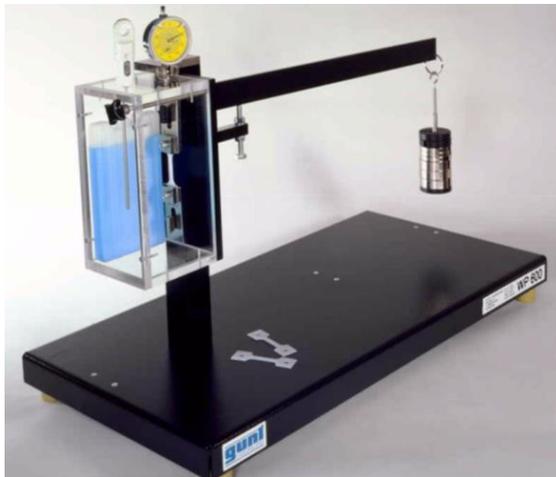


Université de Bordj Bou Arreridj
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie Mécanique

Travaux Pratiques ESSAIS MECANIQUES



Dr. RAOUACHE Elhadj

NIVEAU : Master I en Génie Mécanique

Préface

Le programme de formation moderne prévoit la réalisation d'un cycle de travaux pratiques au cours desquels deux problèmes essentiellement différents doivent être résolus. D'une part, on procède à la vérification expérimentale des hypothèses admises afin d'établir les différentes relations de calcul fondées sur celles-ci. D'autre part, le calcul d'une structure ou de ses différents éléments ne peut être effectué sans que les caractéristiques mécaniques du matériau ne soient connues : contrainte admissible, constantes élastiques du matériau (modules d'élasticité E et G , coefficient de Poisson), qui sont déterminées expérimentalement.

Ainsi, les principales tâches incombant au TP Essais mécaniques sont : l'étude des propriétés des matériaux et la détermination de leurs caractéristiques mécaniques ; la vérification expérimentale des hypothèses (restrictions simplificatrices), la validation des relations de calcul principales en comparant les résultats théoriques avec les données empiriques. Le présent polycopié TP Essais mécaniques s'adresse aux étudiants de première année de master en science technologique. Lors de la description des travaux pratiques, sont mentionnés :

- leur contenu et but ;
- la description des caractéristiques des installations (ou machines) utilisées ;
- la méthode pratique de réalisation du TP et le traitement des résultats.

Sommaire :

TP N°01 : Traction-Compression	03
TP N°02 : Essai de flexion des poutres	10
TPN°03 : Flambement des poutres	22
TPN°04 : Fluage.....	32
TPN°05 : Fatigue.....	37
TPN°06 : Essai de dureté.....	45
Références bibliographiques	50

**Consignes pour les TP :**

1. Bien lire les règles de sécurité propres à chaque TP.
2. Solliciter l'enseignant pour tout souci ou si vous avez besoin d'aide.
3. Respecter le matériel en cours de séance et le ranger en fin de séance.
4. Soigner la rédaction de vos comptes rendus, votre note en dépend...



TP N°01 : Traction-Compression



1. But de la manipulation :

Le but recherché dans cette manipulation est :

1. La vérification de la validité de la théorie de l'élasticité pour la traction (**loi de Hooke**).
2. Détermination du module d'élasticité longitudinal **E**

2. Essai de traction :

L'essai consiste à exercer sur une éprouvette de forme cylindrique ou parallélépipède (plate) des forces croissantes, qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

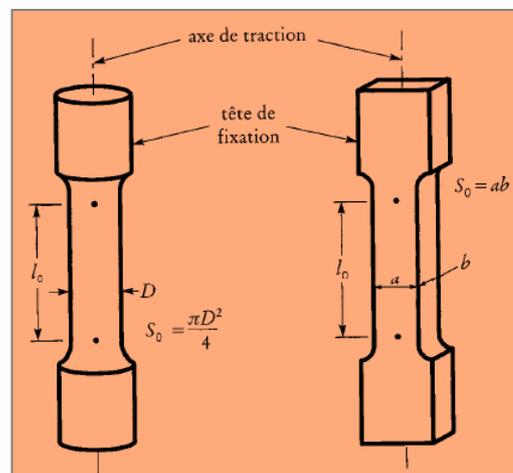


Figure.1 : Machine de traction

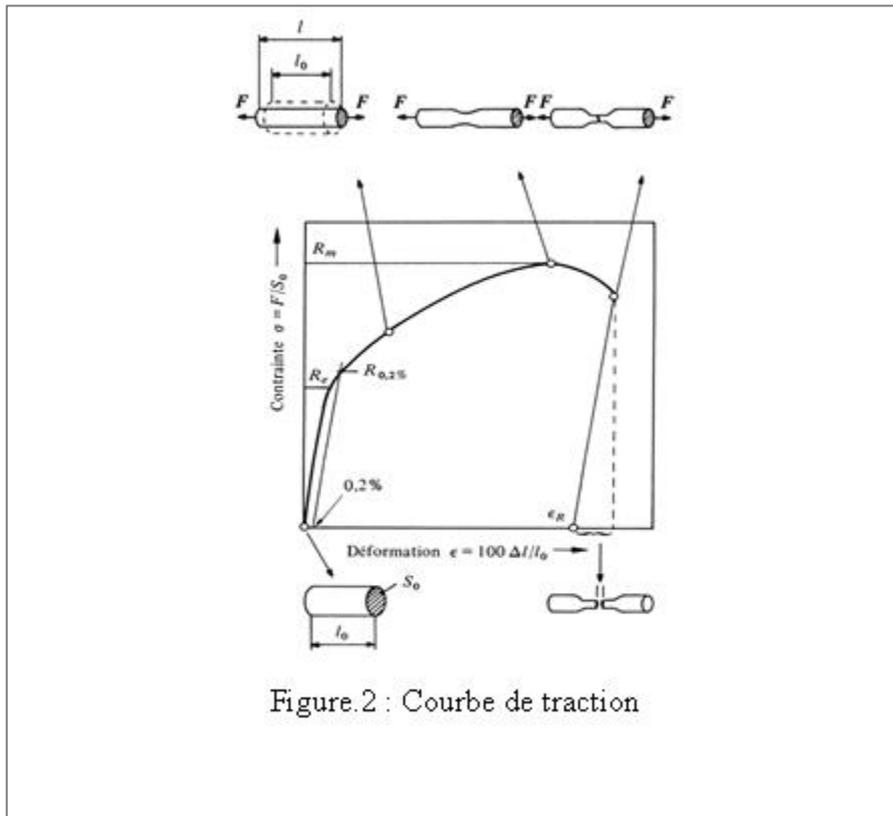
3. Courbe contrainte –déformation :

L'essai de traction fournit un diagramme donnant la force appliquée à l'éprouvette en fonction de son allongement (Figure 2) et cela d'habitude pour une vitesse de traverse constante. Dans le cas général, on observe une partie rectiligne correspondant au domaine d'élasticité, le domaine de déformation plastique uniforme, un maximum correspondant à la charge maximale supportée par l'éprouvette, appelée couramment charge de rupture, le domaine de striction dans lequel les déformations se localisent dans une zone limitée dont la section diminue rapidement, et finalement la rupture de l'éprouvette.

Cette essai permet de définir les paramètres importants que sont la limite élastique R_e , conventionnelle à 0,2% ou non (MPa), la résistance à la traction R_m (MPa) et l'allongement A (élongation) (%) (Figure 3).

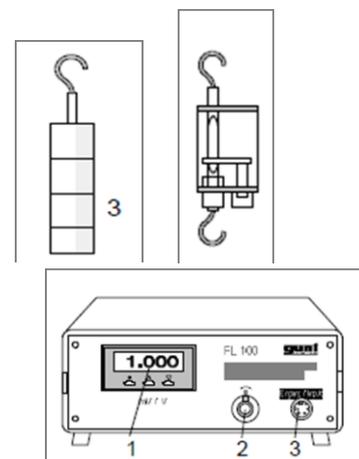
Une courbe de traction (Figure 1a, cas d'un acier doux) se compose de deux parties.

- La première rectiligne correspond au domaine élastique ; la contrainte varie linéairement avec la déformation suivant la loi de Hooke : $\sigma = k \times \varepsilon$ (1)
Le coefficient de proportionnalité k étant, à une constante près, le module élastique E ou module de Young.
- La seconde partie est le domaine plastique : la courbe a souvent une allure parabolique, sans que cela soit général. L'essai se termine par la rupture (R) de l'éprouvette. La vitesse de déformation doit être lente (une déformation rationnelle ne pouvant dépasser 0,1).



