

Programme

La Mécanique

Pourquoi un cours de mécanique ?

Votre formation débouche sur des professions tels que :

- **Ingénieur d'Application,**
- **Ingénieur Biomédical,**
- **Responsable Assurance Qualité,**
- **Qualiticien, Responsable contrôle, etc...**
- **Ingénieur commercial,**
- **Ingénieur de Recherche ou Chercheur (après doctorat).**

Ces différentes activités nécessitent une profonde connaissance de certaines disciplines : **la mécanique en fait partie.**

La mécanique est partout (étude d'appareillage, optique, dispositifs de mesures de paramètres biologiques, etc...),

Programme

Ce cours est construit de façon à proposer en parallèle (en TP et TD) quelques micro-thèmes, issus de l'ingénierie biomédicale et justifiant d'études mécaniques.

Plus tard, à l'appui de ce cours, l'ex étudiant pourra projeter ces connaissances générales vers des applications plus audacieuses dans le cadre de son activité professionnelle.

Points importants à rappeler :

- La mécanique est noble, au même titre que l'électronique, l'informatique, la physique, la biologie, etc.
- La mécanique est présente dans tout instrument destiné au milieu médical.

Programme

Le contenu du programme :

Cours magistral et analyse de projet

- Introduction au cours de mécanique 1 x 1h30,
- Les essais des matériaux 3 x 1h30,
- Les outils de mesure 1 x 1h30,
- La composition des matériaux 1 x 1h30,
- Les frottements 1 x 1h30,
- La résistance des matériaux 3 x 1h30,
- Calcul de roulements à billes 1 x 1h30,
- Calcul des ressorts 1 x 1h30,
- Contrôle 1 x 2h00.

La conception assistée par ordinateur (CAO)

- Bilan des connaissances en dessin : analyse d'un objet, ⇒ Notions de base en dessin 1 x 3h00,
- Réalisation d'un dessin de définition 1 x 3h00,
- Analyse d'un pousse-seringue (ex.) 1 x 3h00,
- Étude et développement d'un micro-projet x x 3h00,

Observations :

Le cours concernant les outils de mesure, a pour but de sensibiliser l'étudiant sur ses

aptitudes à effectuer des mesures.

Il pourra comparer ses résultats à ceux du groupe par une analyse statistique effectuée par le groupe.

Normes standards nécessaires à la représentation d'une pièce puis applications à l'aide de SOLIDWORKS

Programme

Le contenu du programme :

L'analyse d'un projet :

présentation du sujet (médecin, infirmier, biologiste, etc.),

analyse des fonctions,

cahier des charges,

étude de faisabilité,

maquette,

prototype,

version industrielle (contrat de cession),

Programme

Méthode pédagogique appliquée :

Moyenne d'âge du groupe $\approx$ 23 ans $\Rightarrow$

étudiants adultes, motivés et responsables,

Prédilection pour l'interactivité dans les cours $\Rightarrow$

communication ouverte étudiant-enseignant,

Cette méthode implique le respect de la personne et du principe hiérarchique :

jugement interdit $\Rightarrow$ constats et critiques nécessaires,

Constat : l'information est au bout de vos doigts !

En conséquence il est inutile d'**APPRENDRE PAR COEUR** votre cours ;
l'important est d'en saisir le sens afin de vous permettre de concevoir par l'esprit ;
c'est à dire le **COMPRENDRE** !

Le PROJET

- Qu'est ce qu'un **projet**, pour une entreprise spécialisée dans le développement ?

Un projet est une *idée* provenant d'un ou de plusieurs auteur(s) qui, sur le plan recherche et/ou industriel, est porté vers sa *réalisation*.

- Qui peut revendiquer être l'**inventeur** ?

L'**inventeur** est celui qui a eu l'idée en *premier*.

Ex :

j'ai eu le premier l'idée de faire voler les navires,

j'ai eu le premier l'idée de faire atterrir les avions sur les autoroutes,

j'ai découvert le premier le mouvement perpétuel,

- Suis-je un **inventeur** même si ce n'est pas moi qui ai développé mon invention ou si cette invention n'est pas réaliste ?

Oui !

- Comment puis-je être reconnu comme **inventeur** au niveau de la communauté nationale voire internationale ?

En déposant mon invention à l'INPI (enveloppe **SOLEAU**, **BREVET** après recherche d'antériorité, Copyright,...)

Le PROJET

8

- Qui est le **développeur** ?

Le **développeur** est celui qui étudie et construit le projet. C'est souvent l'inventeur.

- Qui de l'inventeur ou du développeur a généralement le plus de travail pour réaliser l'invention ?

Le développeur.

- Le concepteur peut t'il être considéré également comme inventeur ?

Oui, mais il a tout intérêt avant de développer le projet, à s'assurer qu'il figurera bien au titre des inventeurs et sous quelles conditions.

- Les pré-requis de l'inventeur et du développeur ?

*Créativité
Perception spatiale
Culture générale
Culture du domaine de l'invention
Exigence et rigueur*

...

Le PROJET

9

- **Etat d'esprit de l'inventeur** ?

1- Ce matin en arrivant j'ai vu une péniche dans le ciel immobilisée à l'aide d'une longue amarre plantée dans le sol près du souterrain reliant la Fac au CHU.

Me croyez-vous ?

Oui ou Non, mais l'attitude d'un esprit inventeur sera de vérifier sur place en sortant des cours.

L'une des devises de l'inventeur est : Pourquoi pas !

2- L'étonnement, l'enthousiasme, l'expression admirative devant l'observation d'un objet commun peut être le support à la révélation d'une idée.

L'inventeur est Candide ou Anti-Blasé,

- Possédez-vous l'esprit de l'inventeur ?

3- J'ai trouvé le moyen de gagner assurément les gros lots du LOTO ?

Me croyez-vous ?

Oui, alors je demande à chacun d'entre-vous de me donner 100€, je les joue et la semaine prochaine on partage les gains.

L'inventeur n'est pas Dupe.

Le PROJET

- Conclusion

Un inventeur considère que l'impossible est possible,
il possède une part de candeur,
il est curieux de tout,
il est exigeant et rigoureux pour mener à terme son invention,
il garde toute son attention pour ne pas tomber dans la duperie,
etc...

Le PROJET

Curiosité, perception spatiale et conversion cérébrale

Existe t'il une information dans un milieu sans forme ?



Le PROJET

Curiosité, perception spatiale et conversion cérébrale

Existe t'il une information dans un milieu sans forme ?



Le PROJET

La curiosité, un outil clé dans la démarche inventive.

L'**inventeur** est perçu parfois, à juste titre, comme un fanfaron, sans sens de l'organisation, léger, toujours dans les nuages. Il est très observateur, « caricatureur », « extrapolateur », sensible, enthousiaste, étonné, planeur,... Il s'accorde le droit de laisser libre cours (toujours dans ses pensées) à ses idées les plus fantaisistes,

Le **développeur** est hyper organisé, concret, rigoureux, exigeant avec lui-même, voire avec son personnel, de manière à pouvoir appliquer rationnellement sa méthode de développement.

L'**inventeur développeur** est tantôt :

- dans ses pensées créatrices et se doit de laisser libre cours à ses idées les plus fantaisistes,
- hyper organisé et concret pour appliquer rationnellement sa méthode de développement.

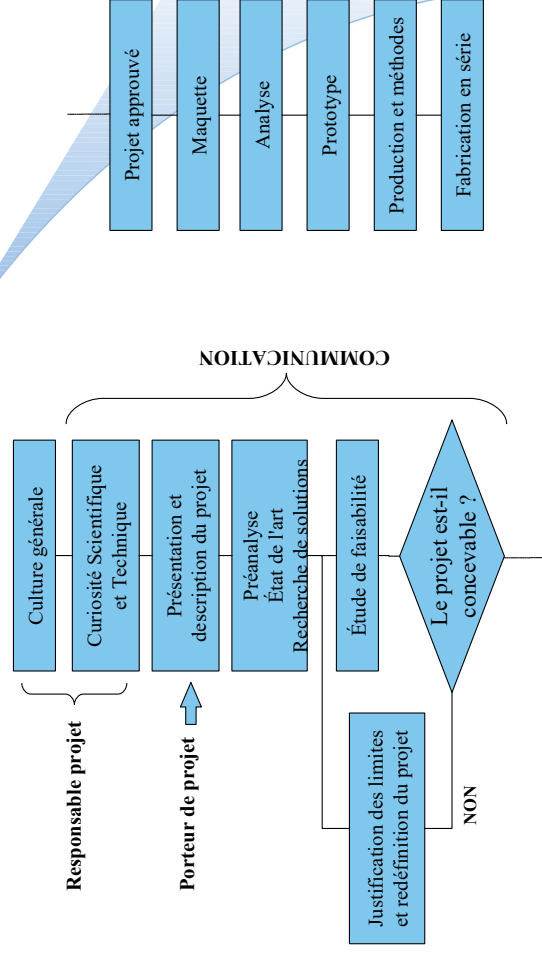
C'est l'attitude et l'état d'esprit que je propose à ceux qui souhaitent devenir **inventeur développeur**.

Le PROJET

Synoptique général de la gestion et du développement d'un projet.

Le PROJET

Synoptique général de la gestion et du développement d'un projet.



Le PROJET

Une entreprise conçue pour réaliser l'étude du projet, la maquette, le prototype, la présérie, puis la fabrication en série possède généralement les structures suivantes :

- une cellule **marketing** qui étudie le marché, qui prépare et participe à la définition du nouveau projet (design, ergonomie, convivialité,...) en vue de son lancement commercial,
- une cellule **développement** qui étudie et réalise la maquette ainsi que le prototype,
- un **comité scientifique et technique** comprenant des spécialistes du domaine de l'invention, extérieurs à l'entreprise. Il intervient dans l'analyse des projets en cours ainsi que dans la pertinence à développer de nouveaux projets. Si des projets sont soumis à plusieurs sociétés de développement extérieures, il participe à l'analyse des propositions techniques, scientifiques, voire des coûts de fabrication,
- une cellule de **fabrication** (c'est elle qui fabrique les préséries puis les séries),

Le PROJET

Une entreprise conçue pour réaliser l'étude du projet, la maquette, le prototype, la présérie, puis la fabrication en série possède généralement les structures suivantes :

- une cellule **commerciale** qui regroupe les vendeurs, les représentants, etc.
- une cellule **matériels et méthodes** (c'est elle qui fait évoluer le produit développé au cours de sa commercialisation : diminution des coûts de fabrication, etc...),
- une cellule **qualité** qui a pour vocation de faire respecter les normes ISO 9001, 13485 etc ... elle intervient dans tous les secteurs de l'entreprise, y compris dans le secteur développement,
- une cellule **administration, comptabilité, facturation**,
- ...,

Développement d'un micro- PROJET

Introduction :

Découverte et entraînement de construction de pièces mécaniques à l'aide de SOLIDWORKS

Initiation :

Développement du micro-projet (*exemple*) :

Réaliser un instrument mécanique portable permettant de débiter des petits volumes de fluides variables (10 à 50 cl) tel que air, eau, huile, sur des surfaces diverses (optique, enceintes, organes humains, etc...) à des pressions comprises entre 100 mBar et 5 Bars.

Il s'agit d'un produit innovant à usage divers et médical, n'existant pas sur le marché

Évaluation :

L'attention sera portée sur divers points tels que la fonctionnalité de l'instrument, son encombrement, son estimation du coût de revient (PRI), sa fiabilité, etc...

Développement d'un micro- PROJET

Organisation :

Les étudiants formeront des groupes de 2 personnes. Ils ne devront pas communiquer leurs travaux, leurs idées, etc..., avec les autres groupes de façon à rester propriétaire de leur invention jusqu'au jour de la présentation générale à l'ensemble de la classe,

Notation :

Les TD feront l'objet d'un contrôle continu. La note globale des TD correspondra à la moyenne des notes obtenues sur l'ensemble des séances de TD.

Chaque étudiant d'un groupe sera identiquement noté.

La note obtenue sera associée à la note du contrôle théorique. La note finale correspondra à la moyenne/20 de contrôle du cours magistral et à la moyenne/20 de la note du TD

(*ex : note moyenne TD = 14/20, note moyenne CM = 17/20 $\Rightarrow$ note finale $\rightarrow 14 + 17/2 = 15,5/20$).*

Les Essais des Matériaux

Les matériaux utilisés dans la construction de différents mécanismes subissent diverses sollicitations qui génèrent des contraintes internes.

Cinq types de contraintes distinctes sont répertoriées. Ce sont :

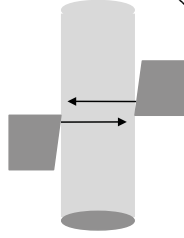
la traction simple



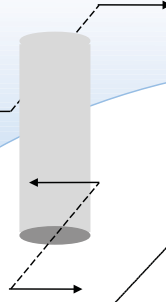
la compression simple



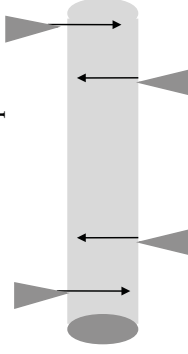
le cisaillement simple



la torsion pure



la flexion pure



Les cas présentés sont caractérisés par des contraintes de mêmes grandeurs et mêmes directions en tous points du champ.

La connaissance des caractéristiques mécaniques des matériaux a nécessité la mise au point et la standardisation de protocoles d'essais.

Ces essais sont généralement les suivants :

- essai de résistance du matériau à l'extension (Résistance à la traction),
- essai de résistance à la compression,
- essai de résistance au cisaillement,
- essai de dureté,
- essai de rupture,
- essai de fatigue.

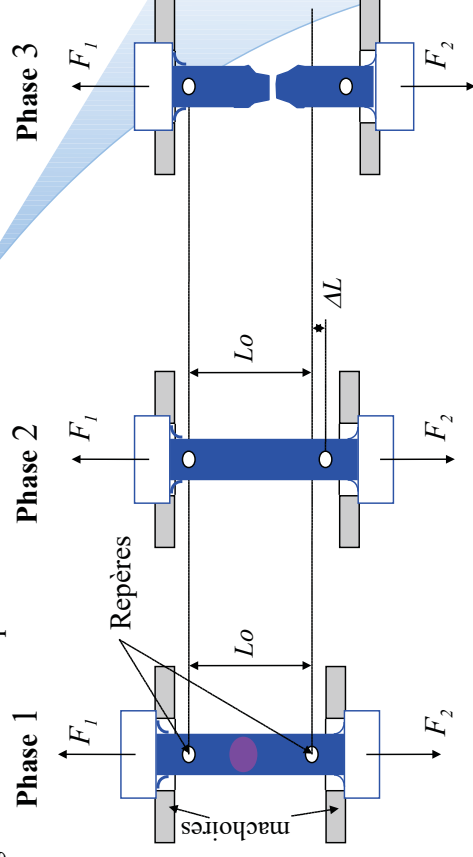
Beaucoup d'autres essais peuvent être réalisés selon des normes établies afin de déterminer des propriétés particulières de certains matériaux.

Sans entrer dans le détail, il est important de connaître les méthodes utilisées pour mener à bien les essais des matériaux les plus fréquemment utilisés.

Essai de résistance à la traction

Une éprouvette possédant une forme et une section cylindrique dans sa partie centrale, conforme au cahier des charges défini pour réaliser cet essai, est placée sur une machine spécifique.

Deux repères, placés de part et d'autre de la partie centrale de l'éprouvette marquent la longueur initiale de la partie utile.



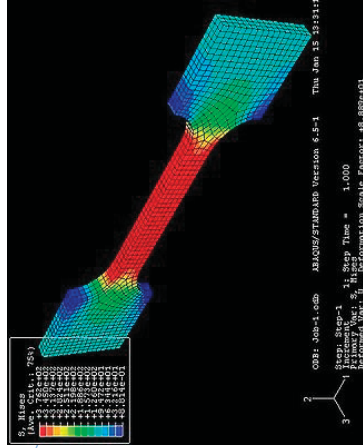
Une charge axiale à l'extension, très lente, est appliquée sur l'éprouvette par l'intermédiaire des mâchoires.

L'appareil utilisé capte et enregistre les différentes sollicitations et les allongements obtenus.

Phase 1 : Les déformations de l'éprouvette sont petites et élastiques. L s'allonge quand la force de traction s'accroît puis revient à sa valeur d'origine lorsqu'elle décroît.

Phase 2 : Les allongements deviennent plus importants. La courbe de déformation de la force appliquée en fonction de l'allongement ne suit plus, brusquement, la même loi. L'éprouvette ne retrouvera plus sa longueur d'origine. Les déformations sont permanentes.

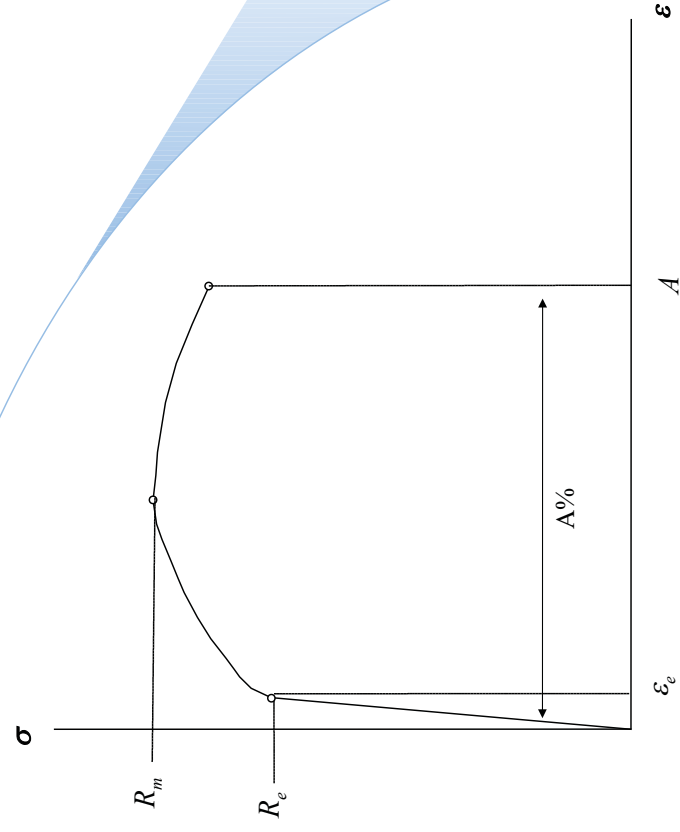
Phase 3 : La section de l'éprouvette qui a notablement diminuée dans la 2ème phase, se localise plus particulièrement dans la 3ème. L'éprouvette se rompt. C'est la **striction**.



Cette limite élastique qui a été définie correspond à la charge appliquée par unité de surface pour obtenir un allongement de 0.2% de la longueur de l'éprouvette pour des matériaux standards.

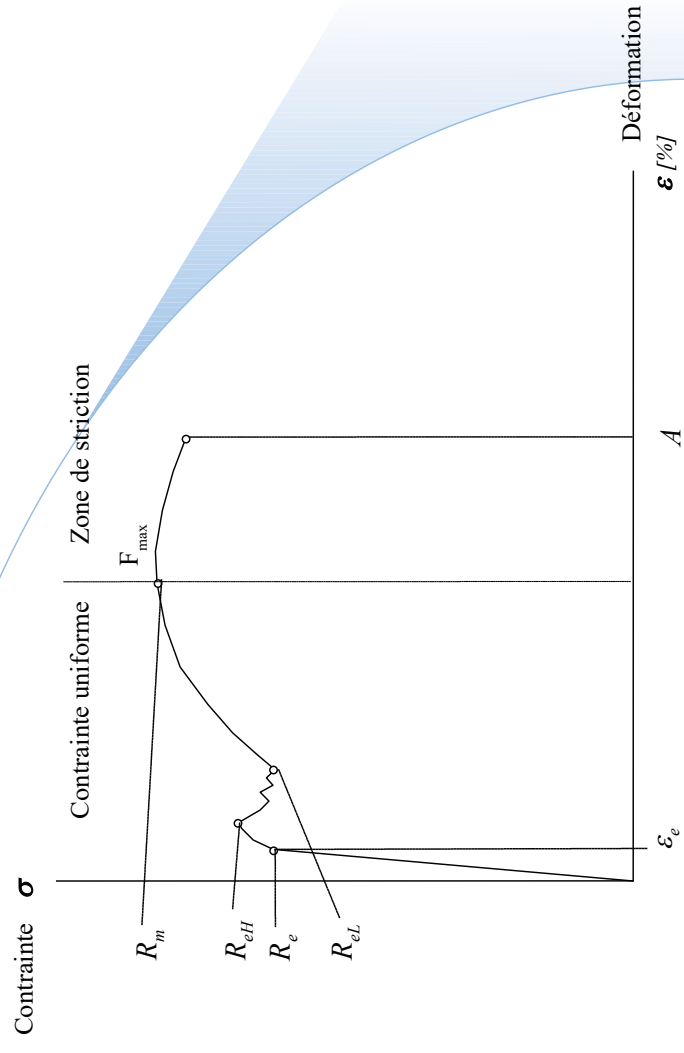
Courbe de tension en fonction de l'allongement

Essai de résistance à la traction de matériaux standards



Courbe de tension en fonction de l'allongement

Essai de résistance à la traction de matériaux tenaces



Définition des symboles :

$R_m = \frac{F}{S_o}$ = Tension de traction en N/mm²

F = force de traction en N

S_o = section initiale de la zone sollicitée non chargée en mm²

$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} 100$ = allongement spécifique en %

L_o = longueur initiale de la barre non chargée

ΔL = allongement de la barre chargée

$A = \frac{\Delta L}{L_o} 100$ = allongement de rupture en %

R_e = tension pour un allongement réversible, proportionnel à la tension de traction.
 $\varepsilon_e = 0.2\%$ pour les matériaux standards sans zone de striction
 $\varepsilon_e = 0.01\%$ pour les matériaux tenaces avec zone de striction
 R_{eH} = limite supérieure d'élasticité
 R_{eL} = limite inférieure d'élasticité

Matériaux	Module d'élasticité (GPa)
Acier carbone	210
Fer	211
Alliage de cuivre	124
Cuivre	130
Alliage d'aluminium	72
Aluminium	70

Tableau 1 : Valeur typique du module d'élasticité pour différent métaux

Exercice :

Une éprouvette, réalisée dans un matériau en acier de désignation inconnue, de diamètre utile = 12.7 mm et de longueur utile $L_o = 100$ mm est utilisée pour effectuer un essai de résistance à la traction.

