

1	UNITÉS 1/2			
2	UNITES DES GRANDEURS LES PLUS USUELLES			
	Grandeur	Nom	Symbole	Expression en unité de base
3	Espace et temps :			
	Aire, superficie	mètre carré	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
	Volume	mètre cube	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
	Vitesse angulaire	radian par seconde	rad/s	s <sup>-1</sup> .rad
	Vitesse	mètre par seconde	m/s	m.s <sup>-1</sup>
	Accélération	mètre par seconde carré	m/s <sup>2</sup>	m.s <sup>-2</sup>
4	Fréquence	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
	Fréquence de rotation	seconde à la puissance moins un	s <sup>-1</sup>	s <sup>-1</sup>
	Mécanique :			
	Masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> .kg
	Débit-masse	kilogramme par seconde	kg/s	kg.s <sup>-1</sup>
5	Débit-volume	mètre cube par seconde	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
	Moment cinétique	kilogramme-mètre carré par seconde	kg.m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-1</sup>
	Moment d'inertie	kilogramme-mètre carré	kg.m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> .kg
	Force	newton	N	m.kg.s <sup>-2</sup>
	Moment d'une force	newton - mètre	N.m	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
6	Pression, contrainte	pascal	Pa	m <sup>-1</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
	Viscosité (dynamique)	pascal-seconde	Pa.s	m <sup>-1</sup> .kg.s <sup>-1</sup>
	Viscosité (cinématique)	mètre carré par seconde	m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
	Energie, travail	joule	J	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
	Puissance	watt	W	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-3</sup>
7	Thermodynamique :			
	Coefficient de dilatation linéique	kelvin à la puissance moins un	K <sup>-1</sup>	K <sup>-1</sup>
	Conductivité thermique	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)	m.kg.s <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup>
	Capacité thermique massique	joule par kilogramme-kelvin	J/(kg.K)	m <sup>2</sup> .s <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
	Entropie	joule par kelvin	J/K	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
8	Energie interne, enthalpie	joule	J	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
	Electricité – Magnétisme :			
	Charge électrique	coulomb	C	s.A
	Champ électrique	volt par mètre	V/m	m.kg.s <sup>-3</sup> .A <sup>-1</sup>
9	Tension, différence de potentiel	volt	V	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-3</sup> .A <sup>-1</sup>
	Capacité	farad	F	m <sup>-2</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>4</sup> .A <sup>2</sup>
	Champ magnétique	ampère par mètre	A/m	m <sup>-1</sup> .A
	Induction magnétique	tesla	T	kg.s <sup>-2</sup> .A <sup>-1</sup>
	Flux d'induction magnétique	weber	Wb	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup> .A <sup>-1</sup>
	Inductance	henry	H	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup> .A <sup>-2</sup>
10	Résistance, impédance	ohm	Ω	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-3</sup> .A <sup>-2</sup>
	Conductance, admittance	siemens	S	m <sup>-2</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>3</sup> .A <sup>2</sup>
	Résistivité	ohm-mètre	Ω.m	m <sup>3</sup> .kg.s <sup>-3</sup> .A <sup>-2</sup>
	Conductivité	siemens par mètre	S/m	m <sup>-3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>3</sup> .A <sup>2</sup>
11	Optique :			
	Flux lumineux	lumen	lm	cd.sr
	Luminance (lumineuse)	candela par mètre carré	cd/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> .cd
	Eclairement	lux	lx	m <sup>-2</sup> .cd.sr
	Exposition lumineuse	lux seconde	lx.s	m <sup>-2</sup> .s.cd.sr
	Efficacité lumineuse	lumen par watt	lm/W	m <sup>-2</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>3</sup> .cd.sr
M	MEMENTO		UNITÉS	
			M3	

Préfixes et Abréviations

Nom	tera	giga	mega	kilo	hect(o)	déca	déci	centi	milli	micro	nano	pico
Multiplicateur	10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-12</sup>
Abréviation internationale	T	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p

Conversion des longueurs

	mm	cm	m	inches	feet	yards	km	mile
mm	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	3.93701. 10 <sup>-2</sup>	3.28084 10 <sup>-3</sup>	1.09361 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	6.21388 10 <sup>-7</sup>
cm	10	1	10 <sup>-2</sup>	3.93701 10 <sup>-1</sup>	3.28084 10 <sup>-2</sup>	1.09361 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup>	6.21388 10 <sup>-6</sup>
m	1000	100	1	39.3701	3.28084	1.09361	10 <sup>-3</sup>	6.21388 10 <sup>-4</sup>
inches	25.4	2.54	2.54 10 <sup>-2</sup>	1	8.3333 10 <sup>-2</sup>	2.7778 10 <sup>-2</sup>	2.54 10 <sup>-5</sup>	1.57828 10 <sup>-5</sup>
feet	304.8	30.48	3.048 10 <sup>-1</sup>	12	1	3.3333 10 <sup>-1</sup>	3.048 10 <sup>-4</sup>	1.89394 10 <sup>-4</sup>
yards	914.4	91.44	9.144 10 <sup>-1</sup>	36	3	1	9.144 10 <sup>-4</sup>	5.68182 10 <sup>-4</sup>
km	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	1000	39370.1	3280.84	1093.61	1	6.21388 10 <sup>-1</sup>
mile	1.60934 10 <sup>6</sup>	160934	1609.34	63360	5280	1760	1.60934	1

Conversions des masses

	g	kg	oz	Pound (lbm)	US ton
g	1	10 <sup>-3</sup>	3.5274 10 <sup>-2</sup>	2.20462 10 <sup>-3</sup>	1.10231 10 <sup>-6</sup>
kg	1000	1	35.274	2.20462	1.10231 10 <sup>-3</sup>
oz	28.3495	2.83495 10 <sup>-2</sup>	1	6.25 10 <sup>-2</sup>	3.125 10 <sup>-5</sup>
Pound (lbm)	453.592	4.53592 10 <sup>-1</sup>	16	1	5 10 <sup>-4</sup>
US ton	907185	907.185	32000	2000	1

Conversion d'énergie

	J	Wh	kp m	kcal	BTU
J	1	2.77778 10 <sup>-4</sup>	1.01972 10 <sup>-1</sup>	2.38846 10 <sup>-4</sup>	9.47817 10 <sup>-4</sup>
Wh	3600	1	367.098	8.59845 10 <sup>-1</sup>	3.41214
kp m	9.80665	2.72407 10 <sup>-3</sup>	1	2.34228 10 <sup>-3</sup>	9.29491 10 <sup>-3</sup>
kcal	4186.8	1.163	426.935	1	3.96832
BTU	1055.06	2.93071 10 <sup>-1</sup>	107.586	2.51996 10 <sup>-1</sup>	1

Conversion des pressions

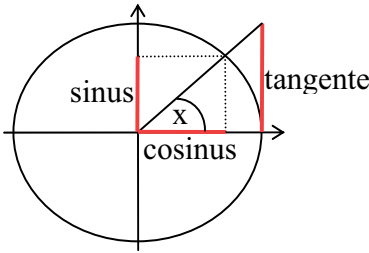
	Pa	N/mm <sup>2</sup>	bar	[kp/cm <sup>2</sup> ]	[torr]
Pa	1	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	1.02 10 <sup>-5</sup>	7.5 10 <sup>-3</sup>
N/mm <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	1	10	10.2	7.5 10 <sup>3</sup>
bar	10 <sup>5</sup>	0.1	1	1.02	7.5 10 <sup>2</sup>
[kp/cm <sup>2</sup> ]	98100	9.81 10 <sup>-2</sup>	0.981	1	736
[torr]	133	0.133 10 <sup>-3</sup>	1.33 10 <sup>-3</sup>	1.36 10 <sup>-3</sup>	1

# MATHEMATIQUES 1/2

## FORMULAIRE DE TRIGONOMETRIE

### Angles :

x	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
sin (x)	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
cos (x)	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
tan (x)	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	non déf.



### Relations fondamentales :

$$\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1 \quad \tan(x) = \frac{\sin(x)}{\cos(x)} = \frac{1}{\cotan(x)} \quad \sin^2(x) = \frac{1 - \cos(2x)}{2} \quad \cos^2(x) = \frac{1 + \cos(2x)}{2}$$

### Addition :

$$\begin{aligned} \sin(a + b) &= \sin a \cdot \cos b + \sin b \cdot \cos a \\ \sin(a - b) &= \sin a \cdot \cos b - \sin b \cdot \cos a \\ \cos(a + b) &= \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b \\ \cos(a - b) &= \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \end{aligned} \quad \begin{aligned} \tan(a + b) &= \frac{\tan a + \tan b}{1 - \tan a \cdot \tan b} \\ \tan(a - b) &= \frac{\tan a - \tan b}{1 + \tan a \cdot \tan b} \end{aligned}$$

### Multiplication :

$$\begin{aligned} \sin a \cdot \cos b &= \frac{1}{2} [ \sin(a+b) + \sin(a-b) ] & \sin 2a &= 2 \sin a \cdot \cos a = \frac{2 \tan a}{1 + \tan^2 a} \\ \sin a \cdot \sin b &= \frac{1}{2} [ \cos(a-b) - \cos(a+b) ] & \cos 2a &= \cos^2 a - \sin^2 a = \frac{1 - \tan^2 a}{1 + \tan^2 a} \\ \cos a \cdot \cos b &= \frac{1}{2} [ \cos(a+b) + \cos(a-b) ] & \cos 2a &= 2 \cos^2 a - 1 = 1 - 2 \sin^2 a \\ & & \tan 2a &= \frac{2 \tan a}{1 - \tan^2 a} \end{aligned}$$

