

Définitions:

s = Coefficient de sécurité = [1 10]

$R_e (= \sigma_e)$ = Limite élastique / d'élasticité à la traction [MPa]

R_{ec} = Limite élastique / d'élasticité à la compression [MPa]

R_{pe} = Résistance pratique élastique / à l'extension [MPa]
 $= R_e / s$

R_{eg} = Résistance au glissement / au cisaillement [MPa]
 $= \frac{\frac{R_{ec}}{R_e}}{1 + \frac{R_{ec}}{R_e}} R_e = [0.5 \quad 0.8] R_e = [1/2 \quad 4/5] R_e$ Selon les métaux

R_{pg} = Résistance pratique au glissement / au cisaillement [MPa]
 $= R_{eg} / s$
 $= [1/2 \quad 4/5] R_{pe} = [1/2s \quad 4/5s] R_e$

Choix du coefficient de sécurité s sur la limite élastique $Re (= \sigma_e)$:

Fanchon

Valeurs indicatives				
s	Charges exercées sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observations
$1 < s < 2$	régulières et connues	connues	testé et connu	fonctionnement constant sans à-coups
$2 < s < 3$	régulières et assez bien connues	assez bien connues	testé et connu moyennement	fonctionnement usuel avec légers chocs et surcharges modérées
$3 < s < 4$	moyennement connues	moyennement connues	non testé	
	mal connues ou incertaines	mal connues ou incertaines	connu	

Choix du coefficient de sécurité s sur la limite élastique $Re (= \sigma_e)$:

Joseph P. Visodic

Coefficient de sécurité	Connaissance de la charge	Connaissance des tensions permises	Connaissance des propriétés du matériau	Connaissance de l'environnement
1.2-1.5	exacte	exacte	très bonne	complètement sous contrôle
1.5-2.0	bonne	bonne	très bonne	invariable
2.0-2.5	bonne	bonne	moyenne	normale
2.5-3.0	moyenne	moyenne	testée au hasard	normale
3.0-4.0	moyenne	moyenne	non testée	normale
3.0-4.0	indéfinie	indéfinie		indéfinie

Robert L. Norton

Coefficient de sûreté	SF1 - Propriétés matérielles (issues des tests)	SF2 - Conditions de charge (connaissance)	SF3 - Environnement de travail
1.3	Bien connues / caractéristiques	Obtenues des tests	Identique aux conditions de test du matériau
2	Bonne approximation	Bonne approximation	Vérifié, température ambiante
3	Approximation suffisante	Approximation suffisante	Légèrement exigeant
5+	Approximation brute	Approximation brute	Extrêmement exigeant

Coefficient de sécurité (matériaux ductiles) = $\max(SF1, SF2, SF3)$; basé sur la limite d'élasticitéCoefficient de sécurité (matériaux fragiles) = $2 \cdot [\max(SF1, SF2, SF3)]$; basé sur la limite de résistance

Dans nos projets de construction mécaniques avec de bonnes connaissances des paramètres:

$$s = 2$$

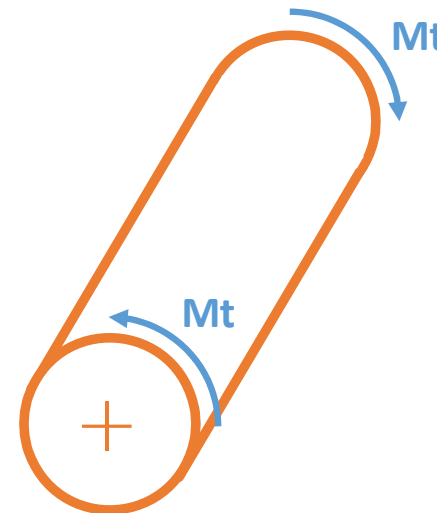
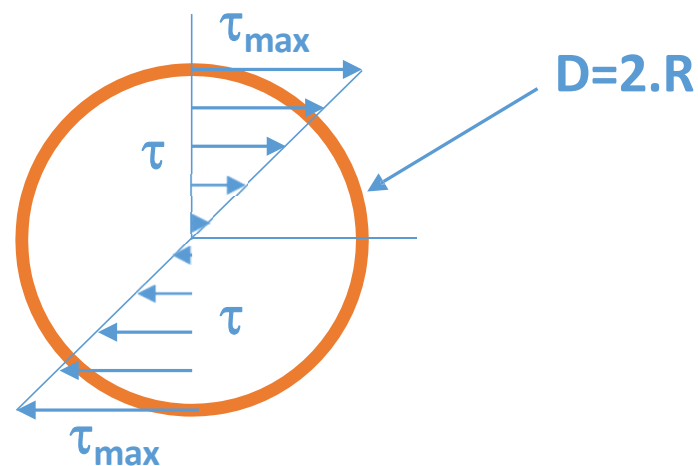
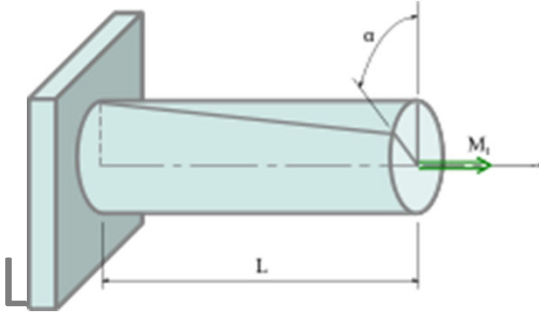
Attention exemples exigeants:

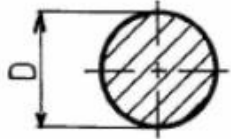
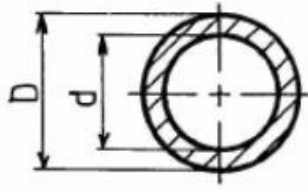
ascenseurs $s = 10$ barrages $s = 20$

Contrainte tangentielle de Torsion (Mpa):

$$\tau = G\theta r = \frac{M_t}{I_0} r$$

- r =Distance au centre de l'arbre (mm)
- θ =Angle unitaire de torsion (rad/ mm) $= \alpha / L$
- G =Module d'élasticité transversal ou module de coulomb (en MPa)
- I_0 =Moment quadratique polaire de la section (mm⁴)
- M_t =Moment de torsion (N.mm)



Sections	Caractéristiques
	$I_0 = \frac{\pi D^4}{32}$ $\frac{I_0}{R} = \frac{\pi D^3}{16}$
	$I_0 = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $\frac{I_0}{R} = \frac{\pi D^3}{16} - \frac{\pi d^3}{16}$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