La force de traction maximale exercée sur l'éprouvette est de 43100 N.

La force de traction pour atteindre la limite d'élasticité réversible est de 29770 N.

La longueur utile de l'éprouvette à la limite d'élasticité réversible est de 100.195 mm.

Calculez :

- la résistance à la traction R_m ,
- la résistance limite d'élasticité R_e ,
- l'allongement à la limite d'élasticité ε_e .

Les valeurs de résistance seront données en Pascal (1 Pascal = 1 N/m²).

- Comment et pourquoi convertir des N/mm² en Mégas Pascal (MPa) ?
- Que pensez-vous de l'allongement obtenu à la limite de la résistance élastique ?

Essai de résistance à la compression

- L'éprouvette utilisée dans l'essai de résistance à la compression peut-être, comme pour l'essai de traction, soit de section prismatique ou cylindrique. Sa longueur ne doit pas être supérieure à 8 fois la plus petite dimension de la section. Une longueur trop grande par rapport à la section risquerait de provoquer un flambage de l'éprouvette.

- Le principe consiste à placer l'éprouvette entre les 2 pinces

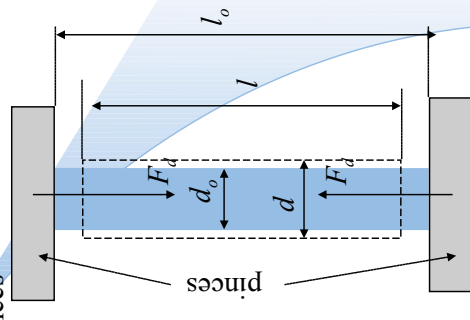
de l'appareil de compression. Le dispositif fonctionne de façon identique à l'appareil de traction, mais le sens des forces exercées sur l'éprouvette est inversé.

- Le raccourcissement ε_d est donné par la relation

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100 = \frac{l_o - l}{l_o} \times 100$$

- Les valeurs de résistance à la compression sont généralement données par rapport à celles de la résistance à la traction.

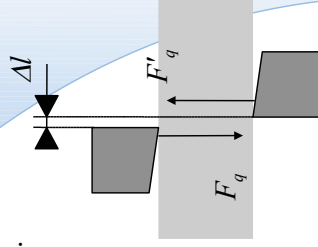
- La résistance à la compression des **aciers** et de nombreux autres métaux est en général identique à celle de la traction $\Rightarrow R_c = R_m$.



- La résistance à la compression de la **fonte**, de la **pierre**, de la **brique**, du **béton**,... est supérieure à celle de la traction $\Rightarrow R_c > R_m$.
- La résistance à la compression du **bois** est inférieure à celle de la traction $\Rightarrow R_c < R_m$.

Essai de résistance au cisaillement

- Le **cisaillement** est caractérisé par une contrainte tangentielle exercée de part et d'autre de la section sollicitée (figure).
- L'écartement Δl entre les 2 lames de la cisaille est très petit. Si cet écartement augmente l'effet de cisaillement tend à diminuer au profit d'une déformation de flexion.
- La contrainte exercée entraîne la **cission** de l'éprouvette.
- On suppose que l'effort exercé sur l'éprouvette est uniformément réparti sur toute la section.
- La déformation de la pièce est tout d'abord élastique. Elle fait intervenir le module de glissement **G** qui sera étudié dans la suite du cours.



La contrainte admissible est donnée par la relation :

$$T_q = k \times \frac{F_q}{S_o}$$

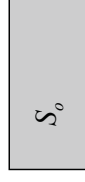
avec T_q = contrainte admissible au cisaillement

F_q = effort tranchant exercé sur l'éprouvette,

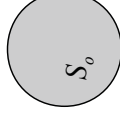
S_o = Section de l'éprouvette,

k = Coefficient de section

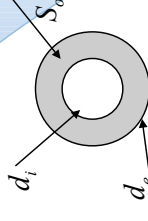
k est variable selon la forme de la section :



$$k = 3/2$$



$$k = 4/3$$



$$k = \frac{4}{3} \times \frac{d_e^2 + d_e \times d_i + d_i^2}{d_e^2 + d_i^2}$$

pour les parois minces :

$$d_e \approx d_i \Rightarrow k = d_e / 2$$

En pratique, la valeur de la résistance au cisaillement est souvent donnée en fonction de la résistance à la traction, pour des matériaux standards :

Aciers doux et alliages légers $T_q = 0,5 \times R_m$

Acier dur $T_q = 0,7 \times R_m$

Fonte $T_q = R_m$

Pierre, brique $T_q = 0,1 \times R_c$

Béton $T_q = 0,25 \times R_c$

Exercice : La recherche de la résistance à la traction et de la limite de résistance à l'élasticité réalisée précédemment sur le matériau en acier non référencé permet de suggérer quelques hypothèses. Précisons que ce matériau qui présentait une oxydation à sa surface de couleur rouille, était stocké de longue date dans un local commun.

- 1- Quel genre d'acier possède ces caractéristiques, obtenues par calcul et par examen visuel de son aspect de surface ?
- 2- Quelle est votre estimation de sa valeur de résistance au cisaillement ?
- 3- Quelle est votre estimation de la force de contrainte au cisaillement F_q qu'il serait nécessaire d'appliquer à cette éprouvette pour provoquer sa **cission** ?
- 4- Dessinez 3 liaisons mécaniques distinctes mettant en évidence des sections soumises au cisaillement

Correction Exercice : La recherche de la résistance à la traction et de la limite de résistance à l'élasticité réalisée précédemment sur le matériau en acier non référencé permet de suggérer quelques hypothèses. Précisons que ce matériau dont la surface présentait une oxydation en surface de couleur rouille, était stocké de longue date dans un local fermé.

Correction :

- 1- l'essai de résistance à la traction ($R_m = 340 \text{ N/mm}^2$ et $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$) et l'aspect visuel de l'éprouvette indiquent généralement un matériau en acier doux (Adx)
- 2- pour ce type de matériau, la force appliquée pour atteindre R_m = était de 43100 N. Selon les données du cours, la résistance au cisaillement (T_q) de ce type de matériau est la moitié de R_m , soit $R_m \times 0,5 = 340/2 = 170 \text{ N/mm}^2$.
- 3- La force à appliquer est fonction de la forme de la section, qui dans notre cas est cylindrique. On introduira alors le coefficient de section $k = 4/3$:

$$T_q = k \times \frac{F_q}{S_o} \Rightarrow F_q = S_o \times \frac{T_q}{k} = 12.7^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{170}{4} = 16151 \text{ N}$$

Essai de dureté.

Certaines applications nécessitent des caractéristiques mécaniques en terme de résistance au niveau de la surface des matériaux (arbres de roulements axiaux, cages de roulements à billes,...). Il est important de connaître la résistance du matériau à la pression d'objets durs (billes du roulement axial sur sa cage). L'essai de dureté devient dans ces conditions indispensable.

L'essai de dureté est un procédé qui consiste à mesurer la résistance en surface des matériaux à la pénétration. Pour ce faire on utilise un autre matériau de grande dureté et de forme définie qui est appuyé avec une certaine force sur l'échantillon à mesurer.

Plusieurs procédés existent pour effectuer cet essai :

- 1- le procédé BRINELL,
- 2- le procédé VICKERS,
- 3- le procédé ROCKWELL,
- 4- le procédé SHORE

Le procédé **BRINELL (HB)**

Le procédé BRINELL consiste à appliquer à la surface d'une éprouvette, une force F par l'intermédiaire d'une bille en acier trempé très dure de diamètre $D_b = 10\text{ mm}$.

La bille imprime une empreinte (calotte sphérique) sur la surface plane de l'éprouvette. La dureté BRINELL (HB) est le rapport de la force F sur la surface S formée après application de cette force, par la bille sur la surface de l'éprouvette.

$$HB = \frac{F}{S}$$

avec
$$S = \pi \times \frac{D_b}{2} \times (D_b - \sqrt{D_b^2 - d^2})$$

S = surface de la calotte sphérique

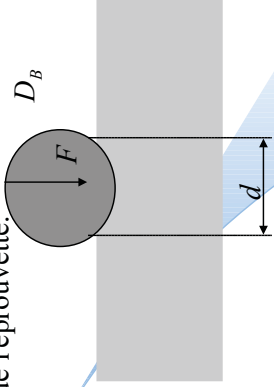


Tableau des temps et contraintes appliquées sur l'éprouvette en fonction du matériau

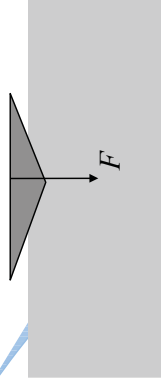
Matériau	F appliquée (N)	Temps (s)
Aciers et certains alliages (cupro-nickel, maillechort, bronzes spéciaux,...)	30000	15
Laiton et alliages légers spéciaux	10000	30
Cuivre, alliages Duralumin et Duralinox	5000	30

Pour les aciers non traités et non alliés, il existe une relation approximative entre R_m et HB : $R_m \approx 0,355HB$

Le procédé **VICKERS (HV)**

Le procédé VICKERS se caractérise par l'utilisation d'un pénétrateur en diamant, de forme pyramidale à base carrée à la place de la bille. La pointe est dirigée vers le matériau à tester. L'angle compris entre 2 arêtes opposées est de 136° .

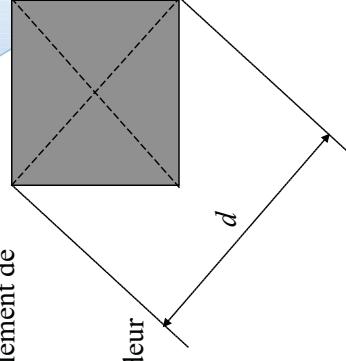
$$HV = \frac{2 \times F \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1,8544 \times \frac{F}{d^2}$$



La charge appliquée sur l'éprouvette est généralement de 500 N pour les aciers recuits,

300 N pour les aciers courants et traités,

L'intérêt de ce procédé est la très faible profondeur de pénétration, ce qui en fait un essai plus particulièrement recherché pour les pièces cémentées ou nitrurées.



Le procédé **ROCKWELL (HR)**

Le procédé ROCKWELL est le plus connu sur le plan mondial.

Il met en oeuvre soit une bille de diamètre 1,59 mm, soit un cône en diamant de 120° . Une précharge de 100 N est appliquée dans un premier temps sur la bille pour réaliser une empreinte permettant d'affiner la mesure, puis une seconde charge de 1000 N est appliquée.

La lecture directe de la profondeur de pénétration de la bille indique la valeur de dureté HR.

Le cône de diamant qui imprime des empreintes très petites est utilisé pour des métaux de grandes duretés (mesure de règles de pied à coulisse,...).

Le procédé **SHORE**

Ce procédé consiste à mesurer la hauteur de rebondissement d'une petite masse qui, guidé par un tube plastique, tombe d'une hauteur constante sur l'éprouvette.

Plus le matériau mesuré est dur, plus la hauteur de rebond est grande.

La hauteur du rebond est la donnée retenue pour indiquer la dureté.

Ce procédé est particulièrement appliqué pour les matériaux plastiques souples tels que les joints d'étanchéité.

Exercice :

1 - Le matériau en acier dans lequel a été usiné des éprouvettes pour effectuer des essais de résistance à la traction, au cisaillement, à la compression et de dureté nous permet de préciser encore un peu plus ses caractéristiques. La mesure de sa résistance au cisaillement a montré que $T_q = 0,5 \times R_m$. L'essai de dureté BRINELL a laissé une empreinte de diamètre $d = 6,00$ mm sur le matériau.

- a- Calculer la dureté BRINELL.
- b- Vérifier si la relation $R_m \approx 0,355 \times H_b$ s'applique à ce matériau.

2 - Un tableau de correspondances approximatives entre les duretés BRINELL (HB), VICKERS (HV), et ROCKWELL (HRC) indique un matériau dont la résistance à la traction est de 230 daN/mm²,

l'essai de dureté BRINELL laisse une empreinte de 2,31 mm de diamètre,

l'essai de dureté VICKERS laisse une empreinte d de 0,27 mm,

Calculer les duretés - BRINELL,
- VICKERS,

Réponses :

1/

- a- HB = 96,
- b- oui,

2/

- HB = 706,
- HV = 763.

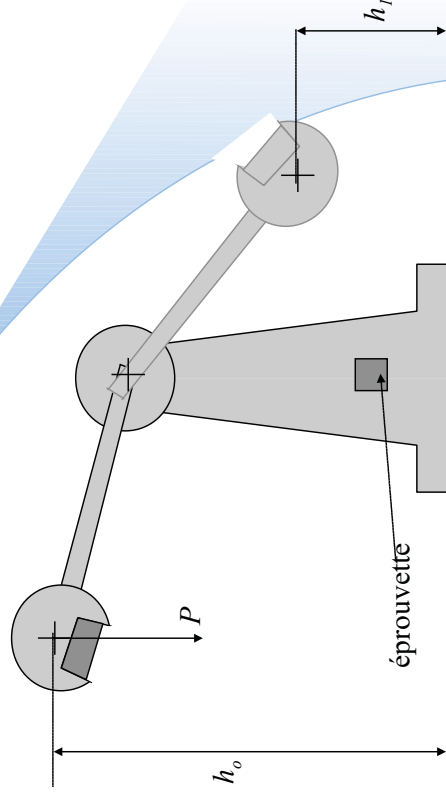
Désignation : dureté du matériau = 706HB ou/et 763HV

Pour infos, HRc = 68.

Essai de résistance aux chocs ou **Résilience**.

L'essai de résistance aux chocs, appelé également résilience (K), consiste à provoquer la rupture d'une éprouvette en mesurant l'énergie absorbée par celle-ci.

La rupture est provoquée par un pendule (ou mouton) qui a emmagasiné au moment du choc une énergie cinétique W_o .

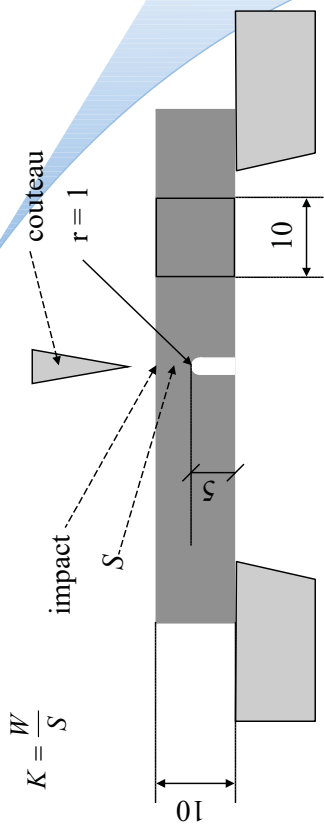


Considérant W_I , l'énergie résiduelle après la rupture, l'énergie absorbée par l'éprouvette est :

$$W = P \times h_o - P \times h_i = P \times (h_o - h_i)$$

La résilience est égale au rapport W sur la surface de la section de l'éprouvette à l'endroit de l'impact :

$$K = \frac{W}{S}$$



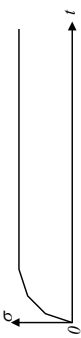
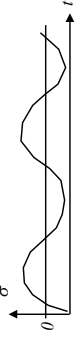
Essai de résistance à la Fatigue ou d'Endurance.

L'essai de résistance à la fatigue ou d'endurance est à effectuer plus particulièrement lors de la construction de dispositifs soumis à des sollicitations (vibrations, efforts variables,...). Les tensions admissibles doivent toujours être inférieures à la limite d'élasticité du matériau.

La tension admissible est symbolisée par $\sigma_{adm} = \frac{R_m}{\nu}$
avec R_m = tension de résistance à la traction

ν = facteur de sécurité. ν est toujours supérieur à 1

Il est rare qu'un dispositif ne subisse de sollicitation. Le facteur de sécurité sera donc à considérer en fonction des différentes formes de sollicitations supportées par les matériaux concernés. Celles-ci sont généralement de 3 types.

type de sollicitation	graphe de représentation
statique	
pulsée	
alternée	

- L'essai ne permet de donner qu'une réponse statistique.

- Des matériaux identiques, de mêmes formes et dimensions, subissant les mêmes contraintes, ne possèdent pas tous la même durée de vie.

- Les raisons qui différencient la durée de vie sont principalement dues aux états de surfaces. Une simple rayure impliquera une rupture plus précoce du matériau sollicité.

- Trois types d'essais sont pratiqués : traction-compression, torsion alternée, flexion alternée.

- L'essai généralement mis en oeuvre est une épreuve de flexion rotative.

- L'éprouvette cylindrique est placée à l'une de ses extrémités dans un mandrin qui tourne à 3000 tours/min. L'autre extrémité, qui est reliée à un dispositif monté sur roulement à billes, est chargée avec une masse conséquente entraînant la rupture de l'éprouvette avant qu'elle ait effectuée 10^8 tours. La charge soumet chaque fibre longitudinale de l'éprouvette à un effort de traction et de compression par tour du mandrin.

- L'essai est renouvelé avec une masse de valeur légèrement inférieure et ce, jusqu'à ce que l'éprouvette se rompt après qu'elle ait effectuée un nombre de tours de peu supérieur à 10^8 .

- D'autres essais sont réalisés avec des éprouvettes de matériau identique. La valeur moyenne de résistance à la rupture de l'ensemble des essais est la limite de fatigue. Elle est donnée en daN/mm^2 et correspond à la charge moyenne statistique pour laquelle la rupture n'a pas lieu au bout de 10^8 efforts alternés (10^8 tours).

Exemples :

Le tableau ci-dessous mentionne les valeurs de résistance à la traction R_m et de résistance élastique R_e en fonction de 2 types de sollicitations : les sollicitations alternées (A) et pulsées (P). Les valeurs sont données en MPa.

Norme	Désignation	Traction/Compression			Flexion		Torsion	
		R_m	$R_{e\ 0,2\%}$	A (Alternée)	P (Pulsée)	A	P	P
35-501 81	E24	340	235	150	235	170	290	140
35-551/52-75	42 CD 4	1000	750	400	700	450	770	400

On découvre à la lecture de ce tableau l'importance de l'analyse des sollicitations auxquelles le matériau est susceptible d'être soumis. Le facteur de sécurité ν sera d'autant plus important que l'incertitude sera grande.

La loi de HOOKE et le module d'YOUNG

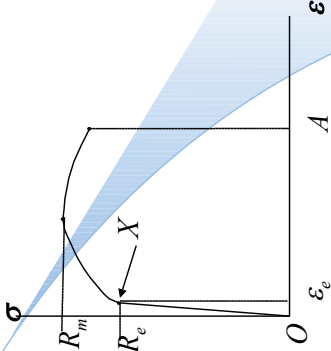
La loi de HOOKE exprime la relation entre la tension et l'allongement dans le domaine élastique du matériau selon l'expression :

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\sigma = E \times \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{\sigma \times L_o}{\Delta L}$$



Le module d'élasticité longitudinale E (N/mm²), appelé également module d'YOUNG caractérise la pente de la droite du domaine élastique OX du matériau analysé. Plus E est grand, plus le matériau est rigide.

Le module d'élasticité est impliqué dans la majorité des calculs de résistance des matériaux.

Le module d'élasticité transversal G

Le module d'élasticité transversal (G) appelé également module de glissement, est donné par la relation :

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

avec ν = coefficient de Poisson

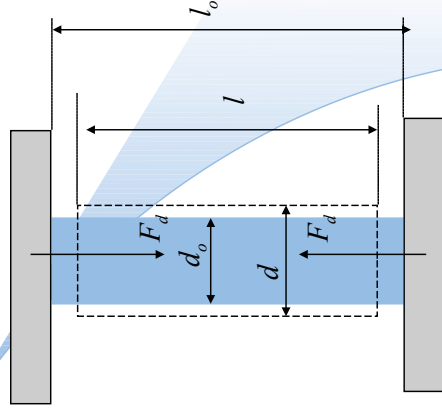
$\nu = 0,3$ pour la plupart des métaux.