### Autres relations :

$$\begin{aligned} 1 + \cos a &= 2 \cos^2 \frac{a}{2} & \sin a &= 2 \sin \frac{a}{2} \cdot \cos \frac{a}{2} & \frac{1 - \cos a}{1 + \cos a} &= \tan^2 \frac{a}{2} & \tan a &= \frac{2 \tan a/2}{1 - \tan^2 a/2} \\ 1 - \cos a &= 2 \sin^2 \frac{a}{2} & \cos a &= \cos^2 \frac{a}{2} - \sin^2 \frac{a}{2} \end{aligned}$$

### Formules de l'angle double :

$$\sin(2\theta) = 2 \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) \quad \cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta) = 2\cos^2(\theta) - 1 = 1 - 2\sin^2(\theta) \quad \tan(2\theta) = \frac{2\tan(\theta)}{1 - \tan^2(\theta)}$$

### Cosinus, sinus et tangente d'un angle aigu :

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{coté adjacent à } \alpha}{\text{hypoténuse}} \quad \sin(\alpha) = \frac{\text{coté opposé à } \alpha}{\text{hypoténuse}} \quad \tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

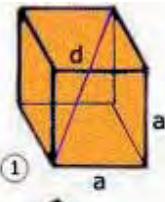
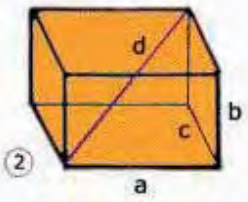

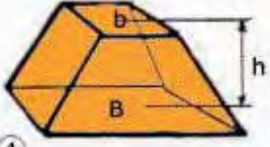

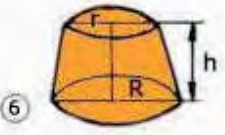
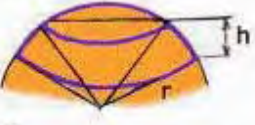
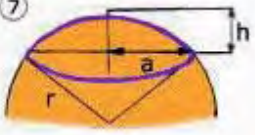
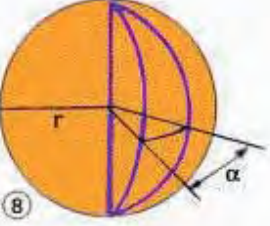

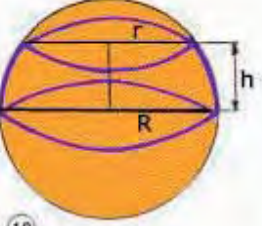
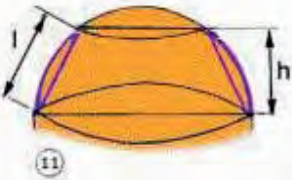
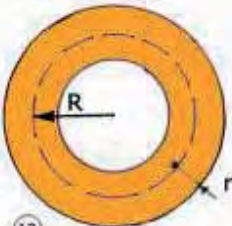
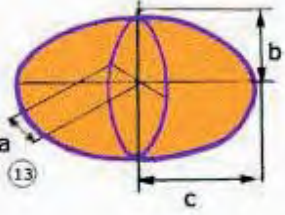
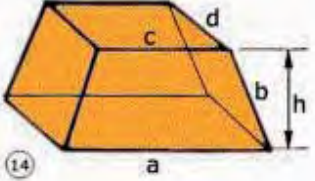
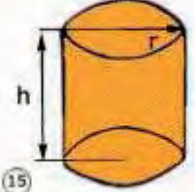
### Formules d' Euler :

$$\cos(\theta) = \frac{e^{j\theta} + e^{-j\theta}}{2} \quad \text{et} \quad \sin(\theta) = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

### Formule de Moivre :

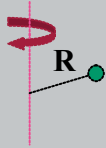
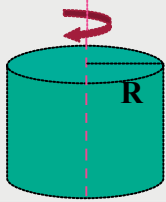
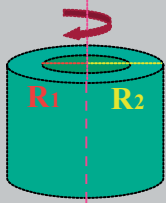
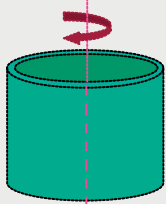
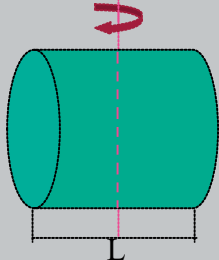
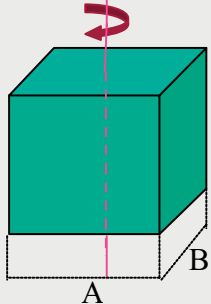
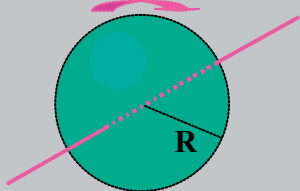
$$(\cos \theta + j \sin \theta)^n = \cos(n\theta) + j \sin(n\theta)$$

VOLUMES

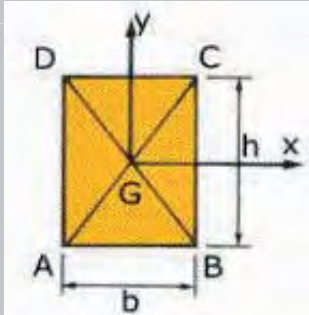
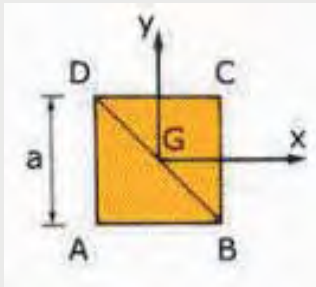
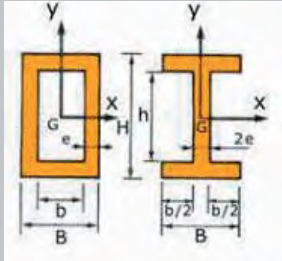
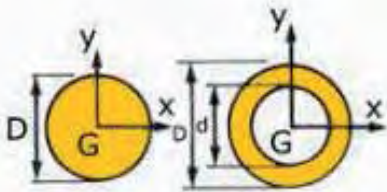
Désignation	Volume	Figure
Cube (1)	$a^3$ ( $d = a.\sqrt{3}$ )	
Parallélépipède rectangle (2)	$a.b.c$ ( $d = \sqrt{a^2+b^2+c^2}$ )	
Pyramide (3)	$\frac{B.h}{3}$	
Tronc de pyramide (4)	$\frac{h}{3} (B_1 + B_2 + \sqrt{B_1.B_2})$	
Cône (5)	$\frac{\pi.r^2.h}{3}$	
Tronc de cône (6)	$\frac{\pi.h}{3} (R^2 + R.r + r^2)$	
Sphère	$\frac{4}{3} \pi.r^3$	
Secteur sphérique (7)	$\frac{2}{3} \pi.r^2.h$	
Onglet sphérique (8)	$\frac{2.\alpha.r^3}{3}$ ( $\alpha$ en rad)	
Calotte sphérique (9)	$\frac{\pi.h^3}{6} + \frac{\pi.a^2.h}{2}$	
Segment sphérique (10)	$\frac{1}{6} \pi.h^3 + \frac{\pi.h}{2} .(R^2 + r^2)$	
Anneau sphérique (11)	$\frac{1}{6} \pi.l^2.h$	
Tore (12)	$2 \pi^2 .R.r^2$	
Ellipsoïde (13)	$\frac{4}{3} \pi.a.b.c$	
Prisme quadrangulaire (14)	$\frac{h}{6} [b.(2a + c)+d.(2c + a)]$	
Cylindre (15)	$\pi.r^2.h$	

# MÉCANIQUE 1/2

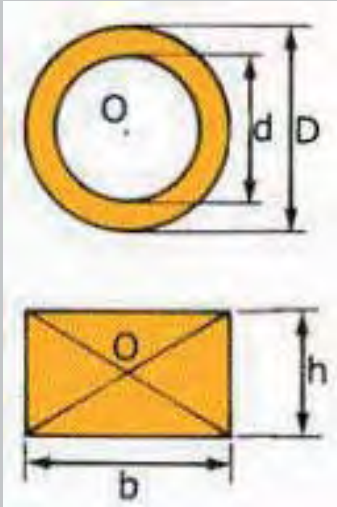
## MOMENTS D'INERTIE

Masse ponctuelle	$J = M \cdot R^2$	
Cylindre plein	$J = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$	
Cylindre annulaire	$J = \frac{1}{2} \cdot M \cdot (R_1^2 - R_2^2)$	
Cylindre annulaire mince	$J = M \cdot R^2$	
Cylindre plein transverse	$J = \frac{1}{4} \cdot M \cdot (R^2 + \frac{L^2}{3})$	
Parallélépipède rectangle	$J = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (A^2 + B^2)$	
Sphère pleine	$J = \frac{2}{5} \cdot M \cdot R^2$	

MOMENTS QUADRATIQUES

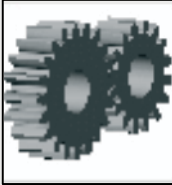
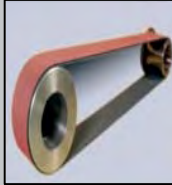