3.1. Matériel Nécessaire :

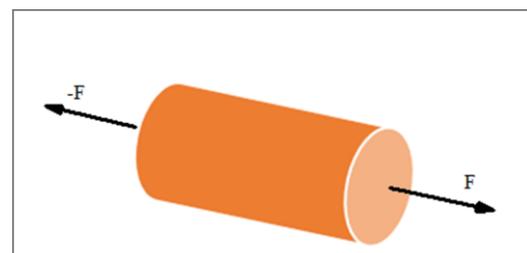
1. Banc d'essai de traction
2. Grand jeu de poids (3) 5 - 50N, progression 5N
3. Une barre en acier :
 - Section S : $10 \times 2 \text{ mm}^2$
 - Module d'élasticité E : 191000 N/mm^2
4. Amplificateur de mesure



4. Rappels théoriques :

4.1. Définition : On dit qu'une pièce est soumise à un effort de traction simple lorsque les 3 conditions ci-dessous sont vérifiées :

- | | |
|---------------|--------------------------|
| 1. $T = 0$ | T : Effort tranchant |
| 2. $M = 0$ | M : moment fléchissant |
| 3. $N \neq 0$ | N : Effort normal |



4.2. Contraintes :

Toutes les contraintes en un point sont parallèles à l'axe de la pièce soumise à la traction.

$$\sigma_x = \frac{N_x}{S}$$

N : charge appliquée [N] S : section de l'éprouvette [mm^2]

D'après la loi de **Hooke**, la tension et l'allongement sont liés par le module d'élasticité E

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \quad \varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Rightarrow \frac{N_x}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{ou} \quad N_x = \frac{ES}{L_0} \cdot \Delta L$$

Pour la détermination expérimentale de l'effort de traction, l'échantillon de traction est muni à l'avant et à l'arrière de respectivement deux extensomètres, un extensomètre étant placé dans le sens de la longueur et l'autre dans le sens de la largeur. Les extensomètres d'un côté constituent une branche du pont. Ce dispositif offre les avantages suivants. La prise en compte de l'allongement dans le sens de la longueur et de la largeur accroît la sensibilité.

Compte tenu de la disposition sur les faces opposées, les efforts de torsion superposés n'ont aucune influence sur la mesure. Le signal de sortie U_A du pont de mesure est référencé à la tension d'alimentation U_{AE} . Avec la sensibilité k de l'extensomètre, l'allongement ε du pont intégral peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + \mu)} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

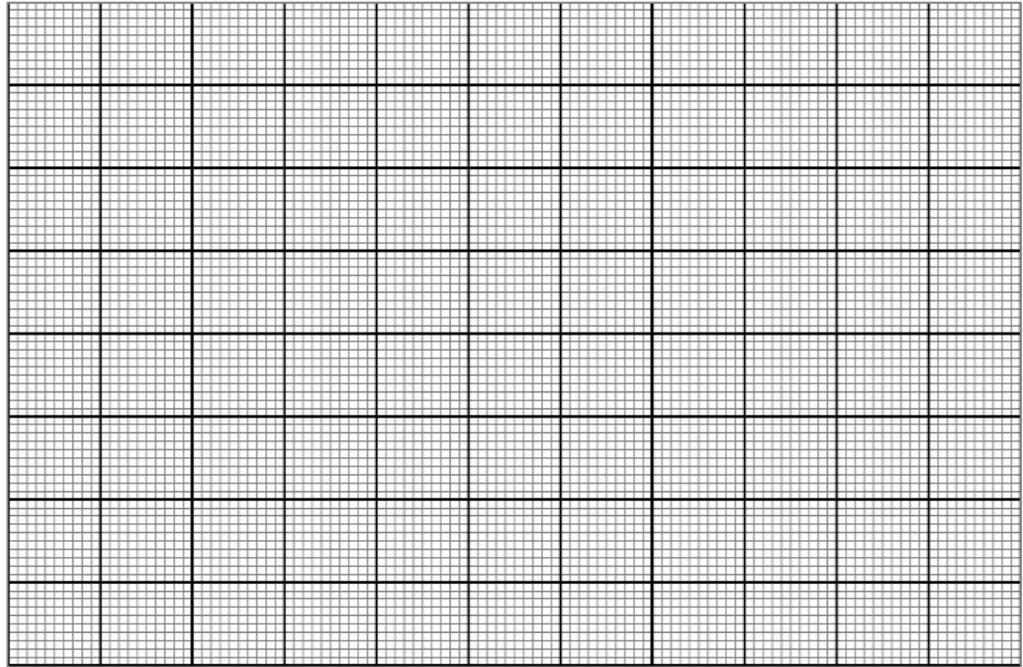
Les allongements et les efforts peuvent être calculés à partir de la tension du pont mesurée $\frac{U_A}{U_E}$

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + \mu)} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x$$

5. Réalisation de l'essai

1. Monter la **barre** dans le cadre.
2. Raccorder l'appareil de mesure et le mettre en marche.
3. Ajuster le zéro de l'affichage avec le réglage d'offset.



3. Déterminer E (le module de **YOUNG**)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Discussion des résultats.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

Conclusion :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

☞ TP N°02 : Essai de flexion des poutres

1. But de la manipulation :

Ce TP vise à apprendre comment estimer le *module d'élasticité* d'un matériau donné, constituant *une poutre*, à travers un *essai de flexion simple*. Il invite également l'élève ingénieur à analyser *la sensibilité* de ce paramètre (module d'élasticité) par rapport aux grandeurs géométriques de la poutre testée à savoir :

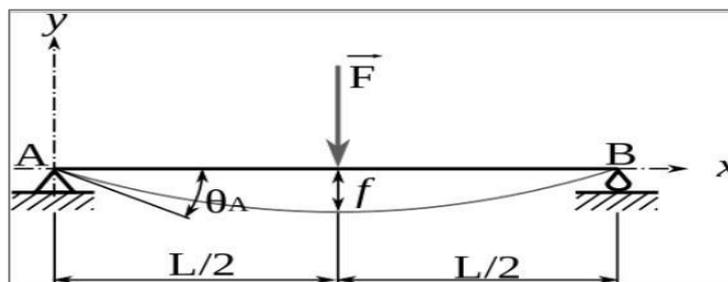
- Son inertie
- Sa longueur de portée
- La nature de ses appuis

Pour chaque essai de flexion réalisé sur une poutre donnée, le groupe concerné par ce TP va tracer des courbes de chargements, calculer des déflexions et déterminer au final des modules d'élasticité.

2. Principe de l'essai de flexion

La flexion trois points est un essai mécanique classique qui représente le cas d'une poutre posée sur deux appuis simples, qui sont des appuis linéaires rectilignes. Dans un problème plan, ces appuis équivalent à une liaison ponctuelle. La poutre est soumise à une charge concentrée, appliquée au milieu de celle-ci, avec également un contact simple. Pour simplifier l'analyse, on modélise souvent l'un des appuis comme un pivot, ce qui permet d'empêcher le déplacement horizontal de la poutre.

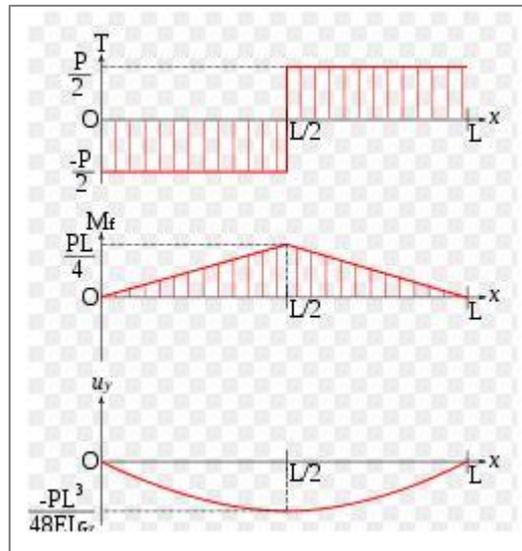
Dans la figure ci-contre, la poutre a une longueur L et la charge centrale est F .



L'effort tranchant est constant en valeur absolue : il vaut la moitié de la charge centrale, soit ($P/2$). Il change de signe au milieu de la poutre. Le moment fléchissant varie de manière

linéaire entre une extrémité, où il vaut 0, et le centre où sa valeur absolue vaut $(PL/4)$; c'est là que le risque de rupture est le plus important.

Le profil de la poutre est décrit par un polynôme du troisième degré (fonction en (x^3)) sur une moitié de la poutre (l'autre moitié étant symétrique).

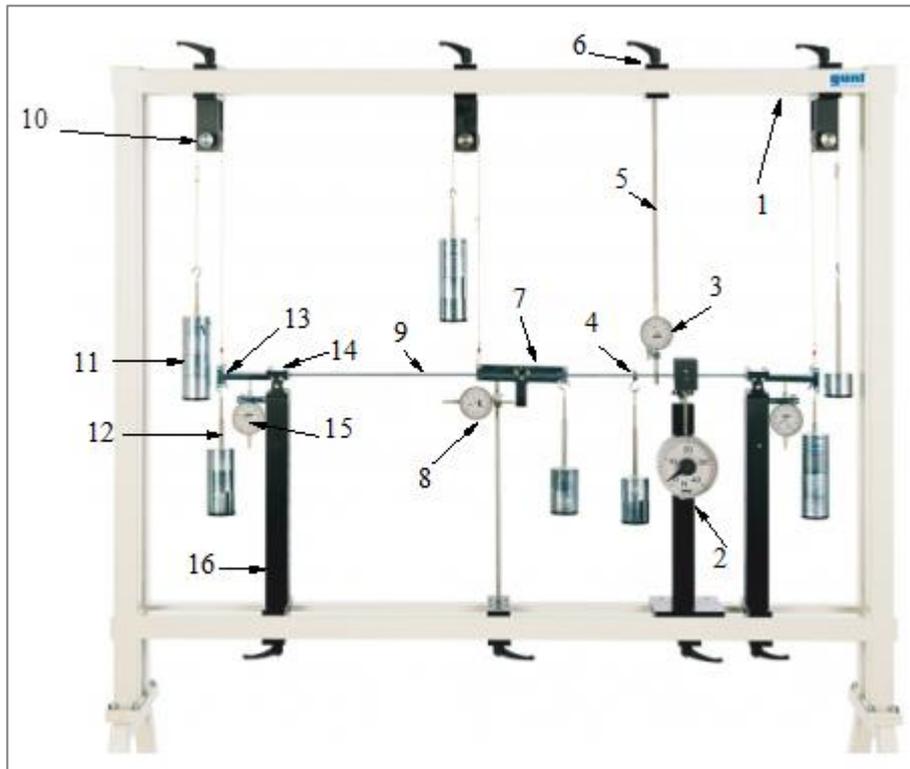


3. Etude expérimentale

3.1. Description de l'appareil

Le dispositif permettant de réaliser un essai de flexion sur une poutre donné est constitué de :

1. Bâti de montage SE 112.
2. Appui supplémentaire avec dynamomètre cadran.
3. Compas à cadran pour la mesure de flexion.
4. Crochet coulissant.
5. Tige de guidage.
6. Levier de serrage.
7. Tôle de sollicitation par couple.
8. Compas à cadran pour la mesure de l'inclinaison.
9. Poutre.
10. Poulie de renvoi.



