BTS CPRP
Mécanique et Technologie

Formulaire

MECANIQUE

TECHNOLOGIE

1. Outils mathématiques

2. Multiples et sous-multiples

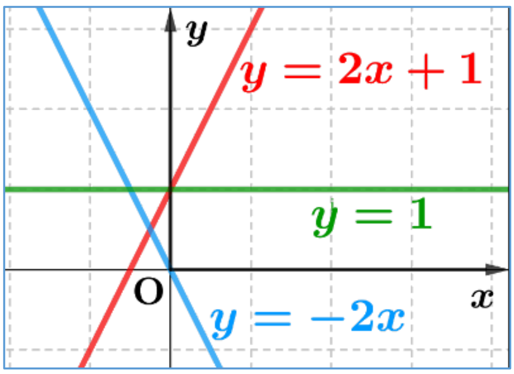
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	téra	T
$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	giga	G
$1\,000\,000 = 10^{6}$	méga	M
$1\,000 = 10^{3}$	kilo	k
$100 = 10^{2}$	hecto	h
$10 = 10^{1}$	déca	da
$1 = 10^{0}$	unité	
$0{,}1 = 10^{-1}$	déci	d
$0{,}01 = 10^{-2}$	centi	c
$0{,}001 = 10^{-3}$	milli	m
$0{,}000\,001 = 10^{-6}$	micro	µ
$0{,}000\,000\,001 = 10^{-9}$	nano	n
$0{,}000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	pico	p
$0{,}000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	femto	f

3. Equations de droites

Une droite du plan peut être caractérisée par une équation de la forme:

- **x = c** si cette droite est parallèle à l'axe des ordonnées ("verticale")
- **y=m.x + p** si cette droite n'est pas parallèle à l'axe des ordonnées

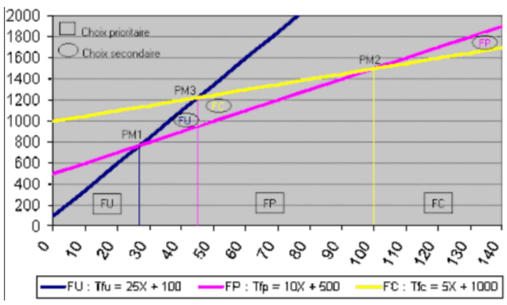
Dans le second cas, "m" est appelé coefficient directeur et "p" ordonnée à l'origine.



Propriété:

Soient A et B deux points du plan tels que $x_A \neq x_B$

Le coefficient directeur de la droite (AB) est: $m = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$ (utile pour trouver l'accélération)



Choix de production

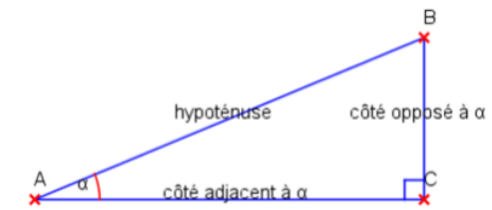
Les équations sont de la forme :

Coût = investissement + coût_pièce x nb_pièces

Pour trouver le nombre de pièce qui correspond au seuil, faire :

Coû_production1 = coût_production2

4. Projection d'un vecteur dans un plan



Moyen mnémotechnique : SOH CAH TOA

$$sin\alpha = \frac{Opposé}{Hypoténuse}$$

$$cos\alpha = \frac{Adjacent}{Hypoténuse}$$

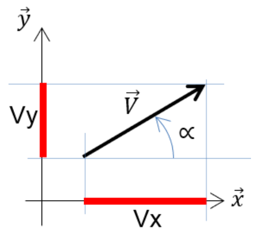
$$tan\alpha = \frac{Opposé}{Adjacent}$$

Dans le plan $\vec{x}\vec{y}$, les relations entre la norme du vecteur, sa direction et ses composantes sont :

$$Vx = \|\vec{V}\|.\cos\propto$$

$$Vy = \|\vec{V}\|.\sin\propto \qquad \tan\propto = \frac{Vy}{Vx}$$

$$\|\vec{V}\| = \sqrt{Vx^2 + Vy^2}$$



5. Composantes d'un vecteur

Ecritures équivalentes : $\boxed{\vec{V} = X\vec{x} + Y\vec{y} + Z\vec{z}}$ $\qquad \vec{V} : \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \qquad \boxed{\vec{V}(X, Y, Z)}$

La norme $\|\vec{V}\|$ est égale à : $\|\vec{V}\| = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$.

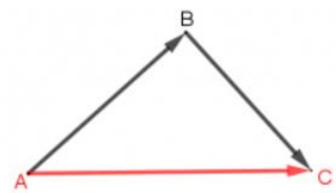
Soient A et B deux points tels que : $A\begin{vmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{vmatrix}$ et $B\begin{vmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{vmatrix}$, le vecteur $\vec{V} = \overrightarrow{AB} = \begin{vmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{vmatrix}$

Pour un vecteur $\overrightarrow{AB}$, un vecteur unitaire $\vec{u}$ de direction (AB) et de sens de A vers B : $\vec{u} = \dfrac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}$

6. Somme, soustraction, produit par un scalaire

SI $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BC}, \overrightarrow{AC}$ sont trois vecteurs et λ un scalaire alors :

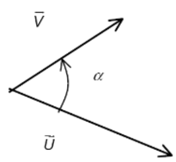
- $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{AB}$
- $\overrightarrow{BC} = -\overrightarrow{CB}$
- $\lambda(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC}) = \lambda.\overrightarrow{AB} + \lambda.\overrightarrow{BC}$
- Relation de Chasles : $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{AC}$



7. Produit scalaire (dot product) de deux vecteurs :

C'est un nombre réel : $\vec{U}.\vec{V} = \|\vec{U}\| \times \|\vec{V}\| \times \cos(\vec{U}, \vec{V})$.

$$Si\ \vec{V_1}\begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix} et\ \vec{V_2}\begin{vmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{vmatrix} alors\ \vec{V_1}.\vec{V_2} = X_1X_2 + Y_1Y_2 + Z_1Z_2$$

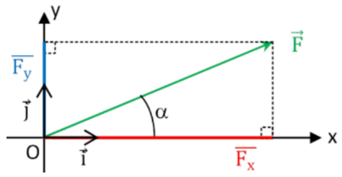


Propriétés :

- $\vec{U}.\vec{V} = 0 \quad si \quad \vec{U} = 0 \quad ou \quad \vec{V} = 0 \quad ou \quad (\vec{U}.\vec{V}) = \frac{\pi}{2} + k\pi$
- Dans une base orthonormée $\mathcal{B}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$: $\quad \vec{x}.\vec{x} = \vec{y}.\vec{y} = \vec{z}.\vec{z} = 1$

$$\vec{x}.\vec{y} = \vec{y}.\vec{z} = \vec{z}.\vec{x} = 0$$

- La composante de $\vec{F}$ sur l'axe x est le résultat du produit scalaire de $\vec{F}$ et du vecteur unitaire $\vec{\imath}$: $F_x = \vec{F} \cdot \vec{\imath}$

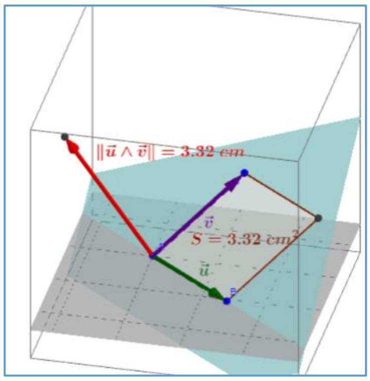


8. Produit vectoriel (cross product) de deux vecteurs :

Le produit vectoriel $\overrightarrow{V_1} \times \overrightarrow{V_2} = \overrightarrow{V_1} \wedge \overrightarrow{V_2} = \overrightarrow{W}$ est tel que :