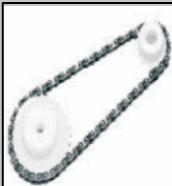




Rectangle	<p>Par rapport à un axe passant par G</p> $I_{GX} = \frac{b \cdot h^3}{12}, I_{GY} = \frac{h \cdot b^3}{12}$ <p>Par rapport à un côté</p> $I_{AB} = \frac{B \cdot h^3}{3}, I_{BC} = \frac{h \cdot b^3}{3}$	
Carré	<p>Par rapport à un axe passant par G</p> $I_{GX} = I_{GY} = \frac{a^4}{12}$ <p>Par rapport à un côté</p> $I_{AB} = I_{BC} = \frac{a^4}{3}$	
Rectangle creux	$I_{GX} = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12}$	
Un I	$I_{GY} = \frac{H \cdot B^3 - h \cdot b^3}{12}$	
Cercle	$I_{GX} = I_{GY} = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$	
Couronne	$I_{GX} = I_{GY} = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	

MOMENTS POLAIRES

Rectangle	$I_0 = \frac{b \cdot h \cdot (b^2 + h^2)}{12}$	
Carré	$I_0 = \frac{a^4}{6}$	
Cercle	$I_0 = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$	
Couronne circulaire	$I_0 = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	

# TRANSMISSIONS 1/2

## REDUCTEUR / CONVERSION

Type	Mouvement	Rapport de réduction	Représentation
A engrenages	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Nombre de dents du pignon coté charge}}{\text{Nombre de dents du pignon coté moteur}}$	
A courroie lisse	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Diamètre de la poulie coté charge}}{\text{Diamètre de la poulie coté moteur}}$	
A courroie crantée	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Nombre de dents de la poulie coté charge}}{\text{Nombre de dents de la poulie coté moteur}}$	
A chaîne et pignon	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Nombre de dents du pignon coté charge}}{\text{Nombre de dents du pignon coté moteur}}$	
A pignon et vis sans fin	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Nombre de dents du pignon coté charge}}{\text{Nombre de filets de la vis coté moteur}}$	
A train épicycloïdal	Rotation – Rotation	$R = \frac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$ ( relation de Willis )	
Système vis – écrou	Rotation - Translation	$R = \frac{2 \pi}{\text{Pas de la vis}} \text{ ( en rad/m )}$	
Système Pignon- crémaillère	Rotation - Translation	$R = \frac{1}{\text{Rayon moyen du pignon}} \text{ ( en rad/m )}$	



CARACTERISTIQUES D'UNE TRANSMISSION

Rapport de réduction	$R = \frac{\text{Vitesse du moteur}}{\text{Vitesse de la charge}}$ ( sans unité )
Rendement (moteur entraînant)	$\eta_t = \frac{\text{Puissance fournie par la transmission}}{\text{Puissance recue par la transmission}}$ ( sans unité )
Rendement global ( moteur entraînant )	$\eta_g = \frac{\text{Puissance utile recue par la charge}}{\text{Puissance fournie par le moteur}}$ ( sans unité )
Raideur de la transmission	$K_R = \frac{\text{Couple coté moteur}}{\text{Ecart sur position moteur}}$ ( en Nm/rad )



# TOLÉRANCES ET ALESAGES

## TOLERANCES ARBRES ET ALESAGES

Schéma

Exemple

Arbres  
(lettre en  
minuscule)

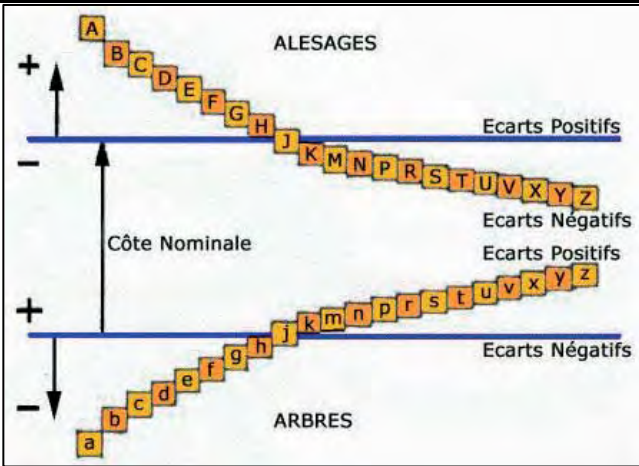
Côte nominale  
40  
Qualité de la tolérance  
g 6  
Position de la tolérance

Alésages  
(lettre en  
MAJUSCULE)

Côte nominale  
40  
Qualité de la tolérance  
H 6  
Position de la tolérance

Tableau des tolérances de 4 à 12 (en micron)

Qualité	Diamètre en mm										Usinage
	1 à 3	3 à 6	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180		
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12		très précis
5	5	5	6	8	9	11	13	15	18		très précis
6	7	8	9	11	13	16	19	22	25		très précis
7	9	12	15	18	21	25	30	35	40		de bonne facture
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63		de bonne facture
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100		traditionnel
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160		traditionnel
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250		traditionnel
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400		traditionnel



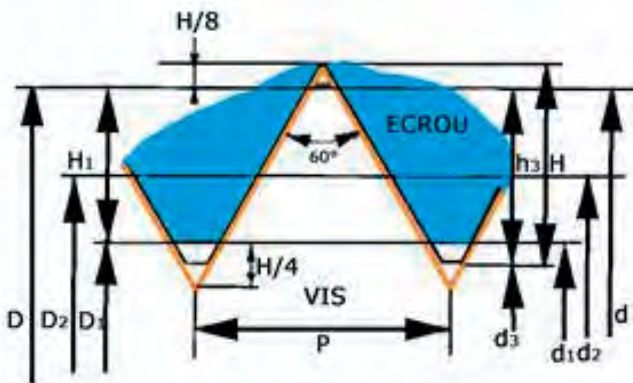
Ajustements Arbres / Alésages

	Groupe H7															
Diamètre (mm)	Alésage H7		Arbres													
			E8		f7		g6		h6		j6		m6		p6	
6 à 10	+15	0	-25	-47	-13	-28	-5	-14	0	-9	+7	-2	+15	+6	+24	+15
10 à 18	+18	0	-32	-59	-16	-34	-6	-17	0	-11	+8	-3	+18	+7	+29	+18
18 à 30	+21	0	-40	-73	-20	-41	-7	-13	0	-13	+9	-4	+21	+8	+35	+22
30 à 50	+25	0	-50	-89	-25	-50	-9	-25	0	-16	+11	-5	+25	+9	+42	+26
50 à 80	+30	0	-60	-106	-30	-60	-10	-29	0	-19	+12	-7	+30	+11	+51	+32
80 à 120	+35	0	-72	-126	-36	-71	-12	-34	0	-22	+13	-9	+35	+13	+59	+37
	Groupe H6								Groupe H8							
Diamètre (mm)	Alésage H6		Arbres						Alésage H8		Arbres					
			g5		h5		j5				e9		f8		h7	
6 à 10	+9	0	-5	-11	0	-6	+4	-2	+22	0	-25	-61	-13	-35	0	-15
10 à 18	+11	0	-6	-14	0	-8	+5	-3	+27	0	-32	-75	-16	-43	0	-18
18 à 30	+13	0	-7	-16	0	-9	+5	-4	+33	0	-40	-92	-20	-53	0	-21
30 à 50	+16	0	-9	-20	0	-11	+6	-5	+39	0	-50	-112	-25	-64	0	-25
50 à 80	+19	0	-10	-23	0	-13	+6	-7	+46	0	-60	-134	-30	-76	0	-30

FILETAGES

Filetage à filet triangulaire (métrique- Norme NF E 03-001)

h<sub>3</sub> : profondeur du filet de la vis  
H<sub>1</sub> : profondeur du filet de l'écrou  
D,d : diamètre nominal  
d<sub>3</sub> : diamètre du noyau de la vis  
D<sub>1</sub> : diamètre du fond de filet de l'écrou  
d<sub>1</sub> : diamètre de l'alésage de l'écrou  
r max : rayon à fond de filet de la vis  
r<sub>1</sub> max : rayon à fond de filet de l'écrou  
D<sub>2</sub> : diamètre à flancs de filet  
D<sub>2</sub> : diamètre à flancs de filet  
P : pas  
H : hauteur du triangle primitif



$$H = 0.866 P$$
$$D_2 = d_2 = d - \frac{3}{4} H$$
$$D_1 = d_1 = d_2 - 2 \cdot \left( \frac{H}{2} - \frac{H}{4} \right),$$
$$D_1 = d - 1.0825 P$$

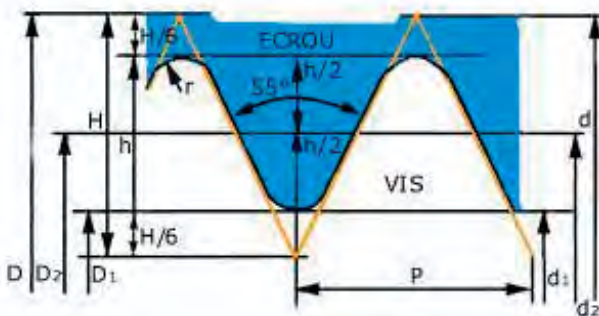
$$d_3 = d_2 - 2 \cdot \left( \frac{H}{2} - \frac{H}{6} \right),$$
$$d_3 = d - 1.2268 P$$
$$H_1 = \frac{D - D_1}{2} = 0.542 P,$$
$$h_3 = \frac{d - d_3}{2} = 0.6134 P$$

Pas usuels selon diamètre nominal (mm)