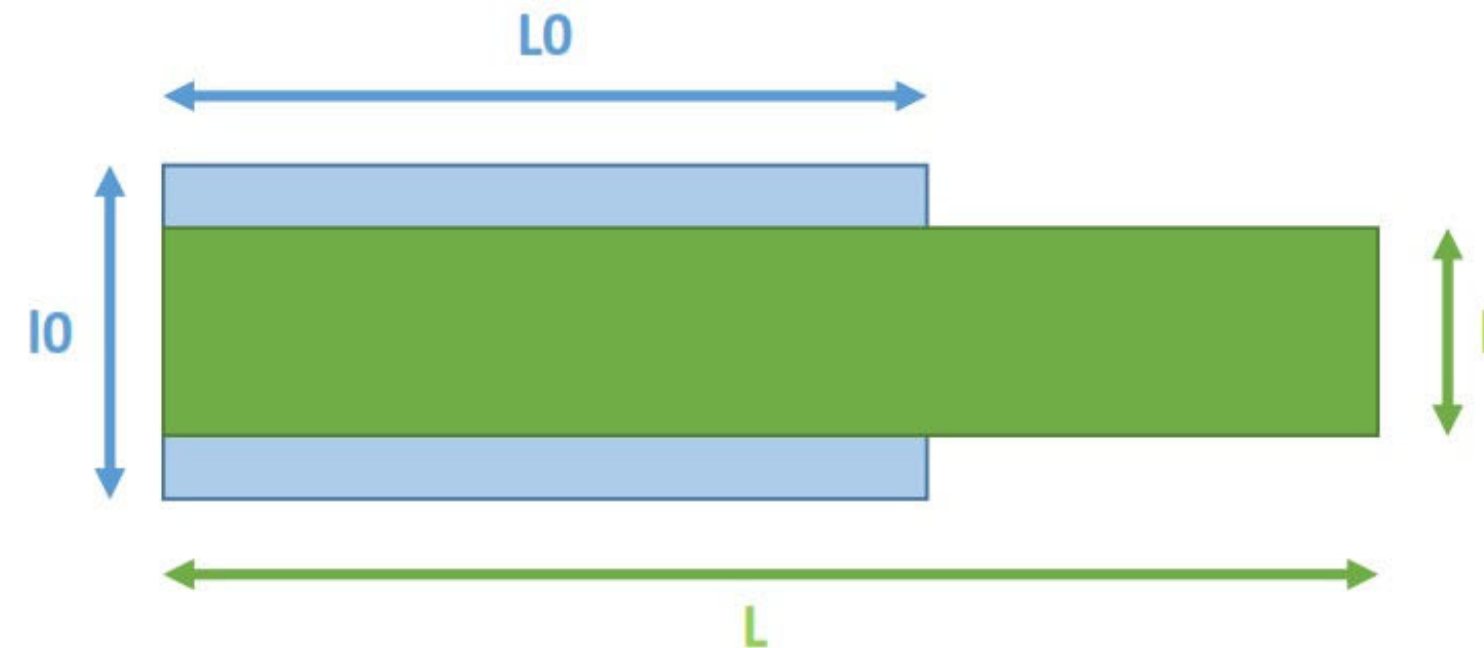
E = Module d'élasticité longitudinal
ou Module d'Young (MPa=N/mm²)

G = Module d'élasticité transversal, de cisaillement, de
glissement, de Coulomb (MPa=N/mm²)

ν = Coefficient de Poisson (adimensionnel)

=0.3-0.31 pour acier inox

=0.35 pour aluminium



$$\nu = - \frac{(l - l_0)/l_0}{(L - L_0)/L_0}$$

Contraction transversale

$$= - \frac{\text{Contraction transversale}}{\text{Allongement axial}}$$

Contrainte tangentielle maximale de Torsion (Mpa):

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_0} R$$

- R = Rayon de l'arbre (mm)
- I_0 = Moment quadratique polaire de la section (mm⁴)
- Mt = Moment de torsion (N.mm)

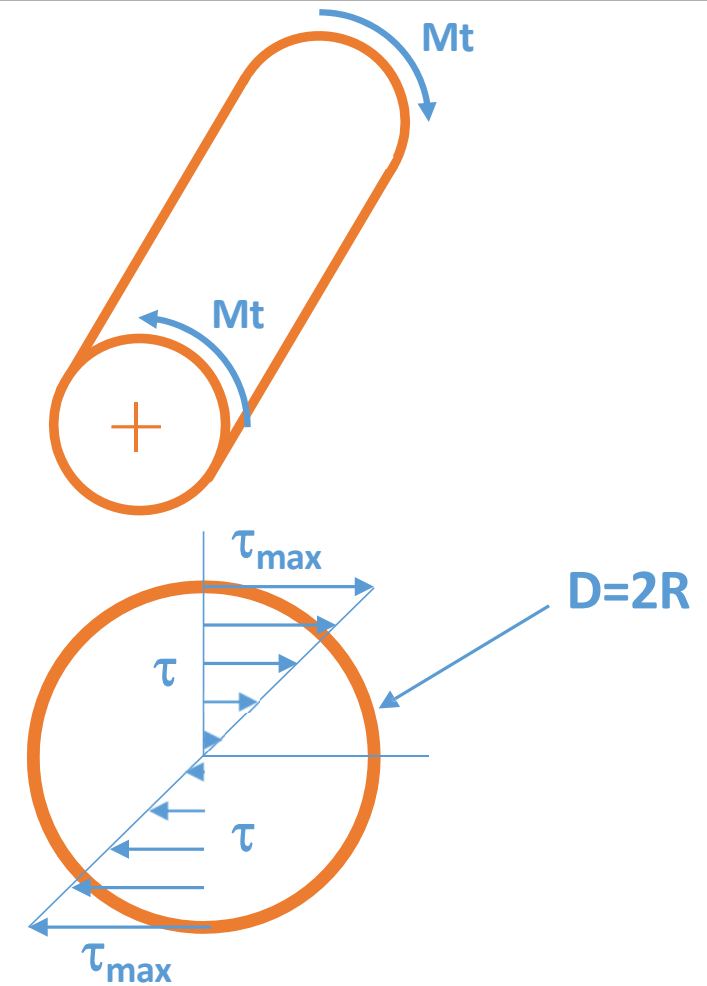
Condition de résistance a la torsion:

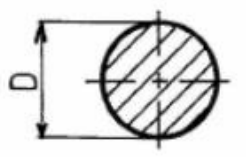
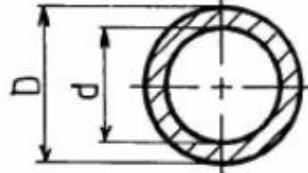
$$\tau_{max} < R_{pg}$$

- R_{pg} = Résistance pratique au cisaillement (MPa)

Résistance pratique au cisaillement (MPa):

$$R_{pg} = \frac{R_e}{2s} = \frac{R_e}{4} \quad \text{avec } s = 2$$



Sections	Caractéristiques
	$I_0 = \frac{\pi D^4}{32}$ $\frac{I_0}{R} = \frac{\pi D^3}{16}$
	$I_0 = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $\frac{I_0}{R} = \frac{\pi D^3}{16} - \frac{\pi d^3}{16}$

Exemples de valeurs de R_e Limite élastique (MPa)

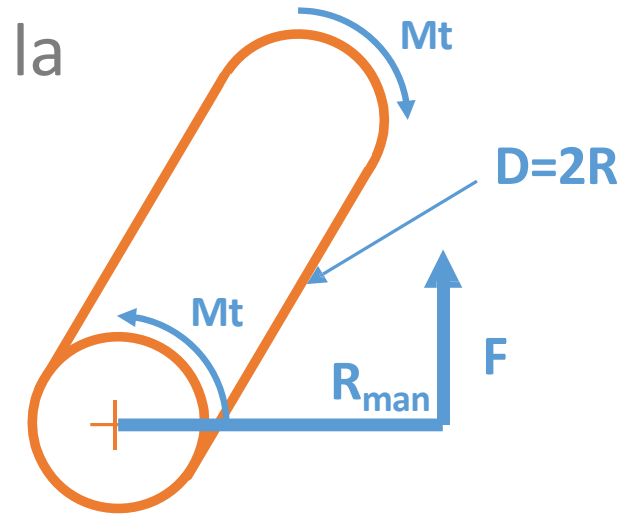
Matière	Nuance	R_e (MPa)
Bois résineux courants	C18 à C30	18 à 30
Bois lamellé-collé	GL24 à GL32	24 à 32
Aluminium	Série 1000 à Série 7000	90 à 440
Acier de construction usuel non allié	S235 à S355	235 à 355
Acier au carbone trempé	XC 30 (C30)	350 à 400
Acier faiblement allié trempé	30 Cr Ni Mo 16 (30 CND 8)	700 à 1 450
ABS		45
PTFE		27
Delrin (acetal homopolymer)		76
Nylon 6/6 (extrudé)		79

Exemple: Contrainte tangentielle maximale de Torsion (Mpa) Rayon de la manivelle: $R_{\text{man}} = 10\text{cm}$