11. Support d'accrochage de poids avec poids.
12. Cordons.
13. Levier de génération de moment.
14. Dispositif de fixation.
15. Support d'appui

4. Travail demandé

4.1. Essai 1 : Sollicitation par une force unique

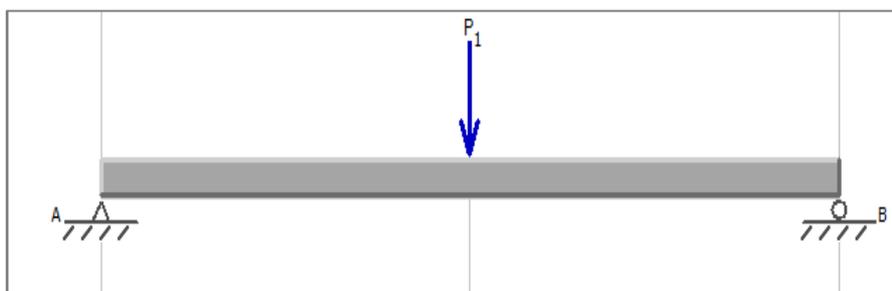


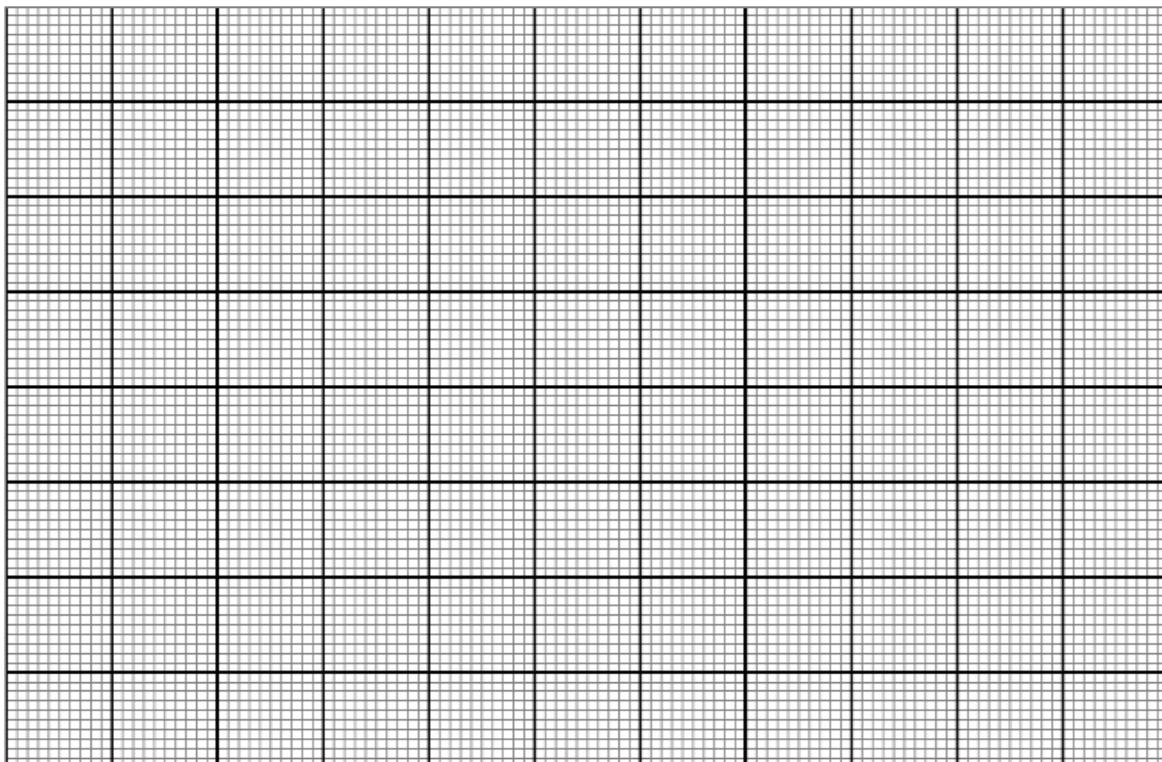
Figure : Flexion d'une poutre sur deux appuis.

1. Fixer les supports d'appuis écartement $L=800\text{mm}$ dans la traverse intérieure du cadre, mettre en place et visser la poutre.
2. Installer le comparateur à cadran de mesure de flexion, de telle sorte que la mesure de flexion se fasse exactement au centre de la poutre.
3. Remettre à zéro le comparateur à cadran.

4. Afin de mesurer l'inclinaison de la poutre aux appuis, on peut installer des comparateurs à cadran supplémentaire et les régler à zéro.
5. Au milieu de la poutre, visser des crochets mobiles et accrocher successivement différents poids (P.ex. 5N, 10N,.....25N).
6. Mesurer le fléchissement respectif avec le comparateur à cadran.
 - a) Compléter le tableau suivant :

Charge (N)	Fleche (m)
5	
10	
15	
20	
25	

- b) Tracer la variation de la charge en fonction de la flèche.



- c) En se référant à l'expression théorique de la flèche indiquée ci-dessous, estimer le module d'Young de cette poutre.

$$y_c = -\frac{FL^3}{48EI_{GZ}}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

d) Calculer le moment d'inertie pour la poutre (section rectangulaire avec b=20mm, h=4 mm).

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

.....

.....

.....

.....

.....

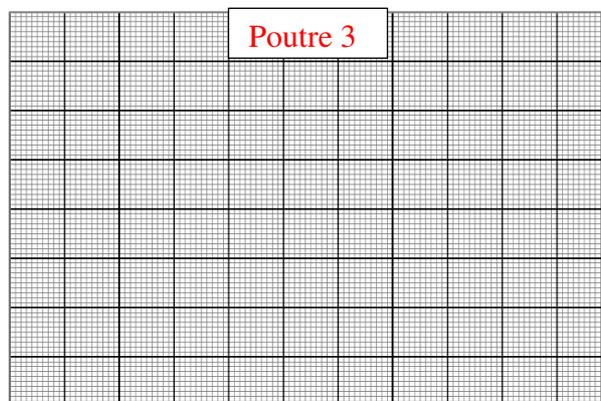
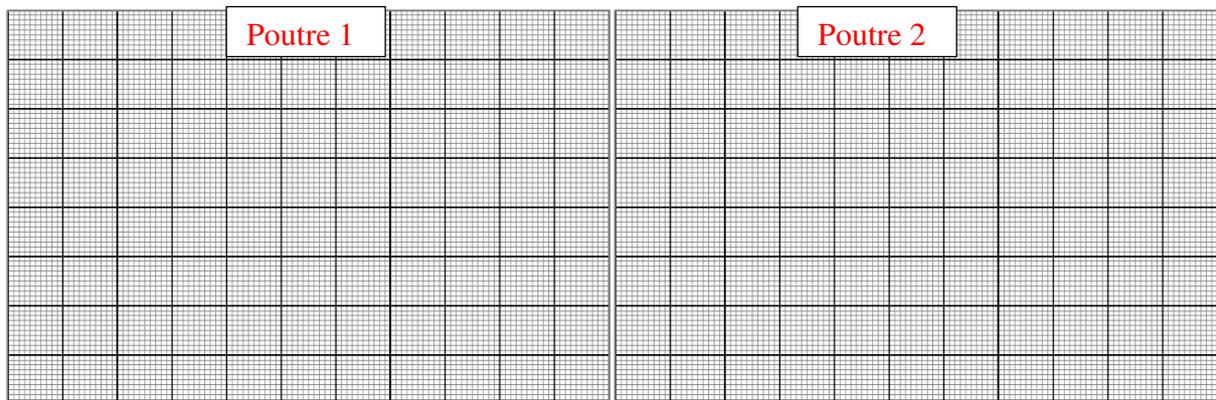
☞ Refaire *la même* expérience avec une poutre en acier et en cuivre, ayant la même forme et les mêmes dimensions que celle en aluminium.

Poutre en Aluminium		Poutre en Acier		Poutre en Cuivre	
Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)
5					
10					
15					
20					
25					

1. Tracer les courbes de chargements relatives aux deux essais (poutres en acier et en aluminium) dans le même graphe.

Poutre 1 3 mm *20 mm		Poutre 2 4 mm *20 mm		Poutre 3 5 mm *20 mm	
Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)

a) Tracer la courbe force-déplacement



b) En se référant à l'expression théorique de la flèche indiquée précédemment, estimer le module d'Young de la poutre considérée

.....

.....

.....

.....

.....