D = d	Pas normal		D = d	Pas normal	Pas fin
1	0.25		6	1	1
1.2	0.25		8	1.25	1.25
1.6	0.35		10	1.50	1.25
2	0.40		12	1.75	1.50
2.5	0.45		14	2	1.50
3	0.50		16	2	1.50
4	0.70		18	2.5	1.50
5	0.80		20	2.5	1.50

Filetage Gaz (Norme NF E 03-004)

P: pas  
n: nombre de filets par inch  
h : hauteur portante du filet  
D, d :diamètre extérieur  
D<sub>1</sub>, d<sub>1</sub> : diamètre du noyau  
D<sub>2</sub>, d<sub>2</sub> : diamètre effectif à flancs de filet  
r : arrondi



$$P = \frac{1 \text{ pouce (25.4mm)}}{\text{nbre de filets au pouce}}$$
$$h = 0.64 P$$
$$r = 0.137 P$$
$$D1 = d1 = D - 1.28 P$$

Diamètre d en inch	p en mm	Nombre de filets au pouce	Diamètre d en inch	p en mm	Nombre de filets au pouce
1/8	0.907	28	1 ¼	2.309	11
1/4	1.336	19	1 ½	2.309	11
3/8	1.336	19	1 ¾	2.309	11
1/2	1.814	14	2	2.309	11
5/8	1.814	14	2 ¼	2.309	11
3/4	1.814	14	2 ½	2.309	11
7/8	1.814	14	2 ¾	2.309	11
1	2.309	11	3	2.309	11

# ENGRENAGES

## Engrenages cylindriques (Norme NF E23-001)

m : module  
p : pas  
z : nombre de dents  
D : diamètre primitif  
D<sub>a</sub> : diamètre de tête  
t : épaisseur de la dent  
h<sub>a</sub> : saillie de la dent  
h<sub>f</sub> : creux de la dent  
H : hauteur totale

$D = m.z$

Denture Normale :

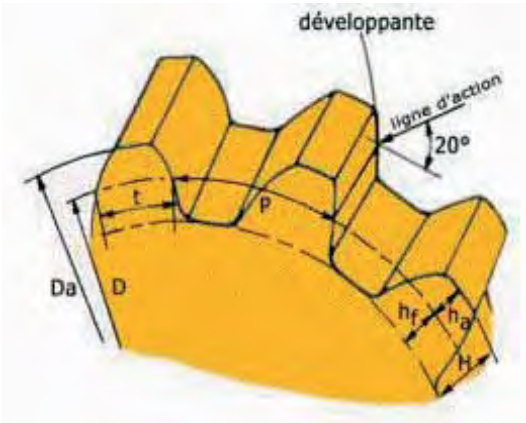
$m = \frac{D}{z} = \frac{D.a}{z+2}$

$h_a = 1 \times m$

$P = m.\pi = \frac{D.\pi}{z}$

$h_f = 1,25 \times m$

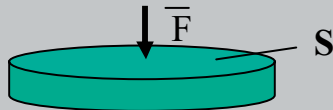
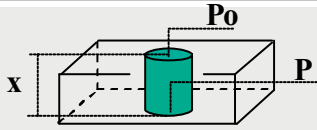
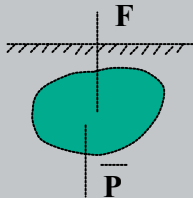
$H = 2,25 \times m$



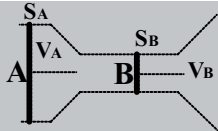
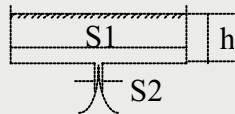
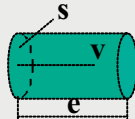
MODULES NORMALISES	0.5	0.6	0.8	1	1.25
	1.5	2	2.5	3	4
	5	6	8	10	12
	16	20	25		

# MÉCANIQUE DES FLUIDES

## STATIQUE DES FLUIDES

Pression	$P = \frac{F}{S}$ ( 1 Pascal = $\frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ m}^2}$ )	
Pression atmosphérique	$P = \rho \cdot g \cdot h$	<p>P pression en Pa F force en N S surface en m<sup>2</sup> ρ masse volumique du fluide g accélération de la pesanteur (9,81 m.s<sup>-2</sup>) h hauteur de la colonne du fluide</p>
Baromètre à mercure Baromètre à eau	$h = 0,759 \text{ m}$ et $\rho = 13\,610 \text{ kg.m}^{-3}$ $h = 10,33 \text{ m}$ et $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$	
Pression en deux points différents d'un liquide	$P - P_0 = \Delta p = \rho \cdot g \cdot x$ x distance en m entre les deux points	
Force résultante des forces de pression exercées sur un solide entièrement immergé	$F = P$ $P = \rho \cdot g \cdot v$ v volume du corps en m <sup>3</sup> P poids du corps en kg	
Compressibilité des liquides	$\frac{dV}{V} = -\chi dp$ pour l'eau $\chi = 5,10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$	<p>χ coefficient de compressibilité dV variation de volume V volume du fluide dp variation de pression</p>

## DYNAMIQUE DES FLUIDES

Effet venturi	$\frac{S_A}{S_B} = k$ $V_A^2 = \frac{2(P_A - P_B)}{\rho(k^2 - 1)}$	
Ecoulement d'un fluide par un orifice sans une paroi mince	$v = \sqrt{2gh}$ $h = \frac{P}{\rho g} = \frac{v^2}{2g}$	
Capillarité	Eau : $h = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r}$ Mercure : $h = \frac{2\sigma \cos a}{\rho \cdot g \cdot r}$	<p>h en mètre r rayon de la 1/2 sphère en m ρ masse volumique kg.m<sup>-3</sup> g pesanteur</p>
Viscosité dynamique η	Force de frottement $F = \eta \frac{Sv}{e}$ ( Dans le cas d'un déplacement d'un élément plan parallèle à lui-même )	<p>H en Pa.s  S en m<sup>2</sup> e en m v en m.s<sup>-1</sup> F en N</p>
Viscosité cinématique ν	$\nu = \frac{\eta}{\rho}$	<p>ν en m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> ν = 13.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> pour l'air f masse volumique du fluide</p>
Ecoulement dans les conduites ( Nombre de Reynolds )	$Re = \frac{vd}{\nu}$ Re < 2400 (vitesse critique) Ecoulement laminaire Re > 2400 Ecoulements turbulents	<p>Re nombre de Reynolds (sans dimension) v vitesse moyenne en m.s<sup>-1</sup> d diamètre de la conduite en m ν viscosité cinématique en m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup></p>

Travail – Energie ( W ) en joule	En translation : $W = F.d$  En rotation : $W = M.\theta$  $M = F.r$	F : force ( Newton ) d : déplacement ( mètre )  M : moment de la force $\theta$ : rotation ( radians )  Moment d’une force par rapport à son axe de rotation. F : force r : rayon ( mètre )
Puissance mécanique ( P ) en watt	$P = \frac{W}{t}$	Travail fourni par seconde ( t en seconde )
Champ électrique uniforme ( E ) en volt/mètre	$E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{S}$	Q : quantité d’électrons ( Coulomb ) S : surface traversée ( mètre carré ) $\epsilon_0$ : permittivité du vide = $8,85 \cdot 10^{-12}$
Travail de la force électrique ( W ) en joule	$W = V_{AB} \cdot Q$	Q : quantité d’électrons ( Coulomb ) $V_{AB}$ : tension appliquée a une charge Q ( volt )
Champ et potentiel ( E ) en volt/mètre	$E = \frac{V_A - V_B}{AB}$	$V_A - V_B$ : différence de potentiel (volt) AB : distance ( mètre )
Intensité du courant ( I ) en ampère	$I = \frac{Q}{t}$	L’ ampère est l’intensité d’un courant constant qui transporte 1 coulomb par seconde.
Energie absorbée par un récepteur ( W ) en joule	$W = U \cdot Q$	U : tension ( volt ) Q : charge ( coulomb )
Puissance absorbée par un récepteur ( P ) en watt	$P = U \cdot I$	I : intensité ( ampère )
Loi d’ ohm	$U = R \cdot I$	( Uniquement pour les conducteurs passifs ) R : résistance du conducteur ( ohm )
Effet Joule	$W = R \cdot I^2 \cdot t$  $P = R \cdot I^2$  $P = U.I = \frac{U^2}{R}$	W : énergie calorifique ( joule )   P : puissance calorifique ( watt )
Force de Laplace ( F ) en newton	$F = q \cdot V \cdot B$	q : charge ( coulomb ) V : vitesse ( mètre/seconde ) B : induction ( tesla )
Flux magnétique ( Φ ) en wéber	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$	$\alpha$ ( degré ) : angle que fait le vecteur induction B avec la normale à la surface S
Force magnétomotrice ( Fm ) en ampère-tour	$F = N \cdot I$	N : nombre de spires
Excitation magnétique ( H ) en ampère-tour / mètre	$H = \frac{F}{L}$	F : force magnétomotrice L : longueur du conducteur ( mètre )
Induction magnétique du vide ( B0 ) en tesla	$B_0 = \mu_0 \cdot H$	$\mu_0$ : perméabilité dans le vide = $4\pi.10^{-7}$
Induction magnétique ( B ) en tesla	$B = \mu \cdot B_0 = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$	$\mu$ : perméabilité relative du matériau
Loi de Laplace	$F = B \cdot I \cdot L \sin \alpha$	L’intensité est maximale lorsque le courant et l’induction font un angle de 90°
Travail des forces électromagnétiques ( W ) en joule	$W = \Phi \cdot I$	