Force appliquée a la manivelle: $F = 1\text{kg} = 9.81\text{N}$

Moment appliqué a l'arbre par la manivelle: $M_t = F \cdot R = 0.981\text{N.m}$

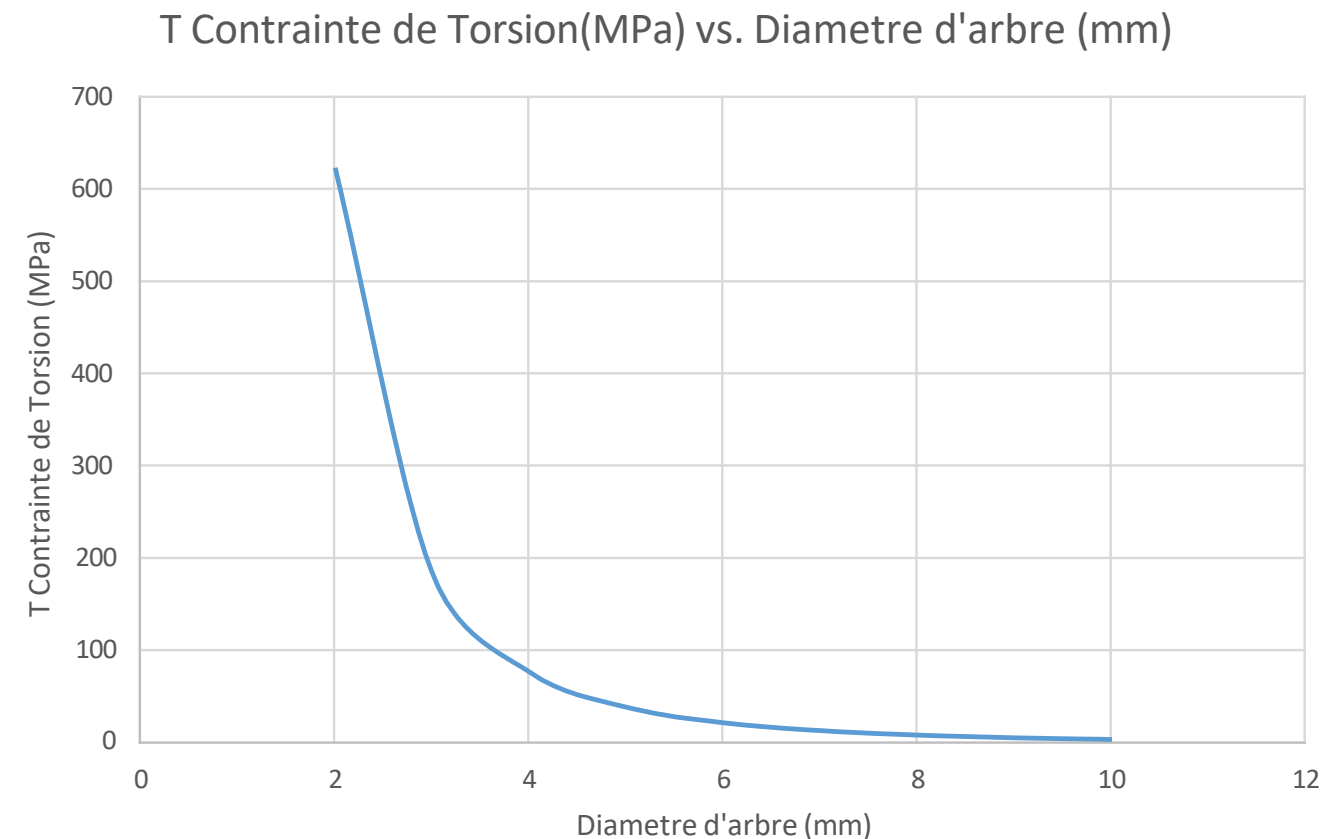
Rayon de l'arbre: $R =$ de 2mm a 10mm



Choisir le matériau en comparant la contrainte de torsion au huitième de la limite élastique:

$$\tau_{\text{max}} < R_{\text{pg}} = \frac{R_e}{2s} = \frac{R_e}{4}$$

Avec $s = 2$



$$\tau = \frac{F}{A} = G \times \theta$$

τ = Contrainte de cisaillement / Cission [Mpa]