- Le support de $\overrightarrow{W}$ est **perpendiculaire au plan** $(\overrightarrow{V_1}, \overrightarrow{V_2})$.
- Le sens de $\overrightarrow{W}$ est tel que le trièdre $(\overrightarrow{V_1}, \overrightarrow{V_2}, \overrightarrow{W})$ soit **direct**.
- La norme de $\overrightarrow{W}$ a pour valeur

$$\|\overrightarrow{W}\| = \|\overrightarrow{V_1}\| \times \|\overrightarrow{V_2}\| \times |\sin(\overrightarrow{V_1}, \overrightarrow{V_2})|.$$



Expression analytique :

$$Si\ \overrightarrow{V_1} \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix}\ et\ \overrightarrow{V_2} \begin{vmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{vmatrix}\ alors\ \overrightarrow{V_1} \wedge \overrightarrow{V_2} \begin{vmatrix} \boldsymbol{Y_1.Z_2 - Y_2.Z_1} \\ \boldsymbol{Z_1.X_2 - Z_2.X_1} \\ \boldsymbol{X_1.Y_2 - X_2.Y_1} \end{vmatrix}$$

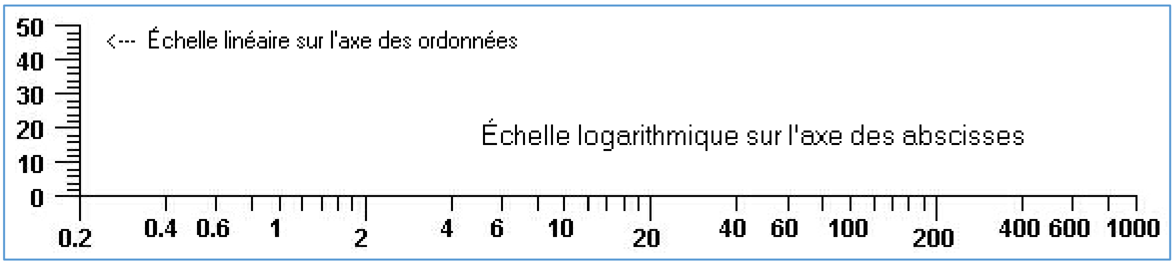
Propriétés :

- Antisymétrie : $\vec{U} \wedge \vec{V} = -(\vec{V} \wedge \vec{U})$.
- Cas de nullité : $\vec{U} \wedge \vec{V} = 0\ si\ \vec{U} = 0\ ou\ \vec{V} = 0\ ou\ (\vec{U}, \vec{V}) = 0 + k\pi$ (vecteurs colinéaires).
- Vecteurs d'une base orthonormée $\mathcal{B}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$: $\vec{x} \wedge \vec{x} = \vec{y} \wedge \vec{y} = \vec{z} \wedge \vec{z} = \vec{0}$
  $\vec{x} \wedge \vec{y} = \vec{z}$; $\vec{y} \wedge \vec{z} = \vec{x}$; $\vec{z} \wedge \vec{x} = \vec{y}$

9. Quantification des écarts

Ecart absolu	$\varepsilon_{absolu} = \|valeur_{attendue} - valeur_{mesurée}\|$
Ecart relatif	$\varepsilon_{relatif} = \dfrac{\varepsilon_{absolu} \times 100}{valeurattendue}$

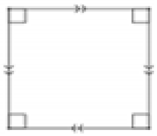
10. Lecture sur graphe à échelle logarithmique



Avec l'échelle linéaire, deux graduations dont la différence vaut 10 sont à distance constante.
Avec l'échelle logarithmique, deux graduations dont le rapport vaut 10 sont à distance constante.

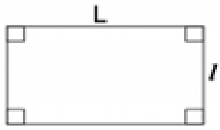
2. Surfaces et volumes

Le carré



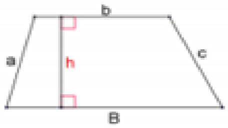
Périmètre = c x 4
Aire = c^2

Le rectangle



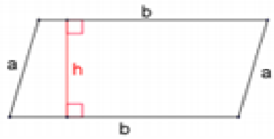
Périmètre = $(L + \ell) \times 2$
Aire = $L \times \ell$

Le trapèze



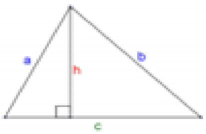
Périmètre = a + b + c + B
Aire = $\frac{(B + b) \times h}{2}$

Le parallélogramme



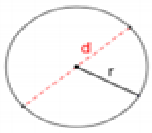
Périmètre = a + b + a + b
Aire = b x h

Le triangle

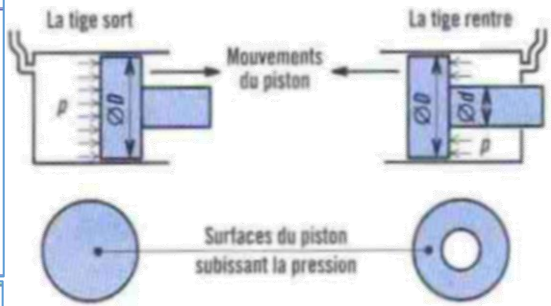


Périmètre = a + b + c
Aire = $\frac{c \times h}{2}$

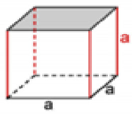
Le cercle



Longueur du cercle = $d \times \pi$ ou $2 \pi r$
Aire du disque = πr^2

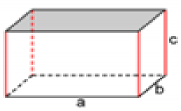


Le cube



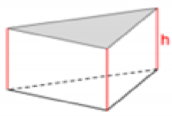
Volume = a^3
Aire totale = $6 \times a^2$

Le pave droit



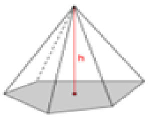
Volume = a x b x c

Le prisme



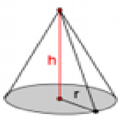
Volume = Aire de la base x h
Aire latérale = périmètre de la base x h

La pyramide



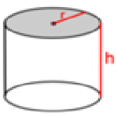
V = $\frac{\text{Aire de la base} \times h}{3}$

Le cône



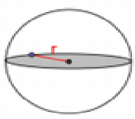
V = $\frac{\pi r^2 h}{3}$

Le cylindre



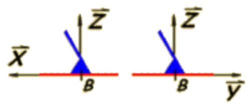
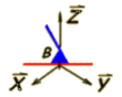
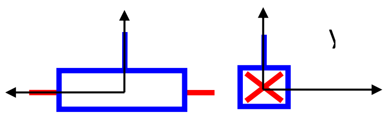
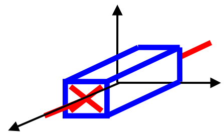
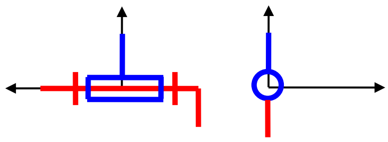
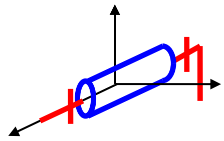
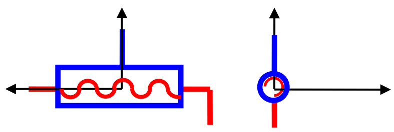
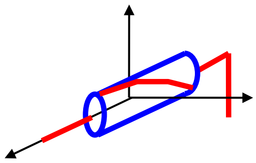
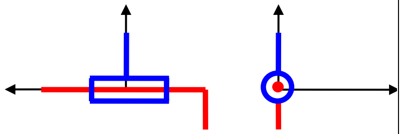
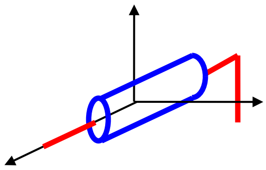
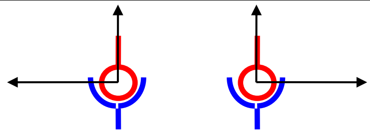
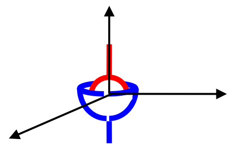
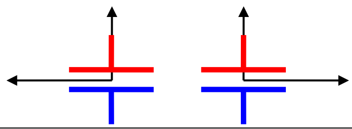
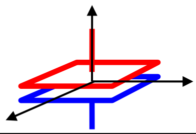
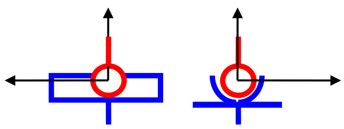
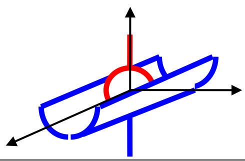
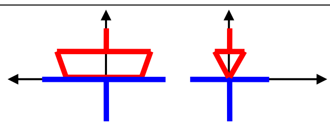
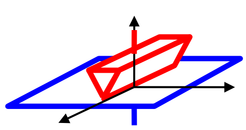
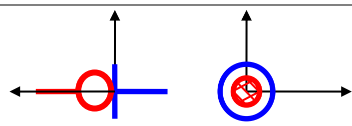
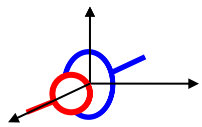
Volume = $\pi r^2 h$
Aire latérale = $2 \pi r h$