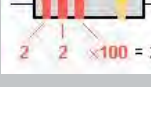
# ÉLECTRICITÉ 2/5

1	ÉLECTRICITÉ 2/5		
2	F.E.M induite ( E ) en volt	$E = B \cdot L \cdot v$  $E = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$	B : induction ( tesla ) L : longueur ( mètre ) v : vitesse ( mètre/seconde )  $\Delta \phi$ : variation du flux $\Delta t$ : variation du temps
3	Fréquence ( f ) en hertz	$f = \frac{1}{T}$	T : période du signal ( seconde )
	Pulsation d' un courant ( $\omega$ ) en radian/seconde	$\omega = 2\pi \cdot f$	
4	Impédance ( Z ) en ohm	$Z = \frac{U}{I}$	valable en notation complexe ( module et argument )
	PUISSANCE MONOPHASEE : Puissance active : ( P ) en watt	$P = U \cdot I \cdot \cos \phi$	Cos $\phi$ = facteur de puissance
5	Puissance réactive : ( Q ) en voltampère réactif	$Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$	$\tan \phi = \frac{Q}{P}$ , $\cos \phi = \frac{P}{S}$ , $\sin \phi = \frac{Q}{S}$
	Puissance apparente ( S ) en voltampère	$S = U \cdot I$	
6	PUISSANCE TRIPHASEE : Puissance active : ( P ) en watt	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$	Ces trois formules sont valables quelque soit le couplage du récepteur
	Puissance réactive : ( Q ) en voltampère réactif	$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \phi$	
	Puissance apparente ( S ) en voltampère	$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$	
7	MACHINE A COURANT CONTINU : Couple ( M ) en Newton-mètre	$M = K \cdot \Phi \cdot I$	$K = \frac{p}{a} \frac{N}{2\pi}$ N : nombre de conducteurs actifs $\Omega$ : vitesse angulaire ( radian/seconde ) p : nombre de paires de pôles a : nombre de paires de voies d'enroulement
	F.E.M. ( E ) en volt	$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega$ $E = N \cdot n \cdot \Phi$	
8	F.E.M. d' un transformateur ( E ) en volt	$E = 4,44 N \cdot f \cdot B \cdot S$	S en mètre carré
	Rapport de transformation	$m = \frac{U2}{U1} = \frac{N2}{N1}$	N1 : nombre de spires au primaire N2 : nombre de spires au secondaire U1 : tension primaire U2 : tension secondaire
9	F.E.M d'une machine à courant alternatif ( E ) en volt	$E = K \cdot f \cdot N \cdot \Phi$	K : coefficient de Kapp $\cup 2,22$
10	MOTEUR ASYNCHRONE : Vitesse de rotation ( $\Omega$ ) en radian/seconde	$\Omega = ( 1 - g ) \cdot \Omega s$	g : glissement ( sans unité ) $\Omega s$ : vitesse de synchronisme
	Glissement ( g )	$g = \frac{\Omega s - \Omega}{\Omega s} = 1 - \frac{\Omega}{\Omega s}$  $fr = g \cdot f$	
11	Fréquence des courants rotoriques ( fr ) en hertz		f : fréquence d'alimentation
	Puissance perdue dans le rotor	$Pr = g \cdot M \cdot \Omega s$	M : couple moteur électromagnétique
	Rendement du moteur	$\eta = \frac{Pu}{Pa}$	

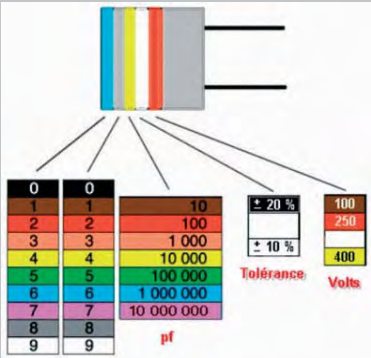


DIPOLES FONDAMENTAUX

Résistance :

Résistance ( R ) en ohm	$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$ $R = R_o \cdot ( 1 + at + bt^2 )$	$\rho$ : résistivité du matériau ( $\Omega.m$ )  $R_o$ : résistance du matériau à 0°C $a$ : coefficient de température																											
Couplage en série	$R_e = R_1 + R_2 + R_3$	$R_e$ : résistance équivalente																											
Couplage en parallèle	$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$  $G_e = G_1 + G_2 + G_3$	$G$ : conductance = $\frac{1}{R}$																											
Impédance ( Z ) en ohm	$Z = R$	Déphasage $\varphi = 0^\circ$																											
Code des couleurs	<div><div>Code des couleurs</div><table><tr><td>0</td><td>1</td><td><math>\times 1</math></td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td><math>\times 10</math></td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td><math>\times 100</math></td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td><math>\times 1000</math></td></tr><tr><td>4</td><td>5</td><td><math>\times 10000</math></td></tr><tr><td>5</td><td>6</td><td><math>\times 100000</math></td></tr><tr><td>6</td><td>7</td><td><math>\times 1000000</math></td></tr><tr><td>7</td><td>8</td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table></div> <div><div>Tolérance (4ème anneau) :</div><div>or : <math>\pm 5\%</math>    argent : <math>\pm 10\%</math></div><div></div><div></div></div>		0	1	$\times 1$	1	2	$\times 10$	2	3	$\times 100$	3	4	$\times 1000$	4	5	$\times 10000$	5	6	$\times 100000$	6	7	$\times 1000000$	7	8		8	9	
0	1	$\times 1$																											
1	2	$\times 10$																											
2	3	$\times 100$																											
3	4	$\times 1000$																											
4	5	$\times 10000$																											
5	6	$\times 100000$																											
6	7	$\times 1000000$																											
7	8																												
8	9																												

Condensateur :

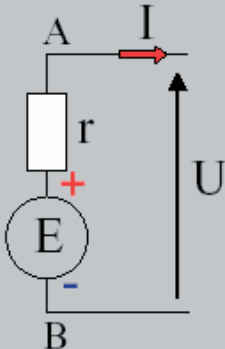
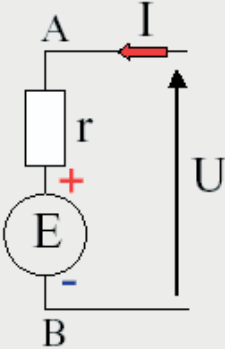
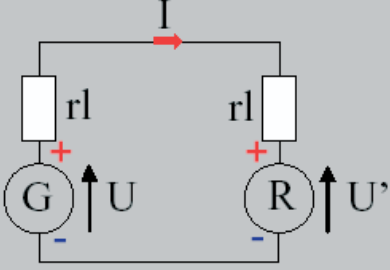
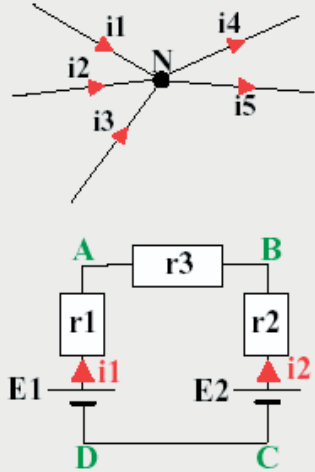
Charge ( Q ) en coulomb	$Q = C \cdot U$	U : tension ( volt ) C : Capacité ( farad )																																															
Capacité ( C ) en farad	$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$	$\epsilon_0$ : permittivité du vide = $8,85 \cdot 10^{-12}$ $\epsilon_r$ : permittivité relative ou constante diélectrique du milieu isolant																																															
Couplage parallèle	$C = C_1 + C_2 + C_3$																																																
Couplage série	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$																																																
Constante de temps ( charge ) ( $\tau$ ) en seconde	$\tau = R \cdot C$	R : résistance en ohm																																															
Energie ( Wc ) en joule	$Wc = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$	Energie mise en réserve dans le condensateur																																															
Code des couleurs	 <table><tr><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td rowspan="2">± 20 %</td><td>100</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>100</td><td>250</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1 000</td><td rowspan="2">± 10 %</td><td>400</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>10 000</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>100 000</td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>5</td><td>1 000 000</td><td></td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>6</td><td>10 000 000</td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>9</td><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> <p>pf</p> <p>Tolérance</p> <p>Volts</p>		0	0	10	± 20 %	100	1	1	100	250	2	2	1 000	± 10 %	400	3	3	10 000	4	4	100 000			5	5	1 000 000			6	6	10 000 000			7	7				8	8				9	9			
0	0	10	± 20 %	100																																													
1	1	100		250																																													
2	2	1 000	± 10 %	400																																													
3	3	10 000																																															
4	4	100 000																																															
5	5	1 000 000																																															
6	6	10 000 000																																															
7	7																																																
8	8																																																
9	9																																																

Bobine :

Flux ( $\Phi$ ) en wéber	$\Phi = L \cdot I$	$L$ : unité d'inductance ( henry )
F.E.M. d'auto-induction ( e ) en volt	$e = - L \cdot \frac{di}{dt}$	
Constante de temps ( $\tau$ ) en seconde	$\tau = \frac{L}{R}$	$L$ : unité d'inductance ( henry ) $R$ : résistance en ohm