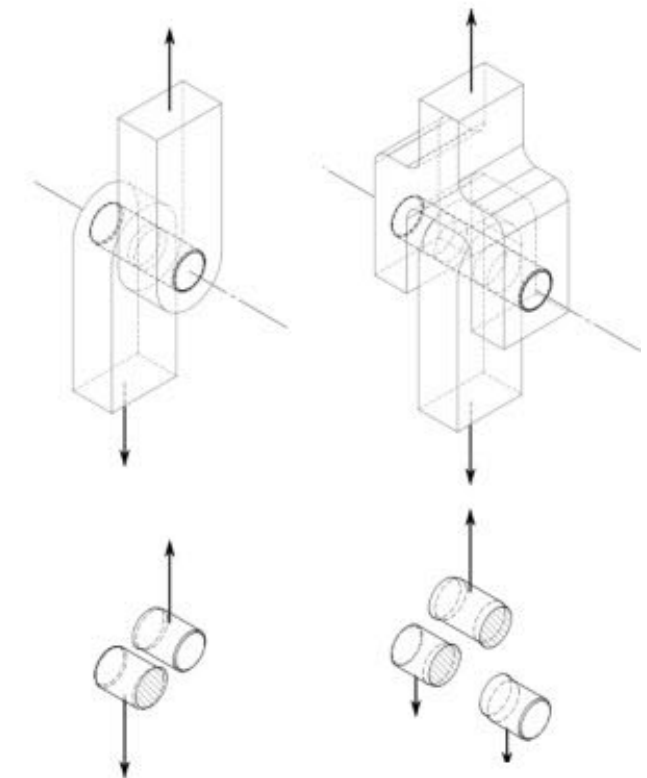
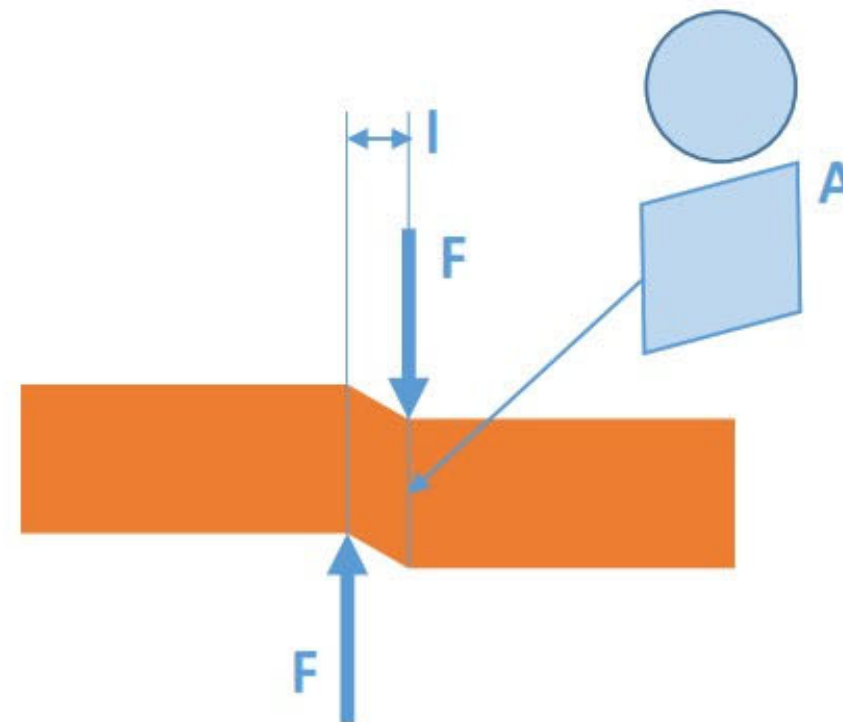
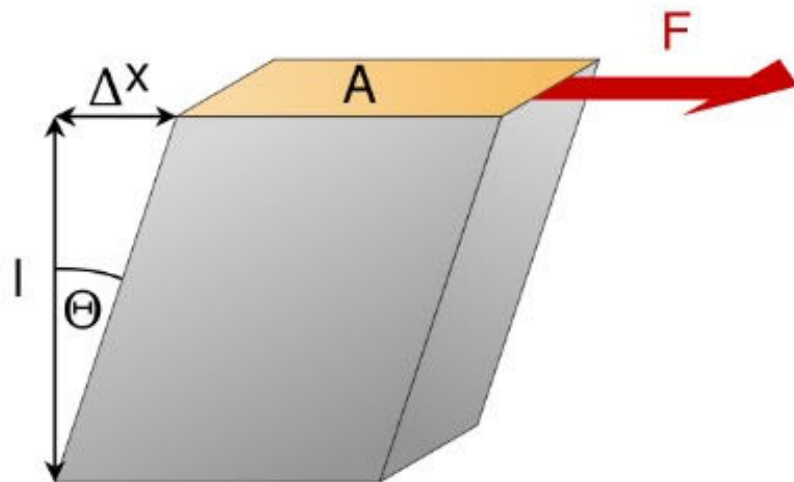
G = Module d'élasticité transversal ou de cisaillement (MPa=N/mm²)