La boule



Volume = $\frac{4}{3} \pi r^3$
Aire de la sphère = $4 \pi r^2$

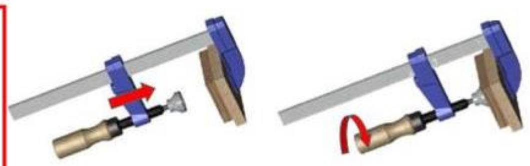
3. Liaisons et schémas cinématiques

Nombre de mobilités	Torseur cinématique au centre de la liaison	Torseur des efforts transmissibles au centre de la liaison	Schématisation Plane	Schématisation spatiale
0	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$ Encastrement	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{array}\right\}_R$		
1	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} 0 & v_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$ Glissière	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ 0 & N_A \end{array}\right\}_R$		
	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$ Pivot	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & 0 \end{array}\right\}_R$		
	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & v_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$ Hélicoïdale	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A \rightarrow & N_A \end{array}\right\}_R$		
2	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & v_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$ Pivot glissant	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$		
3	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 \end{array}\right\}_R$ Rotule	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{array}\right\}_R$		
	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} 0 & v_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & v_z \end{array}\right\}_R$ Appui-plan	${}_A\left\{\begin{array}{cc} 0 & L_A \\ Y_A & 0 \\ 0 & N_A \end{array}\right\}_R$		
4	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & v_z \end{array}\right\}_R$ Sphère-cylindre (ou linéaire annulaire)	${}_A\left\{\begin{array}{cc} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$		
	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & v_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & v_z \end{array}\right\}_R$ Cylindre-plan (ou linéaire rectiligne)	${}_A\left\{\begin{array}{cc} 0 & L_A \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_R$		
5	${}_A\left\{\begin{array}{c\|c} \omega_x & 0 \\ \omega_y & v_y \\ \omega_z & v_z \end{array}\right\}_R$ Sphère-plan (ou ponctuelle)	${}_A\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_A & 0 \end{array}\right\}_R$		

Démarche pour réaliser le schéma cinématique d'un mécanisme

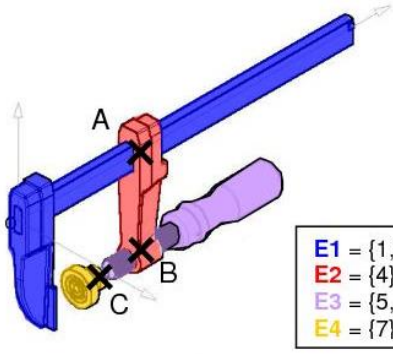
1

Etudiez le dessin d'ensemble du mécanisme afin d'en comprendre le fonctionnement et les conditions de montage.



2

Identifiez les classes d'équivalence du mécanisme en les coloriant chacune d'une couleur différente, et en les relevant sur votre feuille. Les pieces deformablessontexclues de touteclasse.



E1 = {1,2, 3}
E2 = {4}
E3 = {5, 6}
E4 = {7}

3

Identifiez la nature des contacts entre les classes d'équivalence puis en déduire la nature de la liaison avec son repère d'orientation.

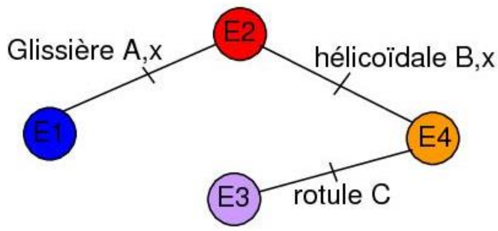
Entre E1 et E2 : Surfacique plan (x2) } Glissière A,x

Entre E2 et E3 : Filetage/taraudage } hélicoïdale B,x

Entre E3 et E4 : Surfacique sphérique } rotule C

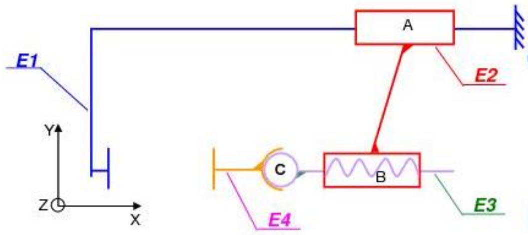
4

Tracez le graphe des liaisons en indiquant le nom des liaisons et le repère d'orientation.



5

Tracez le schéma cinématique 2D (ou 3D), en respectant les couleurs choisies pour les classes d'équivalence, en respectant la position des centres de liaisons et en choisissant le symbole 2D (ou 3D), pour chaque liaison, correspondant au repère.



FIN

4. Cinématique

Si la TRAJECTOIRE est : Le mouvement est :	Une droite RECTILIGNE	Un cercle CIRCULAIRE	Une portion de courbe QUELCONQUE
Si la VITESSE est : Le mouvement est :	Augmente ACCÉLÉRÉ	Reste constante UNIFORME	Diminue DÉCÉLÉRÉ

Mouvement de translation rectiligne

- **uniforme** = à vitesse constante
- **uniformément varié** = à vitesse variant uniformément = à accélération constante

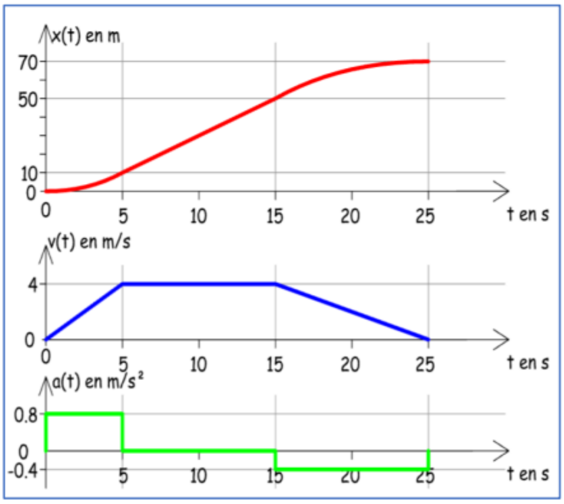
Mouvement de translation rectiligne uniforme

Lois horaires :

$\gamma(t) = 0$

$v(t) = v_i$

$x(t) = v_i(t - t_{i-1}) + x_{i-1}$



Mouvement de translation rectiligne uniformément varié

Lois horaires :

$\gamma(t) = \gamma_i$

$v(t) = \gamma_i(t - t_{i-1}) + v_{i-1}$

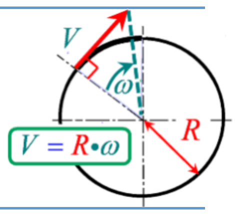
$x(t) = \frac{1}{2} \cdot \gamma_i(t - t_{i-1})^2 + v_{i-1}(t - t_{i-1}) + x_{i-1}$

$$\boxed{v(t)^2 - v_{i-1}^2 = 2\gamma_i \left[x(t) - x_{i-1}\right]}$$

Relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire

$V = R \cdot \omega$

V : vitesse en mètres par seconde (m/s)
R : rayon en mètres (m)
ω : vitesse angulaire en radians par seconde (rad/s)



Conversion d'unités de vitesse angulaire

$N = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi}$

N : vitesse de rotation en tours par minute (tr/min)
ω : vitesse angulaire en radians par seconde (rad/s)