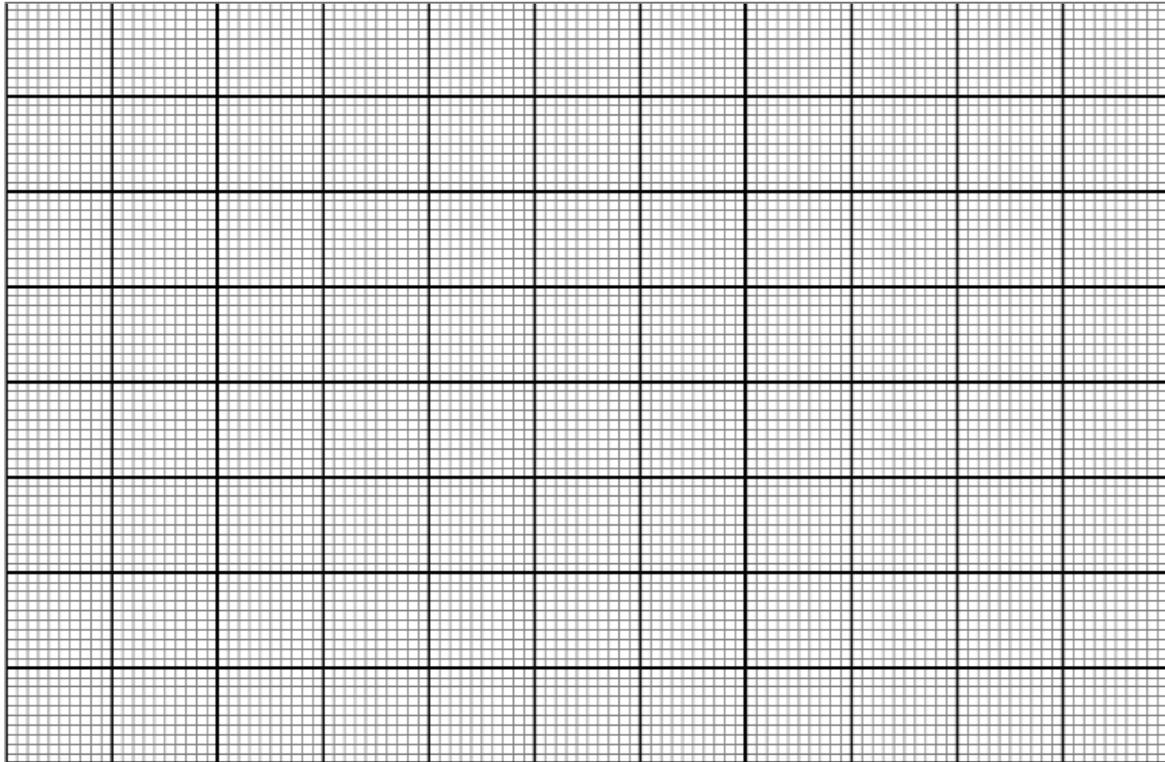
.....

.....

.....

.....
.....

c) Tracer les courbes force –déplacement de différentes sections sur le même graphe



d) Conclure à propos de l'influence de l'inertie sur le module d'élasticité.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Partie 3 : Variation de la longueur de la poutre (portée)

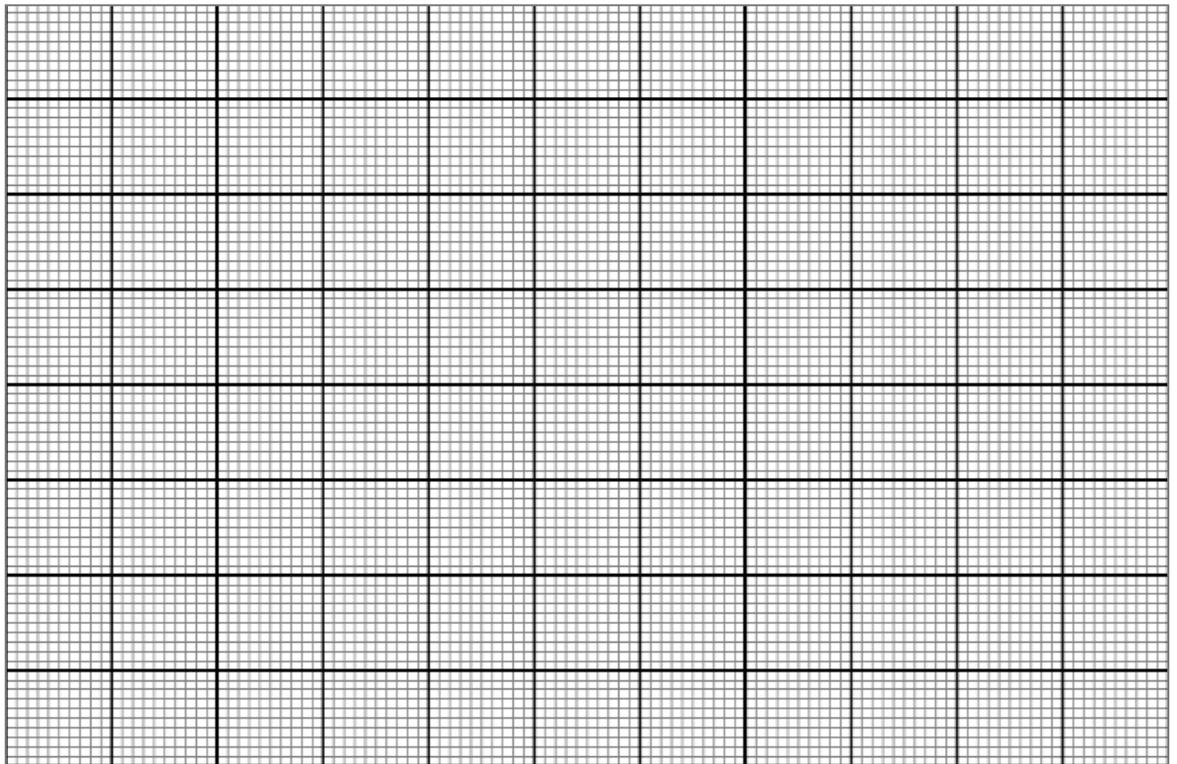
Considérons trois poutres rectangulaires en aluminium de dimensions 4 mm * 20 mm et de longueurs indiquées dans le tableau ci-dessous

2.1. Pour chaque poutre, on vous demande de :

- Fixer au dispositif de manière à ce qu'elle la poutre soit simplement appuyée.
- Appliquer les mêmes charges sur chaque poutre (au milieu) conformément aux valeurs proposées dans le **Tableau 1** et relever les déplacements ayant eu lieu à travers de la lecture indiquée sur le déflectomètre.

Poutre 1 L = 300 mm		Poutre 2 L = 400 mm		Poutre 3 L = 500 mm	
Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)	Charge (N)	Flèche (mm)

1. Tracer les courbes force –déplacement des éprouvettes de différentes longueurs sur le même graphe.



2. Conclure à propos de l'influence de la portée d'une poutre sur le module d'élasticité constituant son matériau.

.....

.....

.....

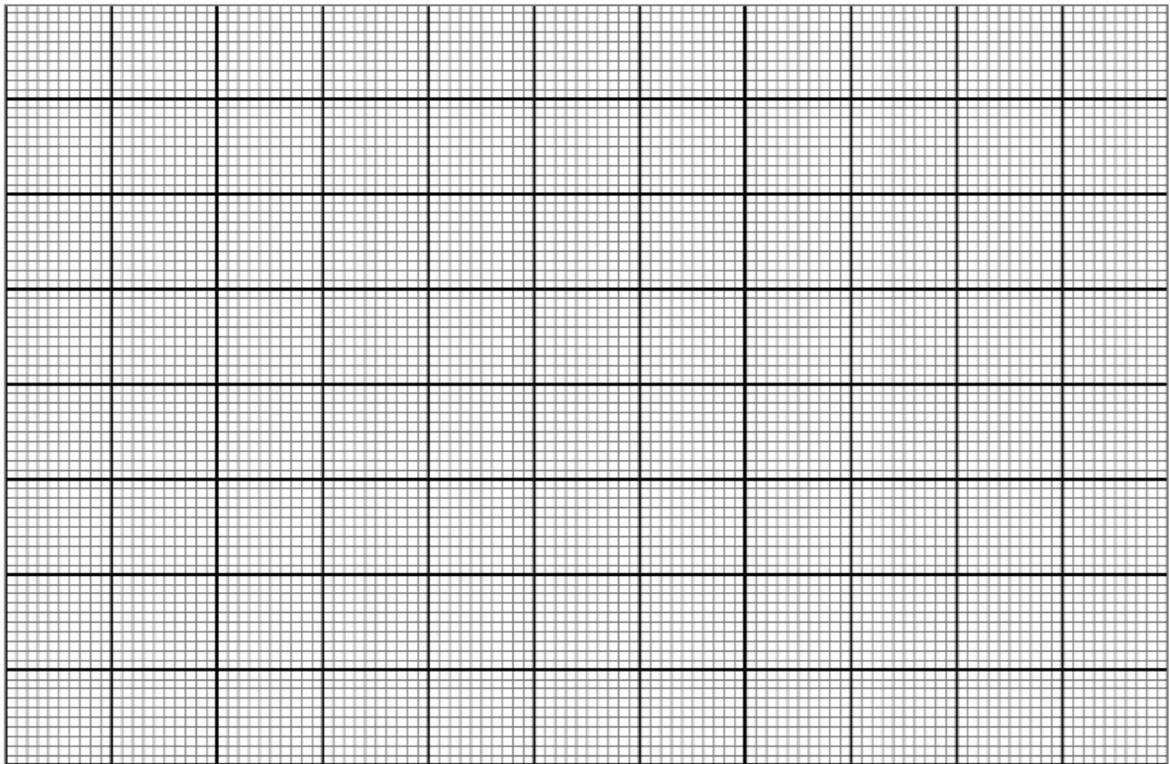
.....