θ = Variation de l'angle droit (rad)

F = Effort tranchant (N)

A = Section cisailée (mm²)

$$\theta = \frac{\Delta x}{l}$$



- Contrainte de cisaillement (Mpa) :

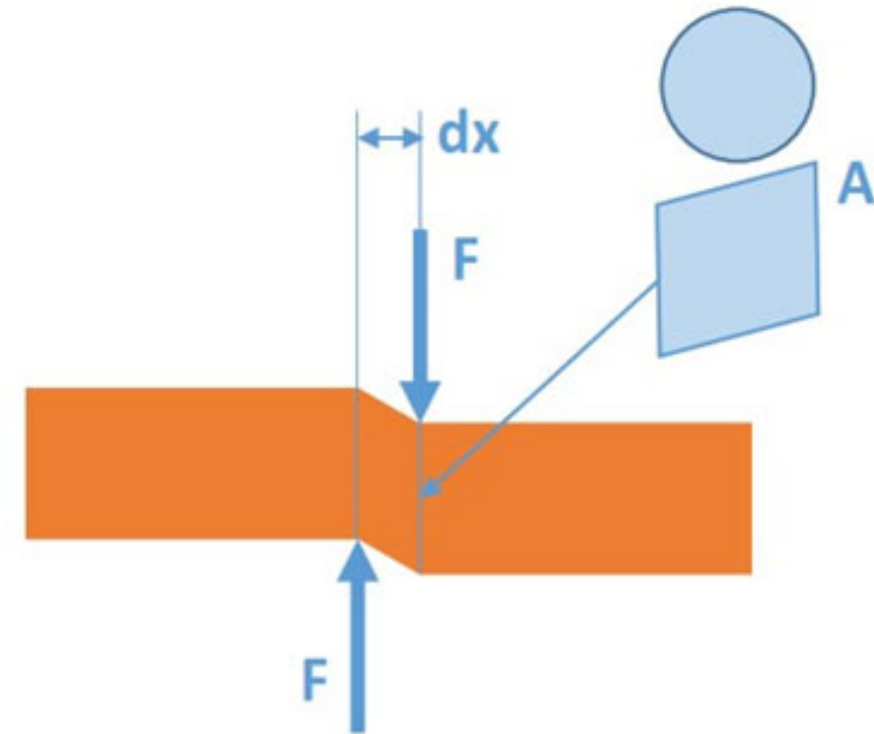
$$\tau = \frac{F}{A}$$

A = Section cisailée (mm²)

F = Effort tranchant (N)

- Condition de resistance au cisaillement:

$$\tau_{\max} < R_{pg} = \frac{R_e}{4}$$



Energie
d'entrée



Energie de
sortie

Rendement:

$$\eta = \frac{\text{Travail Sortie}}{\text{Travail Entree}} = \frac{W_S}{W_E}$$

Rendement Instantané:

$$\eta = \frac{\text{Puissance Sortie}}{\text{Puissance Entree}} = \frac{P_S}{P_E}$$