5. Actions mécaniques

Poids

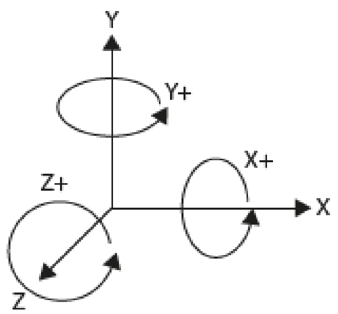
$P = m \times g$	*P* : poids en newtons (N) *m* : masse en kilogrammes (kg) *g* : accélération de la pesanteur en mètres par secondecarrée (m/s^2)

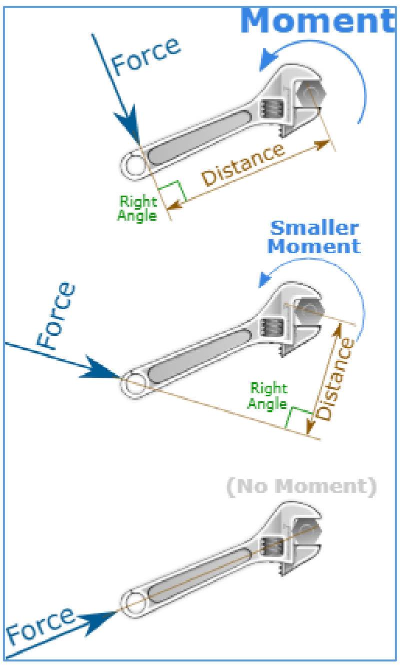
Pression

$P = \frac{F}{S}$	*P* : pression (Pa) (1 bar = 10^5 Pa) *F* : force en newtons (N) *S* : surface en mètres carrés (m^2)

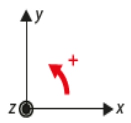
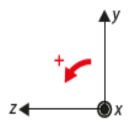
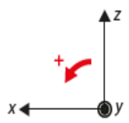
Moment

M = F × d	M : Moment en newtons mètre (N · m) F : Force en newtons (N) d : distance (Bras de levier) en mètres (m)





Le signe du moment algébrique dépend du sens de rotation de la pièce, provoqué par la force, autour du point considéré. Le sens trigonométrique est généralement choisi comme sens positif.

Dans le plan (*x*, *y*)	Dans le plan (*y*, *z*)	Dans le plan (*x*, *z*)
		

Torseurs

$$\{\tau_{1\to2}\} = {}_A\left\{\begin{matrix}\overrightarrow{R}_{1\to2}\\ \overrightarrow{M}_{A\,1\to2}\end{matrix}\right\} = {}_A\left\{\begin{matrix}X_{1\to2} & L_{A\,1\to2}\\ Y_{1\to2} & M_{A\,1\to2}\\ Z_{1\to2} & N_{A\,1\to2}\end{matrix}\right\}_{(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$$

éléments de réduction au point A :
résultante
moment en A

leurs composantes, dans ce repère

(inutile de préciser le repère s'il n'y a pas de confusion possible)

Le calcul se présentera donc de la façon suivante :

CONNU

$$\{\tau_{1\to2}\} = {}_A\left\{\begin{matrix}\overrightarrow{R}_{1\to2}\\ \overrightarrow{M}_{A\,1\to2}\end{matrix}\right\} = {}_A\left\{\begin{matrix}X_{1\to2} & L_{A\,1\to2}\\ Y_{1\to2} & M_{A\,1\to2}\\ Z_{1\to2} & N_{A\,1\to2}\end{matrix}\right\} \Leftrightarrow {}_B\left\{\begin{matrix}\overrightarrow{R}_{1\to2}\\ \overrightarrow{M}_{B\,1\to2} = ?\end{matrix}\right\}$$

?

on calcule le moment en B : $\overrightarrow{M}_{B\,1\to2} = \overrightarrow{M}_{A\,1\to2} + \overrightarrow{BA} \wedge \overrightarrow{R}_{1\to2}$ *d'après la définition mathématique d'un torseur*

$$= \begin{vmatrix}L_{A1\to2}\\ M_{A1\to2}\\ N_{A1\to2}\end{vmatrix} + \begin{vmatrix}a\\ b\\ c\end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix}X_{1\to2}\\ Y_{1\to2}\\ Z_{1\to2}\end{vmatrix}$$

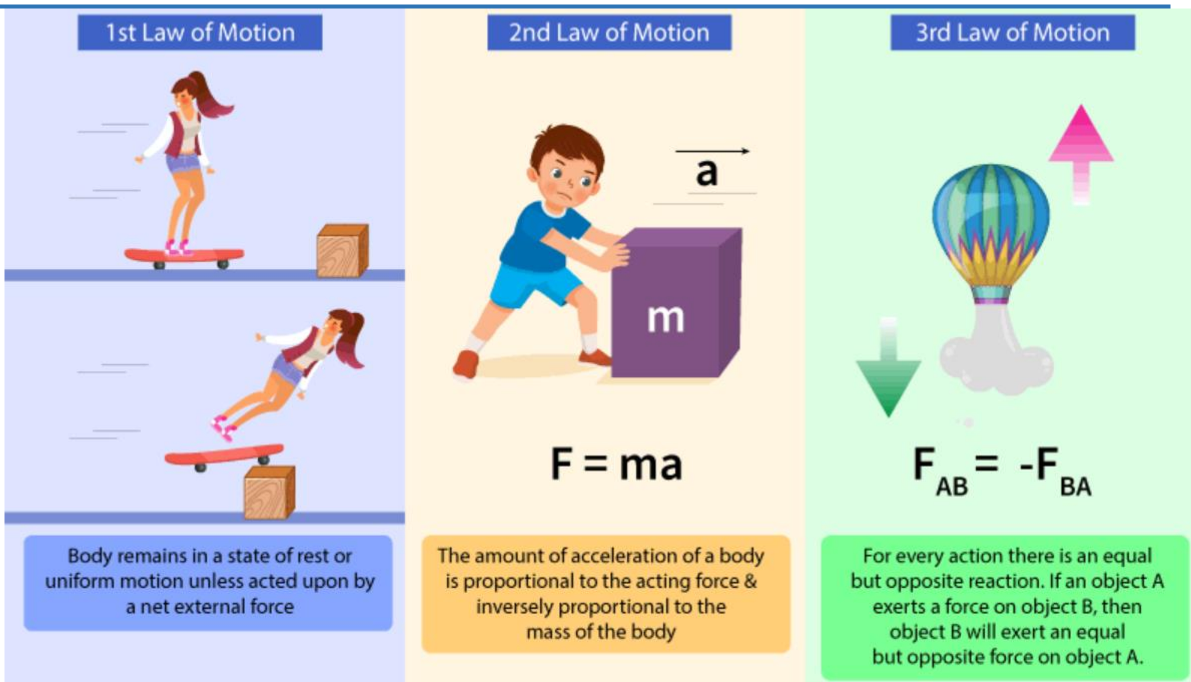
le produit vectoriel est évidemment prioritaire devant l'addition

ce qui donne après calcul : $\{\tau_{1\to2}\} = {}_B\left\{\begin{matrix}X_{1\to2} & L_{A\,1\to2} + b.\,Z_{1\to2} - c.\,Y_{1\to2}\\ Y_{1\to2} & M_{A\,1\to2} + c.\,X_{1\to2} - a.\,Z_{1\to2}\\ Z_{1\to2} & N_{A\,1\to2} + a.\,Y_{1\to2} - b.\,X_{1\to2}\end{matrix}\right\}$

la même résultante qu'en A

le nouveau moment, calculé en B

6. Lois de Newton



Équilibre d'un solide

L'équilibre du solide (S) se traduit par le fait que la somme des torseurs des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur (S) est égale au torseur nul.