Exemple pour une section circulaire :

$$\nu = \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_l}$$

avec
$$\varepsilon_l = \frac{l_o - l}{l_o}$$

et
$$\varepsilon_q = \left| \frac{d_o - d}{d_o} \right|$$



Les Matériaux

Les matériaux en construction mécanique

- Lors de la construction d'un dispositif, le concepteur se doit de définir le ou les matériaux propres à l'application étudiée.
- L'urgence d'une intervention de maintenance sur site peut nécessiter de la part de l'ingénieur ou du technicien d'improviser une réparation avec les moyens à disposition.
- La connaissance sommaire des caractéristiques des matériaux est par conséquent nécessaire à une démarche de qualité pour construire, réparer, et d'une façon générale intervenir sur les parties mécaniques d'un appareil.

Ces caractéristiques sont généralement les suivantes :

- masse volumique (densité),
- usinabilité,
- usure,
- propriétés anti-corrosives,
- résistance à la rupture à l'extension (résistance à la traction),
- limite élastique,
- résistance aux chocs,

- coefficient de dilatation,
- chaleur spécifique ou chaleur massique,
- capacité thermique massique,
- PRI (Prix de Revient Industriel),
- d'autres caractéristiques telles que le coefficient de frottement, ses modifications de structures suite à une trempe (à l'eau, huile, air, ...), à un écrouissage, à un recuit, etc.... sont également à considérer.

Sans ces données de base il est impossible d'apporter une réponse concrète au problème posé.

Nous nous limiterons à analyser sommairement les matériaux les plus fréquemment rencontrés dans l'industrie et leurs caractéristiques essentielles afin de les utiliser au mieux, dans l'examen d'un dispositif existant ou à concevoir.

Premières conditions à l'étude d'une pièce mécanique

Considérons une pièce mécanique devant être étudiée pour être adaptée à un dispositif existant. Plusieurs données de bases devront être maîtrisées avant la réalisation de cette pièce :

- 1 - L'encombrement du montage du dispositif qui va déterminer les limites dimensionnelles de cette pièce,
- 2 - les efforts qu'il sera nécessaire de connaître, sinon d'apprécier, et qui seront exercés sur cette pièce,
- 3 - des conditions d'utilisation telle que la vitesse de rotation pour un arbre,
- 4 - les problèmes de masse de l'objet.

En plus des réponses apportées à chacune des 4 questions posées, **le choix du matériau est déterminant.**

- Les matériaux les plus couramment utilisés sont les aciers, les fontes, les alliages non ferreux, et les matières plastiques.

Aux matériaux de base sont généralement ajoutés des éléments d'addition qui sont :

- l'**Aluminium**, qui augmente la coulabilité et la malléabilité,
- l'**Azote**, qui augmente la résistance à l'usure et à la corrosion,
- le **Bore**, qui augmente la profondeur de trempe et favorise la trempe à l'huile d'un acier, qui ne se trempe à l'origine qu'à l'eau, a condition qu'il contienne plus de 0,9% de carbone,
- le **Chrome**, qui augmente la pénétration de trempe et qui permet d'obtenir une diminution des coefficients de frottement, de diminuer l'usure, l'abrasion, les effets des agents chimiques.
- le **Cobalt**, qui permet à certains aciers de conserver leurs duretés jusqu'à une température de 600°C, de résister aux frottements à chaud, ...
- le **Cuivre**, qui diminue les coefficients de frottements, la résistance à l'oxydation et augmente la facilité d'usinage,

- l'**Etain**, qui augmente la coulabilité et diminue les coefficients de frottements,
- le **Magnésium**, qui favorise la résistance aux efforts répétés variant en sens et en intensités,
- le **Manganèse**, qui augmente la trempabilité, la dureté, la résistance aux chocs et particulièrement à l'usure,
- le **Molybdène**, qui augmente la dureté et la limite de fatigue des aciers, qui accroît la facilité d'usinage, ...
- le **Nickel** qui augmente la résistance à la rupture par extension et la limite élastique ainsi que la résistance aux chocs,
- l'association **Chrome + Nickel** (plus de chrome que de nickel), qui augmente considérablement la résistance des aciers à la corrosion mais diminue la facilité d'usinage et augmente le coefficient de frottement,
- l'association **Nickel + Chrome** (plus de nickel que de chrome), cas des aciers inox, qui possèdent de meilleures caractéristiques en termes de résistance mécaniques, à l'usure et à la corrosion.

- le **Silicium** qui augmente la résistance à la rupture et la limite élastique, la dureté et la résistance à l'usure,
- le **Manganèse + Silicium** qui augmente fortement la limite élastique, la résistance aux chocs et diminue la fragilité,
- le **Soufre** qui facilite l'usinage des aciers en favorisant la rupture des copeaux,
- le **Titane** qui participe favorablement à la réalisation d'aciers moulés par ses capacités de désoxydation et augmente la résistance à l'usure,
- le **Tungstène** qui augmente la dureté à chaud, la charge de rupture, la résistance à l'usure,
- le **Vanadium** qui apporte une grande résistance aux températures élevées et donne aux aciers cimentés une couche très dure assurant une bonne résistance à l'usure et à l'écaillage,
- le **Zinc** qui augmente la coulabilité et la résistance à la corrosion,

Les symboles des éléments d'addition utilisés dans la désignation des alliages ne sont pas toujours identiques aux symboles chimiques décrits dans la table de Mendeleïev.

Elément d'addition	Symbole chimique	Symbole utilisé
Aluminium	Al	A
Bore	B	B
Chrome	Cr	C
Cobalt	Co	K
Cuivre	Cu	U
Magnésium	Mg	G
Manganèse	Mn	M
Molybdène	Mo	D
Nickel	Ni	N
Niobium	Nb	Nb
Plomb	Pb	Pb
Silicium	Si	S
Soufre	S	F
Titane	Ti	T
Tungstène	W	W
Vanadium	V	V

La fonte

L'un des premiers matériaux souvent analysés en mécanique est la fonte. Il existe plusieurs fontes : les fontes grises non alliées, les fontes malléables à graphite sphéroïdal,

- La fonte grise non alliée est désignée par le symbole **Ft** suivi d'un nombre indiquant sa résistance minimale à la rupture par extension en daN/mm^2 :

Ft10 => Fonte grise de limite de résistance à la rupture par extension = 10 daN/mm^2 .

- La fonte malléable est désignée par le symbole **MB** (à coeur blanc) ou **MN** (à coeur noir) ou **MP** ou **FGS**, suivi de sa valeur de limite de résistance à la rupture par extension (daN/mm^2) et de l'allongement en % après rupture :

MB35-7 => Fonte à coeur blanc dont la limite de rupture par extension est de 35 daN/mm^2 et l'allongement après rupture, 7%.

LES ACIERS

Les aciers sont classés par famille qui sont :

Aciers ordinaires du commerce ou d'utilisation générale

Ce sont les aciers dont le symbole fréquemment rencontré est **Adx**, appelé également acier doux. Plus précisément, ils sont représentés par :

le symbole **A** suivi d'un nombre qui indique la limite de résistance à la rupture par extension, exemple :

A33 => Acier dont la limite de résistance à la rupture par extension (résistance à la traction) est de 33 daN/mm^2 .

Le symbole **E** suivi d'un nombre qui indique la limite élastique en daN/mm^2 , exemple : **E24** => acier dont la limite élastique est de 24 daN/mm^2 .

Aciers de moulage

Les aciers moulés sont désignés par un premier nombre qui indique la limite élastique en N/mm^2 suivi d'un second qui indique la limite de résistance à la traction en N/mm^2 , et de la lettre **M** qui signifie qu'il s'agit d'un acier moulé.

Exemple : **230-400-M**. Il s'agit d'un acier moulé dont la limite élastique est de 230 N/mm^2 et la limite à la traction de 400 N/mm^2 .

Aciers de traitements thermiques

Ce sont des aciers à teneur en carbone désigné par les lettres **XC** suivies de la teneur en carbone donnée en pourcentage.

Exemple : **XC38** $\Rightarrow$ acier fin à 0,38% de carbone.

Aciers faiblement alliés

Ce sont des aciers dont aucun élément d'addition n'atteint la teneur de 5%. Ils sont désignés par un nombre indiquant :

- le pourcentage de teneur moyenne en carbone,
- une, ou une série, de lettres symbolisant les principaux éléments d'addition, dans l'ordre de leur teneur décroissante,
- un nombre indiquant la teneur de l'élément d'addition. Cette teneur est multipliée par 4 pour les éléments C, K, M, N, S et par 10 pour les autres,
- éventuellement un nombre indiquant la teneur de l'élément d'addition suivant.

Exemple : **35NCD16** $\Rightarrow$ Acier à 0,35% de carbone et à 4% de nickel

35NCD4 $\Rightarrow$ Acier à 0,35% de carbone et à 1% de Nickel

Aciers fortement alliés

Sont concernés par cette dénomination les aciers dont au moins un élément d'addition atteint la teneur de 5%.

La désignation de cet acier comprend :

- la lettre **Z** qui désigne un acier fortement allié,
- un nombre indiquant en pourcentage la teneur en carbone,
- une lettre, ou une série de lettres, symbolisant les principaux éléments d'addition, dans l'ordre des teneurs décroissantes,
- un ou plusieurs groupes de nombres à 2 chiffres indiquant en pourcentage la teneur des éléments d'addition.

Exemple : **Z 30 C10** => acier fortement allié à 0,30% de carbone, et 10% de chrome

Z 6 CN 18-10 => acier fortement allié à 0,06% de carbone, 18% de chrome et 10% de nickel.

LES METAUX NON FERREUX

Il existe plusieurs désignations pour distinguer différentes familles de métaux non ferreux dans lesquelles ne figurent pas les matières plastiques.

Ce sont :

les métaux et alliages non ferreux

Ne sont particulièrement concernés par cette désignation que les aluminiums et alliages d'aluminium de fonderie

- Le métal non allié

Le métal non allié est symbolisé par une lettre désignant le métal de base suivi d'un indice de pureté supérieure ou égal à 99. Plus l'indice est élevé plus la pureté du métal de base est importante.

Exemple : **A 5** => Aluminium dont l'indice de pureté est de 99,5%.

- L'alliage

La désignation comprend :

- . une lettre symbolisant le métal de base,
- . éventuellement l'indice de pureté de ce métal de base

les différents symboles abrégés des éléments d'addition et éventuellement leur teneur en pourcentage.

Exemple : **A-S10 G** => alliage d'aluminium à 10% de silicium et un pourcentage non indiqué de magnésium.

A-G3 => alliage d'aluminium à 3% de magnésium

Les métaux et alliages corroyés

Sont concernés par cette désignation les matériaux aluminium transformés par filage, étirage, laminage, forgeage.

Aluminium non allié

On trouve sur le marché outre le symbole désignant l'alliage, une codification normalisée qui permet également de définir le dit alliage.

Exemple : **A 5** => aluminium dont l'indice de pureté est de 99,5%.

L'**A 5** est également symbolisé par le code **1050**.

Comment interpréter cette codification ?

Exemple avec le code **1050** :

- le premier chiffre (dans notre cas, **1**) indique qu'il s'agit d'aluminium non allié dont la teneur en aluminium est supérieure ou égale à 99%

- le deuxième chiffre (dans notre cas, **0**) indique le nombre d'impuretés pour lesquels des contrôles sont prévus.
- les 2 derniers chiffres (dans notre cas, **50**) indiquent un pourcentage de pureté en aluminium > à 99% => dans notre cas **50**, qui représente un indice de pureté de 99,5%.

Alliage d'aluminium

La désignation est également codifiée par un nombre de 4 chiffres, mais dont la signification n'est différente que pour l'aluminium non allié.

Exemple : **A-U4 G** => alliage d'aluminium à 4% de cuivre et du magnésium en moindre proportion.

L'**A-U4 G** appelé aussi duralumin, est également symbolisé par le nombre **2017**.

Interprétons cette codification !

- le premier chiffre (dans notre cas, **2**) indique le matériau principal d'addition ; Le chiffre **2** symbolisant le cuivre.
- le deuxième chiffre (dans notre cas, **0**) indique les modifications subies depuis l'alliage original,

- les 2 derniers chiffres identifient l'alliage.

Tableau des indices :

- 2 => cuivre,
- 3 => manganèse,
- 4 => silicium,
- 5 => magnésium,
- 6 => magnésium + silicium,
- 7 => zinc,
- 8 => autres éléments d'addition.

Quelques exemples d'aluminium et d'alliages d'aluminium corroyés

A 5	=>	1050
A-G3	=>	5754
A-G4	=>	5086
A-U4 G	=>	2017
A-Z5 GU	=>	7075
A-Z8 GU	=>	7049
....	=>	

Le cuivre et ses alliages

Le cuivre et ses alliages sont désignés par le symbole **CU**, éventuellement suivi de l'indice de pureté chimique et dans le cas des alliages, des symboles représentant les éléments d'addition suivi des nombres indiquant les teneurs

Exemple : **CU Zn 42 Pb 4** => alliage de cuivre à 42% de zinc et 4% de plomb.

Les matières plastiques

Les matières plastiques se classent en 2 catégories qui sont :

- les thermoplastiques,
- les thermodurcissables.

Après qu'ils soient soumis à une température de fusion ou à une phase pâteuse, les **thermoplastiques** en se refroidissant, retrouvent leurs caractéristiques mécaniques d'origine.

Les **thermodurcissables**, quant à eux, subissent à leur température de fusion, des modifications chimiques internes irréversibles qui contribuent à durcir définitivement la matière.

Parmi les caractéristiques complémentaires aux autres matériaux examinés et pouvant déterminer le choix d'un matériau plastique se trouve :

- son pourcentage d'absorption d'eau,
- ses caractéristiques électriques,

Caractéristiques physiques moyennes de quelques polymères thermoplastiques usuels [9]						
Code	Densité	Cristallinité (%)	Tg (°C)	Tf ou Tr (°C) [10]	Tmaxi (°C) [11]	Module E (GPa)
ABS	1,04-1,12	0	85-125	105-120	70-85	2,5
PA-6	1,13	50	52	215	85	1
PA-6,6	1,14	50	57	260	90	1,5
PC	1,2	0	150	220-250	120	2,4
PE-HD	0,95	80-95	-110	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	0,92	50-70	-110	100-125	70	0,15-0,3
PET amorphe	1,3	0	65-80	255	100	2,7
PET cristallin	1,4	40	65-80	260	100	4,1
PMMA	1,18	0	105	100	60-90	3
PP	0,91	60-70	-10	165	100	1,3
PS « cristal »	1,05	0	80-100	100	60	3,2
PVC rigide	1,38	0-5	80	100-120	65	2,4
PEEK	1,41	30	150	315-340	310	7,7

[9] Les caractéristiques dépendent de la masse molaire, du procédé de fabrication, du taux d'humidité et du taux de cristallinité.

[10] Tf et Tr désignent la température de fusion d'un polymère semi-cristallin et la température de ramollissement d'un polymère amorphe, respectivement. Cette dernière peut être mesurée simplement en laboratoire par la méthode « bille et anneau ».

[11] Température maximale d'utilisation en continu.

Des bases de donnée de matériaux sont accessibles en ligne :

<http://www.matweb.com/>

Aluminum 2017-O

Metal: Nonferrous Metal: Aluminum Alloy: 2000 Series Aluminum Alloy

Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

Composition Notes:
A,Zr + Ti limit of 0.20 percent maximum may be used with this alloy designation for extruded and forged products only, but only when the supplier or producer and the purchaser have mutually so agreed. Agreement may be indicated, for example, by reference to a standard, by letter, by order note, or other means which allow the Zr + Ti limit.
Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminum 2017-O; UNS A92017; QQ-A-3300; QQ-A-322/6; NF A-146 (France); MIL-R-430; ISO AICuAlSi; CMAI1 (Canada); AA2070-O

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Download as PDF

Export data to your CAD/CAM application

Physical Properties

Density

Metric

2.79 g/cc

English

0.101 lb/in³

Comments

AA, Typical

Mechanical Properties

Hardness, Brinell

Metric

45

English

45

Comments

AA, Typical. 500 g load, 10 mm ball

Tensile Strength, Ultimate

Tensile Strength, Yield

Metric

179 MPa

68.9 MPa

English

26000 psi

10000 psi

Comments

AA, Typical

Elongation at Break

Modulus of Elasticity

Metric

22.0 %

72.4 GPa

English

22.0 %

10500 ksi

Comments

AA, Typical. Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.

Poissons Ratio

Fatigue Strength

Metric

0.330

89.6 MPa

English

0.330

13000 psi

Comments

Estimated from trends in similar Al alloys.

Shear Modulus

Shear Strength

Metric

27.0 GPa

124 MPa

English

3920 ksi

18000 psi

Comments

Estimated from similar Al alloys

Comments

AA, Typical

Electrical Properties		Metric	English	Comments
Electrical Resistivity		0.0000349 ohm-cm	0.0000349 ohm-in	AA, Typical
		@ Temperature 20.0 °C	@ Temperature 68.0 °F	
Thermal Properties		Metric	English	Comments
CTE, linear Al		23.6 µin/in-°C	13.1 µin/in-°F	AA, Typical; average over range
		@ Temperature 20.0 - 100 °C	@ Temperature 68.0 - 212 °F	
Specific Heat Capacity		25.4 µJ/m³-°C	14.1 µJ/in³-°F	Estimated from trends in similar Al alloys.
		@ Temperature 20.0 - 300 °C	@ Temperature 68.0 - 572 °F	
Thermal Conductivity		0.880 W/m-K	0.210 BTU/ft²-h-°F	AA, Typical at 77°F
Melting Point		183 W/m-K	1340 BTU/ft²-h-°F	AA, Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater. Eutectic melting is not eliminated by homogenization.
		513 - 640.6 °C	955 - 1185 °F	AA, Typical
Solids		513 °C	955 °F	AA, Typical
Liquids		640.6 °C	1185 °F	AA, Typical
Processing Properties		Metric	English	Comments
Annealing Temperature		338 - 345 °C	640 - 650 °F	cold-work anneal heat treated anneal
Solution Temperature		413 °C	775 °F	
Aging Temperature		499 - 510 °C	930 - 950 °F	
		22.2 °C	72.0 °F	
Component Elements Properties		Metric	English	Comments
Aluminum, Al		91.5 - 96.5 %	91.5 - 96.5 %	As remainder
Chromium, Cr		≤ 0.10 %	≤ 0.10 %	
Copper, Cu		3.50 - 4.50 %	3.50 - 4.50 %	
Iron, Fe		≤ 0.70 %	≤ 0.70 %	
Magnesium, Mg		0.40 - 0.80 %	0.40 - 0.80 %	
Manganese, Mn		0.40 - 1.0 %	0.40 - 1.0 %	
Other, each		≤ 0.050 %	≤ 0.050 %	
Other, total		≤ 0.15 %	≤ 0.15 %	
Silicon, Si		0.20 - 0.80 %	0.20 - 0.80 %	
Titanium, Ti		≤ 0.15 %	≤ 0.15 %	
Zinc, Zn		≤ 0.25 %	≤ 0.25 %	

Mon cours de communication :

Considérons la représentation des ondes électro-magnétiques. **Einstein**, en observant l'attraction des photons dans un champ gravitationnel a proposé une représentation du champ magnétique associé au champ électrique d'où le large spectre électro-magnétique existant dans l'univers qui justifie les phénomènes qui les accompagnent (énergie et matière).

Louis de Broglie, l'un des pères de la physique quantique, n'aurait pas obtenu les félicitations du jury lorsqu'il a soutenu son doctorat ; Pourquoi ? il a dit aux personnes présentes ainsi qu'au jury que tous, lui compris, n'étaient que des paquets d'ondes électro-magnétiques.

L'âge de l'univers est de $13.6 \cdot 10^9$ années. Si on modifie cette échelle d'âge en la convertissant en une période de 20 ans, qu'elle est alors l'âge moyen (Am) d'un être humain de 21.57 ans.

$$Am = \frac{21.57 \times 365 \times 24 \times 3600}{\frac{13.6 \times 10^9}{20}} = 1.000s$$

En d'autres termes et selon cette échelle d'âge, vous avez en moyenne 1 s d'âge et moi 2.94s. Dans ces conditions et considérant que l'espérance de vie d'un homme est de 77 ans, il me reste 0.631s à vivre (ça sent la roussi).

Culture et modestie ou, quel est l'impact de notre action dans notre vie professionnelle et sociale.

Les Frottements

Les forces de résistances passives

Tout dispositif en mouvement subit, outre les forces nécessaires à son déplacement, des résistances passives provenant d'actions de contacts générées par la présence de différents phénomènes. Ces résistances passives sont majoritairement dues au :

- **frottement** du dispositif glissant sur un support (glissement d'un objet sur le sol),
- **roulement** du dispositif sur son support (roue d'un véhicule en mouvement sur la route, bille d'un roulement sur ses cages),
- **frottement de l'air et de tous les fluides** en général (déplacement d'un avion dans l'air, d'un bateau sur la mer, etc...)