Par mécanisme:

Hélice

Engrenage (une paire de roues dentées droites) 98%

Courroie crantée

98%

Courroie plate

98%

Courroie trapézoïdale

70 a 96%

Roulement à bille

99% (faibles charges dans le projet)

Palier lisse (coussinet)

À calculer

Rendement:

60 a 85% (hélice bipale, hélice couverture totale)

Estimating the frictional moment

Under certain conditions, the frictional moment can be estimated with sufficient accuracy using a constant coefficient of friction μ . The conditions are:

- bearing load $P \approx 0,1 C$
- good lubrication
- normal operating conditions

The frictional moment under these conditions can be estimated using

$$M = 0,5 \mu P d$$

For radial needle roller bearings, use F or F_w instead of d .

where

M	=	frictional moment [Nmm]
μ	=	constant coefficient of friction for the bearing (see table 1)
P	=	equivalent dynamic bearing load [N]
d	=	bearing bore diameter [mm]
F	=	inner ring raceway diameter [mm]
F_w	=	diameter under the rollers [mm]

Constant coefficient of friction μ for open bearings

Bearing type	Coefficient of friction μ
Deep groove ball bearings	0,0015
Angular contact ball bearings	
– single row	0,0020
– double row	0,0024
– four-point contact	0,0024
Self-aligning ball bearings	0,0010
Cylindrical roller bearings	
– with a cage, when $F_a \approx 0$	0,0011
– full complement, when $F_a \approx 0$	0,0020
Needle roller bearings with a cage	0,0020
Tapered roller bearings	0,0018
Spherical roller bearings	0,0018
CARB toroidal roller bearings with a cage	0,0016
Thrust ball bearings	0,0013
Cylindrical roller thrust bearings	0,0050
Needle roller thrust bearings	0,0050
Spherical roller thrust bearings	0,0018

Exemple:

Moment de frottement résistant dans deux roulements à billes à contact radial

Dimensions de l'arbre supporté par les roulements:

$R=2\text{mm}$ Longueur de l'arbre: $L=200\text{mm}$

Matière de l'arbre: Acier 304 masse volumique= 8000kg/m^3 $M_a=0.020\text{kg}$

Masse totale avec une roue dentée de 100g placée au centre de l'arbre:

$M=M_a+M_r=0.020+0.100=0.120\text{kg}$

La charge est partagée par les 2 roulements ($P/2$) puis additionnée ($2P/2$) pour calculer le moment résistant

Moment de frottement:

$M_f=0.5\mu P d=0.5 \times 0.0015 \times 0.120 \times 9.81 \times 0.004=3.5 \cdot 10^{-6}\text{N.m}=0.0035\text{N.mm}$

Power loss and bearing temperature

The power loss in a bearing as a result of bearing friction can be estimated using

$$N_R = 1,05 \times 10^{-4} M n$$

where

N_R	=	power loss [W]
M	=	total frictional moment of the bearing [Nmm]
n	=	rotational speed [r/min]

The cooling factor W_s is defined as the heat being removed from the bearing per degree of temperature difference between the bearing and ambient. If the value of W_s is known, a rough estimate of the temperature increase in the bearing can be obtained using

$$\Delta T = N_R / W_s$$

where

ΔT	=	temperature increase [°C]
N_R	=	power loss [W]
W_s	=	cooling factor [W/°C]

Exemple: Puissance dissipée dans un roulement:

Vitesse de rotation = $2 \text{ tr/s} = 120 \text{ tr/min} = 12.57 \text{ rad/s}$

$N_r = 1.05 \times 10^{-4} \cdot M_f \cdot n = 1.05 \times 10^{-4} \times 0.0035 \times 120 = 4.4 \times 10^{-5} \text{ W}$

Puissance disponible sur l'arbre avec moment de 0.981 N.m :

$P = M_t \cdot \omega = 0.981 \text{ N.m} \times 12.57 \text{ rad/s} = 12.3 \text{ W}$

Rendement Roulement:

$\eta = 1 - N_r / P = 99.9\%$