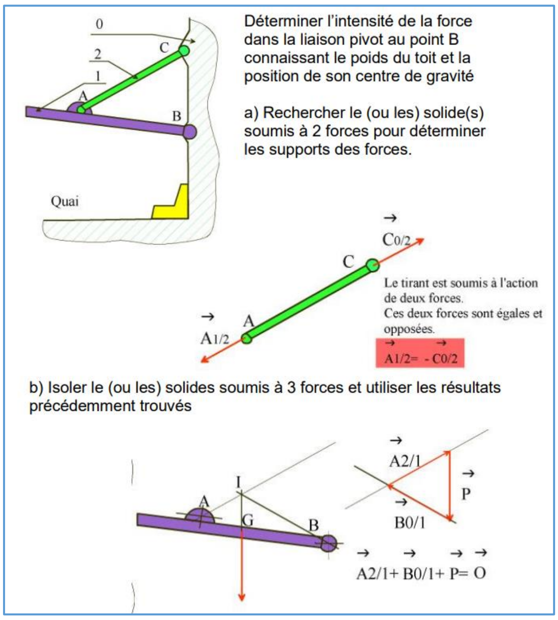
$$\sum {}_{A}\{\tau_{\text{ext}\rightarrow S}\} = {}_{A}\{0\}$$

Théorème des résultantes

$$\sum \overrightarrow{R_{\text{ext}\rightarrow S}} = \vec{0}$$

Théorème des moments (attention, tous doivent être exprimés au même point)

$$\sum \overrightarrow{M_{A,\text{ext}\rightarrow S}} = \vec{0}$$



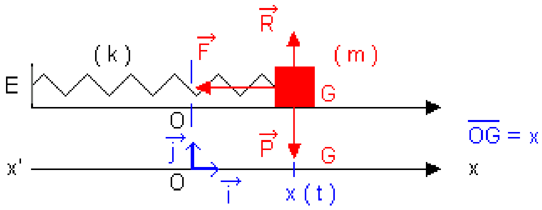
Lorsqu'un solide est en équilibre sous l'action de **2** forces, ces forces ont :

- Le même support
- La même norme
- Des sens opposés

Lorsqu'un solide est en équilibre sous l'action de **3** forces, ces forces ont :

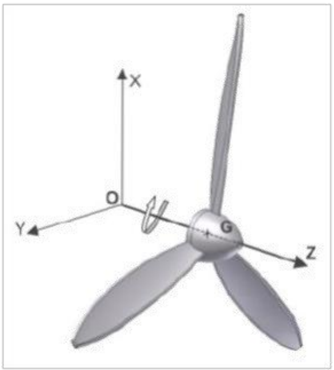
- Des supports qui se coupent en 1 point
- Une somme vectorielle nulle

Solide (S) en mouvement de translation par rapport à un repère galiléen R



$$\begin{cases}\overrightarrow{R\,(ext \to s)} = m\,.\,\overrightarrow{\Gamma_{G/\Re}} \\ \overrightarrow{M_G(ext \to s)} = \vec{0}\end{cases}$$

Solide (S) en rotation autour de l'axe (O, z) avec centre de gravité sur (O, z)

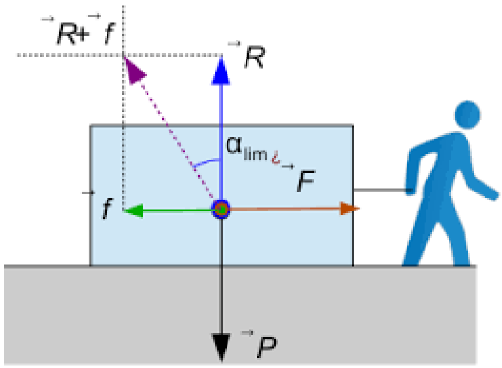


$$\begin{cases}\overrightarrow{R\,(ext \to s)} = \vec{0} \\ \overrightarrow{M_{oz}(ext \to s)} = J_{oz}\,.\,\ddot{\theta}\,.\,\vec{z} \quad \text{ou} \quad J_{oz}\,.\,\dot{\omega}\,.\,\vec{z}\end{cases}$$

J: inertie en kg.m^2, caractérise la répartition de la masse autour de l'axe

7. Frottement

Le frottement **s'oppose** toujours au mouvement



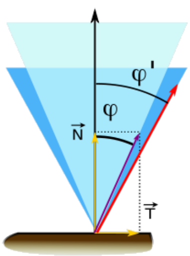
- **Coefficient de frottement**

Le coefficient de frottement **f** se définit par la relation $\boxed{f = \tan\varphi}$

Le **coefficient de frottement f** dépend :
- des matériaux en contact ;
- de l'état des surfaces en contact (rugosité) ;
- de la présence ou non de lubrifiant.

Quelques valeurs de coefficients de frottement :

Matériaux en contact	f
Acier/ acier (surfaces polies)	0.2
Acier/ bronze lubrifié	0.07
Pneu/ chaussée sèche	0.6
Pneu/ chaussée verglacée	0.1



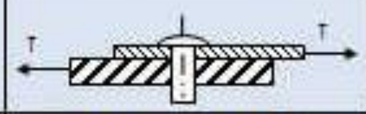
Cônes de frottements
Adhérence et glissement

$\varphi' > \varphi$

$f = \tan\varphi$

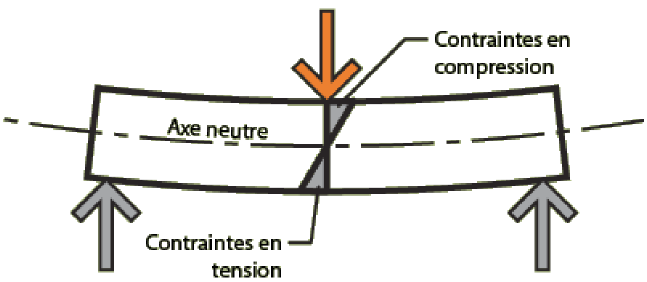
$f' = \tan\varphi'$

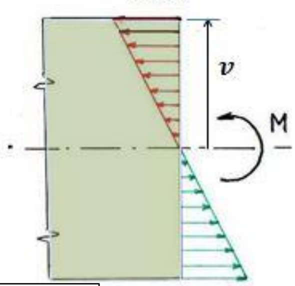
8. Résistance des matériaux

Sollicitations :	TRACTION	COMPRESSION	CISAILLEMENT
Schéma			
Caractéristiques de la section	Surface : S en mm²		Surface : S en mm²
Module d'élasticité	E (en Mpa)		
Déformation	ΔL : allongement (en mm)	ΔL : raccourcissement (en mm)	
Contrainte			
Contrainte en fonction des efforts	$\boxed{\sigma = \frac{F}{S}}$ σ (sigma) en Mpa, F en newton, S section en mm²		$\boxed{\tau = \frac{T}{S}}$ τ (thau) en Mpa, T en newton, S section en mm²
Contrainte en fonction des déformations	$\boxed{\sigma = E.\varepsilon}$ $\begin{cases} \sigma \text{ en Mpa} \\ \varepsilon = \left(\frac{\Delta L}{L}\right) \text{ sans unité} \end{cases}$		
Condition de résistance	$\boxed{\sigma_{max} < {R_e}/{s}}$ $\begin{cases} R_e \text{ résistance élastique à l'extension} \\ s \text{ le coefficient de sécurité} \end{cases}$		$\boxed{\tau_{max} < {R_{eg}}/{s}}$ R_{eg} résistance au glissement, s le coefficient de sécurité

Flexion

Lorsqu'une poutre est déformée par une force, alors il apparait des contraintes dans le matériau.