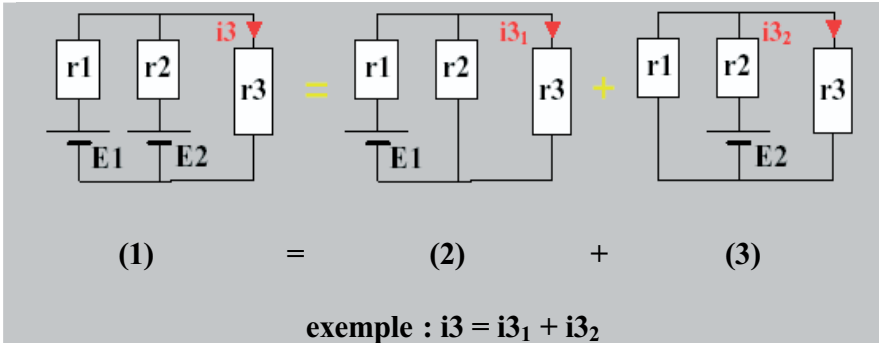


CIRCUITS ELECTRIQUES

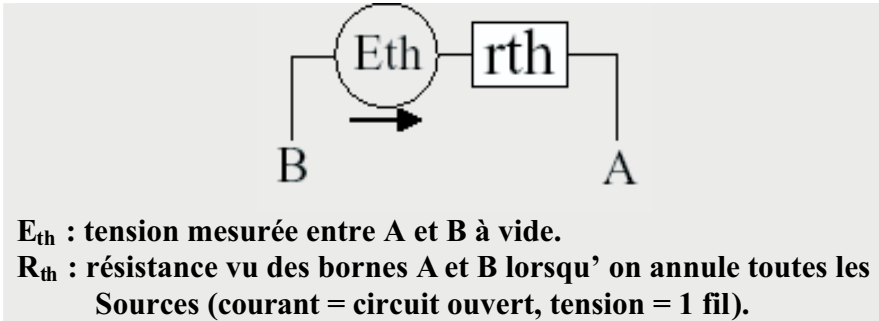
Circuit générateur	Circuit ouvert $I=0 \quad U=E$	
Tension	$V_A - V_B = U = E - rI$	
Puissance	$P = EI - rI^2$	
Energie	$W = EI.t - rI^2t$	$r$ résistance interne $E$ f.e.m en Volts $U$ différence de potentiel en Volts $P$ en Watts $W$ en Joules et $t$ en secondes
Circuit récepteur		
Tension	$U = E + rI$	
Puissance	$P = UI = EI + rI^2$	
Energie	$W = EI.t + rI^2.t$	
Circuit conducteur		
Chute de tension en ligne	$U - U' = 2 \, \eta \, I$	
Puissance et Energie perdue	$P = 2 \, \eta \, I^2$ $W = 2 \, \eta \, I^2 t$	
Lois de Kirchhoff		
1. Loi des noeuds	$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 + i_5$ Au nœud (N) : la somme des courants égale à 0	
2. Loi des mailles	$V_A - V_D = V_{AD}$ $V_{AD} = E1 - r1.i1$ $V_{BC} = E2 - r2.i2$ $V_{AD} - V_{AB} - V_{BC} = 0$	
Loi d' ohm (Conducteurs passifs)	$U = R . I$	$R$ : résistance du conducteur ( ohm )

TRANSFORMATIONS DE CIRCUITS

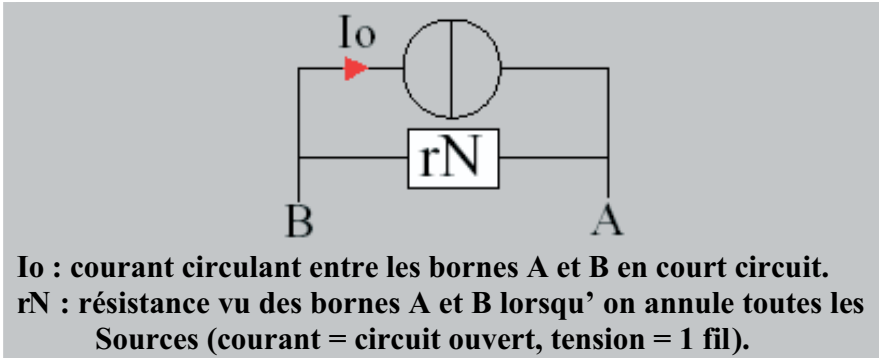
Principe de superposition  
(1) est la superposition de (2) et (3)



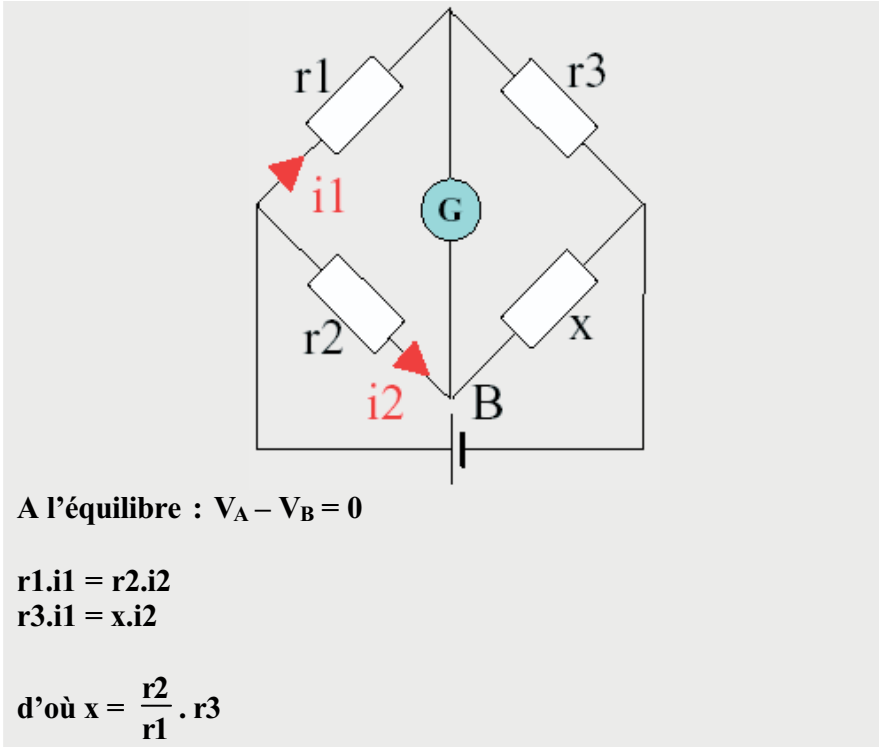
Théorème de Thévenin



Théorème de Norton



Pont de Wheaston  
(mesure de résistance)



# RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX 1/4

## SOLLICITATIONS ET CONTRAINTES DES MATERIAUX :

Torseurs des forces extérieures  
(ou visseur) appliquées en G

Traction  $\vec{N}$

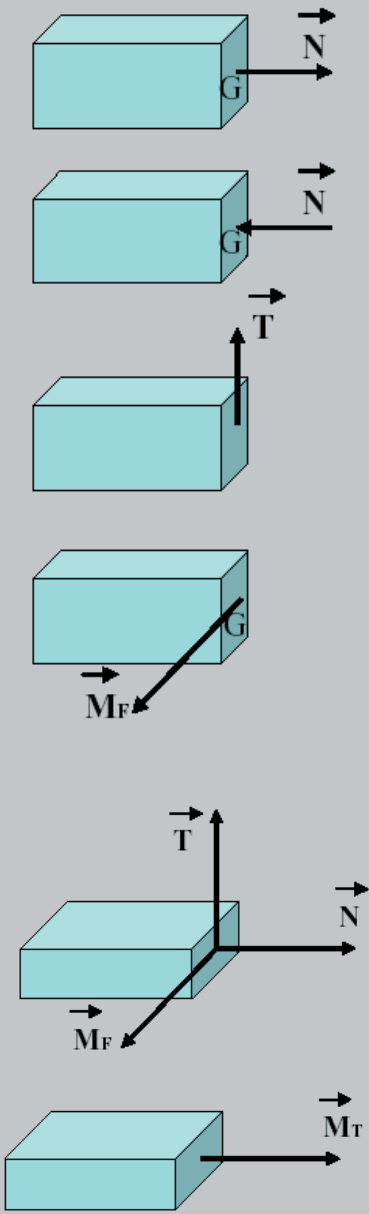
Compression  $\vec{N}$

Cisaillement  $\vec{T}$

Flexion pure  $\vec{M}_F$

Flexion composée  $\vec{N} \quad \vec{T} \quad \vec{M}_F$

Torsion  $\vec{M}_T$



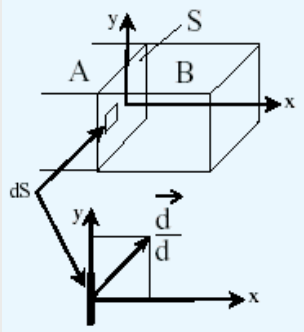
Composante du torseur d'une surface  
 $dS$   
(facette) résultant de l'action de B sur A

$\delta$  contrainte normale

$\tau$  contrainte tangentielle (cission)

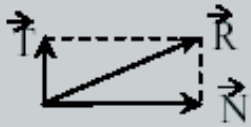
$$\frac{d\vec{F}}{dS} = \vec{\delta} + \vec{\tau}$$

(quand  $dS$  tend vers 0)