.....

.....

3. Partie 4 : Variation de l'appui

- Reprendre la poutre en aluminium rectangulaire de dimensions 4 * 20 mm, et de longueur L= 500 mm (de la partie 1) et la fixer au dispositif de manière à ce qu'elle soit **encastrée d'un seul côté**.
- Positionner le déflectomètre au milieu de la poutre
- Appliquer les charges sur cette poutre conformément aux valeurs proposées dans le Tableau 1.
- Pour chaque charge appliquée, estimer le déplacement ayant eu lieu à travers de la lecture indiquée sur le déflectomètre.
- Tracer la courbe force-déflexion sur un graphe.



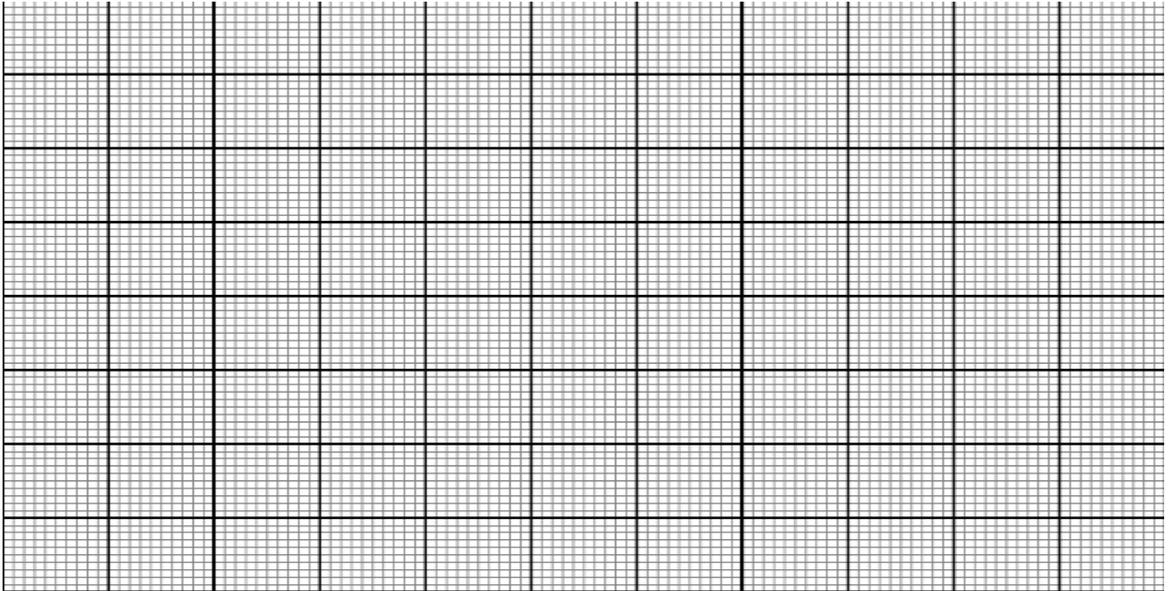
- En se référant à l'expression théorique de la flèche indiquée ci-dessous, estimer le module d'Young de cette poutre.

$$f_{max} = y(l) = - \frac{FL^3}{3EI_{GZ}}$$

.....

.....
.....
.....
.....

- Tracer les courbes force –déplacement pour l'éprouvette simplement appuyée et l'éprouvette encastree d'un seul côté, sur le même graphe.



- Conclure à propos de l'influence de la nature d'appuis d'une poutre sur le module d'élasticité constituant son matériau.

.....
.....
.....
.....

Conclusion :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

☞ TPN°03 : Flambement des poutres



1. But de la manipulation

L'objectif de cette manipulation est de déterminer expérimentalement la force critique F_c et la flèche maximale de la poutre y_{max} , en faisant varier les types de liaisons et les poutres considérées (matériaux, sections).

2. Rappel théorique

Considérons une poutre rectiligne de longueur L_r comprise entre trois et huit fois la plus faible de ses dimensions transversales.

Lorsque cette poutre subit une charge axiale F croissante, tendant à la raccourcir (compression), on observe 2 types de sollicitations :

- ✚ Pour $F \leq F_{cr}$ (charge critique) : la poutre est comprimée, elle reste rectiligne et se raccourcit.
- ✚ A chaque instant, la contrainte normale $\sigma = \frac{F}{S}$ et le raccourcissement de la pièce se fait suivant la loi de Hooke.
- ✚ Pour $F \geq F_{cr}$: la poutre fléchit brusquement et on observe de grands déplacements dans lesens transversal. Si on relâche l'effort axial, la structure revient à sa position initiale : on parle alors d'une instabilité élastique.

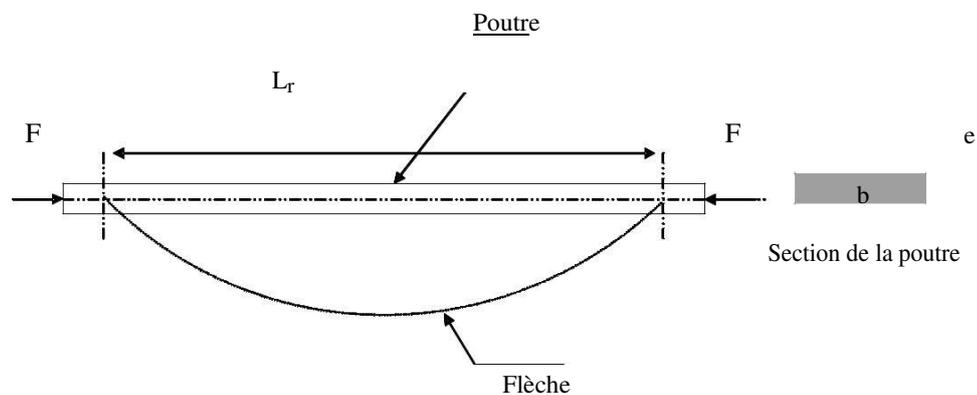
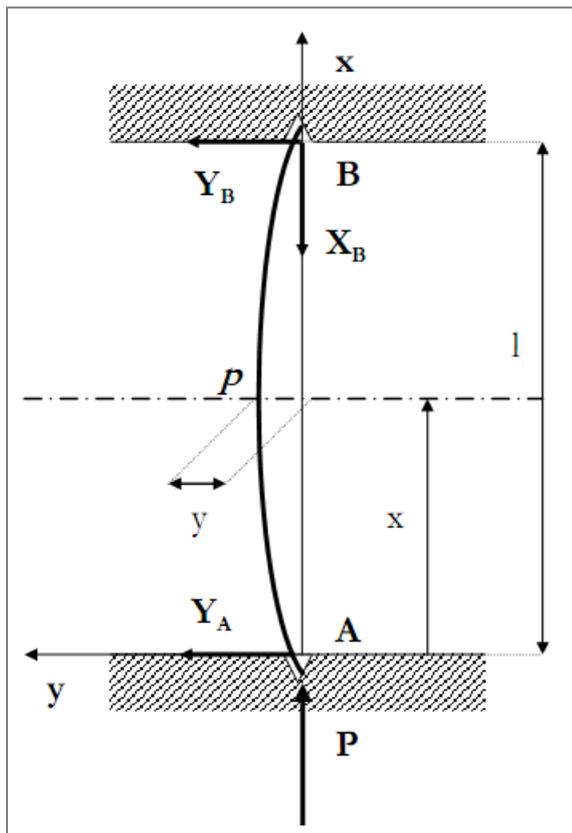


Fig. 1 : Représentation schématique de la poutre flambée.

Etude préliminaire :

La déformation de la barre analogue à celle d'une poutre fléchie est caractérisée par une flèche maximale y_{max}

Cas parfait :



Torseur intérieur :

$$M_f = -P \cdot y$$

$$T = 0$$

$$N = -P$$

Equation différentiel de la déformé :

$$M_f = -P \cdot y$$

$$M_f = E \cdot I \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \cdot y = 0$$

On pose $\omega^2 = \frac{P}{EI}$. Ainsi on obtient comme solution de l'équation différentielle :

$$y = 0 : \text{Cas de la compression pure (éliminé)}$$

$$y = A \cos(\omega x) + B \sin(\omega x)$$

Condition aux limites :

$$\text{En A : } x=0 \text{ et } y=0 \text{ d'où } A=0$$

$$\text{En B : } x=l \text{ et } y=0 \text{ d'où } B \sin(\omega l) = 0$$

Pour éviter le cas de la compression pure on prend $B \neq 0$

Ainsi on a :

$$\sin(\omega l) = 0$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{k\pi}{l} = \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

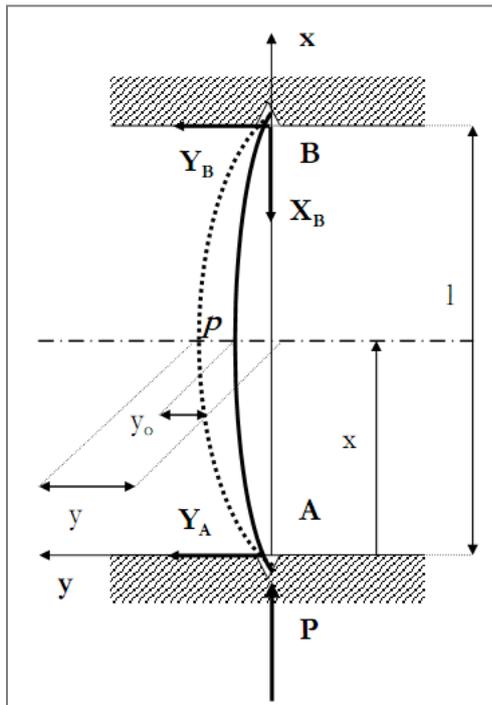
A l'ordre 1 on a : $k=1$ d'où $\omega = \frac{\pi}{l}$ et $P=P_c$

Ainsi $P_c = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$, où P_c est la charge critique d'Euler

$$y = B \sin\left(\frac{\Pi}{l} \cdot x\right)$$

Cas générale :

Dans la réalité, la charge n'est jamais bien centrée et les poutres ne sont jamais parfaitement rectilignes.