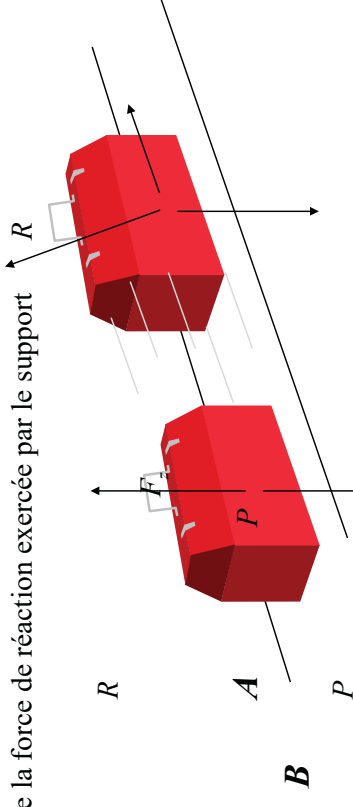
Caractérisation du frottement

Considérons un objet (A) de masse m reposant sur un support horizontal (B). Son poids est $P = m \times g$

m représente la masse en Kg et g l'accélération en $m.s^{-2}$.

L'objet est en équilibre sous l'action de 2 forces égales et opposées P et R .

R représente la force de réaction exercée par le support



- Pour faire glisser l'objet horizontalement, il est nécessaire d'effectuer un effort dans le sens du déplacement désiré, les matériaux en contact (matériau du sol et de l'objet) exerçant une résistance de frottement au déplacement.
- La force de frottement est toujours opposée au déplacement, en conséquence la force de déplacement (F_x) est de sens opposée à la force de frottement.
- Dans la recherche des matériaux en contacts, utilisés pour réaliser un dispositif à déplacement linéaire ou rotatif, les formulaires de mécaniques renseignent sur les frottements générés par ces matériaux à l'aide de 2 indices distincts. L'un d'entre-eux est le **coefficient de frottement**, le second, que l'on rencontre moins souvent est l'**angle de frottement**.

Coefficient de frottement

- Le coefficient de frottement du corps A sur le support B est le rapport entre la force de frottement et la force qui applique A sur B (dans notre cas le poids P de l'objet A représente la force d'application sur le support B).

Soit : P = force d'application de l'objet A sur le support B,

R = force de réaction du support B,

F_z = force à exercer pour vaincre la force de frottement,

μ = coefficient de frottement

$$\mu = \frac{F_z}{P}$$

Exemple :

L'objet (A) représenté par une valise de masse $m = 17 \text{ Kg}$, repose sur un support horizontal (B). La force horizontale F_z à exercer pour le déplacer à une vitesse constante est de 40 N. Calculer le coefficient de frottement (μ) ?

$$P = m \times g$$

$$P = 17 \times 9,81$$

$$P \approx 167$$

$$\mu = \frac{F_z}{P}$$

$$\mu = \frac{40}{167} = 0,239$$

Angle de frottement (φ)

- Lors d'un déplacement, la force de réaction R du support n'est plus parallèle à la force correspondant au poids P de l'objet.

Cette variation est due (en partie ou en totalité) à l'action de la force de déplacement F_z de l'objet.

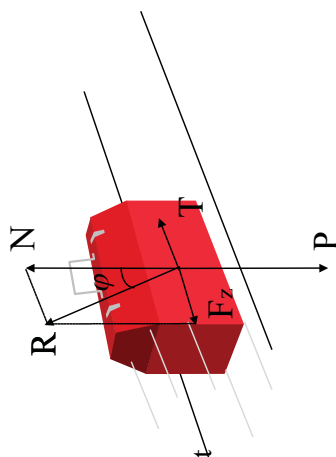
- L'angle formé par la normale au plan du support par rapport à R est l'angle de frottement.

N = Force normale au plan du support

T = Composante tangentielle

$$\tan \varphi = \frac{T}{N} = \frac{F_z}{P}$$

- Cette autre forme d'expression du frottement est également utilisée dans les études de projets mécaniques.



Le tableau en fin de document donne les coefficients de frottement de quelques matériaux.

Exemple :

Un objet de masse $m = 50 \text{ Kg}$ est placé sur un support horizontal. La force de traction parallèle au support, nécessaire au déplacement de cet objet est de 120 N .

Calculer le coefficient μ et l'angle de frottement φ ?

Le tableau en fin de document donne les coefficients de frottement de quelques matériaux.

Exemple :

Un objet de masse $m = 50 \text{ Kg}$ est placé sur un support horizontal. La force de traction parallèle au support, nécessaire au déplacement de cet objet est de 120 N .

Calculer le coefficient μ et l'angle de frottement φ ?

$$P = m \times g$$

$$P = 50 \times 9,8 = 490 \text{ N}$$

$$\mu = \frac{F_z}{P} \quad \mu = \frac{120}{490} = 0,245$$

$$\mu = \tan \varphi = 0,245$$

$$\varphi = 13,76^\circ$$

Un peu d'histoire.

Coulomb (physicien français, 1736 - 1806) étudia et établit des lois sur les frottements. Il a montré que :

- 1- un corps appuyé par son poids, sur un plan horizontal, nécessitait d'exercer une force (F_z) sur ce corps, dans l'axe du plan pour le déplacer,
- 2- si la charge du corps était modifiée telle que P devienne ($P+x$), la nouvelle force (F_z) nécessaire à son déplacement était directement proportionnelle à la modification de cette charge,
- 3- si la surface d'appui du corps sur le plan était modifiée mais que son poids restait constant, l'intensité de la force (F_z) nécessaire à son déplacement ne changeait pas,
- 4- si la matière constituant la partie du corps en appui sur le plan, était changée, l'intensité de la force de déplacement (F_z) était modifiée.

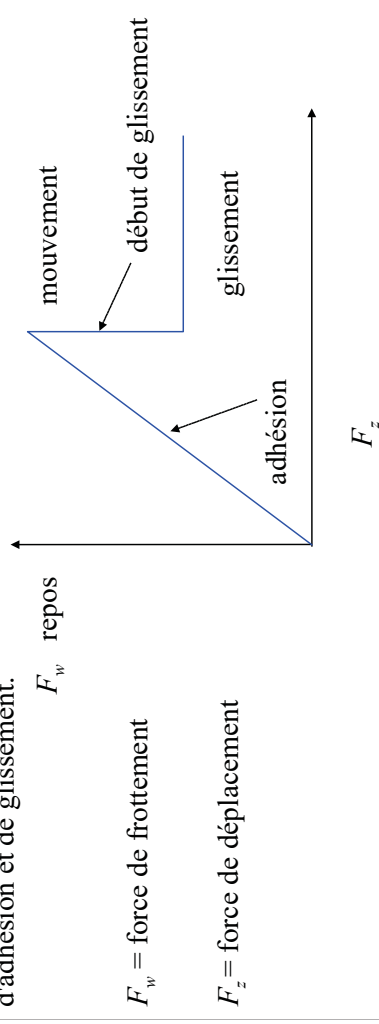
Remarques

- Les lois évoquées ne concernent que les frottements secs (frottements solides). L'ajout de lubrifiant génère des frottements fluides qui modifient considérablement le coefficient et l'angle de frottement et donc la force de déplacement.
- Il existe 2 types de frottements, le **frottement d'adhésion** (μ_0) et le **frottement de glissement** (μ).

Le frottement d'adhésion (μ_0)

- Si on exerce une force (F_z) parallèle au plan du support, sur un corps immobile, on observera que son intensité devra être supérieure à celle exercée durant le déplacement de ce corps. Ce phénomène est appelé frottement d'adhésion. Le frottement d'adhésion (μ_0) est toujours plus important que le frottement de glissement (μ).

- La courbe ci-dessous représente de façon simplifiée les effets des frottements d'adhésion et de glissement.



F_w = force de frottement

F_z = force de déplacement

Si F_z augmente progressivement, F_w augmente également mais le corps ne se déplace pas.

- Lorsque F_z atteint une certaine intensité telle que $F_z = P \times \mu_0$, le corps commence à glisser. Dans la mesure où le déplacement reste effectif et sa vitesse constante, F_z et en conséquence F_w , diminue et $F_z = P \times \mu$

Si $F_z > F_w$, le déplacement est uniformément accéléré.

Cas des plans inclinés

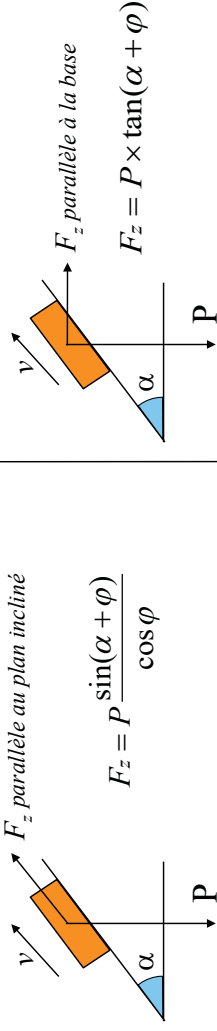
Trois cas sont généralement rencontrés lors de glissement d'un objet sur un plan incliné :

- traction de l'objet vers le haut,
- traction de l'objet vers le bas,
- retenue de l'objet.

Traction vers le haut

F_z parallèle au plan incliné

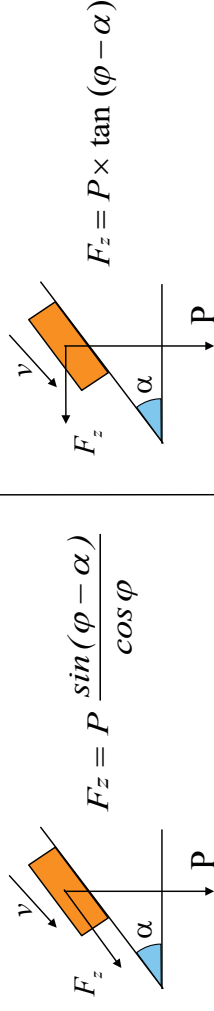
$$F_z = P \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}$$



Traction vers le bas

F_z parallèle au plan incliné

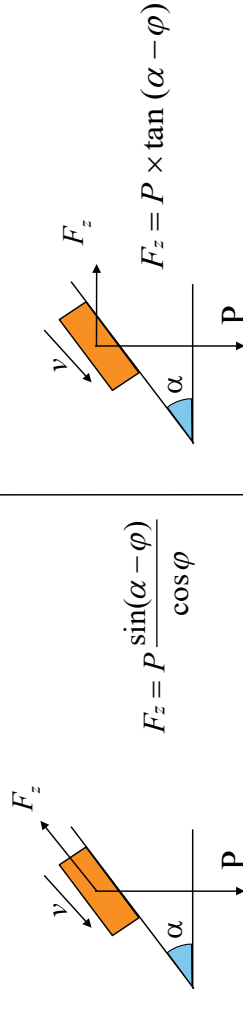
$$F_z = P \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos \varphi}$$



Retenue de l'objet

F_z parallèle au plan incliné

$$F_z = P \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}$$



Remarque :

Dans le cas où le corps est au repos, ne pas oublier que le coefficient et l'angle de frottement sont des valeurs de frottements d'adhésion.

Exercice 1

Un objet de masse 150 Kg est placé sur un support dont l'inclinaison par rapport à la base horizontale représente un angle de 20° . Le coefficient de frottement de glissement de ce corps sur le support est 0,18 et son coefficient de frottement d'adhésion est de 0,27.

Calculer :

- 1- la force de traction vers le haut et dans l'axe du support qu'il est nécessaire d'exercer pour déplacer l'objet, celui-ci étant immobilisé sur son support.
- 2- la force de traction vers le haut et dans l'axe du support à appliquer pour qu'il se déplace à vitesse constante.
- 3- la force de traction vers le haut et parallèle à la base qu'il est nécessaire d'exercer pour déplacer l'objet, celui-ci étant immobilisé sur son support.
- 4- la force de traction vers le haut et parallèle à la base à appliquer pour qu'il se déplace à vitesse constante.
- 5- l'angle d'inclinaison pour qu'il descende le long du support à vitesse constante.

Remarque :

Dans le cas où le corps est au repos, ne pas oublier que le coefficient et l'angle de frottement sont des valeurs de frottements d'adhésion.

Exercice 1

Un objet de masse 150 Kg est placé sur un support dont l'inclinaison par rapport à la base horizontale représente un angle de 20° . Le coefficient de frottement de glissement de ce corps sur le support est 0,18 et son coefficient de frottement d'adhésion est de 0,27.

Calculer :

- 1- la force de traction vers le haut et dans l'axe du support qu'il est nécessaire d'exercer pour déplacer l'objet, celui-ci étant immobilisé sur son support.
- 2- la force de traction vers le haut et dans l'axe du support à appliquer pour qu'il se déplace à vitesse constante.
- 3- la force de traction vers le haut et parallèle à la base qu'il est nécessaire d'exercer pour déplacer l'objet, celui-ci étant immobilisé sur son support.
- 4- la force de traction vers le haut et parallèle à la base à appliquer pour qu'il se déplace à vitesse constante.
- 5- l'angle d'inclinaison pour qu'il descende le long du support à vitesse constante.

Réponses : 1- 876.6N, 2- 752.2N, 3- 1034.6N, 4- 856.6N, 5- $\varphi = \alpha = 10.20^\circ$

Réponses :

1) Equation du cas retenu : $F_z = P \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}$

$$F_z = 150 \times 9.81 \frac{\sin(20 + \tan^{-1} 0.27)}{\cos(\tan^{-1} 0.27)} = 876.6 \text{ N}$$

1) $F_z = 150 \times 9.81 \frac{\sin(20 + \tan^{-1} 0.18)}{\cos(\tan^{-1} 0.18)} = 752.2 \text{ N}$

1) Equation du cas retenu : $F_z = P \times \tan(\alpha + \varphi)$

$$F_z = 150 \times 9.81 \times \tan(20 + \tan^{-1} 0.27) = 1034.6 \text{ N}$$

1) $F_z = 150 \times 9.81 \times \tan(20 + \tan^{-1} 0.18) = 856.6 \text{ N}$

Réponses :

1) Equation du cas retenu : $F_z = P \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos \varphi}$

La condition dans ce cas est que $\alpha = \varphi$
 $\varphi = \tan^{-1} 0.18 = 10.20^\circ$

$$F_z = P \frac{\sin(10.20 - 10.20)}{\cos 10.20} = \frac{\sin 0}{\cos 10.20} = 0 \text{ N}$$

Exercice 2

On dispose des matériels suivants :

- 3 objets ; 1 en acier, 1 en bronze et 1 en bois,
- 1 support en acier,
- 1 rapporteur d'angle ou une règle.
- Rechercher à l'aide de ces matériels les angles de frottement d'adhésion lorsque l'objet est placé sur chacun des supports.
- Déterminer les coefficients de frottements d'adhésion correspondants.
- Rechercher les angles de frottement de glissement lorsque l'objet est placé sur chacun des supports.
- Déterminer les coefficients de frottements de glissement correspondants.
- Comparer les résultats obtenus avec le tableau de valeurs des coefficients de frottements proposé.
- que se passe t'il au niveau de l'objet lorsque l'angle de frottement de glissement est obtenu ?
- que se passe t'il au niveau de l'objet lorsque l'angle de frottement d'adhésion est obtenu ?

Coefficients de frottement de glissement et d'adhésion de quelques matériaux

Matériau A	Matériau B	Frottement de glissement μ		Frottement d'adhésion μ_0		
		sec	mouillé	sec	mouillé	graissé
acier	acier	0.10 à 0.30	0.26	0.15 à 0.30		0.10
acier	bois	0.20 à 0.50	0.26	0.50 à 0.60		0.11
acier	PTFE	0.03 à 0.05				
acier	POM	0.35 à 0.45				
Bronze	bronze	0.20	0.10	0.21		0.11
bronze	fonte	0.18	0.10	0.19		0.11
bronze	acier	0.18	0.10	0.19		0.10
fonte	fonte	0.17 à 0.24	0.31	0.18 à 0.24		0.16
fonte	acier	0.17 à 0.24	0.31	0.18 à 0.24		0.10
POM	POM	0.40 à 0.50				
PTFE	PTFE	0.035 à 0.055				

Cours N°8

Nom fichier : Cours8-ressort

TYPES de RESSORTS

Nous produisons tous les ressorts en fil de 0,2 à 8 mm, en petites et grandes séries ; en séries moins importantes jusqu'à 14 mm suivant les cas.

COMPRESSION

Le ressort de compression est vraiment le composant universel, accumulateur d'énergie. C'est un ressort à enroulement hélicoïdal, presque toujours à spires d'extrémités rapprochées : non meulées pour les petits fils, rapprochées et meulées pour les fils au-delà de 0,5 mm. Sa course est toujours limitée par sa hauteur à spires jointives. Il doit être calculé afin d'éviter toute déformation permanente. Il peut être de forme cylindrique, conique ou bicônique.

TRACTION

Il est l'inverse du ressort de compression, et s'il se caractérise par l'absence de pas au repos, il nécessite à ses extrémités des anneaux façonnés ou des attaches spéciales. Contrairement au ressort de compression, il n'offre pas une limitation naturelle de sa course et nécessite le non-dépassement de sa flèche maximum admissible.

TYPES de RESSORTS

TORSION

Totalement différent des deux précédents du fait de l'action appliquée : production d'un couple par un travail en rotation ; il nécessite une grande attention au dessin, à la description des conditions de montage, à la mesure du couple.

FORME

Ressorts spéciaux n'appartenant pas précisément à l'une des trois catégories précédentes. Faisant souvent appel à des formes diverses pour obtenir des combinaisons d'efforts élastiques et de résistances, ils nécessitent pour leur fabrication l'étude d'outillages spécifiques à chaque cas, conçus et réalisés dans nos ateliers. Nous produisons ces ressorts en moyennes et grandes séries sur outils ou machines spéciales.

CHOIX DES MATERIAUX EMPLOYES

Nous maintenons en stock tous les diamètres et les qualités d'acier à ressorts courants suivant la norme NF 47 301 classe B1-C1 ; les fils galvanisés et inoxydables.

Les matières premières spéciales impliquent des quantités minimales, un délai plus long et souvent un prix de revient plus élevé.

Le choix de la matière première est fonction :

- a) des contraintes qui seront engendrées dans le fil,
- b) des impératifs de tenue à la corrosion,
- c) dans certains cas, du travail en température.

Le changement d'une valeur dimensionnelle solutionne plus souvent le problème que l'adoption d'une nuance plus élaborée donc plus chère.

Les fils galvanisés sont un bon recours ; pour les cas plus difficiles, l'acier inoxydable est une solution. Dans le domaine des ressorts, la protection par apport électrolytique est déconseillée ; elle a un effet nuisible sur la résistance du fil, du fait d'une hydrogénation de l'acier qui le rend plus fragile.

En température, plus de 90 °C comme moins de 30 °C nécessitent des alliages spéciaux. Dans tous les cas, un ressort perd très vite ses caractéristiques dynamiques en haute température et voit sa durée de vie diminuée d'autant.

L'ELABORATION D'UN PLAN

Le ressort étant un élément élastique, sa cotation nécessite des règles bien précises de dimensions et de charges.
Le dessinateur doit savoir qu'il existe :

- des dimensions propres à chaque type de ressort (*),
- des normes relatives aux tolérances (*),
- des règles de calcul liant dimensions, charges et contraintes (*), et tenir compte du fait que :
- un dessin incomplet est sujet à litiges,
- des cotes surabondantes bloquent la fabrication.

Le plan doit faire ressortir l'essentiel des buts à atteindre : ce sont là ou les charges, les cotes fonctionnelles tolérancées ; les autres ne doivent être données qu'à titre indicatif ou largement tolérancées.

TOLERANCES DE FABRICATION

Les valeurs données dans les tableaux sont celles des normes DIN 2095 et 2097.
La sélection entre les degrés de qualité COURANTE - MOYENNE - PRÉCISE doit être faite en fonction des exigences de fonctionnement du ressort dans son environnement mécanique. Il y a lieu de ne pas oublier que le prix est proportionnel à la précision demandée.
En l'absence de tolérance sur le plan, c'est la qualité MOYENNE qui est appliquée.

TOLÉRANCE SUR DIAMÈTRE DU RESSORT

Plage des $\varnothing$ en mm	TOLÉRANCE $\pm$ en mm				
	COURANTE	MOYENNE	PRÉCISE		
Pour $W = \frac{Dm}{d}$	$4 \pm 0,8$	$\frac{+0,8}{-1,5}$	$4 \pm 0,8$	$\frac{+0,8}{-1,5}$	$\frac{+0,8}{-1,5}$
2,5 à 4	0,3	0,4	0,15	0,2	0,1
+ 4 à 6,3	0,4	0,5	0,2	0,25	0,1
+ 6,3 à 10	0,5	0,6	0,25	0,3	0,15
+ 10 à 16	0,6	0,7	0,3	0,35	0,15
+ 16 à 25	0,7	0,9	0,35	0,45	0,2
+ 25 à 40	1,0	1,2	0,5	0,6	0,25
+ 40 à 63	1,5	2,0	0,8	1,0	0,4
+ 63 à 100	2,3	3,0	1,2	1,5	0,6
+ 100 à 160	3,5	4,6	1,8	2,3	0,9

Exemples :

- 1- Si $Dm = 2.5$ et que $W = 4 \Rightarrow d = Dm/W = 2.5/4 = 0.625$ mm, avec une tolérance **courante** de ± 0.3 mm, c'est à dire $Dm = 2.5 \pm 0.3$ mm.
- 2- Si $Dm = 40$ et que $W = 10 \Rightarrow d = Dm/W = 40/10 = 4$ mm, avec une tolérance **précise** de ± 0.3 mm, c'est à dire $Dm = 40 \pm 0.3$ mm.

