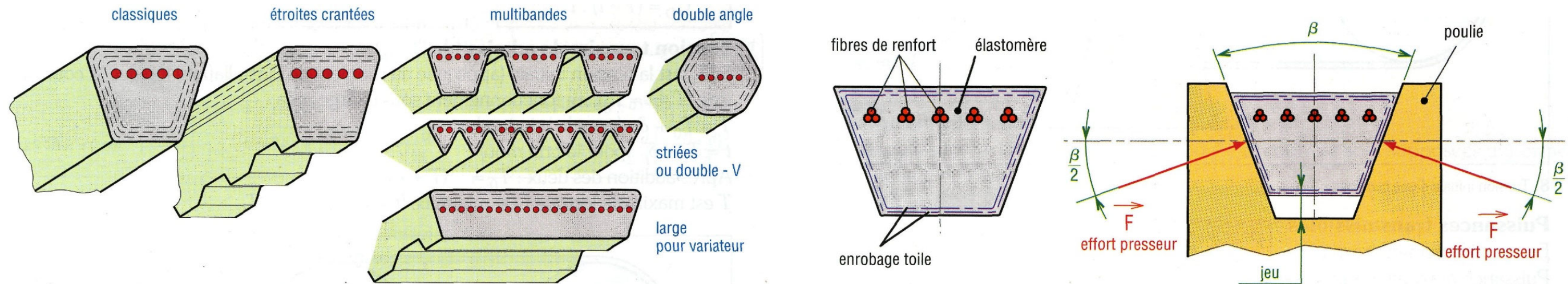
## Courroies plates:

Courroies plates : extrait de dimensions (NF ISO 22)																	
largeur courroie	16	20	25	32	40	50	63	71	80	90	diamètres poulies (ISO) <i>d</i>						
largeur poulie correspondante	20	25	32	40	50	63	71	80	90	100	40	50	63	80			
longueurs préférentielles					500	560	630	710	800	900	100	125	140	160			
	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500		180	200	250	315			
	2800	3150	3550	4000	4500	5000					400	500	630	800			
matériaux	Caractéristiques indicatives des courroies plates et rondes																
polyamide (frottement <i>f</i> = 0,5 à 0,8)	épaisseur courroie (mm)			0,8		1,3		1,8		2,8		3,3		5		6,3	
	diamètre d'enroulement mini sur la poulie (mm)			15		25		60		60		110		240		340	
élastomère (uréthane... <i>f</i> = 0,7)	épaisseur courroie (mm)			0,9		1,6		2				2,3					
	diamètre d'enroulement mini sur la poulie (mm)			8		10 à 13		13 à 19				13 à 19					
U : aramide/uréthane C : aramide/chloropr. S : aramide/silicone	épaisseur courroie (mm)			0,9 (C)		1 (U)		1,1 (S)		1,9 (C)		2 (S-U)		3 (C)			
	diamètre d'enroulement mini sur la poulie (mm)			12		15		15		25		25		50			
courroies rondes (élastomère <i>f</i> = 0,7)	diamètre courroie (mm)			6,4		9,5		12,7		19							
	diamètre d'enroulement mini sur la poulie (mm)			38 à 50		57 à 76		76 à 100		127 à 180							



Courroies trapézoïdales:

- Les plus utilisées
- Plus de pression de contact augmente l'effort transmissible
- Courroies en parallèles sur la même poulie pour augmenter la puissance transmissible
- Vitesses entre 5 et 25m/s – Pas de grands entraxes



- Tension transmissible:

$$\frac{T - F_c}{t - F_c} = e^{f\theta/\sin(\beta/2)}$$

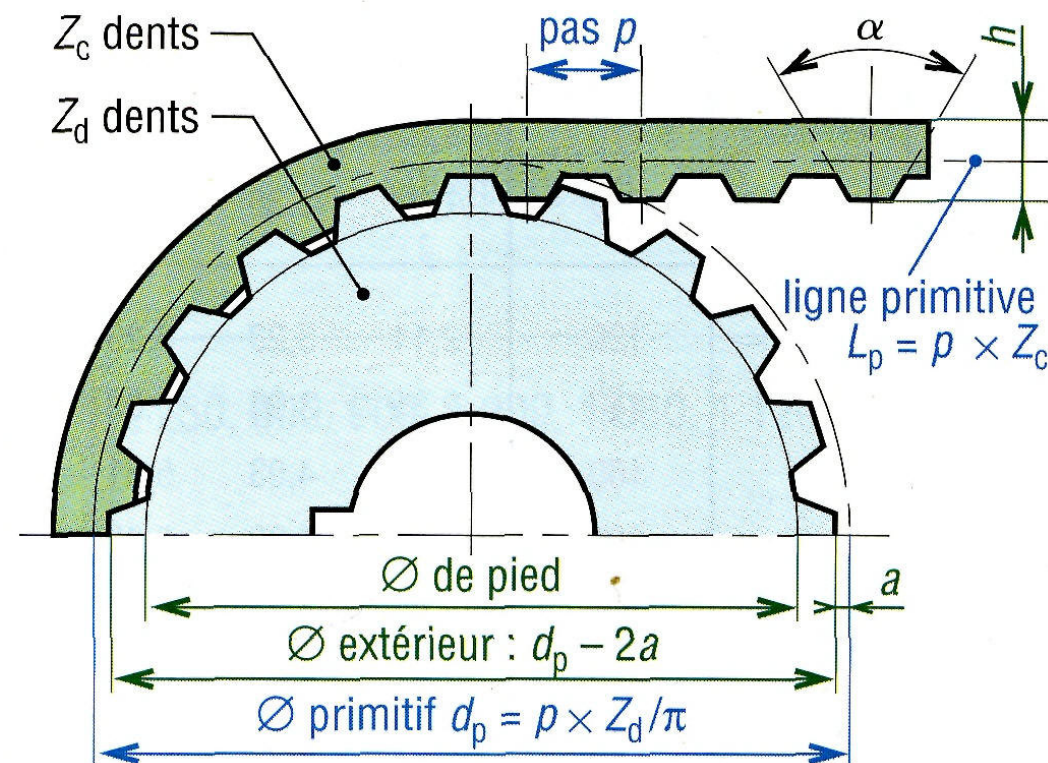
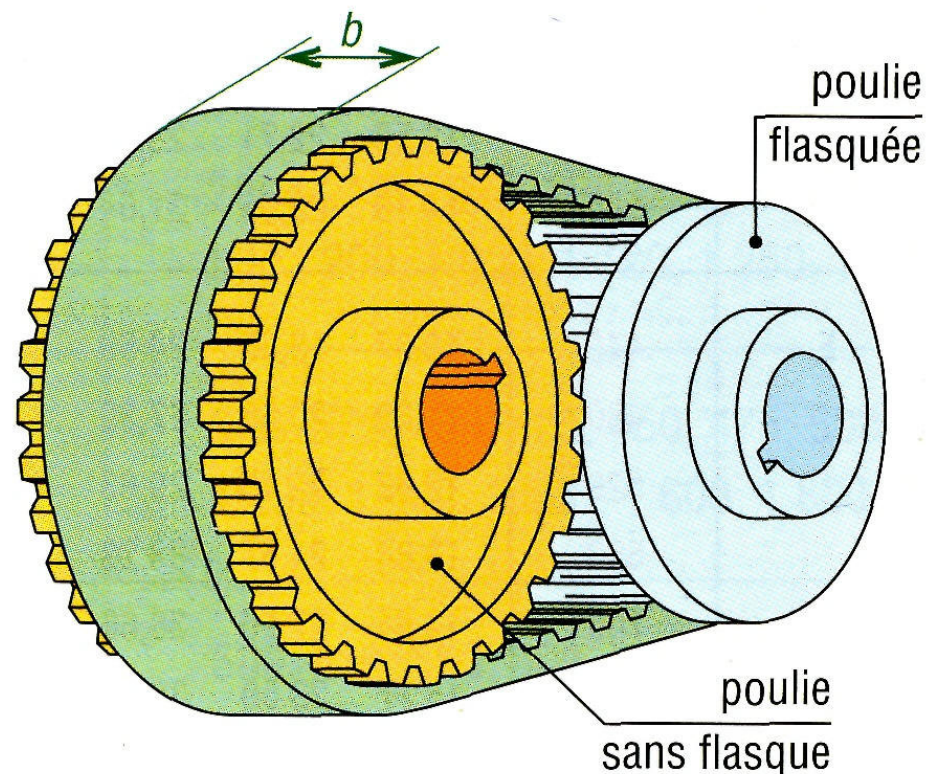
$$T = 3 \text{ a } 5 \times t$$



Courroies crantées ou synchrones:

- Courroies plates crantées
- Engrenement sans glissement
- Similaire a une chaine en plus souple

$$R = \frac{\omega_D}{\omega_d} = \frac{d}{D} = \frac{Z_d}{Z_D} = \frac{C_d}{C_D}$$



Courroies crantées ou synchrones:

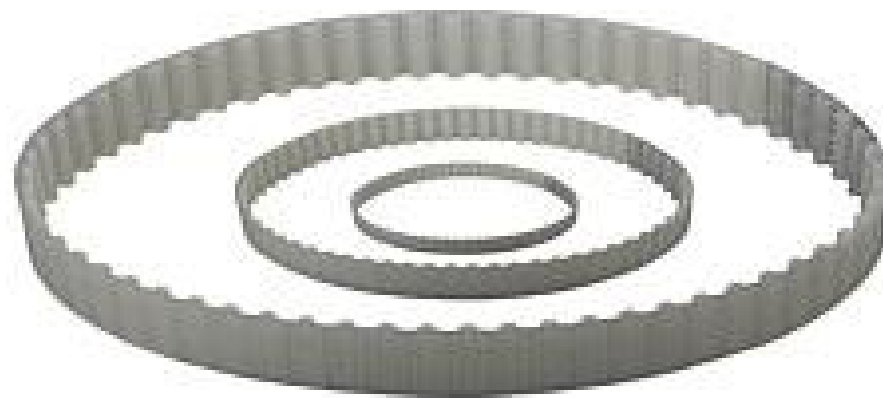
- Calculateur:

<https://www.tanals.com/fr/formulaire-calcul-transmission>

- Exemples de résistance à la tension:

<https://www2.habasit.com/productpdfs/HabaSYNC/t5-a-02-fr-fr.pdf>

[https://www.sit-antriebs technik.ch/download temp/ELA-flex%20SD-F.pdf](https://www.sit-antriebs technik.ch/download_temp/ELA-flex%20SD-F.pdf)



Courroies rondes:

- Pour petits mécanismes
- Fonctionne par adhérence
- Vérifier le diamètre mini de poulie

$$R = \frac{\omega_D}{\omega_d} = \frac{d}{D} = \frac{C_d}{C_D}$$