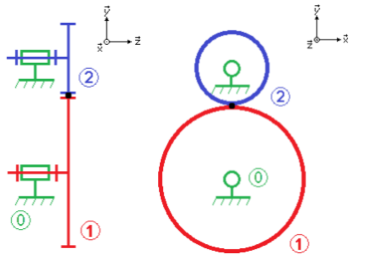
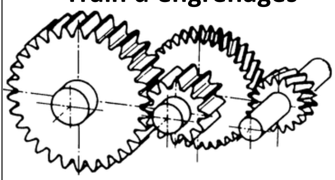
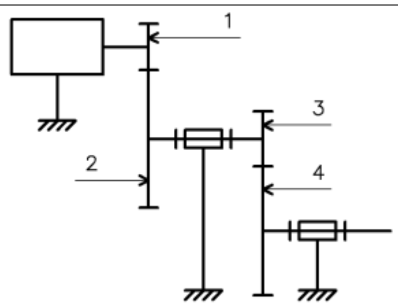
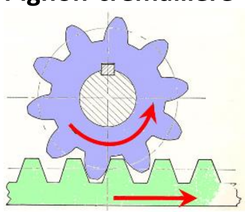
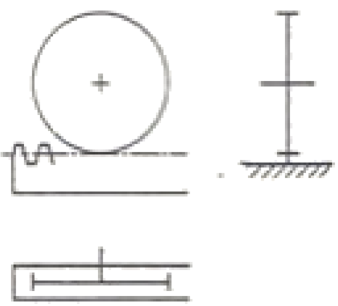
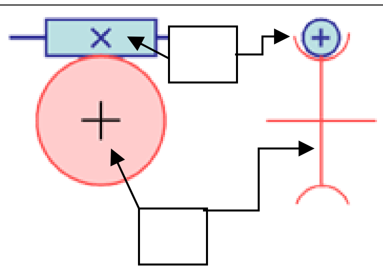
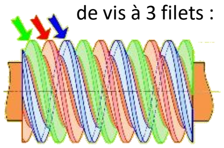
La définition de la contrainte (σ) :

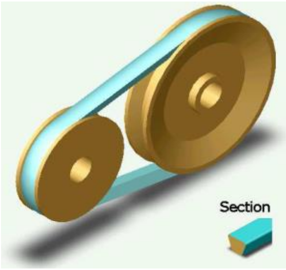
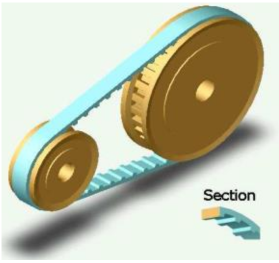
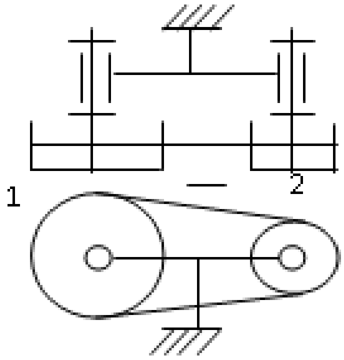
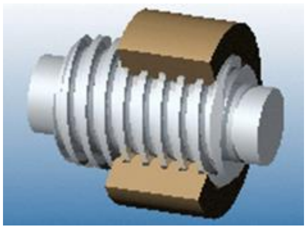
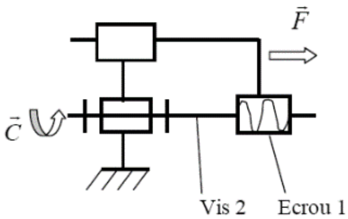
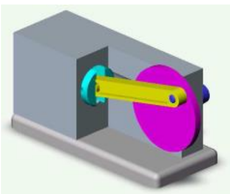
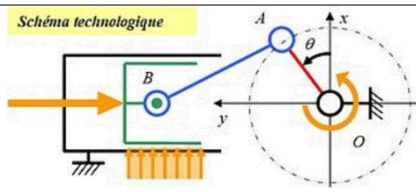
$$\sigma_{maxi} = \frac{M_f}{I}.v$$

σ : Contrainte (MPa)
Mf : Moment de flexion (N.mm)
I : Moment d'inertie (mm⁴)
v : position de la fibre la plus éloignée de l'axe neutre (mm)

TECHNOLOGIE

1. Systèmes de transmission de mouvement

Nom	Symbole	Fonction
Engrenage 		$R = \dfrac{\text{Vitesse en sortie}}{\text{Vitesse en entrée}} = \dfrac{Z_{\text{menante}}}{Z_{\text{menée}}}$ *R* : rapport de réduction *Z* : nombre de dents des roues
Train d'engrenages 		$R = \dfrac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$ $R = \dfrac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_4}$ *R* : rapport de réduction *Z* : nombre de dents des roues
Pignon-crémaillère 		Périmètre = 2π x Rayon $d = r \times \theta$ *d* : distance parcourue par la crémaillère (m) *r* : rayon du pignon(m) θ : angle de rotation du pignon (rad) $V = r \times \omega$ V= vitesse, en m/s ω: vitesse de rotation en rad/s
Roue-vis sans fin 	 Exemple de vis à 3 filets : 	Le système est, en général, **irréversible** (la roue ne peut pas entraîner la vis). $R = \dfrac{\omega_2}{\omega_1} = \dfrac{Z_1}{Z_2}$ *R* : rapport de transmission Z_1 : nombre de dents de la roue 1 Z_2 : nombre de filets de la vis 2 ω_1 : vitesse de rotation de la roue 1 ω_2 : vitesse de rotation de la vis 2

Poulies-courroie  		$R = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2}$ R : rapport de transmission d_i : diamètre de la poulie i (m) ω_i : vitesse angulaire de la poulie i (rad/s) $V_{\text{courroie}} = \omega \cdot R = \frac{d_1 \omega_1}{2} = \frac{d_2 \omega_2}{2}$ V : vitesse de translation de la courroie (m/s) V=2π x Rayon x N V : vitesse linéaire courroie (m/s) N : vitesse (tr/s)
Vis-écrou 		Ce mécanisme est, en général, **irréversible** (l'écrou ne peut pas entraîner la vis). Distance = Pas ×Angle avec la distance en mm, le pas en mm/tour etl'angle en tours.
Système bielle-manivelle 		Système permettant de transformer un mouvement de translation alternatif en mouvement de rotation continu et vice versa. Course (distance parcourue par le piston)=2AO

2.Matériaux

Symboles chimiques

Symbole	Elément
Al	Aluminium
Sb	Antimoine
Ag	Argent
Be	Béryllium
Bi	Bismuth
B	Bore
C	Carbone
Cd	Cadmium
Ce	Cérium
Cr	Chrome

Symbole	Elément
Co	Cobalt
Cu	Cuivre
Sn	Etain
Fe	Fer
Ga	Galium
Li	Lithium
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
Mo	Molybdène
Ni	Nickel

Symbole	Elément
P	Phosphore
Pb	Plomb
Si	Silicium
S	Soufre
Ta	Tantale
Ti	Titane
V	Vanadium
W	Tungstène
Zn	Zinc
Zr	Zirconium

I. Aciers

Acier = fer + carbone avec C<1,7%

Aciers non alliés pour traitement thermique

C + % Carbone x100 (% min de carbone pour une **trempe** : 0,25%)

Exemple : **C35** acier avec 0,35% de carbone

Aciers non alliés

- Acier de construction (Structures) **S**+Re min

Exemple : **S185** acier non allié de résistance élastique 185 MPa

- Acier de construction mécanique (Engine) **E**+Re min

Exemple : **E360** acier non allié de résistance élastique 360 MPa

Aciers faiblement alliés

(la teneur de chaque élément d'alliage est <5% en masse)

% carbone x100 + éléments d'addition + % de chaque élément x coefficient

Exemple : **35 Ni Cr Mo16** acier avec 0,35% de carbone 4% de Nickel, des traces de Chrome et des traces de Molybdène

Tableau des coefficients multiplicateurs :

Eléments d'addition	Coefficient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
S, Ce, N, P	100
B	1000

Aciers fortement alliés

X + % Carbone x100 + éléments d'addition + %de chaque élément

Exemple : **X5 Cr Ni 18-10** acier avec 0,05% de carbone 18% de Chrome et 10% de Nickel

Si un acier est moulé, sa désignation est précédée de la lettre **G**.