TOLERANCES DE FABRICATION

TOLÉRANCE SUR LONGUEUR LIBRE

La longueur libre d'un ressort n'a qu'une valeur d'orientation, elle ne doit être tolérancée qu'exceptionnellement. Dans ce cas, elle sera valeur principale et un compromis devra être trouvé sur les charges. Il y a lieu de distinguer la tolérance pour les ressorts de compression et la tolérance pour les ressorts de traction.

COMPRESSION

Lo de — à en mm	TOLÉRANCE ± en mm		
	COURANTE	MOYENNE	PRÉCISE
Pour $W = \frac{D_m}{2}$	4 à 12	+12 à +	4 à 12 et +
Jusqu'à 4	0,5	0,6	0,3
+ 4 à 6,3	0,6	0,7	0,3
+ 6,3 à 10	0,7	0,8	0,4
+ 10 à 16	0,8	1,0	0,4
+ 16 à 25	1,0	1,3	0,5
+ 25 à 40	1,3	1,8	0,7
+ 40 à 63	1,8	2,2	1,1
+ 63 à 100	2,4	3,0	1,5
+ 100 à 160	3,0	4,0	2,0
+ 160 à 250	4,0	5,0	2,5
+ 250 à 400	5,0	6,5	3,0
+ 400 à +	± 2 % de Lo ± 1,5 % de Lo		

TRACTION

Lo de — à en mm	TOLÉRANCE ± en mm		
	COURANTE	MOYENNE	PRÉCISE
Pour $W = \frac{D_m}{2}$	4 à 8	+8 à +	4 à 8 à +
Jusqu'à 10	0,6	0,7	0,4
+ 10 à 16	0,8	1,0	0,5
+ 16 à 25	1,0	1,3	0,6
+ 25 à 40	1,3	1,6	0,8
+ 40 à 63	1,8	2,2	1,1
+ 63 à 100	2,4	3,0	1,5
+ 100 à 160	3,0	4,0	2,0
+ 160 à 250	4,0	5,0	2,5
+ 250 à 400	5,0	6,5	3,0
+ 400 à +	± 2 % de Lo ± 1,5 % de Lo		

TOLERANCE SUR CHARGE P

- Pour une charge donnée, la longueur sous charge du ressort est fixée et ne doit pas être tolérancée. L'inverse pourrait être admis.
- Noter que le diamètre du fil intervient à la puissance quatre sur la valeur de P. La dispersion sur le fil a donc une première incidence sur la tolérance.
- Le tableau ci-dessous donne la tolérance de la charge en pourcentage de celle-ci.

Ø du fil en mm de — à : Pour n (scores utiles)	TOLÉRANCE ± % de P									
	COURANTE		MOYENNE		PRÉCISE					
2 à 4	+4 à +	+10 et +	2 à 4	+4 à +	2 à 4	+4 à +	2 à 4	+4 à +	2 à 4	+10 et +
0,5 à 1	30	24	19	16	13	11	13	10	8	
+ 1 à 1,6	24	20	16	14	12	10	10	9	7	
+ 1,6 à 2,5	21	17	14	13	11	9	9	7	6	
+ 2,5 à 4	18	15	12	12	10	8	8	6	5	
+ 4 à 6,3	16	13	10	11	9	7	7	6	5	
+ 6,3 à 10	14	11	9	10	8	7	7	5	4	
+ 10 à 17	12	10	8	9	7	6	6	5	4	

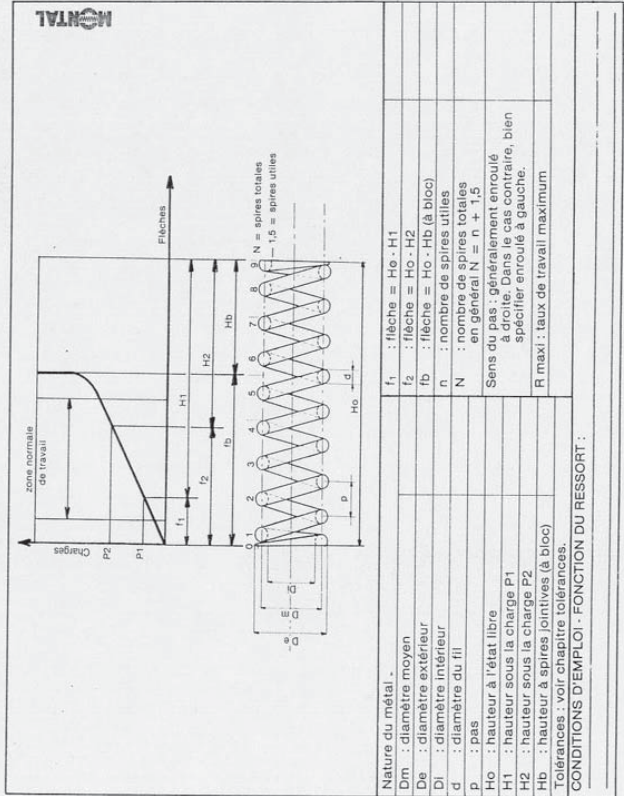
Les valeurs hors tableau sont à fixer avec le fabricant.

Pour les ressorts de traction avec tension initiale :

- Calculer la tolérance sur la tension initiale P₀ en prenant :
COURANTE : ± 30 % MOYENNE : ± 15 % PRÉCISE : ± 5 %.
- Ajouter ce résultat à la valeur obtenue dans le tableau ci-dessus.
Le total donne la tolérance sur P.

RESSORTS DE COMPRESSION

Les ressorts de compression travaillent par compression, dans le sens de leur axe. Ils sont représentés suivant les spécifications ci-après.



CALCUL DU RESSORT DE COMPRESSION

RELATION CHARGE-FLÈCHE

Dans la zone normale de travail, la caractéristique de charge est linéaire et répond à la formule :

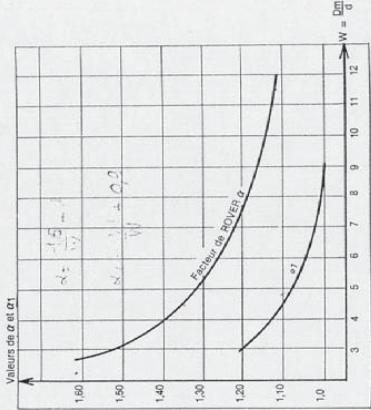
$$P = \frac{G \cdot d^4}{\alpha_1 \cdot 8 \cdot Dm^3 \cdot n} \times f$$

P : est exprimé en Kgf.
La conversion en daN étant donnée par la relation : 1 Kgf = 0,981 daN.

G : module d'élasticité à la torsion en kg/mm² :
— aciers : G = 8 000
— inox : G = 7 000
— bronze : G = 4 500
— laiton : G = 3 500

α_1 : facteur de correction dû à l'enroulement.
Voir graphique de valeurs.
d, Dm et f exprimés en mm.

GRAPHIQUE DES VALEURS α_1 ET α_2



CALCUL DU RESSORT DE COMPRESSION

TAUX DE TRAVAIL

C'est la contrainte de torsion dans le métal.
Elle répond à la formule :

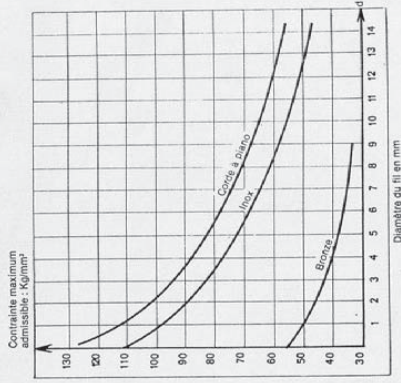
$$R = \frac{\alpha \cdot d \cdot Dm}{\pi \cdot d^3} \times P$$

R : est exprimé en kg/mm².

α coefficient de correction dû
à l'enroulement
(coeff. de ROOVER ; voir graphique
de valeurs).

Il y a lieu de vérifier le non dépassement
de la contrainte admissible lorsque le ressort est
soumis à sa charge maxi : ou à spires jointives,
même s'il doit être amené occasionnellement
dans cet état. Voir graphique de valeurs
selon métaux.

GRAPHIQUE DES VALEURS R



CALCUL DU RESSORT DE COMPRESSION

DECOMPTÉ DU NOMBRE DE SPIRES

Voir exemple de plan précédent.

Compter à partir de zéro la première extrémité
meulée ou non puis chaque fil, y compris le dernier
et les fractions de spires. Sur l'exemple :
9,5 spires totales — 1,5 = 8 spires utiles.

EXTRÉMITÉS DES RESSORTS

Elles sont généralement rapprochées et meulées ;
pour les fils en dessous de d = 0,5 mm, elles
ne sont que très rarement meulées.

On utilise également les formes suivantes :



RAPPORT D'ENROULEMENT

$$W = \frac{Dm}{d}$$

Pour un ressort normal $W = 9$.
Pour permettre l'enroulement à froid des ressorts
en acier dur, W doit être > 4 .
Dans le calcul du ressort, ne pas oublier
de tenir compte du facteur de correction dû
au rapport d'enroulement.

CALCUL DU RESSORT DE COMPRESSION



Rapproché
Non meulé



Non rapproché
Meulé
Difficile à
conditionner



Non rapproché
Non meulé
Difficiles à conditionner

RAPPORT HAUTEUR DU RESSORT SUR DIAMÈTRE MOYEN

Il est conseillé de s'inscrire dans un rapport

$$\frac{H_0}{D_m} \geq 5$$

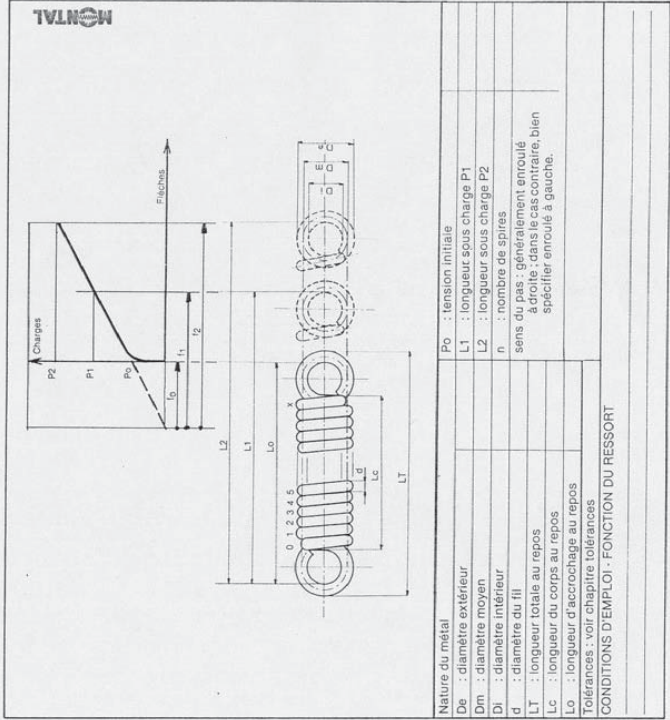
Les deux relations $\frac{D_m}{d}$ et $\frac{H_0}{D_m}$ dominant un rapport

$$\frac{H_0}{d} \geq 45.$$

* $\lambda \geq 3$

RESSORTS DE TRACTION

Les ressorts de traction travaillent par traction dans le sens de leur axe. Ils sont représentés suivant les spécifications ci-après :



CALCUL DU RESSORT DE TRACTION

DÉCOMPTE DU NOMBRE DE SPIRES

Pour compter le nombre de spires : on compte en partant de zéro la première extrémité, puis chaque fil, y compris le dernier et les fractions de spires.

Exemple sur le plan précédent : x spires utiles.

Le taux de travail R doit être calculé comme pour un ressort de compression :

$$R = \frac{\alpha \cdot 8 \cdot Dm}{\pi \cdot d^3} \times P$$

et doit être vérifié sous la charge maxi par rapport à la contrainte admissible du fil (voir § ressorts de compression).
Rappelons qu'il est primordial de calculer le ressort sous l'allongement maximum qui lui sera donné, même si cela n'arrive qu'une seule fois par exemple au cours du montage.

MESURE PRATIQUE D'UNE TENSION INITIALE

Pratiquement, la caractéristique de charge ne se développe pas linéairement. Pour mesurer Po théorique, relever une charge P1 sous L1 puis P2 sous L2 de manière à ce que l'allongement soit le double du précédent.

Ainsi :

$L2 - L1 = L1 - L0$
et $P0 = P1 - (P2 - P1) = 2 P1 - P2$.
La plus petite longueur de contrôle d'un ressort de traction doit être telle qu'un jeu soit visible entre toutes les spires.

Dans la zone normale de travail, la caractéristique de charge est linéaire. L'enroulement de ce type de ressort se fait généralement à spires jointives avec une tension initiale Po correspondant à une flèche fictive fo.

Pour des raisons de possibilité de fabrication sur machine automatique, et pour obtenir un taux de fatigue initiale de 10 à 20 kg/mm², il faut calculer le ressort avec une tension initiale :

CALCUL DU RESSORT DE TRACTION

$$P_0 = 5,2 \frac{d^3}{Dm}$$

A partir de là, le ressort se calcule avec la même formule de charge que le ressort de compression.

$$P = \frac{G \cdot d^4}{\alpha_1 \cdot 8 \cdot Dm^3 \cdot n} \times f$$

où f est la flèche fictive.

Po permet de calculer fo et les flèches

réelles sont :

— sous L1 = f1 — fo
— sous L2 = f2 — fo

FORME DES ANNEAUX

Ils sont généralement constitués par une ou deux spires relevées (voir tableau des anneaux) mais ils dépendent des possibilités de montage. Les premières formes représentées sont les plus économiques.

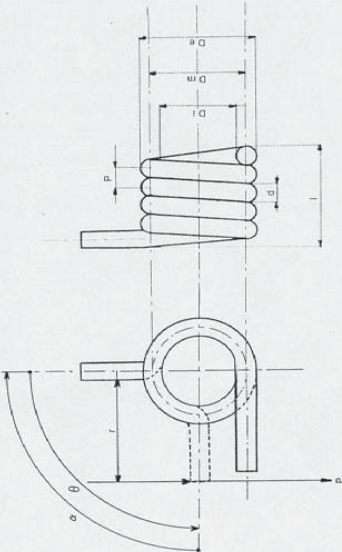
Bien préciser si les anneaux doivent être sur le même plan ou sur deux plans perpendiculaires. En cas de nécessité, coter l'ouverture avec des tolérances larges.

Tolérance sur les positions angulaires

NORME DIN 2097 :

— COURANTE : $\pm 30^\circ$
— MOYENNE : $\pm 15^\circ$
— PRÉCISE : $\pm 7,5^\circ$

RESSORTS DE TORSION



Nature du métal		θ° : angle de rotation sous la charge P
De	: diamètre extérieur	n : nombre de spires à l'état libre
Dm	: diamètre moyen	l : longueur du corps du ressort
Di	: diamètre intérieur	Sens du pas : droite ☐
d	: diamètre du fil	gauche ☐
p	: pas	
ϕ°	: angle entre branche au repos	R maxi : taux de travail maximum
CONDITIONS D'EMPLOI - FONCTION DU RESSORT :		

CALCUL DU RESSORT DE TORSION

SENS DE ROTATION

Il doit toujours aller en fermant le ressort, jamais en l'ouvrant.

MÉTHODE DE CONTRÔLE

Du fait des diverses possibilités de montage d'un ressort de torsion, il est impératif que l'utilisateur soit en accord avec le fabricant sur les méthodes de contrôle.

Les ressorts de torsion travaillent par déformation angulaire, impliquant au fil une déformation en flexion. La caractéristique de charge est un couple : fonction linéaire de l'angle de rotation de la branche mobile et répondant à la formule suivante :

CALCUL DU RESSORT DE TORSION

RESSORT DOUBLE TORSION

Il se caractérise par un double enroulement symétrique. Ce ressort fournit dans d'excellentes conditions des efforts de rappels symétriques sur des pièces en rotation l'une par rapport à l'autre.

Le ressort travaillant en fermant son diamètre intérieur diminue. L'axe sur lequel il est généralement monté, doit être d'un diamètre déterminé pour laisser suffisamment de jeu, lors de l'application de la charge maximum. Il ne faut pas oublier que les frottements sur les organes d'appui peuvent modifier la valeur des couples théoriques.

(remarque valable pour le ressort de torsion simple).

Pour le calcul, il faut considérer que ce sont deux ressorts de torsion simples associés. Le couple fourni est le double du torsion simple.

Ces ressorts nécessitent des outillages spéciaux pour leur fabrication, et sont de ce fait d'un prix de revient plus élevé.

$$C = \frac{E d^4 \pi}{32 D m n 360} \times \theta$$

C est exprimé en mm.kg. θ en mm. don
E module d'élasticité à la flexion en kg/mm².

Valeur :

aciers : 20 000

inox : 17 500

bronze : 10 000

laiton : 8 750

Dim, d en mm.

θ en degrés.

Conversion degrés-radians :

360° $\rightarrow$ π radians.

Pour chaque ressort étudié, il y a lieu de calculer le taux de travail R du métal à la flexion sous le couple maximum appliqué au ressort.

Cette contrainte répond à la formule :

$$R = \frac{10,2}{d^3} \times C$$

R : en kg/mm²

Ce taux de travail ne doit pas être supérieur à la contrainte admissible du métal (voir graphique ressorts de compression).



CARACTÉRISTIQUES

Ressorts de compression avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

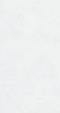
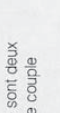
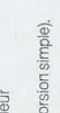
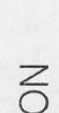
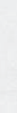
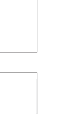
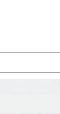
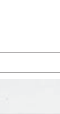
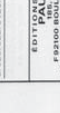
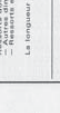
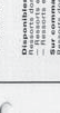
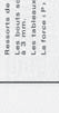
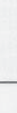
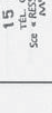
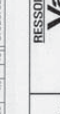
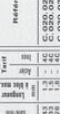
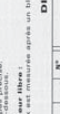
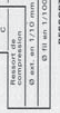
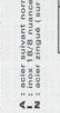
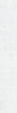
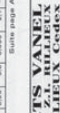
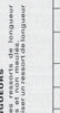
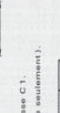
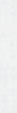
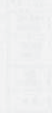
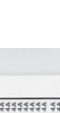
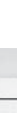
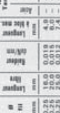
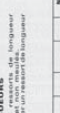
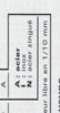
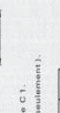
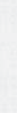
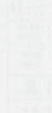
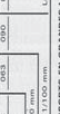
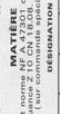
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.

— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.
— Les ressorts sont livrés avec les bouts représentés ci-dessus.



Recherche du diamètre de fil d'un RESSORT de TRACTION précontraint

Caractéristiques connues du ressort :

-Dm ≈ 38mm,

-n = 80 spires,

-G = 8000 daN/mm²

$$P = \frac{G \times d^4}{\alpha_1 \times 8 \times Dm^3 \times n} \times f$$

$$P = \frac{G}{\alpha_1 \times 8 \times Dm^3 \times n} \times d^4 \times f$$

$$P = k \times d^4 \times f$$

$$k = \frac{G}{\alpha_1 \times 8 \times Dm^3 \times n} = \frac{8000}{1 \times 8 \times 38^3 \times 80} = 2.278 \times 10^{-4}$$

$$f_1 = 410 \text{ mm}$$

$$f_2 = 235 \text{ mm}$$

$$\delta_f = f_2 - f_1 = 410 - 235 = 175 \text{ mm}$$

$$d^4 = \frac{P}{k \times f}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{\delta P}{k \times \delta f}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2.278 \times 10^{-4} \times 175}} = 2.24 \text{ mm}$$

Avec P = charge (daN)

d = diamètre du fil (mm)

f = flèche (mm)

Dm = Diamètre moyen (mm)

n = nombre totale de spires

Exercice :

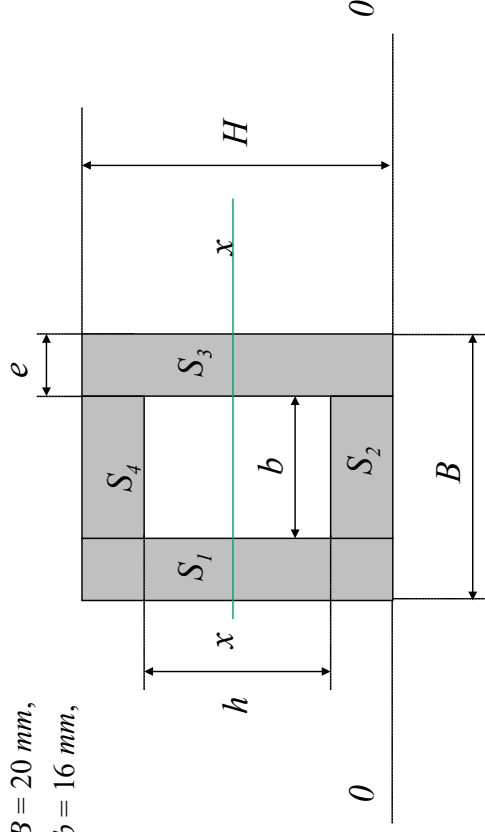
Vérification de la méthode par application à une section d'un profilé rectangulaire creux. Calculons le moment d'inertie et le moment de résistance minima.

$$H = 40 \text{ mm},$$

$$h = 36 \text{ mm},$$

$$B = 20 \text{ mm},$$

$$b = 16 \text{ mm},$$



I- Calcul des surfaces S_1, S_2, S_3, S_4 et S = surface totale de la section

avec
$$e = \left(\frac{H-h}{2} \right) = \left(\frac{B-b}{2} \right) = 2 \text{ mm}$$

$$S_1 = S_3 = H \times e = 80 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = S_4 = b \times e = 16 \times 2 = 32 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 80 + 32 + 80 + 32 = 224 \text{ mm}^2$$

II- Calcul des Moments Sd de la surface S par rapport à l'axe $\theta-\theta$.