Désormais on a :

$$Mf = -P \cdot (y + y_0)$$

On obtient donc :

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \omega^2 y = -\omega^2 y_0$$

On admet que $y_0 = a \sin\left(\frac{\Pi}{l} \cdot x\right)$ (avant déformation)

Avec a = Flèche maximale à l'état initiale.

On obtient ainsi la solution suivante :

$$y = A \cos \omega x + B \sin \omega x + \frac{a}{\left(\frac{\Pi}{\omega l}\right)^2 - 1} \sin \frac{\Pi}{l} x$$

Conditions aux limites :

Au point A : $x=0$ et $y=0$ d'où $A=0$

Au point B : $x=l$ et $y=0$ d'où $b=0$

Ainsi on obtient :

$$y = \frac{a}{\left(\frac{\Pi}{\omega l}\right)^2 - 1} \sin \frac{\Pi}{l} x = y_0 \cdot \frac{\omega^2 l^2}{\Pi^2 - \omega^2 l^2}$$

Connaissant la flèche initiale on aura donc la flèche finale :

$$y_{\max} = a + \frac{a}{\left(\frac{\Pi}{\omega l}\right)^2 - 1}$$

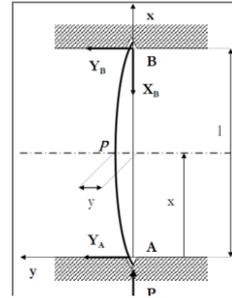
Les différent cas de flambage étudiés :

La charge critique d'Euler est exprimée de la façon suivante :

$$P_c = \frac{\Pi^2.E.I}{\alpha.l^2}$$

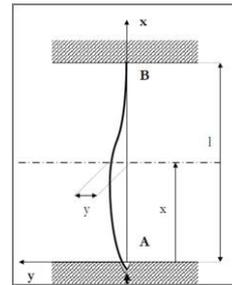
Poutre articulée aux deux extrémités : $\alpha = 1$

$$P_{c_1} = \frac{\Pi^2.E.I}{l^2}$$



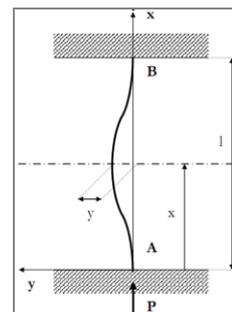
Poutre articulée d'un coté et encastré de l'autre : $\alpha = \frac{1}{2}$

$$P_{c_2} = \frac{\Pi^2.E.I}{\left(\frac{l}{\sqrt{2}}\right)^2}$$



Poutre encastrée aux deux extrémités : $\alpha = \frac{1}{4}$

$$P_{c_3} = \frac{\Pi^2.E.I}{\left(\frac{l}{2}\right)^2}$$



Application numérique :

$$L=700\text{mm} ; E= 210\ 000\ \text{Mpa} ; I = \frac{bh^3}{12} = 45\text{mm}^4$$

$$P_{c_1} = 190\text{N}$$

$$P_{c_2} = 180\text{N}$$

$$P_{c_3} = 760\text{N}$$

Pour $l^2 = \alpha \cdot l^2$ on a :

$$y(x) = \frac{\alpha \cdot \omega^2 \cdot l^2}{\Pi^2 - \alpha \cdot \omega^2 \cdot l^2} \cdot y_0(x) \quad \text{avec} \quad \omega^2 = \frac{P}{E \cdot I} \quad \text{et} \quad P_c = \frac{\Pi^2 \cdot E \cdot I}{\alpha l^2}$$

D'où :

$$y(x) = \frac{P}{P_c - P} \cdot y_0(x)$$

On obtient donc l'équation de la droite de Southwell :

$$\frac{y}{P} = \frac{1}{P_c} y + y_0$$

3. Etude expérimentale

3.1. Description de l'appareillage

L'appareil universel d'étude de flambement WP 120 **GUNT** permet d'effectuer une série d'expériences en vue de déterminer les charges critiques de flambement des poutres en fonction de leurs élancements et des conditions de fixation de leurs extrémités. L'appareil permet l'étude de poutres de longueur comprise entre 400 et 800 mm. Ces poutres ont une section rectangulaire, de manière à se déformer dans un plan bien déterminé.

Des blocs de fixation permettent de tester les poutres dans les conditions suivantes :

- Poutres articulées aux deux extrémités
- Poutres encastrées aux deux extrémités
- Poutres articulées à une extrémité et encastrées à l'autre

La charge est appliquée par l'intermédiaire d'un dynamomètre et d'une poutre de mise en charge ; pour que cette poutre reste horizontale pendant la mise en charge, elle est montée sur une articulation dont on peut régler la hauteur de manière que la charge appliquée

3.2 Travail demandé et exploitation des résultats

En agissant sur la manivelle de droite, on obtient une force exercée F sur la poutre proportionnelle à P

On a une relation du type $P = \delta F$. Mesurez les distances d et D sur le dispositif de flambement et déterminer δ en se basant sur le principe fondamental de la statique.

Partie 1 : Effet des conditions aux extrémités sur la charge critique du flambement

Procédure expérimentale

- Considérons une poutre en aluminium de longueurs de 700 mm
- Vérifier que deux extrémités de fixation de l'éprouvette sont relatives à un montage articulé/articulé.
- Mesurer la section de l'éprouvette considérée et calculer son moment quadratique.
- Comprimer légèrement l'éprouvette de manière à ne pas avoir une transmission de la charge afin juste de la maintenir.
- Mettre le zéro de mesure et commencer à charger l'éprouvette.
- Pour chaque chargement P , relever le déplacement y

P(N)				
F(N)				
y (mm)				

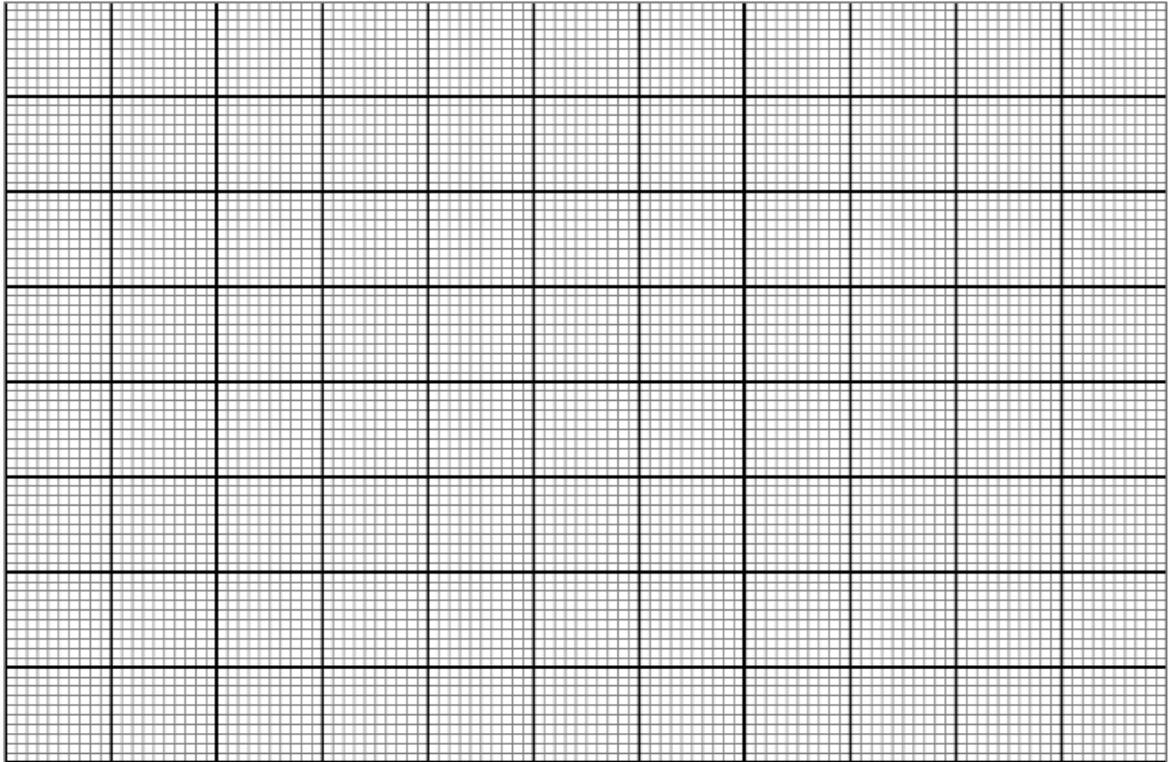
- Arrêter le chargement dès que vous remarquez que l'effort n'augmente plus ou commence juste à diminuer (la force maximale atteinte est la force de flambement critique).

NB : Ne continuer pas à charger la structure lorsqu'on atteint la charge critique.