Exemples :

GC35
GS185
GE360
G35 Ni Cr Mo16
GX5 Cr Ni 18-10

II. Fontes

Fonte = fer + carbone avec 2% < %C < 7%

Fontes à graphite lamellaire

EN-GJL + Rr (résistance à la rupture en MPa)

Exemple : **EN-GJL 100** fonte à graphite lamellaire de résistance à la rupture 100 MPa

Fontes à graphite sphéroïdale

EN-GJS + Rr(résistance à la rupture en MPa) + pourcentage d'allongement après rupture

Exemple : **EN-GJS 350-22** fonte à graphite sphéroïdale de résistance à la rupture 350 MPa et d'allongement après rupture de 22%

III. Alliages d'aluminium

Le code numérique de la désignation des aluminiums est généralement suivi de la désignation symbolique

Code numérique	Désignation symbolique
EN AB-21 000	[Al Cu4 Mg]

Exemples d'alliages d'aluminium :

ALPAX : bonne moulabilité **EN AB-44 200 [Al Si 12]** : Aluminium avec 12% de Silicium

DURALIUM : bonne usinabilité **EN AW-2017 [Al Cu 4 Mg Si]** : Aluminium avec 4% de Cuivre, des traces de Magnésium et des traces de Silicium

DURALINOX : bonne soudabilité (pièces chaudronnées, citernes, tuyauteries)

EN AW-5086 [Al Mg 4] : Aluminium avec 4% de Magnésium

IV. Alliages de cuivre

Alliages de cuivre corroyés (mis en forme par déformation plastique : laminage, étirage, ….)

CW + code [composition chimique avec % d'éléments d'addition]

CW 502 L [Cu Zn 15] : Cuivre avec 15% de Zinc (=Laiton)

Alliages de cuivre moulés

CC + code [composition chimique avec % d'éléments d'addition]

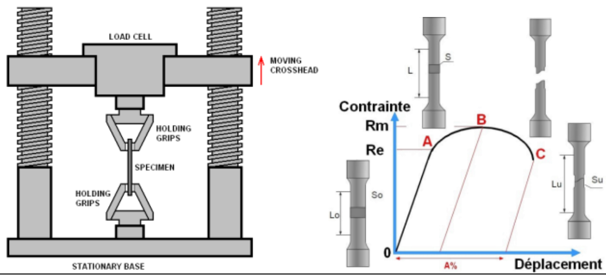
CC 482 K [Cu Sn 12] : Cuivre avec 12% d'Etain (=Bronze)

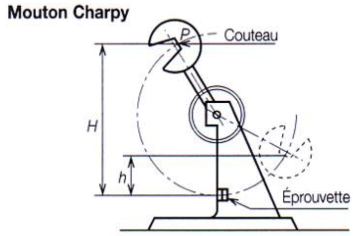
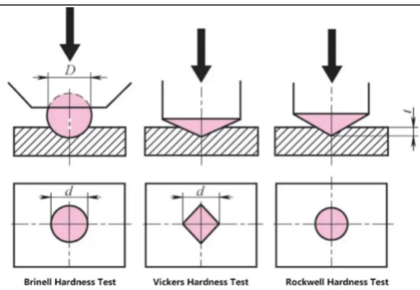
Essais

En fonction des pièces, on cherche un compromis entre les caractéristiques suivantes :

- **Ductilité** (capacité de déformation)
- **Résistance** (limite d'élasticité, résistance à la traction)
- **Résilience**, ou **ténacité** (résistance au choc)
- **Dureté** (résistance à l'usure).

Les moyens utilisés pour tester ces caractéristiques sont :

Ductilité Résistance élastique Résistance à la rupture	Essai de traction 

Résilience ou Ténacité	Essai de choc (mouton de Charpy)  • Énergie initiale $Wi = Mg \times H = 294$ joules (normalisée) • Énergie résiduelle $Wr = Mg \times h$ • Énergie absorbée $W = Wi - Wr$ $= (Mg \times H) - (Mg \times h)$ $= Mg\,(H - h)$
Dureté ou Résistance à l'usure	 Pour les métaux, essentiellement Rockwell (HRB ou HRC), Vickers (HV) et Brinell (HB). On applique un certain effort sur un poinçon puis on mesure la taille de la trace laissée.

Traitements thermiques

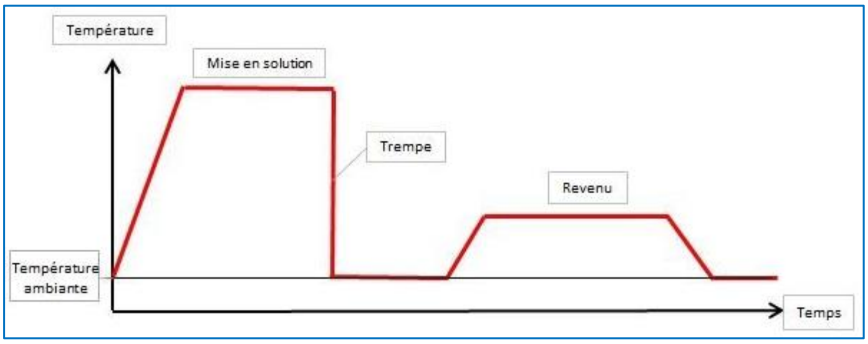
Lorsque l'on chauffe les métaux au-delà d'une certaine température, le maillage entre les grains de matière, se modifie.

Lorsque l'on refroidit brutalement la pièce, cela fige en surface le maillage : c'est une **trempe** (à l'eau, à l'air, à l'huile). La surface de la pièce devient très dure et résistante à l'usure.

On ne peut réaliser une trempe que si la pièce possède au moins 0,3 % de carbone.

Si ce n'est pas le cas, on peut faire une **cémentation** : on chauffe la pièce à plus de 900°C puis on la met en présence d'une matière riche en carbone. Cela a pour conséquence d'augmenter le carbone de la couche superficielle de la pièce pour pouvoir ensuite faire une trempe.

La trempe provoque des contraintes internes importantes dans la pièce, il faut donc procéder à un **revenu** pour libérer les contraintes et rendre la pièce moins cassante. Le revenu consiste à chauffer la pièce et à la refroidir lentement.



Le **recuit** (qui nécessite un refroidissement très lent) peut permettre de ramener le matériau à ses caractéristiques d'origine

3.Cotation

Cotes min et max

Dimensions nominales

Décalages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50
D10	+60 +20	+78 +30	+98 +40	+120 +50	+149 +65	+180 +80
F7	+16 +6	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25
G6	+8 +2	+12 +4	+14 +5	+17 +6	+20 +7	+25 +9
H6	+6 0	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0
H7	+10 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0
H8	+14 0	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0
H9	+25 0	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0

Tolérances

Ce tableau permet de trouver deux valeurs (+21) et (0) qui sont respectivement les écarts supérieur et inférieur exprimés en microns ($1\mu = 0.001$mm)

donc :

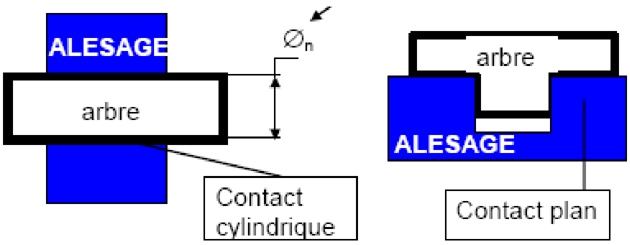
$\varnothing$ **20 H7 =** $\varnothing$**20** $^{+0.021}_{0}$

$d_{maxi} = 20.021$ mm
$d_{mini} = 20$ mm

Les ajustements

On appelle ajustement, l'assemblage entre un arbre et alésage ayant la même **dimension nominale**.

Par convention, on désignera par **alésage** le contenant et par **arbre** le contenu.



On indique la dimension nominale commune suivie des tolérances respectives de l'alésage et de l'arbre.

Exemple : $\varnothing$ **20 H7 g6** — Tolérance de l'arbre (g6)

Cote nominale commune

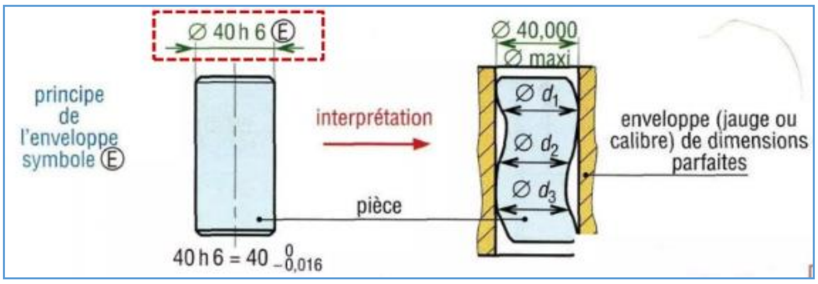
Tolérance de l'alésage (H7)

Le « jeu » est par définition la différence de dimension entre l'alésage et l'arbre. Ceux-ci peuvent tous deux varier entre une cote maxi et une cote mini.