1) Distance par rapport à l'axe $O-O$, du centre de Gravité (dS_1, dS_2, dS_3) de chaque surface (S_1, S_2, S_3, S_4) : **-ici-**

$$d_{s1} = \frac{a}{2} = \frac{45}{2} = 22.5 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = \frac{e}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{s3} = \frac{c}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

2) Calcul des Moments (MS_1, MS_2, MS_3) de chaque éléments de surface (S_1, S_2, S_3) par rapport à l'axe $O-O$:

$$MS_1 = d_{S1} \times S_1 = 22.5 \times 540 = 12150 mm^3$$

$$MS_2 = d_{S2} \times S_2 = 6 \times 432 = 2592 mm^3$$

$$MS_3 = d_{S3} \times S_3 = 40 \times 960 = 38400 mm^3$$

Somme des moments :

$$MS = MS_1 + MS_2 + MS_3 = 12150 + 2592 + 38400 = 53142 mm^3$$

3) Position de l'axe $x-x$ passant par le Centre de Gravité (CdG) de la section du profilé :

$$MS = d \times S$$

$$d = \frac{MS}{S} = \frac{53142}{1932} = 27.51 mm$$

III- Détermination du moment d'inertie de la section par rapport à l'axe $x-x$ passant par le CdG de la section du profilé.

Le moment d'inertie de la section S par rapport à l'axe $x-x$, passant par le centre de gravité, est égal à la somme de chacun des moments d'inertie des surfaces S_1, S_2 , et S_3 par rapport à ce même axe $x-x$.

a) Considérant que l'axe $x-x$ ne passe pas par le centre de gravité de chacune de ces surfaces, nous appliquerons la règle de calcul du moment d'inertie par rapport à chacun des axes de symétrie des sections S_1, S_2 , et S_3 distant d'une valeur h_1, h_2, h_3 de l'axe $x-x$:

$$h_{S1} = d - d_{S1} = 27.51 - 22.5 = 5.01 mm$$

$$h_{S2} = d - d_{S2} = 27.51 - 6 = 21.51 mm$$

$$h_{S3} = d - d_{S3} = 27.51 - 40 = -12.49 mm$$

b) Calcul du moment d'inertie (I_{x-x}) pour les différentes surfaces (S_1, S_2, S_3) :

I_{x-x} pour S_1

$$I_{S1} + S_1 \times h_{S1}^2 = \frac{e \times a^3}{12} + S_1 \times h_{S1}^2 = \frac{12 \times 45^3}{12} + 540 \times 5.01^2 = 104679 \text{ mm}^4$$

I_{x-x} pour S_2

$$I_{S2} + S_2 \times h_{S2}^2 = \frac{(b - 2e) \times e^3}{12} + S_2 \times h_{S2}^2 = \frac{(60 - 2 \times 12) \times 12^3}{12} + 432 \times 21.51^2 = 205062 \text{ mm}^4$$

I_{x-x} pour S_3

$$I_{S3} + S_3 \times h_{S3}^2 = \frac{e \times c^3}{12} + S_3 \times h_{S3}^2 = \frac{12 \times 80^3}{12} + 960 \times (-12.49^2) = 661760 \text{ mm}^4$$

$$I_x = I_{xS1} + I_{xS2} + I_{xS3} = 104679 + 205062 + 661760 = 971501 \text{ mm}^4$$

I_{x-x} pour S

IV - Détermination du moment de résistance minima (W_b).

La fibre ou la ligne la plus éloignée de l'axe $x-x$ est repérée par la lettre t . La distance qui sépare cette ligne à l'axe $x-x$ est :

$$v = c - d$$

$$v = c - d = 80 - 27.51 = 52.49 \text{ mm}$$

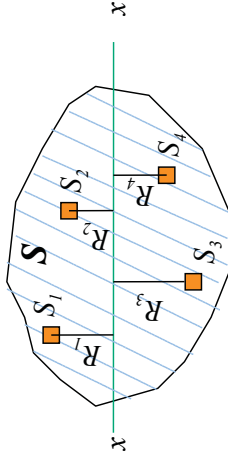
Le moment de résistance minima pour ce profilé sera :

$$W_b = \frac{I_{xx}}{v} = \frac{971501}{52.49} = 18508 \text{ mm}^3$$

Résistance des Matériaux

Moment d'inertie de surface (Théorème de Steiner)

Le moment d'inertie I_x d'une surface S (figure) par rapport à un axe x - x est égal à la somme des produits de toutes les surfaces élémentaires $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ par le carré de leurs distances respectives $R_1, R_2, R_3, R_4, \dots$ à cet axe.

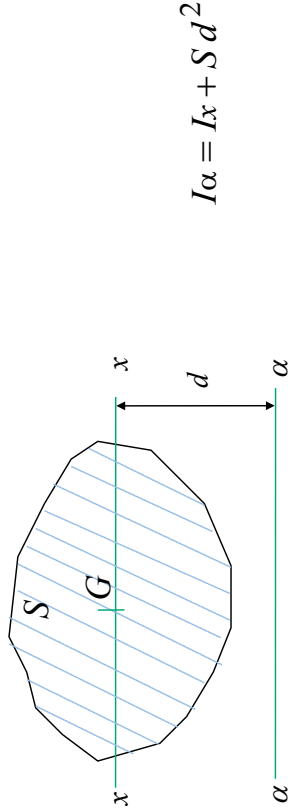


$$I_x = S_1 R_1^2 + S_2 R_2^2 + S_3 R_3^2 + S_4 R_4^2 + \dots$$

Les unités sont données en mm⁴ => I_x = mm⁴

Théorème de HUYGENS

Le moment d'inertie I_α d'une surface S (figure) par rapport à un axe α - α , parallèle à l'axe x - x passant par le centre de gravité G , est égal au moment d'inertie par rapport à cet axe x - x augmenté du produit de la surface S par le carré de la distance d entre les 2 axes.



La majorité des calculs de résistance des matériaux (80 à 90%) peut être réalisée à l'aide de fonctions simples. Les cas particuliers qu'il est possible de rencontrer nécessitent quant à eux des équations beaucoup plus complexes faisant appel à des spécialistes du domaine de la RDM. Le but de ce cours est essentiellement d'apprendre à exploiter les fonctions standards, établies pour les sections des profilés du commerce.

Application du calcul du moment d'inertie d'une section rectangulaire.

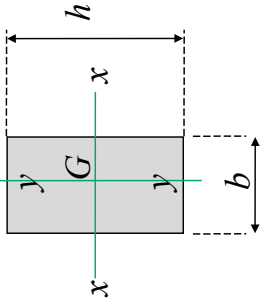
Considérons, à titre d'exemple une section rectangulaire de largeur $b = 20\text{mm}$ et de hauteur $h = 60\text{mm}$.

Recherchons le moment d'inertie I_x de cette section par rapport à l'axe $x-x$ passant par son centre de gravité G .

Pour ce type de section, le moment d'inertie est donné par l'équation suivante :

$$I_x = \frac{b h^3}{12}$$

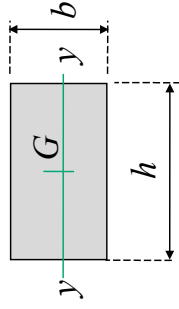
$$I_x = \frac{20 \times 60^3}{12} = 360\,000\text{mm}^4$$



Recherchons le moment d'inertie de cette même section, mais par rapport à l'axe $y-y$.

$$I_y = \frac{h b^3}{12}$$

$$I_y = \frac{60 \times 20^3}{12} = 40\,000\text{mm}^4$$



Moment de résistance minima.

Le **moment de résistance minima** (W_b) d'une surface S , appelé également **module d'inertie** ou module de flexion, est la valeur du moment d'inertie de cette surface par rapport à un axe $x-x$ passant par son centre de gravité G , divisé par la distance v de cet axe à la fibre la plus éloignée de la section étudiée (la partie qui travaille le plus). En considérant l'exemple précédent de calcul du moment d'inertie, le moment de résistance minima W_b sera :

$$W_b = \frac{\frac{b h^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{h b^2}{6}$$

$$W_b = \frac{60 \times 20^2}{6} = 4000\text{mm}^3$$

Ces 2 moments (inertie et résistance minima) sont indispensables pour calculer les résistances d'un profilé d'une section définie.

Tableau des sections standards et des équations permettant de calculer leurs moments d'inerties de surface et leur moments de résistances minimas.

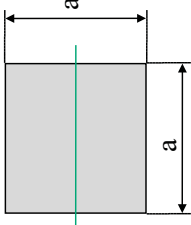
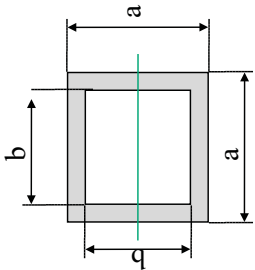
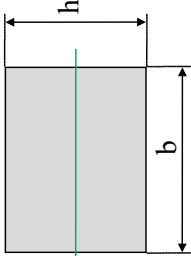
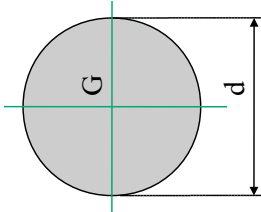
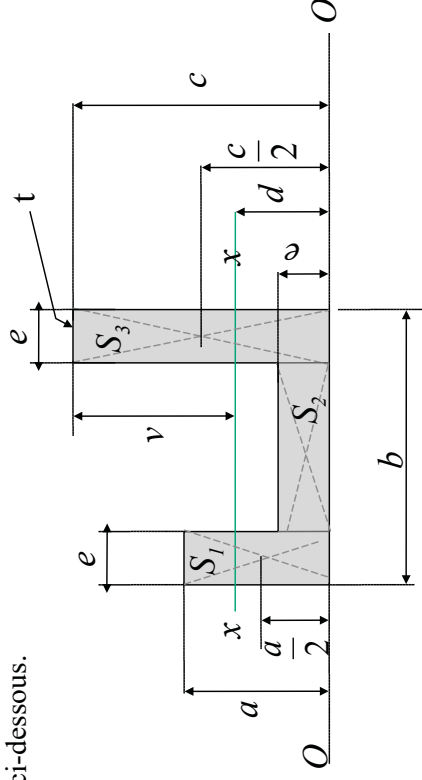
Moments d'inertie de surface	Moments de résistances minimas
 $I_x = \frac{a^4}{12}$	$W_b = \frac{a^3}{6}$
 $I_x = \frac{a^4 - b^4}{12}$	$W_b = \frac{a^4 - b^4}{6 a}$

Tableau des sections standards et des équations permettant de calculer leurs moments d'inerties de surface et leur moments de résistances minimas.

Moments d'inertie de surface	Moments de résistances minimas
 $I_x = \frac{b h^3}{12}$	$W_b = \frac{b h^2}{6}$
 $I_x = \frac{\pi d^4}{64}$	$W_b = \frac{\pi d^3}{32}$

Recherche du moment d'inertie et du moment de résistance minima d'un profilé de section non standard.

Considérons un profilé non standard dont la section est telle que représentée sur le dessin ci-dessous.



Recherchons son moment d'inertie I_x ainsi que son moment de résistance minima W_b

I- Détermination de la distance d de l'axe x-x passant par le centre de gravité de la section du profilé.

On introduit un axe de base $O-O$, choisi arbitrairement et permettant de calculer d (distance de $x-x$ à $O-O$).

1) Calcul des surfaces S_1 , S_2 , S_3 et S = surface totale de la section

$$S_1 = a e$$

$$S_2 = (b - 2e) e$$

$$S_3 = c e$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = a e + (b - 2e) e + c e$$

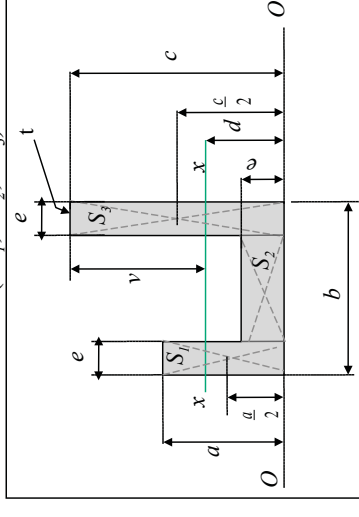
II- Calcul du Moment MS_x de la surface S par rapport à l'axe $O-O$.

1) Distance par rapport à l'axe $O-O$ du centre de Gravité (dS_1 , dS_2 , dS_3) de chaque surface (S_1 , S_2 , S_3) :

$$dS_1 = \frac{e}{2}$$

$$dS_2 = \frac{e}{2}$$

$$dS_3 = \frac{c}{2}$$



2) Calcul des Moments (MS_1, MS_2, MS_3) de chaque élément de surface (S_1, S_2, S_3) par rapport à l'axe $O-O$:

$$MS_1 = d_{S1} \times S_1$$

$$MS_2 = d_{S2} \times S_2$$

$$MS_3 = d_{S3} \times S_3$$

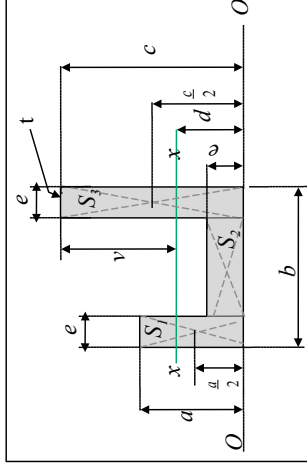
Somme des moments :

$$MS = MS_1 + MS_2 + MS_3$$

3) Détermination de la Position de l'axe $x-x$ passant par le Centre de Gravité (CdG) de la section du profilé :

$$MS = d \times S$$

$$d = \frac{MS}{S}$$



III- Détermination du moment d'inertie de la section par rapport à l'axe $x-x$ passant par le CdG de la section du profilé.

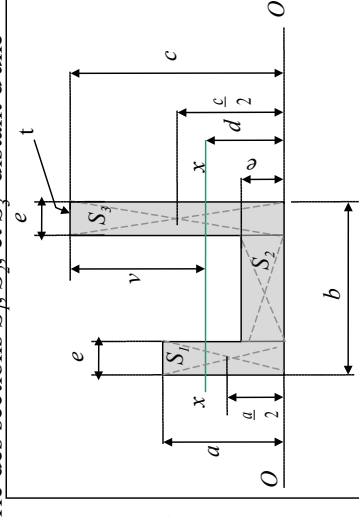
Le moment d'inertie de la section S par rapport à l'axe $x-x$, passant par le centre de gravité, est égal à la somme de chacun des moments d'inertie des surfaces S_1, S_2 , et S_3 par rapport à ce même axe $x-x$.

a) Considérant que l'axe $x-x$ ne passe pas par le centre de gravité de chacune de ces surfaces, nous appliquerons la règle de calcul du moment d'inertie par rapport à chacun des axes de symétrie des sections S_1, S_2 , et S_3 distant d'une valeur h_1, h_2, h_3 de l'axe $x-x$:

$$h_{S1} = d - d_{S1}$$

$$h_{S2} = d - d_{S2}$$

$$h_{S3} = d - d_{S3}$$



b) Calcul du moment d'inertie (I_{x-x}) pour les différentes surfaces (S_1, S_2, S_3) :

$$I_{x-x} \text{ pour } S_1 = I_{S1} + S_1 \times h_{S1}^2 = \frac{e \times a^3}{12} + S_1 \times h_{S1}^2$$

$$I_{x-x} \text{ pour } S_2 = I_{S2} + S_2 \times h_{S2}^2 = \frac{(b-2e) \times e^3}{12} + S_2 \times h_{S2}^2$$

$$I_{x-x} \text{ pour } S_3 = I_{S3} + S_3 \times h_{S3}^2 = \frac{e \times c^3}{12} + S_3 \times h_{S3}^2$$

$$I_{x-x} \text{ pour } S = \left(\frac{e \times a^3}{12} + S_1 \times h_{S1}^2 \right) + \left(\frac{(b-2e) \times e^3}{12} + S_2 \times h_{S2}^2 \right) + \left(\frac{e \times c^3}{12} + S_3 \times h_{S3}^2 \right)$$

IV- Détermination du moment de résistance minima (W_b).

La fibre ou la ligne la plus éloignée de l'axe $x-x$ est repérée par la lettre t . La distance qui sépare cette ligne à l'axe $x-x$ est :

$$v = c - d$$

$$W_b = \frac{I_{xx}}{v}$$

Le moment de résistance minima pour ce profilé sera :

$$W_b = \frac{\left(\frac{e \times a^3}{12} + S_1 \times h_{S1}^2 \right) + \left(\frac{(b-2e) \times e^3}{12} + S_2 \times h_{S2}^2 \right) + \left(\frac{e \times c^3}{12} + S_3 \times h_{S3}^2 \right)}{v}$$

Exercice :

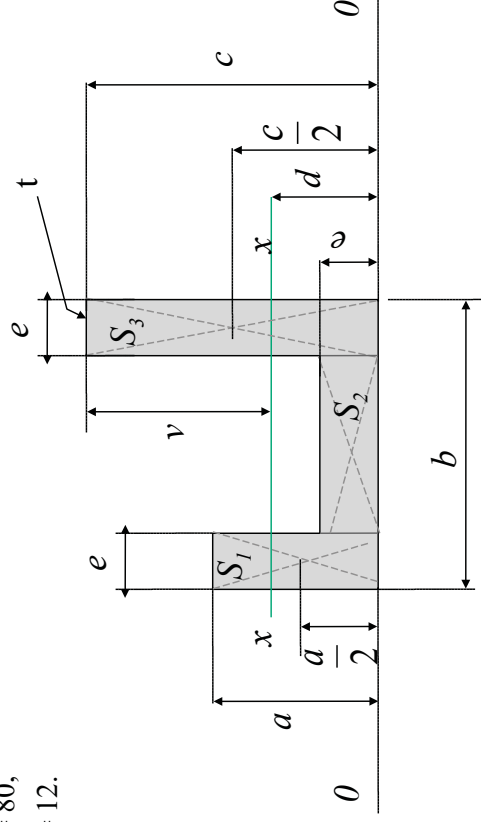
Plaçons des dimensions (en mm) au profilé que nous venons d'étudier et calculons son moment d'inertie et son moment de résistance minima.

$$a = 45,$$

$$b = 60,$$

$$c = 80,$$

$$e = 12.$$



I- Calcul des surfaces S_1 , S_2 , S_3 et S = surface totale de la section

$$S_1 = a \times e = 45 \times 12 = 540 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = (b - 2e) \times e = (60 - 2 \times 12) \times 12 = 432 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = c \times e = 80 \times 12 = 960 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 540 + 432 + 960 = 1932 \text{ mm}^2$$

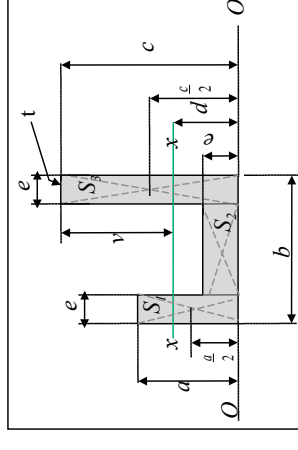
II- Calcul des Moments MS_x de la surface S par rapport à l'axe $0-0$.

1) Distance par rapport à l'axe $O-O$, du centre de Gravité (dS_1 , dS_2 , dS_3) de chaque surface (S_1 , S_2 , S_3) :

$$d_{s1} = \frac{a}{2} = \frac{45}{2} = 22.5 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = \frac{e}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{s3} = \frac{c}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$



2) Calcul des Moments (MS_1 , MS_2 , MS_3) de chaque éléments de surface (S_1 , S_2 , S_3) par rapport à l'axe $O-O$:

$$MS_1 = d_{S1} \times S_1 = 22.5 \times 540 = 12150 mm^3$$

$$MS_2 = d_{S2} \times S_2 = 6 \times 432 = 2592 mm^3$$

$$MS_3 = d_{S3} \times S_3 = 40 \times 960 = 38400 mm^3$$

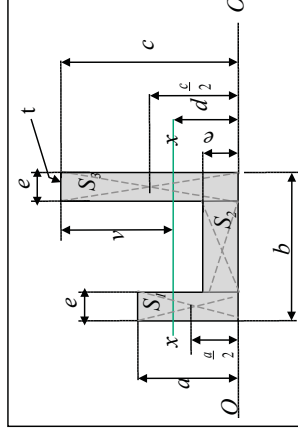
Somme des moments :

$$MS = MS_1 + MS_2 + MS_3 = 12150 + 2592 + 38400 = 53142 mm^3$$

3) Position de l'axe $x-x$ passant par le Centre de Gravité (CdG) de la section du profilé :

$$MS = d \times S$$

$$d = \frac{MS}{S} = \frac{53142}{1932} = 27.51 mm$$



III- Détermination du moment d'inertie de la section par rapport à l'axe $x-x$ passant par le CdG de la section du profilé.