Comparer les résultats expérimentaux et ceux calculés à partir de la formule d'Euler de la force critique

1. Changer les extrémités de fixation afin d'avoir un montage articulé/encasté et refaire les mêmes étapes précédentes

2. Changer les extrémités de fixation afin d'avoir un montage encastré/encastré et refaire les mêmes étapes précédentes
3. Tracer les courbes $F = f(y)$ pour les trois modes de fixation sur un même graphe



4. Examiner les résultats et conclure

Partie 2 : Effet de la variation de la longueur de la poutre sur la charge critique de flambement

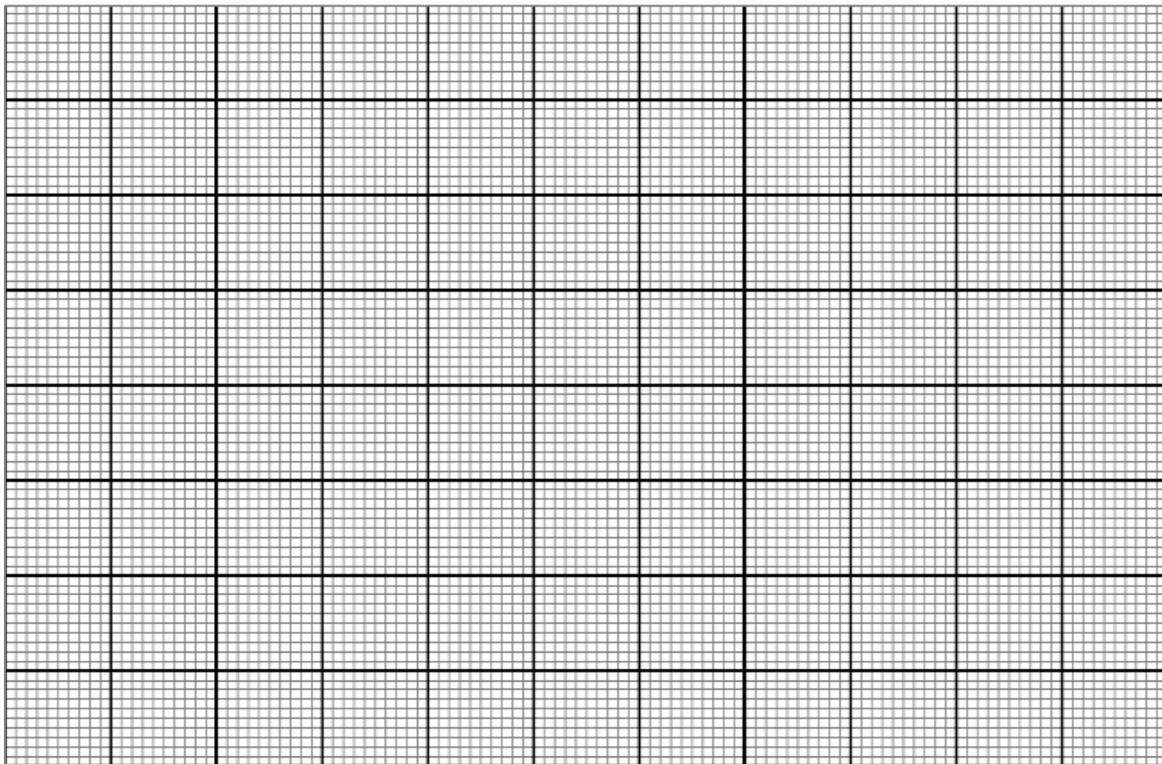
Procédure expérimentale

- Considérons des poutres en aluminium de longueurs : 500 mm, 600 mm et 700 mm
- Vérifier que deux extrémités de fixation de l'éprouvette sont relatives à un montage articulé/articulé.
- Mesurer la section de l'éprouvette n°1 (la plus courte) et calculer son moment quadratique.
- Comprimer légèrement l'éprouvette de manière à ne pas avoir une transmission de la charge afin juste de la maintenir.
- Mettre le zéro de mesure et commencer à charger l'éprouvette.

- Arrêter le chargement dès que vous remarquez que l'effort n'augmente plus ou commence juste à diminuer (la force maximale atteinte est la force de flambement critique).
- Répéter la même chose avec les éprouvettes 2 et 3.

N°	Longueur L_r (mm)	F_c théorique (N)	F_c expérimentale (N)	$1 / L_r^2$ (m^{-2})
1	500			
2	600			
3	700			

1. Tracer les courbes théoriques $F_{c\text{ théorique}} = f(1/L_r^2)$ et expérimentales $F_{c\text{ expérimentale}} = f(1/L_r^2)$



2. Déterminer les pentes des courbes théoriques (calculés à partir de la formule d'Euler) et expérimentales et comparer les résultats

.....

.....

.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Est-ce que la formule d'Euler prédit la force critique de flambement. Justifier la réponse.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Conclusion :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

TPN°03 04 Essais de fluage**1. Essais de fluage**

L'essai de fluage consiste à appliquer un effort F à l'échantillon (traction ou compression) et à enregistrer son allongement ou sa réduction DL en fonction du temps.

La différence de principe entre essai de traction et essai de fluage en traction réside donc dans le fait que c'est une vitesse de déformation qui est appliquée dans le premier cas et une contrainte dans le second.

La plupart des métaux ont des températures de fusion élevées, le fluage n'apparaît que pour des températures très supérieures à la température ambiante. Mais certains alliages, comme l'amalgame en odontologie (alliage polyphasé), du fait du mercure, possèdent des phases dont la température de fusion est proche de la température ambiante. L'amalgame peut fluer sous son propre poids à température ambiante. Les polymères fluent pour la plupart à température ambiante.

Pour les métaux, les céramiques et les polymères, la réponse expérimentale (courbe de fluage) comporte trois domaines plus ou moins apparents selon le matériau et la température :

- Le fluage primaire au cours duquel la vitesse de déformation diminue corrélativement à une augmentation de résistance du matériau.

- Le fluage secondaire au cours duquel la vitesse de déformation reste constante

Le fluage tertiaire caractérisé par une augmentation de la vitesse de déformation associée à l'apparition d'un endommagement sensible à l'échelle mécanique (formations de cavités).

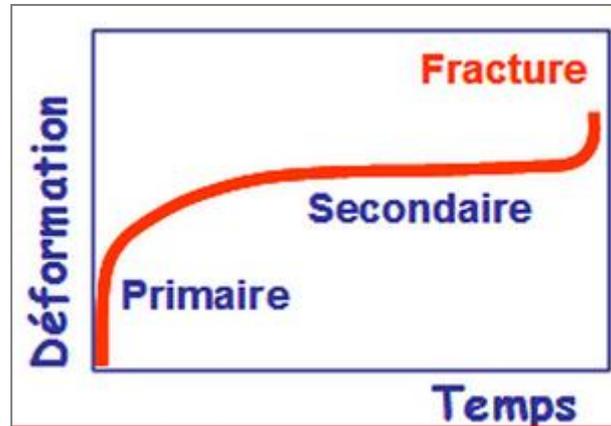
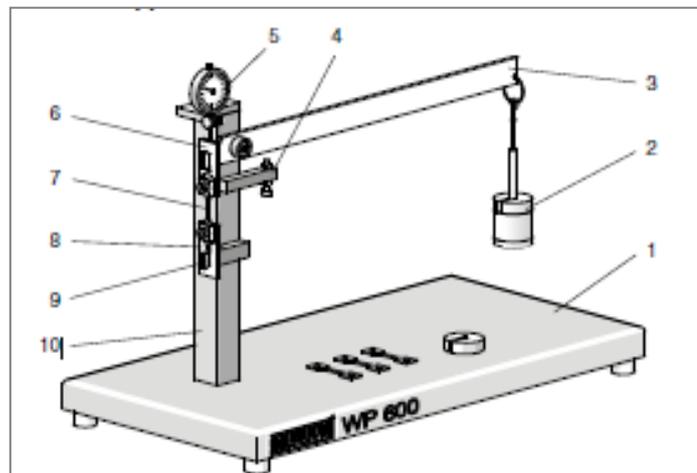


Figure : Schéma d'un diagramme de fluage

2. Description de l'appareil

2.1. Structure de l'appareil

1. Socle
2. Poids de charge
3. Levier de transmission
4. Butée réglable Non illustrés
5. Comparateur à cadran
6. Porte-échantillons supérieur
7. Échantillon
8. Porte-échantillons inférieur
9. Butée inférieure
10. Pilier support
11. Chambre climatisée
12. Éléments de refroidissement
13. Thermomètre à sonde
14. Socle de fixation



La force d'essai constante et continue est créée via le levier de transmission (3) avec charge de poids. Le levier de transmission et un jeu de poids gradués (2) permettent de régler des forces d'essai de 50...250 N avec une graduation de 5 N. L'échantillon plat (7) est calé dans les porte-échantillons (6, 8). Pour éviter des efforts de flexion de l'échantillon, les porte-échantillons sont équipés de supports à couteau.

3. Fluage des plastiques

Les courbes de fluage des **plastiques** ressemblent à celles des métaux. Différents plastiques, tels que le **polypropylène (PP)** ou le **polyéthylène (PE)**, montrent également un comportement au fluage marqué à la température ambiante. Cependant, les causes du fluage se distinguent de celles dans le cas des métaux. Lors du fluage, les macromolécules se rangent et s'allongent.

Dans ce cas aussi, le fluage dépend de la **contrainte et de la température**. En raison des différentes structures moléculaires, il est en général difficile d'indiquer des rapports valables pour le fluage des plastiques. Les études empiriques donnent les formules suivantes valables pour la plupart des plastiques techniques :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + B \cdot \sigma^m \cdot t^k$$

En l'occurrence, ε est l'allongement en fonction du temps t . Les constantes B , m , k dépendent du matériau.