VII. Exigence de l'enveloppe Ⓔ

Lorsqu'il y a un Ⓔ après la tolérance dimensionnelle, cela signifie que :

- Toutes les cotes locales doivent être dans l'intervalle de tolérance
- L'enveloppe de forme parfaite au maximum de matière (dimension max pour l'arbre et min pour l'alésage) ne doit pas être dépassée.

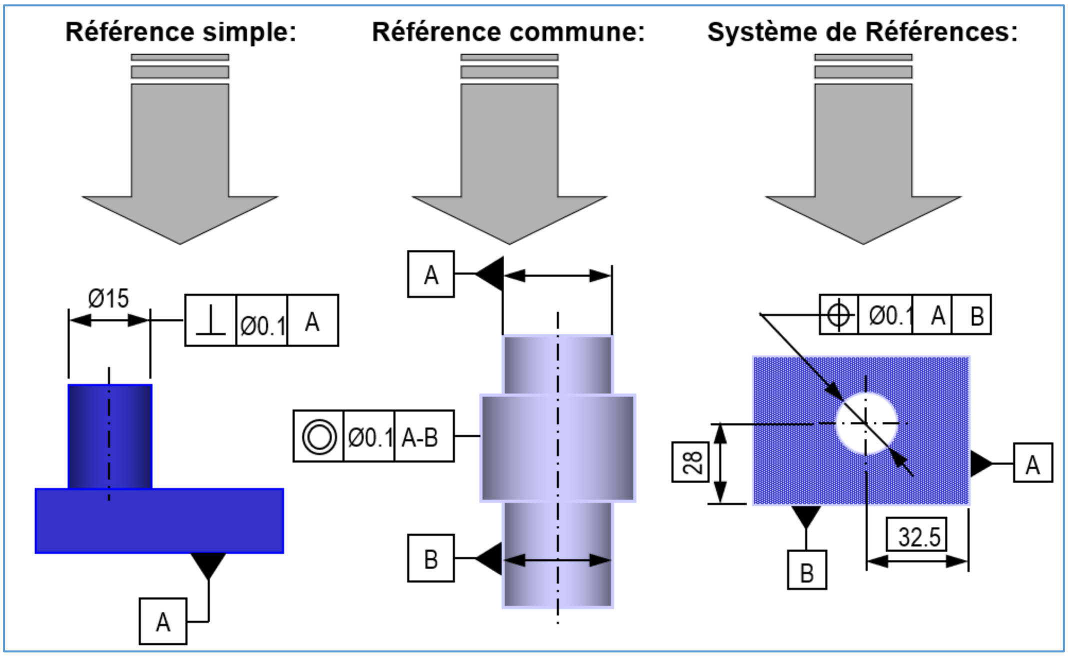


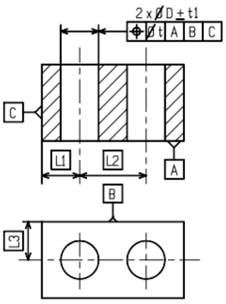
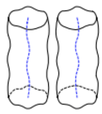
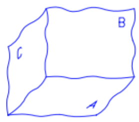
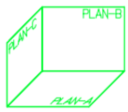
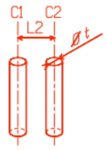
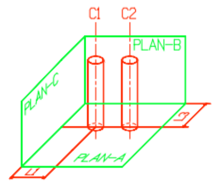
Cotation géométrique

Type	Symbole	Description
Forme	—	Rectitude
	⏥	Planéité
	○	Circularité
	⌭	Cylindricité
	⌒	Forme d'un profil de ligne
	⌓	Forme d'un profil de surface
Orientation	//	Parallélisme
	⊥	Perpendicularité
	∠	Inclinaison
Position	⌖	Localisation
	◎	Concentricité
	◎	Coaxialité
	⌯	Symétrie
	⌒	Position d'un profil de ligne
	⌓	Position d'un profil de surface
Battement	↗	Battement simple
	⌰	Battement total

JAMAIS spécifié par rapport à une référence

TOUJOURS spécifié par rapport à une référence



TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 6				
Symbole de la spécification ⌖	**Eléments non Idéaux**		**Eléments Idéaux**		
Type de spécification Forme, Orientation, Position, Battement, Localisation	**Elément(s) tolérancé(s)**	**Elément(s) de référence**	**Référence(s) spécifiée(s)**	**Zone de tolérance**	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation et position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 	**Deux lignes** nominalement rectilignes, **axes réels** de deux surfaces nominalement cylindriques. 	Ensemble de **trois surfaces A, B, C**, nominalement planes. 	**Référence primaire** : **PLAN-A** associé à la surface repérée **A**, contraint tangent du côté libre matière, critère min-max. **Référence secondaire** : **PLAN-B** associé à **B**, contraint tangent du côté libre matière et perpendiculaire à **PLAN-A**, critère min-max. **Référence tertiaire** : **PLAN-C** associé à **C**, contraint tangent du côté libre matière, perpendiculaire à **PLAN-A** et **PLAN-B** . 	**Volumes** limités par **deux cylindres** de diamètre **t**, d'axes **C1** et **C2** parallèles et distants de **L2** . 	Axes **C1** et **C2** de la zone de tolérance contraints perpendiculaires à **PLAN-A** et à distance **L3** de **PLAN-B**. Axe **C1** à distance **L1** de **PLAN-C**. 

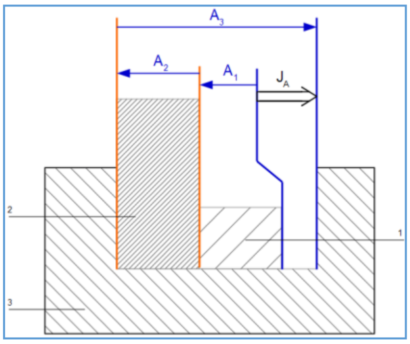
Chaines de cotes

Un **jeu** = espace entre 2 pièces

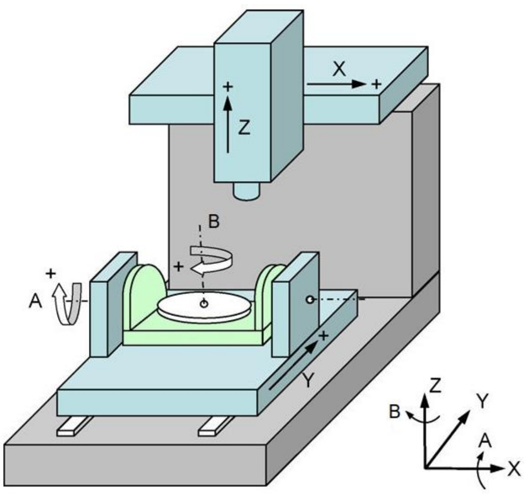
Le jeu fonctionnel (flèche à double trait) se situe entre deux **surfaces terminales** .

Il faut déterminer les cotes qui interviennent sur la valeur du jeu. Chaque cote relie deux surfaces de liaison (surface en contact avec une autre pièce) de l'ensemble.

Attention, il ne peut y avoir qu'une seule cote par pièce physique. De plus, les pièces déformables (joints, ressorts...) ne peuvent pas entrer dans le calcul d'une chaîne de cotes.



4.Paramètres de coupe



$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi . D}$$

N tr.min^{-1}

V_c en m.min^{-1}

D en mm (diamètre de l'outil en fraisage, diamètre de la pièce en tournage)

$$V_f = f_Z \times Z \times N$$

V_f vitesse d'avance en mm.min^{-1}

f_z avance en mm.dent^{-1}.tr^{-1}

N vitesse de rotation de la broche en tr.min^{-1}

Z nombre de dents