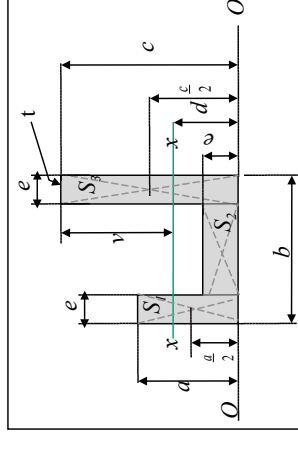
Le moment d'inertie de la section S par rapport à l'axe $x-x$, passant par le centre de gravité, est égal à la somme de chacun des moments d'inertie des surfaces S_1 , S_2 , et S_3 par rapport à ce même axe $x-x$.

a) Considérant que l'axe $x-x$ ne passe pas par le centre de gravité de chacune de ces surfaces, nous appliquerons la règle de calcul du moment d'inertie par rapport à chacun des axes de symétrie des sections S_1 , S_2 , et S_3 distant d'une valeur h_1 , h_2 , h_3 de l'axe $x-x$:

$$h_{S1} = d - d_{S1} = 27.51 - 22.5 = 5.01 mm$$

$$h_{S2} = d - d_{S2} = 27.51 - 6 = 21.51 mm$$

$$h_{S3} = d - d_{S3} = 27.51 - 40 = -12.49 mm$$



ROULEMENTS à BILLES



Notions de calcul sur la durée de vie des roulements à billes.

Au cours de ses multiples rotations, un roulement à billes subit différentes contraintes se caractérisant en particulier par des charges constantes ou variables.

Ce type de contraintes se manifeste par des millions de compressions élastiques intermittentes.

Avec le temps, des fissures apparaissent progressivement sur les éléments roulants, bague, billes, ...

La durée de vie d'un roulement de type donné, symbolisée par L_{10} , est égale au nombre de rotations réalisé par 90% des roulements avant qu'apparaissent les défauts dus à la fatigue.

L = durée de vie du roulement,

$_{10}$ = 100 – 10 en %

$\Rightarrow L_{10} = (100 - 10)\% = 90\%$.

La durée de vie se calcule en millions de rotations ou en nombre d'heures de fonctionnement.

Bien que chaque type de roulement possède des caractéristiques semblables, il ne sera jamais possible de garantir une durée de vie rigoureusement identique pour chacun de ces mêmes roulements.

La durée de vie est une donnée statistique.

L_{10} est la durée de vie moyenne de 90% des roulements appartenant à un même lot.

Pour une durée de vie L_n supérieure à L_{10} , celle-ci est obtenue par l'équation $L_n = a_1 \times L_{10}$.

A l'aide du tableau ci-dessous.

Fiabilités autres que 90%. $L_n = a_1.L_{10}$									
Fiabilité F (%)	90	95	96	97	98	99	99.5	99.9	
L_n	L_{10}	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1	$L_{0.5}$	$L_{0.1}$	
a_1	1	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21	0.15	0.06	

Exemple : $L_5 = 0.62 \times 90 = 55.8 \Rightarrow$ 56 roulements d'un lot de 100, réaliseront un nombre de rotations équivalent à une durée de vie de 95%.

$L_{0.1} = 0.06 \times 90 = 5.4 \Rightarrow$ Seuls 5 roulements d'un lot de 100, réaliseront un nombre de rotations équivalent à une durée de vie de 99.9%.

Fiabilité F et probabilité de défaillance D ($L < L_{10}$)

Les expressions mathématiques permettant de déterminer ces 2 paramètres sont les suivantes :

$$D = 1 - F \text{ avec } F = \exp \left[- \left(\frac{\frac{L}{L_{10}} - 0.02}{4.439} \right)^{1.483} \right]$$

Exemple : La durée de vie L_{10} d'un roulement à billes, dans les conditions d'utilisation analysées, est de 20 000 heures. La Société qui commercialise un produit sur lequel est monté ce roulement souhaite connaître la fiabilité de ce dernier après une durée de fonctionnement de 10 000 heures.
 $L = 10\,000$

$$F = \exp \left[- \left(\frac{\frac{10\,000}{20\,000} - 0.02}{4.439} \right)^{1.483} \right] = 0.9637, \text{ soit } F = 96.37\%$$

$$D = 1 - 0.9637 = 0.0363, \text{ soit } D = 3.63\%$$

Durée de vie (L_{E10}) d'un train (association) de roulements (E).

La durée de vie d'un ensemble de roulements à billes fonctionnant simultanément est fonction de la durée de vie propre à chacun des roulements. Elle est toujours inférieure à la valeur du roulement de l'ensemble possédant la durée de vie la plus faible. L'application de l'équation suivante est nécessaire pour connaître la fiabilité du montage :

$$L_{E10} = \left[\left(\frac{1}{L_{1,10}} \right)^{1.5} + \left(\frac{1}{L_{2,10}} \right)^{1.5} + \dots + \left(\frac{1}{L_{n,10}} \right)^{1.5} \right]^{-\frac{1}{1.5}}$$

Exemple : 3 roulements à billes placés sur un arbre ont des durées de vie respectives de 10 000, 15 000 et 25 000 heures. Calculons la durée de vie du montage.

$$L_{E10} = \left[\left(\frac{1}{10000} \right)^{1.5} + \left(\frac{1}{15000} \right)^{1.5} + \left(\frac{1}{25000} \right)^{1.5} \right]^{-\frac{1}{1.5}} = 6765 \text{ heures}$$

Capacité de charge dynamique C

La charge dynamique symbolisée par C , d'une série de roulements à billes possédant les mêmes caractéristiques, est la charge radiale, constante en intensité et direction que peut endurer 90% de cette série, après que chaque roulement ait réalisé 1 million de rotations.

A titre d'exemple, si un lot de 100 roulements de mêmes caractéristiques, est soumis à un essai à sa charge de base C , 90 roulements du lot auront une durée de vie supérieure ou égale à 1 million de rotations.

Durée de vie (L_{10}) et charge dynamique (C)

La relation entre la durée de vie d'un roulement et sa charge dynamique s'exprime par l'équation suivante :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

avec L_{10} = durée de vie du roulement en millions de tours,
 C = charge dynamique de base,
 P = charge équivalente exercée sur le roulement,
 $n = 3$ pour les roulements à billes,
 $n = 10/3$ pour les roulements à rouleaux

La durée de vie peut être convertie également en heures de fonctionnement selon l'équation suivante :

$$L_{10H} = \frac{L_{10}}{60N} 10^6$$

avec N = vitesse de rotation en tours/min

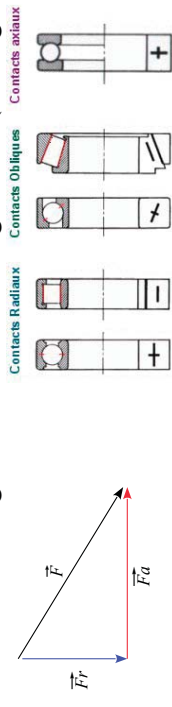
Exemple : Un roulement à billes supportant essentiellement une charge radiale a une capacité de charge radiale C de 5200 daN. Il supporte une charge P de 1850 daN et possède une vitesse de rotation de 630 tours/min. Calculons sa durée de vie :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n = \left(\frac{5200}{1850} \right)^3 = 22.2 \text{ millions de tours.}$$

$$L_{10H} = \frac{22\,200\,000}{60 \times 630} = 587 \text{ heures}$$

Calcul de la charge dynamique équivalente P

L'action de la charge dynamique équivalente P est essentiellement radiale. Elle permet de calculer la même durée de vie que l'association de la charge axiale F_a et la charge radiale F_r exercée sur le roulement. Pour autant P ne doit pas être confondue avec F qui est la résultante de la charge radiale et de la charge axiale (voir figure ci-dessous).



Pour ce qui concerne les roulements à aiguilles ou à rouleaux cylindriques avec bagues séparables, la charge axiale est toujours considérée nulle ($F_a = 0$, $F_r = P$). Pour les butées à billes, la charge radiale est nulle ($F_a = P$, $F_r = 0$).

Calcul de charges combinées.

Dans la majorité de leurs utilisations, les roulements à billes à contact radial, subissent également des charges axiales.

F_a et F_r étant connues, la charge P équivalente est calculée à l'aide de l'équation suivante : $P = X F_r + Y F_a$

X et Y sont des constantes normalisées qui dépendent de la nature du roulement à billes et de ses caractéristiques dimensionnelles.

Charge statique Co et charge statique équivalente Po.

La durée de vie des roulements subissant une charge alors qu'il sont en mouvement très lent ou nul, doit être calculée en tenant compte de cette charge statique Co. Co est indiquée dans les catalogues des fabricants de roulements, de même que C et les caractéristiques dimensionnelles.

Considérant que Co, tout comme C, est le symbole représentant une charge radiale pure, si le roulement subit également une charge axiale, il est nécessaire de calculer la charge statique équivalente Po.

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a \quad \text{avec } P_o s_o \leq C_o.$$

so est un coefficient correcteur qui entre en compte dans le cas de :

- fonctionnement régulier sans chocs ⇒ so compris entre 0.5 et 0.8,
- fonctionnement habituel ⇒ so compris entre 0.8 et 1.2,
- fonctionnement sévère avec chocs ⇒ so compris entre 1.2 et 2.5.

Tableau 1

Valeurs des coefficients X et Y									
Roulements à billes à contact radial									
si $\frac{F_a}{F_r} \leq e \Rightarrow P = F_r$									
si $\frac{F_a}{F_r} > e \Rightarrow P = 0.56 F_r + Y F_a$									
e et Y dépendent du rapport $\frac{F_a}{C_o}$									
$\frac{F_r}{C_o}$	0.014	0.028	0.056	0.084	0.110	0.170	0.280	0.420	0.560
Y	0.19	0.22	0.26	0.28	0.30	0.34	0.38	0.42	0.44
e	2.30	1.99	1.71	1.55	1.45	1.31	1.15	1.04	1.00
Roulements à rouleaux									
si $\frac{F_a}{F_r} \leq e \Rightarrow P = F_r + Y_1 F_a$									
si $\frac{F_a}{F_r} > e \Rightarrow P = X F_r + Y_2 F_a$									
pour les roulements à billes, X = 0.65									
pour les roulements à rouleaux, X = 0.67									
Roulements à rouleaux coniques à une rangée									
si $\frac{F_a}{F_r} \leq e \Rightarrow P = F_r$									
si $\frac{F_a}{F_r} > e \Rightarrow P = 0.40 F_r + Y F_a$									
Roulements à contact oblique									
Roulements à une rangée de billes						Roulements à 2 rangées en X et en O			
$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
α (degrés)	e								
20	0.57	1	0	0.43	1.00	1	1.09	0.70	1.63
25	0.68	1	0	0.41	0.87	1	0.92	0.67	1.41
30	0.80	1	0	0.39	0.76	1	0.78	0.63	1.24
35	0.95	1	0	0.37	0.66	1	0.66	0.60	1.07
40	1.14	1	0	0.35	0.57	1	0.55	0.57	0.93
45	1.33	1	0	0.33	0.50	1	0.47	0.51	0.81

Pour les angles α < 20°, les valeurs e et Y dépendent de $\frac{F_a}{C_o}$.

Tableau 2

Valeurs normalisées des coefficients X_o et Y_o				
Type de roulements	Roulement à 1 rangée de billes		Roulement à 2 rangées de billes	
	X_o	Y_o	X_o	Y_o
Roulement à billes à contact radial	0.6	0.5	0.6	0.5
Roulement à billes à rotules			1	0.44 $\cotg \alpha$
Roulement à billes à contact oblique	$\alpha = 15^\circ$	0.46	1	0.92
	$\alpha = 20^\circ$	0.42	1	0.84
	$\alpha = 25^\circ$	0.38	1	0.76
	$\alpha = 30^\circ$	0.33	1	0.66
	$\alpha = 35^\circ$	0.29	1	0.58
	$\alpha = 40^\circ$	0.26	1	0.52
Roulement à rouleaux coniques	$\alpha = 45^\circ$	0.22	1	0.44
	0.5	0.22 $\cotg \alpha$	1	0.44 $\cotg \alpha$
Roulement à rouleaux à rotules			1	0.44 $\cotg \alpha$

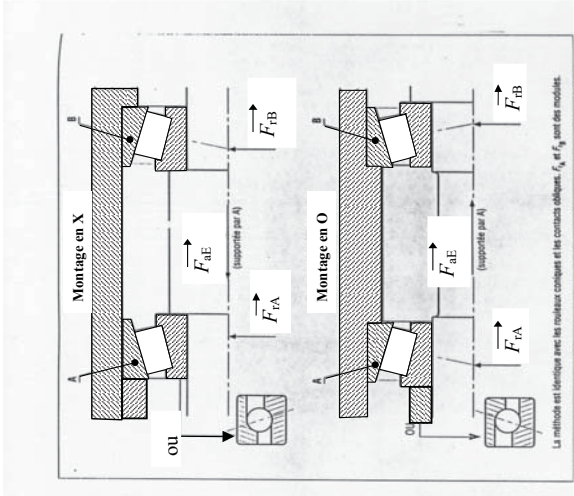
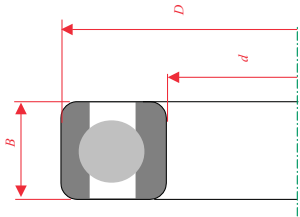


Tableau 3	Méthode de calcul ISO	
	Cas 1	Cas 2
Condition à vérifier	$\frac{0.5F_{rA}}{Y_A} \leq F_{aE} + \left[\frac{0.5F_{rB}}{Y_B} \right]$	$\frac{0.5F_{rA}}{Y_A} > F_{aE} + \left[\frac{0.5F_{rB}}{Y_B} \right]$
Charges axiales totales	$F_{aA} = F_{aE} + \left[\frac{0.5F_{rB}}{Y_B} \right]$ $F_{aB} = \left[\frac{0.5F_{rB}}{Y_B} \right]$	$F_{aA} = \left[\frac{0.5F_{rA}}{Y_A} \right]$ $F_{aB} = \left[\frac{0.5F_{rA}}{Y_A} \right] - F_{aE}$
Charges Equivalentes P_A et P_B	$Si \frac{F_{aA}}{F_{rA}} > e_A, alors P_A = 0.4F_{rA} + Y_A \times F_{aA}$ $Si \frac{F_{aA}}{F_{rA}} \leq e_A, alors P_A = F_{rA}$	$Si \frac{F_{aB}}{F_B} > e_B, alors P_B = 0.4F_{rB} + Y_B \times F_{aB}$ $Si \frac{F_{aB}}{F_{rB}} \leq e_B, alors P_B = F_{rB}$

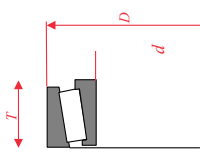
Tableau des caractéristiques de quelques roulements à une rangée de billes selon document SKF



d = diamètre intérieur du roulement,
 D = diamètre extérieur du roulement,
 B = largeur du roulement

d mm	D mm	B mm	C daN	C_0 daN	Vitesse Limite tr/min graisse
15	24	5	156	81.5	26000
20	32	7	265	140	19000
	72	19	3070	1660	10000
30	42	7	312	208	15000
	90	23	4360	2400	8500
40	52	7	416	335	11000
	110	27	6370	3650	6700
50	65	7	624	425	9000
	110	27	6200	3800	6300
	130	31	8710	5200	5300
60	78	10	871	610	7500
	150	35	10800	6950	4800
70	90	10	1210	915	6700
	180	42	14300	10400	3800
80	100	10	1240	9800	6000
	200	48	16300	12500	3400
90	115	13	1950	1560	5300
	225	54	18600	14600	3000
100	125	13	1990	1700	4800
	215	47	17400	13200	3000
110	140	16	2810	2360	4300
	240	50	20300	16600	2600
120	150	16	2910	2500	3800
	260	55	20800	16600	2400

Tableau des caractéristiques de quelques roulements à une rangée de rouleaux coniques selon document SKF



d = diamètre intérieur du roulement,
D = diamètre extérieur du roulement,
T = largeur maximum du roulement

d mm	D mm	T mm	C daN	C _o daN	e	Y	Y _o	Vitesse Limite n/min graisse
15	42	14.25	2120	1270	0.28	2.1	1.1	9000
20	42	15	2290	1560	0.37	1.6	0.9	8500
	52	22.25	4130	2800	0.30	2.0	1.1	7500
30	55	17	3360	2450	0.43	1.4	0.8	6700
	72	28.75	7210	5200	0.31	1.9	1.1	5300
40	68	19	4950	4000	0.37	1.6	0.9	5300
	90	35.25	11000	8300	0.35	1.7	0.9	4000
50	80	20	5720	4800	0.43	1.4	0.8	4500
	90	21.75	7040	5200	0.43	1.4	0.8	4300
	110	42.25	15100	12500	0.54	1.1	0.6	3200
60	95	23	7650	6700	0.40	1.4	0.8	3800
	130	33.5	16100	11600	0.35	1.7	0.9	3000
70	110	25	9520	8300	0.43	1.4	0.8	3200
	150	54	26400	22800	0.54	1.1	0.6	2000
75	115	25	9900	8800	0.46	1.3	0.7	3000
80	125	29	12800	11600	0.43	1.4	0.8	2600
	170	61.5	33600	30000	0.54	1.1	0.6	1800
90	140	32	15700	14600	0.43	1.4	0.8	2200
	190	67.5	42900	36000	0.35	1.7	0.9	1700
100	145	24	11900	10200	0.48	1.25	0.7	2200
	215	77.5	53900	46500	0.35	1.7	0.9	1600
110	160	27	14500	12500	0.44	1.35	0.8	1900
	240	84.5	66000	57000	0.35	1.7	0.9	1400

Introduction

Le dessin technique est un outil d'expression graphique et de communication technique.

Au cours de son évolution, l'homme a rapidement éprouvé le besoin de représenter son univers (scènes de chasse) à l'intention de ses semblables.

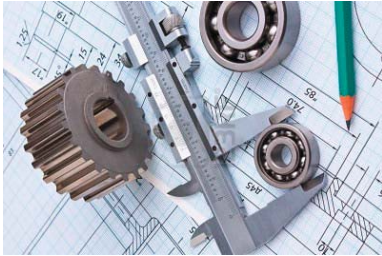
L'apparition des techniques va peu à peu conduire l'homme vers une autre utilisation du dessin.

Le dessin devient alors un moyen de traduction de la pensée technique (Archimède, Léonard de Vinci)

Avec l'avènement de la révolution industrielle, on voit se développer des outils d'expression graphique et de communication. Ces outils facilitent les échanges de la pensée technique entre les individus.

Un organisme international a codifié certains de ces outils graphiques de façon à les rendre lisibles par tous.

Le but de ce présent document est de présenter quelques éléments des bases du dessin technique en vue de vous permettre la compréhension d'un plan mécanique.



Le format

La représentation d'une pièce (ou d'un ensemble de pièces) nécessite de définir prioritairement le format papier sur lequel elle sera dessinée.

La dimension de la pièce, sa complexité, le nombre d'informations qu'il sera nécessaire de faire figurer dans le dessin justifie le choix du format. Ils sont désignés par des symboles A4 à A0.



Format A4 : 210 x 297 mm

- A4V portrait
- A4H (Paysage)

Format A3 : 420 x 297 mm

Format A2 : 420 x 594 mm

Format A1 : 594 x 841mm

Format A0 : 841 x 1189 mm

Le dessin technique définit complètement un produit , soit à des fins de compréhension, soit à des fins de réalisation.

Mise en plan :

Le cadre

à 10 mm du bord du support de A4 à A2,
à 20 mm du bord du support pour A1 et A0.

Le cartouche

(obligatoire sur chaque planche de dessin,
commentaires du contenu).