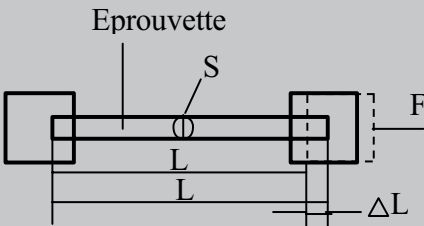
Résultante des forces  $\vec{R}$

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$$

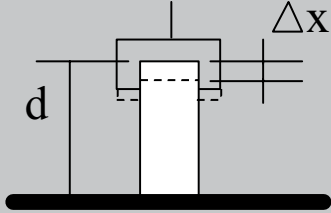


# RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX 2/4

## ESSAI DE TRACTION

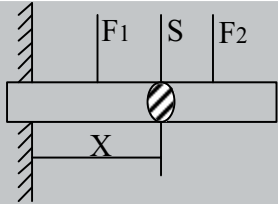
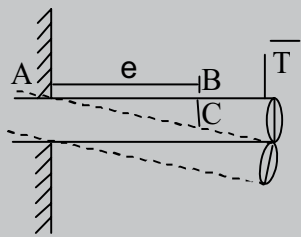
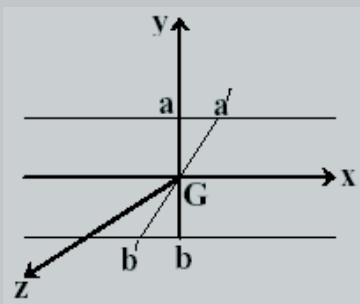
Allongement $\Delta L$ (loi de Hooke)	$\Delta L = L - L_0 = kF$	 <p>F force en N <math>\delta</math> contrainte normale en Pa <math>\epsilon</math> allongement relatif <math>S_0</math> surface de section <math>m^2</math> E module de Young en Pa</p>
Allongement relatif $\epsilon$	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$	
Limite d'élasticité et fatigue $\delta$	$\delta = \frac{F}{S_0}$	
Module d'élasticité longitudinale E (module de Young)	$E = \frac{\delta}{\epsilon}$	
Allongement	$\Delta L = \frac{F.L_0}{E.S_0}$	
Déformation permanente (plus de proportionnalité entre $\Delta L$ et F)	$R = \frac{F_m}{S_0}$	
Coefficient de sécurité $\alpha$ (en fonction de la limite d'élasticité $\delta_{max}$ )	$\Delta_{max} = \frac{R}{\alpha}$	<p><math>\Delta L, L, L_0</math> en m. R résistance à la traction (Pa). Fm charge maximale (N)</p> <p><math>1,5 &lt; \alpha &lt; 10</math></p>

## ESSAI DE COMPRESSION

Glissement unitaire ou tassement	$\gamma = \frac{\Delta x}{d}$	 <p>d distance entre face parallèles <math>\Delta x</math> tassement</p>
Module d'élasticité de glissement G (module de coulomb)	$G = \frac{\tau}{\gamma}$	
ou module transversal	$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$	
Coefficient de Poisson	$\nu = \frac{\epsilon_{l_0}}{\epsilon_{l_t}}$	
Module de compressibilité volumique k	$k = - \frac{p}{\theta}$	
		<p><math>\tau</math> accroissement de contrainte en Pa G en Pa ou daN/mm<sup>2</sup> G = 0,4 E lt dilatation linéique transversale l0 dilatation linéique longitudinale k en Pa p accroissement de pression <math>\theta</math> accroissement de volume / volume de référence</p>

# RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX 3/4

## CISAILLEMENT – TORSION

<b>Effort tranchant</b> résultant du moment fléchissant $M_F$ dans une section S	$T = \frac{d M_F}{dx}$	
<b>Condition de résistance au cisaillement</b>	$\tau_{\text{moyen}} = R_p$	$R_p$ résistance pratique à la rupture ou au glissement ou cisaillement
<b>Cisaillement</b> (domaine élastique)	$\text{tg } \gamma = \frac{BC}{AB}$	
<b>Contrainte moyenne de Cisaillement ou cission <math>\tau</math></b>	$\tau_{\text{moyen}} = \frac{T}{S}$	
<b>Contrainte normale d</b> en fonction de $M_F^t$		
dans une fibre d'ordonnée y	$\delta_y = y \frac{M_F}{I_{GZ}}$	
dans une fibre de la surface ( $v = y \text{ max}$ )	$\delta_{\text{max}} = \frac{M_F^t}{\frac{I_{GZ}}{v}}$	
<b>Contrainte maximale acceptable</b>	$\delta_{\text{max}} = \frac{M_F^{\text{max}}}{\frac{I_{GZ}}{v}} = R_p$	$\delta_y$ contrainte dans la fibre d'ordonnée y $aa' - bb'$ = déformation infinitésimale de 2 sections droites parallèles $I_{GZ}$ moment quadratique de la section par rapport à l'axe G
<b>Torsion</b> (domaine élastique)		
<b>Déformation <math>\alpha</math> d'un arbre cylindrique</b>	$\theta = \frac{\alpha}{l}$	$\theta$ angle de déformation par unité de longueur
<b>Contrainte de cisaillement <math>\tau</math></b>	$\tau = G \cdot \theta \cdot \rho$	$\tau$ cission daN/mm <sup>2</sup> $\rho$ distance de l'axe à la fibre

FLEXION

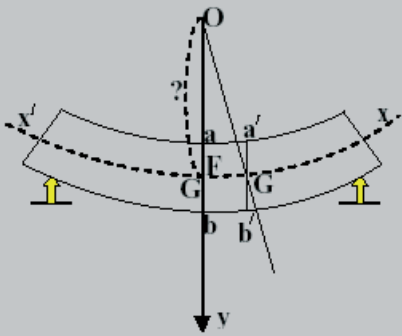
Déformation d'une poutre

Selon la courbure  $\frac{1}{\rho}$  de la ligne élastique

Expression analytique de  $\rho$

$$\frac{1}{\rho} = - \frac{M_F}{E \cdot I_{GZ}}$$

$$\rho = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''}$$



Equation différentielle de la déformée

Pour de petites déformations ( $y' \rightarrow 0$ )

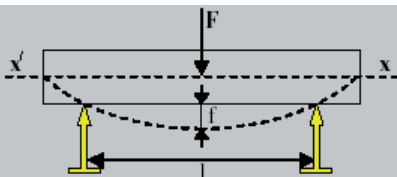
$$y'' = - \frac{M_F}{E \cdot I_{GZ}}$$

$$\frac{M_F}{I_{GZ}} \Big| F(x)$$

$M_F$  moment fléchissant de la section  
 $I_{GZ}$  moment quadratique par rapport à G

Flèche d'une poutre soumise à une charge F

$$f = \frac{F l^3}{48 E I_{GZ}}$$



FLAMBEMENT AXIAL

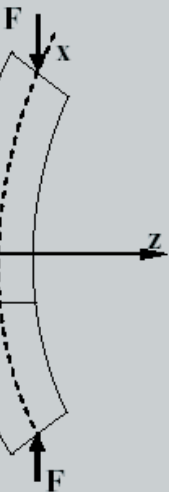
Formule d'Euler

Charge critique à la compression

$$F_c = \frac{\pi^2 E I_{GZ}}{l^2}$$

Charge admissible pour poutre longue

$$F_R = S \cdot R_{pc} \cdot \frac{1}{1 + A \gamma^2}$$



E module d'élasticité longitudinale du matériau  
l longueur théorique de la poutre  
 $I_{GZ}$  moment quadratique  
 $F_c$  charge admissible à la compression  
S section de la poutre  
 $R_{pc}$  résistance pratique à la compression  
 $A = \frac{Re}{n^2 E} \quad \gamma = \frac{l}{r} \quad r = \sqrt{\frac{I}{S}}$







1	SCIENCES DES MATÉRIAUX 2/7					
2	<u>STRUCTURES CRISTALLOGRAPHIQUES ET PROPRIETES PHYSIQUES</u>					
	Grandeur	Masse volumique ρ (g.cm <sup>-3</sup> )	Température de fusion (°C)	Coefficient de Dilatation (10 <sup>-6</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Capacité Calorifique (J.Kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Capacité Calorifique (J.Kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )
3	<b>METAUX</b>					
	Aluminium Al	2.698	660.2	24	900	247
	Argent Ag	10.50	960.8	19	235	428
	Béryllium Be	1.846	1278	12	2422	160
4	Cadmium Cd	8.647	321	29	230	
	Chrome Cr	7.194	1890	8.2	455	
	Colbalt Co	8.8	1495	12.1	418	95
	Cuivre Cu	8.932	1083	16.4	386	398
	Etain Sn	5.765	231.9	23		
5	Fer Fe	7.873	1535	11.8	448	80
	Lithium Li	0.533	179	56	2980	
	Magnésium Mg	1.737	651	26	1012	160
	Manganèse Mn	7.473	1244	23		
6	Molybdène Mo	4.508	2610	4.9	247	
	Nickel Ni	8.907	1453	13	443	90
	Niobium Nb	8.578	2468	7.2		
	Or Au	19.281	1063	14	130	315
7	Platine Pt	21.47	1769	11.7	132	
	Plomb Pb	11.341	327.5	29	1.42	33
	Tantale Ta	16.47	2996	6.5		
	Titane Ti	4.508	1675	8.8	524	16.7
	Tungstène W	19.253	3410	4.4	142	178
8	Uranium U	19.05	1137			
	Vanadium V	6.09	1890			
	Zinc Zn	7.0134	419.4	31.2	388	
	Zirconium Zr	6.507	1852	6.3	316	
9	<b>COVALENTS</b>					
	Carbone C diam	3.516	> 3500	1.2	510	70
	Silicium Si	2.329	1410	7.63	879	
	Carbure Si SiC	3.22	2300	4.7		90
10	<b>OXYDES</b>					
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.9	2050	8.8	775	30
	Silice SiO <sub>2</sub>	2.6		0.5	740	2
11	Oxyde de calcium CaO		2580			
	Magnésie MgO	3.5	2850	13.5	940	38
	Nutile TiO <sub>2</sub>		1630-1850			
M	<div> <div>MEMENTO</div> <div>SCIENCES DES MATÉRIAUX</div> <div>M19</div> </div>					

Grandeur	Masse volumique $\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )	Température de fusion (°C)	Coefficient de Dilatation (10 <sup>-6</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Capacité Calorifique (J.Kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Capacité Calorifique (J.Kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )
----------	---	-------------------------------	---	--	--

POLYMERES

Polyéthylène					
Basse densité	0.92	98-115	100-220	2200	0.33
Haute densité	0.95	130-137	60-110	2100	0.48
Polypropylène	0.9	170	80-100	1880	0.12
Polychlorure de Vynil (PVC)	1.4	160	50-100		0.12-0.20
Polystyrène	1.04	Tg : 74-105	50-83	1360	0.10-0.14
PMMA	1.18	Tg : 85-105	50-90	1500	0.17-0.25
Epoxy	1.3	Tg : 370-390	55-90	1800	0.2-0.5

PROPRIETES MECANQUES (à 20°C)

Matériaux	Module d'élasticité (GPa)	Coefficient de Poisson	Limite d'élasticité R <sub>0,2</sub> (MPa)	Résistance à la traction R <sub>m</sub> (MPa)
-----------	------------------------------	------------------------	---	---

METAUX

Aluminium	70	0.34	40	80
Cobalt	210	0.30	300	800
Cuivre	120	0.34	60	200
Fer	210	0.29	50	200
Magnésium	45	0.29	40	160
Molybdène	215	0.29	565	655
Nickel	210	0.31	60	300
Plomb	17	0.44	11	14
Titane	110	0.34	170	240
Tungstène	410	0.28	1000	1510
Zinc	105		30-40	120

ALLIAGES METALLIQUES

Aciers doux au carbone	210	0.29	220	430
Aciers au carbone (trempé)	210	0.29	250-1300	500-1800
Aciers inoxydables	190-210	0.29	240-400	450-800
Fonte GS	150	0.29	280-630	380-840
Alliage d'Al	70-80	0.33	50-600	120-700
Alliage de cobalt	200-250	0.30	300-2000	800-2500
Alliage de cuivre	120-150	0.34	100-900	220-1000
Bronze	110	0.35	120-600	250-700
Alliage de Mg	45	0.29	110-280	160-350
Alliage de nickel	130-230	0.31	200-1600	400-2000
Alliage de titane	80-130	0.33	250-1200	300-1300
Alliage de zinc	105		250-400	280-425

Matériaux	Module d'élasticité (GPa)	Coefficient de Poisson	Limite d'élasticité R <sub>0,2</sub> (MPa)	Résistance à la traction R <sub>m</sub> (MPa)
POLYMERES				
Polyéthylène				
Basse densité	0.2		6-20	20
Haute densité	1		20-30	35
Polypropylène	1.1		20-35	35
Polychlorure de Vynil (PVC)	2.4	0.3	45-50	
Polystyrène	3-3.4		35-70	40-70
PMMA	3.2	0.4	60-110	110
Epoxy	2-5		30-100	30-120
FIBRES				
Carbure de silicium SiC	480			2300
Carbone	150-500			1500-3500
Verre	76			2000-3500
Kevlar	60-130			2700-3600
CERAMIQUES (frittées)				
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	390	0.27	275-550	3000
Béton	40-50		20-30	50
Diamant	1000	0.1		7000
Magnésie	210	0.36	105	3000
Silice (SiO <sub>2</sub> )				
(quartz)	54	0.16	110	1200
(verre)	70	0.23	70	700
Carbure de Si	450	0.19	450-520	1000
Zircone (ZrO <sub>2</sub> )	200	0.32	138-240	2000
COMPOSITES				
Béton armé	40-50		410	
Bois				
(fibres //)	5-15		30-180	10-60
(fibres ⊥)	0.5-1.5		1-10	2-10
Polymères et fibres de carbone	50-200		1000-2000	

Aciers d'usage général			Désignation	A37	A42	A47	A50	A60	A70	A85
Fer 0.05 à 1.5% de carbone			Rm résistance max à la traction da/mm²	36 à 41	41 à 49	46 à 56	49 à 59	59 à 71	69 à 83	85 à 95
A	50	2								
Classe	Rm	Qualité								

Aciers non alliés pour traitements thermiques			Désignation	XC18	XC38	XC48	XC68	XC100
X	C	18	Rm résistance max à la traction da/mm²	36 à 41	41 à 49	46 à 56	49 à 59	59 à 71
Classe	0.18% de C							

Désignation selon aptitude E 20 48 M

E : classe de l'acier 20 : charge limite d'élasticité 48 : charge maxi à l'extension  
M : utilisation en moulage

Ou alors S : soudable TS : trempe superficielle DF : déformable à froid

Aciers alliés

Eléments d'addition :  
- chrome (C)\* - cobalt (K) - magnésium (G) - molybdène (D) - nickel (N)  
- plomb (P) - tungstène (T) - vanadium (V) - silicium (S)  
\* symboles métallurgiques

Faiblement alliés : la teneur de chaque élément d'addition < 5% en masse

Exemple :

35 N CD 4

Teneur en carbone  
Eléments d'addition en ordre décroissant  
Teneur en éléments additionnels,  
Nombre multiplié par 4 pour C, K, M, N, S  
et par 10 pour les autres éléments

0.35% de carbone + 1% de N + C (chrome) < 1% + D<C

Fortement alliés : la teneur de chaque élément d'addition > 5% en masse

Exemple :

Z 6 CN 18-09

Classe de l'acier fortement allié

0.06% d carbone + 18% de C + 9% de N

FONTES

**Définition :** Produits ferreux + (2.5 à 5% d carbone)

**Désignation :** **Ft 25** (Ft : fonte grise non alliée / 25 : résistance minimale à la traction)  
*Exemple :* FGS 400 12 FGS : fonte à graphite sphéroïdale  
400 : Rm traction 400 N/mm²  
12 : allongement A en % (12%)

Fontes grises non alliées	Nuances	Ft 10	Ft 15	Ft 20	Ft 25	Ft 30	Ft 35	Ft 40
	Rm daN/mm²	10	15	20	25	30	35	40
Fontes malléables	Nuances	MB35-7	MB40-10	MN35-10	MN38-18	MP50-5	MP60-3	MP70-2
	Rm daN/mm²	34	39	34	37	49	59	69
	A%	7	10	10	18	5	3	2
Fontes à graphite sphéroïdal	Nuances FGS	370-17	400-12	500-7	600-3	700-2	800-2	
	Rm daN/mm²	370	400	500	600	700	800	
	A%	17	12	7	3	2	2	

CUIVRE ET ALLIAGES DE CUIVRE

BRONZE			
Cu + Sn + autres éléments Zn, P, Pb			
Exemple	Rm N/mm²	Applications	Désignation
Cu Sn5 Zn4	450	Tous usages	Cu Sn5 Zn Cuivre + Etain 5% + Zinc < 1%
Cu Sn12 Zn1	230	Coussinets	
Cu Sn7 Pb6 Zn4	220	Moulages	
Cu Sn9 P	550	Frottement	

LAITON			
Cu + Zn + autres éléments Al, P, Pb			
Exemple	Rm N/mm²	Applications	Désignation
Cu Zn35	180	Robinetterie	Cu Zn39 Pb2 Cuivre + Zinc 39% + Plomb 2%
Cu Zn40	340	Pompes	
Cu Zn33	300	Emboutissage	
Cu Zn39 Pb2	400	décolletage	

ZINC ET ALLIAGES

ZAMAC			
Zn + Al + autres éléments G, U			
Exemple	Rm N/mm²	Applications	Désignation
Z A4 G (zamac 3)	240	Moulage sous pression	Z A4 G Zinc Aluminium 4% Magnésium
Z A4U1G (zamac 5)	290	Frottement	
Z A13U1G (ILZRO 12)	230	Petite mécanique	
Z A4U3 (KAYEM 1)	250	Outils pour thermoplastiques	

ALUMINIUM ET ALLIAGES DE TRANSFORMATION

Aluminium

Désignation : **A 7**      A : aluminium pur à 99.7%  
7 : pureté chimique

Alliages d'aluminium

Désignation : **A-S10 G**      A : aluminium  
S10 : silicium 10%  
G : magnésium

Aluminium et alliages de transformation

Métal pur ( = 4 chiffres)

Exemple : **1080**

1	0	8 0
Aluminium De teneur ≥ 99 %	Nombres d'impuretés à soumettre au contrôle.	Pourcentage d'aluminium au dessus de 99% dans ce cas A=99,80%

Alliages

Exemple : **2017**

2	0	1 7
Groupe d'alliage	Transformations subies	Identification de l'alliage

Groupes d'alliage

1	2	3	4	5	6	7	8
Aluminium							
Teneur ≥ 99,9%	+ cuivre	+ manganèse	+ silicium	+ magnésium	+ magnésium + silicium	+ zinc	Autres alliages