Rep.	Nb	Désignation	Matériau	Observations
1	1	Appareil photographique		
2	1	Echelle		
3	1	1:1		
4	1	7/02/98		
5	1	Plan à jour	A4 V	

Convention de placement des vues

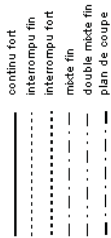


La nomenclature,

N°	Libellé	Quantité	Unité	Matériau	Observations
1	Appareil photographique	1			
2	Echelle	1			
3	1:1	1			
4	7/02/98	1			
5	Plan à jour	1		A4 V	
6	Appareil photographique	1			
7	Echelle	1			
8	1:1	1			
9	7/02/98	1			
10	Plan à jour	1		A4 V	
11	Appareil photographique	1			
12	Echelle	1			
13	1:1	1			
14	7/02/98	1			
15	Plan à jour	1		A4 V	
16	Appareil photographique	1			
17	Echelle	1			
18	1:1	1			
19	7/02/98	1			
20	Plan à jour	1		A4 V	
21	Appareil photographique	1			
22	Echelle	1			
23	1:1	1			
24	7/02/98	1			
25	Plan à jour	1		A4 V	
26	Appareil photographique	1			
27	Echelle	1			
28	1:1	1			
29	7/02/98	1			
30	Plan à jour	1		A4 V	
31	Appareil photographique	1			
32	Echelle	1			
33	1:1	1			
34	7/02/98	1			
35	Plan à jour	1		A4 V	
36	Appareil photographique	1			
37	Echelle	1			
38	1:1	1			
39	7/02/98	1			
40	Plan à jour	1		A4 V	
41	Appareil photographique	1			
42	Echelle	1			
43	1:1	1			
44	7/02/98	1			
45	Plan à jour	1		A4 V	
46	Appareil photographique	1			
47	Echelle	1			
48	1:1	1			
49	7/02/98	1			
50	Plan à jour	1		A4 V	
51	Appareil photographique	1			
52	Echelle	1			
53	1:1	1			
54	7/02/98	1			
55	Plan à jour	1		A4 V	
56	Appareil photographique	1			
57	Echelle	1			
58	1:1	1			
59	7/02/98	1			
60	Plan à jour	1		A4 V	
61	Appareil photographique	1			
62	Echelle	1			
63	1:1	1			
64	7/02/98	1			
65	Plan à jour	1		A4 V	
66	Appareil photographique	1			
67	Echelle	1			
68	1:1	1			
69	7/02/98	1			
70	Plan à jour	1		A4 V	
71	Appareil photographique	1			
72	Echelle	1			
73	1:1	1			
74	7/02/98	1			
75	Plan à jour	1		A4 V	
76	Appareil photographique	1			
77	Echelle	1			
78	1:1	1			
79	7/02/98	1			
80	Plan à jour	1		A4 V	
81	Appareil photographique	1			
82	Echelle	1			
83	1:1	1			
84	7/02/98	1			
85	Plan à jour	1		A4 V	
86	Appareil photographique	1			
87	Echelle	1			
88	1:1	1			
89	7/02/98	1			
90	Plan à jour	1		A4 V	
91	Appareil photographique	1			
92	Echelle	1			
93	1:1	1			
94	7/02/98	1			
95	Plan à jour	1		A4 V	
96	Appareil photographique	1			
97	Echelle	1			
98	1:1	1			
99	7/02/98	1			
100	Plan à jour	1		A4 V	

Les différents traits :

Fort = 1 ou 0.7
 Pointillé = 0.5 ou 0.35
 Axe = 0.25 ou 0.18
 Détails, hachures, cotation = 0.13



Domaine d'utilisation

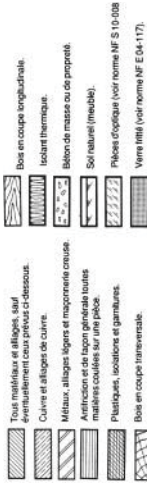
- Continu fort : arêtes et contours vus ;
- Continu interrompu fin ou interrompu moyen : arêtes et contours cachés, fonds de filets cachés ;
- Continu fin : lignes de rappel et de cote, hachures, axes, fond de filet vu, arêtes fictives, constructions géométriques, limites de vues, coupes partielles ;
- Mixte fin : axes ;
- Mixte fin terminé par deux traits forts : plan de coupe ;
- Mixte fort : plan de coupe ;
- Double mixte fin : contours de pièces voisines, demi rabattement, positions de pièces mobiles ;



Les hachures

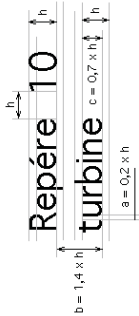
Types de hachures conventionnelles :

- Tous métaux et alliages acier,
- Métaux, alliages légers et magnésium oxidé,
- alliages non ferreux à base d'aluminium,
- alliages non ferreux à base de cuivre,
- plastiques,
- etc ...



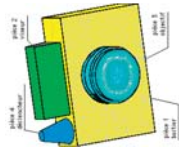
La cotation et les textes

Privilégier les majuscules et éviter les caractères spéciaux ou autres accents.
 Taille de police minimale pour formats A4, A3, A2 = 2.5 mm et pour formats A1 et A0 = 3.5 mm.
 Remarque : en informatique, la hauteur des polices est exprimée en centième de pouce
 Exemple : une police de 12 correspond à 0.12 pouce soit 0.12 x 25.4 = 3 mm.

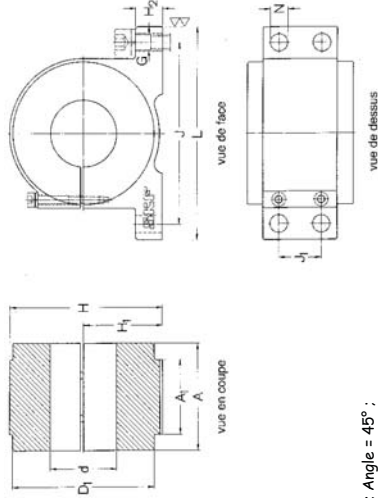


Les vues

Vue d'ensemble



Vue de droite, gauche, dessus, etc ...



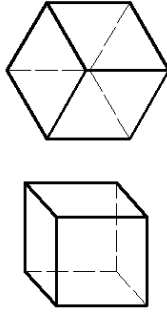
Perspectives



Cavalières : X-Z en vraies grandeurs ; Y dimension = 0.50 ; Angle = 45° ;

Ce mode de représentation induit des aberrations visuelles, il est remplacé aujourd'hui par la perspective isométrique.

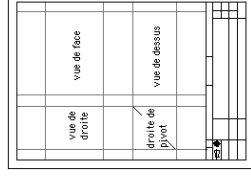
Isométrique : X-Y-Z dimensions = 0.82 ; angle = 30° ;



Mise en page (3 vues)

Répartition des différentes vues sur la feuille afin d'obtenir une disposition équilibrée.

La droite de pivot permet d'établir la correspondance entre la vue de dessus et la vue de droite (attention au sens de l'inclinaison de cette droite !)

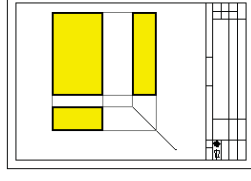


Esquisse et dessin de la pièce 1 (boîtier)

Les lignes d'esquisse permettent de définir tous les points devant être reliés par des arêtes.

Dans le cas présent, il y en a 8

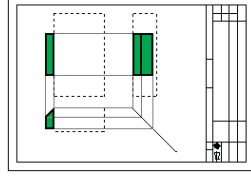
Représentation en trois vues du boîtier (parallélogramme)



Esquisse et dessin de la pièce 2 (viseur)

L'angle du prisme dans la vue de droite est obtenu par la correspondance des deux autres vues.

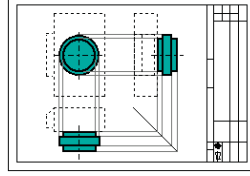
Représentation en trois vues du viseur (prisme).



Esquisse et dessin de la pièce 3 (objectif)

Représentation en trois vues de la pièce 3 (cylindres concentriques).

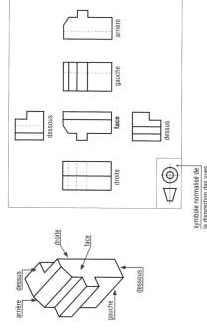
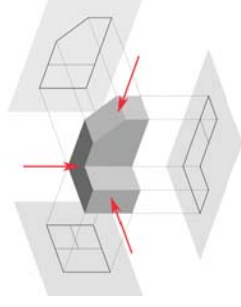
On dessine en premier les deux cercles concentriques puis on trace les tangentes à ces cercles pour définir les autres vues.



Représentation par projections orthogonales

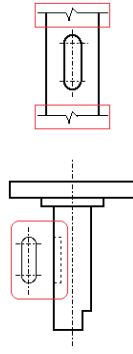
L'élément est dessiné en autant de vues qu'il est nécessaire pour qu'il soit entièrement défini.

Les droites de pivot permettent de mettre en correspondance les vues de gauche et de droite avec les vues de dessus et de dessous.



Représentations particulières en projection orthogonale

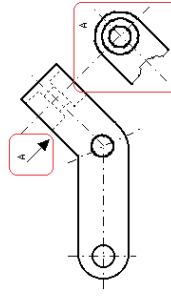
Vue locale et vue partielle



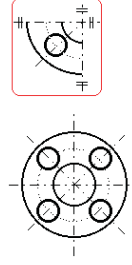
Vue interrompue



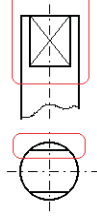
Vue oblique



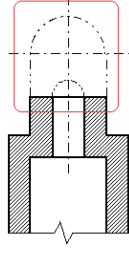
Pièce symétrique



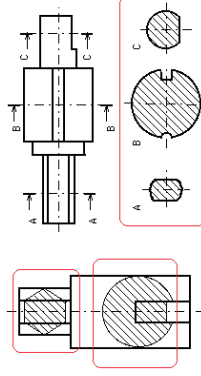
Méplats sur pièces de révolution



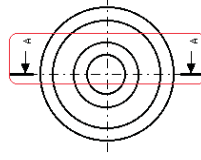
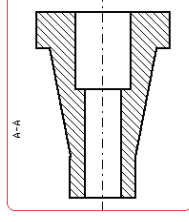
Demi rabattement (double mixte fin)



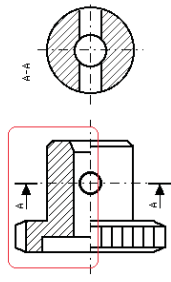
Sections rabattues et sections sorties



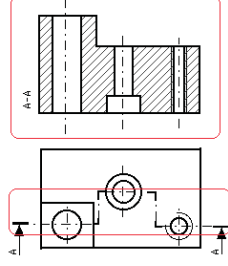
Coupe par un seul plan



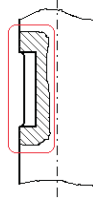
Demi-coupe



Coupe brisée



Coupe locale



Mécanique et informatique

Il existe de nombreux logiciels de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Chacun possède ses propres caractéristiques et performances. La majorité d'entre eux autorisent le respect des normes et conventions imposées dans la représentation de composants mécaniques, électroniques, ...

Certains sont pluridisciplinaires. Ils possèdent des modules de paramétrages qui leurs permettent de s'adresser aux architectes, aux électroniciens, aux mécaniciens, aux paysagistes, ...

En fonction de leurs performances et leur implantation commerciale, ces logiciels sont vendus à des tarifs qui vont de quelques centaines à plusieurs milliers d'euros.

Compte tenu du temps imparti dans la formation pour aborder, prendre en main et utiliser un logiciel CAO, nous avons choisi de travailler avec SOLIDWORKS.



Pied à coulisse

Coulisse graduée en fraction d'inch

Règle graduée en inch

Règle graduée en mm

Coulisse graduée au $\frac{1}{50}$ ième de mm

Cotation extérieure

Cotation intérieure ($> 10\text{mm}$)

Attention ajouter 10 mm à la mesure

Pied à coulisse

Coulisse graduée en fraction d'inch

Règle graduée en inch

Règle graduée en mm

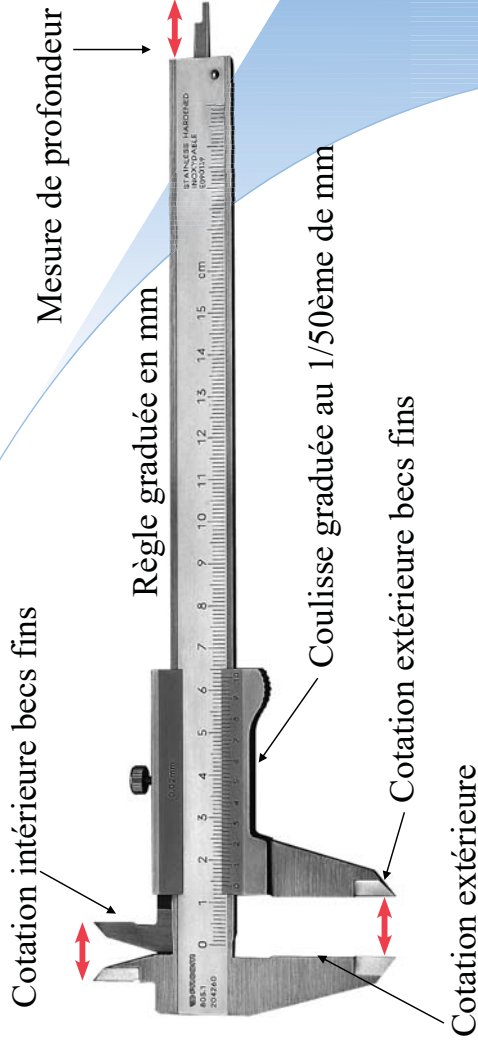
Coulisse graduée au $\frac{1}{50}$ ième de mm

Cotation extérieure

Cotation intérieure

Attention ajouter 10 mm à la mesure

Pied à coulisse universel

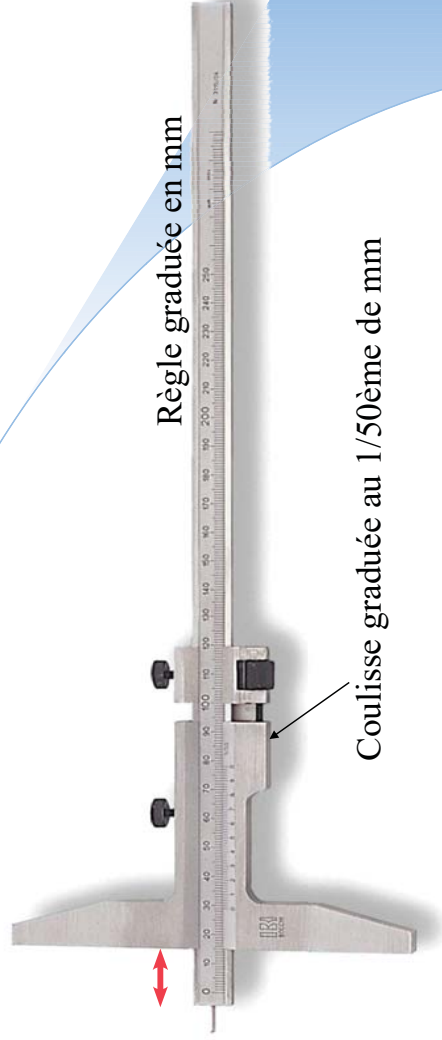


Pied à coulisse numérique

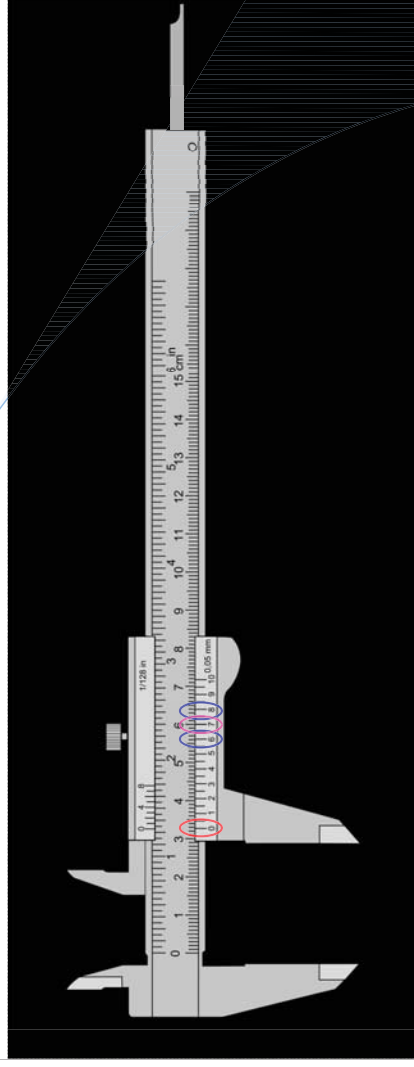


- Lecture facilitée ;
- Permet de passer facilement d'une mesure en mm à une mesure en pouce ;
- **Attention** à penser à vérifier le zéro avant la mesure ;

Pied à profondeur

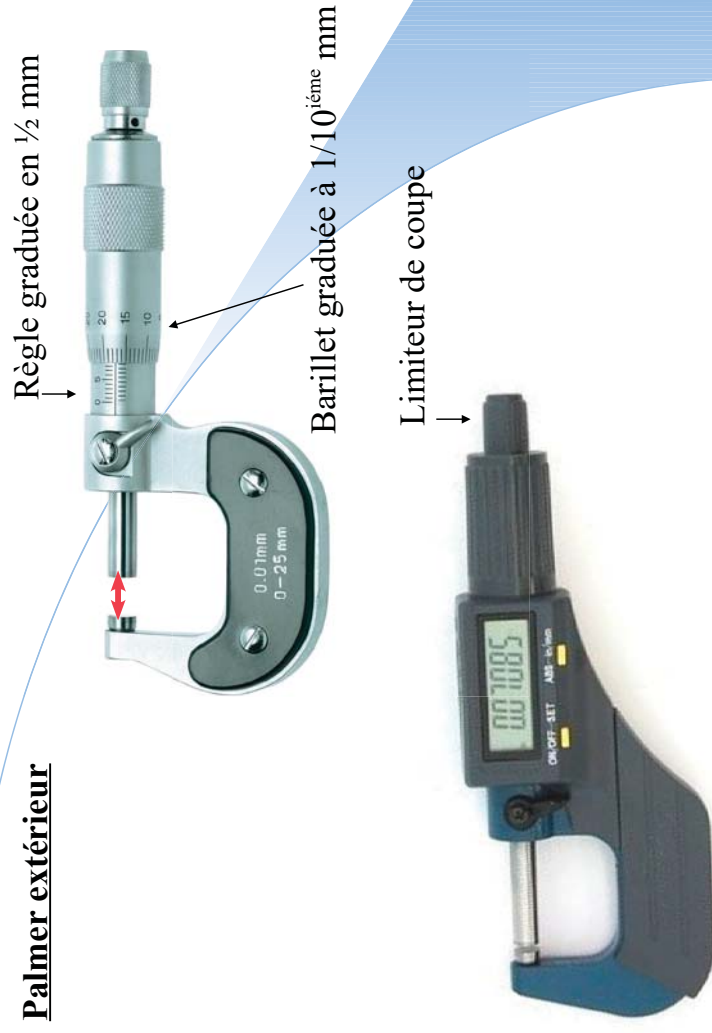


Lecture du vernier



1. Le zéro de la coulisse indique sur la règle la **mesure majeure** : 32,?? mm ;
2. Rechercher la graduation la mieux alignée du vernier pour lire **les décimales** : 32,70 mm ;
3. En cas de doute rechercher des écarts symétriques.

Palmer extérieur



Palmer intérieur



- Deux plages de mesure ;
- **Attention** penser à ajouter la cote de base ;

Lecture du vernier



Attention au risque d'erreur de parallaxe

1. Le bord du tambour indique sur la règle la mesure majeure : 5,5?? mm ;

2. La graduation principale indique le complément au $\frac{1}{100}$ ème :

$$5,5 + 0,28 = 5,78 \text{ mm};$$

3. Pour les micromètres disposants d'un vernier supplémentaire, rechercher le meilleur alignement des graduations en regard du tambour pour atteindre le μm : 5,783 mm

N.B. : la graduation principale correspond au zéro du vernier.

4. En cas de doute rechercher des écarts d'alignement symétriques.

Pointe	Pente max	Flèche	Equation
	$\theta_A = \theta_B = -\frac{F \cdot L^2}{16EI}$	$f_B = -\frac{F \cdot L^3}{48EI}$	$0 \leq x < \frac{L}{2}$ $y = -\frac{F \cdot x^3}{6EI} \left(\frac{L^2 - 4x^2}{2} \right)$ $y = -\frac{F \cdot x^3}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$
	$\theta_A = -\frac{F \cdot a \cdot b^2}{6EI} \left(\frac{L+b}{a+b} \right)$ $\theta_B = \frac{F \cdot a^2 \cdot b}{6EI} \left(\frac{L+a}{a+b} \right)$	$f_3 = -\frac{F \cdot a \cdot b^3}{6EI} \left(\frac{L+b}{a+b} \right)$ $f_4 = -\frac{F \cdot b \cdot a^3}{6EI} \left(\frac{L+a}{a+b} \right)$	$0 \leq x < a$ $y = -\frac{F \cdot b}{6EI} \left(\frac{L^2 - L^2 - 3x^2}{2} \right)$ $y = -\frac{F \cdot b \cdot x^3}{6EI} \left(\frac{L^2 - b^2 - x^2}{2} \right)$
	$\theta_A = \theta_B = -\frac{q \cdot L^3}{24EI}$	$f_3 = -\frac{5q \cdot L^4}{384EI}$	$y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$
	$\theta_A = -\frac{q \cdot L^3}{24EI}$ $\theta_B = \frac{q \cdot L^3}{24EI}$	$f_3 = -\frac{5q \cdot L^4}{384EI}$	$x \leq \frac{L}{2}$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$
	$\theta_A = -\frac{q \cdot L^3}{24EI}$ $\theta_B = \frac{q \cdot L^3}{24EI}$	$f_3 = -\frac{5q \cdot L^4}{384EI}$	$x \leq \frac{L}{2}$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$
	$\theta_A = -\frac{q \cdot L^3}{24EI}$ $\theta_B = \frac{q \cdot L^3}{24EI}$	$f_3 = -\frac{5q \cdot L^4}{384EI}$	$x \leq \frac{L}{2}$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$ $y = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} \left(\frac{L^3 - 6Lx^2 + 4x^3}{2} \right)$