L'allongement élastique peut être calculé via le module d'élasticité. Dans le cas de nombreux polymères, cette composante élastique est si petite par rapport à l'allongement total qu'elle peut ne pas être prise en compte

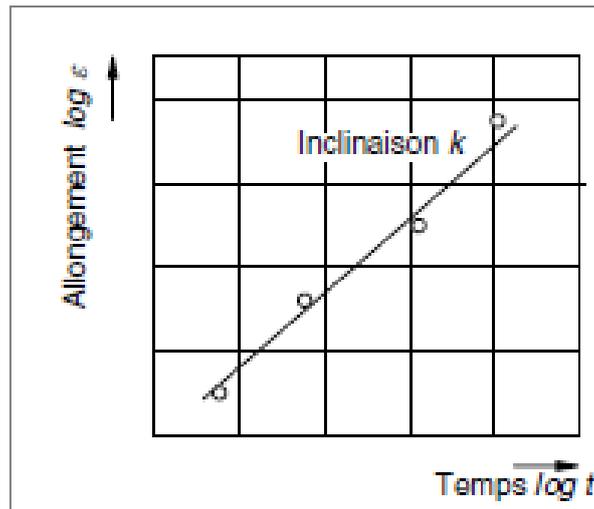
$$\varepsilon = B \cdot \sigma^m \cdot t^k$$

Le calcul logarithmique donne:

$$\log \varepsilon = \log B + m \cdot \log \sigma + k \cdot \log t$$

Pour une contrainte constante, on obtient en appliquant $\log \varepsilon$ sur $\log t$ des droites avec l'inclinaison k .

Pour les plastiques, la constante k se situe entre $k = 0,025$ et $k = 0,33$. La constante est une mesure pour la composante de la déformation élastique à la déformation visqueuse.



Dans le cas des plastiques, l'allongement à la rupture est si grand que l'essai n'est souvent pas réalisé jusqu'à la rupture. Lors de la décharge, la déformation en fluage se résorbe de nouveau en grande partie. Aucune **relaxation** ne se produit.

En l'occurrence, la réponse temporelle se situe dans la même grandeur que dans le cas de la charge.

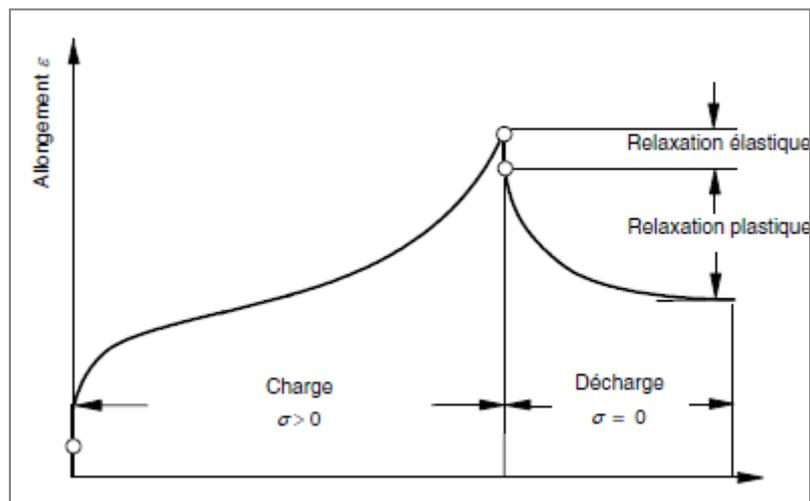
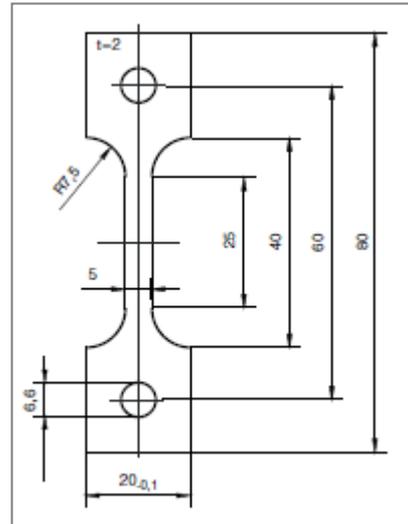


figure : Courbe allongement-temps avec restauration après décharge dans le cas des plastiques

4. Caractéristiques techniques

Échantillons

- Matériau Plomb, polyéthylène (PE)
- Section 2mm x 5 mm
- Longueur de mesure 25 mm



5. Feuille de travail

1. Remplir le tableau.
2. Tracer le diagramme $\Delta l = f(\epsilon)$
3. Interpréter les résultats obtenus.
4. Conclusion

t(min)	Δl (mm)	ϵ
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

TP 05:Essai de Fatigue



- On appelle fatigue une sollicitation mécanique alternée, souvent mais pas nécessairement périodique, et de faible amplitude.
- La fatigue est souvent à l'origine de la rupture des pièces prothétiques dentaires, d'où la nécessité de reproduire ce mode de sollicitation au laboratoire. Lorsque l'on soumet un matériau à des cycles répétés d'efforts, il subit des modifications de microstructure regroupée sous le terme général d'endommagement par fatigue.
- Cet endommagement ne se signale par aucune modification macroscopiquement décelable et la rupture peut intervenir à des niveaux de contraintes peu élevés, souvent inférieurs à la résistance à la traction ou même à la limite d'élasticité.
- Le processus de fatigue implique l'apparition d'une fissuration qui se développe progressivement sous l'action de la répétition des sollicitations.
- Les essais les plus simples consistent à imposer à des séries d'éprouvettes (cylindriques ou rectangulaires) des cycles d'efforts périodiques sinusoïdaux soit par charge axiale soit par flexion rotative.

1. Introduction

Avec la machine de fatigue, on peut démontrer les principes de base de l'essai de résistance à la fatigue, y compris l'établissement d'une courbe de Wöhler. L'éprouvette est soumise dans la machine à une pure sollicitation de flexion alternée.

Des formes d'éprouvette différentes permettent de montrer l'influence de l'effet d'entaille et l'influence de la qualité de surface sur la résistance à la fatigue.

L'amplitude de la sollicitation alternée peut être

Réglée en continu.

En cas de rupture de l'éprouvette, la machine s'arrête automatiquement. Le nombre de cycles de charge est affiché par un totalisateur numérique.

2. Fonctionnement et construction

Dans la machine pour essais de flexion rotative, on sollicite par une force unique une éprouvette rotative encastrée d'un côté. Une contrainte en flexion est ainsi produite à l'intérieur de l'éprouvette cylindrique.

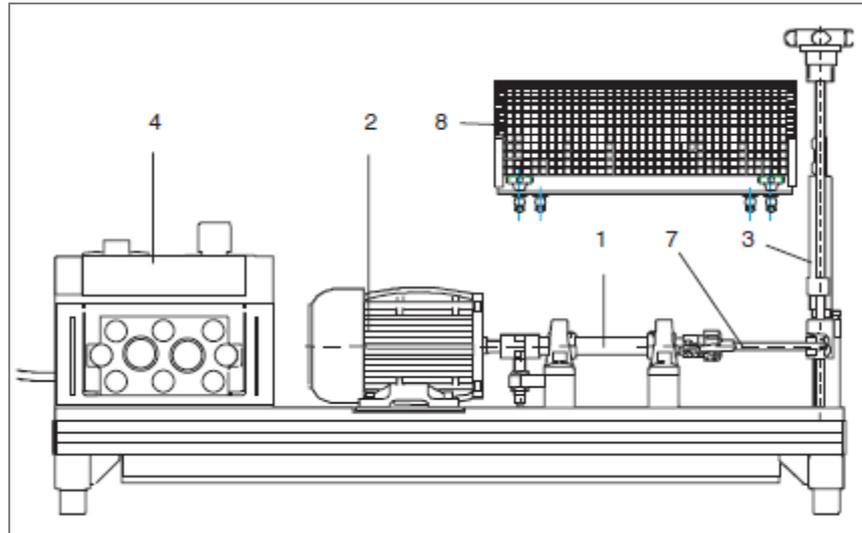
Après un certain nombre de cycles de charge, l'éprouvette se rompt en raison de la fatigue du matériau.

La machine pour essais de flexion rotative comprend essentiellement :

- Broche avec réceptacle pour éprouvettes (1)
- Moteur d'entraînement (2)
- Dispositif de charge (3)
- Coffret de commande avec la commande électrique et le compteur (4)
- Capot de protection (8)

La broche est montée sur deux paliers à roulement largement dimensionnés.

L'entraînement de la broche se fait via un moteur à courant alternatif monophasé silencieux.



3. Théorie

Les sollicitations par vibrations sont beaucoup plus dangereuses pour les éléments et les pièces de construction qu'une force statique appliquée une fois

En cas de répétition fréquente d'une sollicitation statique en soi admissible, une pièce de machine peut casser par fatigue du matériau. Lorsque le nombre de cycles de charge augmente, la sollicitation admissible diminue.

Même des sollicitations qui se situent dans la zone élastique en dessous de la limite apparente d'élasticité du matériau peuvent, en raison de pointes de tension locales, conduire à de petites déformations plastiques à l'intérieur de la pièce.

Cet effet détruit peu à peu le matériau en raison de la répétition permanente et il se produit finalement une rupture. Pour la défaillance, c'est moins la fréquence que le nombre absolu de cycles de charge qui est déterminant.

Avec la machine pour essais de flexion rotative WP140, on peut vérifier la résistance à la flexion alternée.

Des rayons de congé différents et des rugosités de surface différentes de l'éprouvette étagée permettent également l'étude de l'influence de l'encoche sur la résistance à la fatigue.

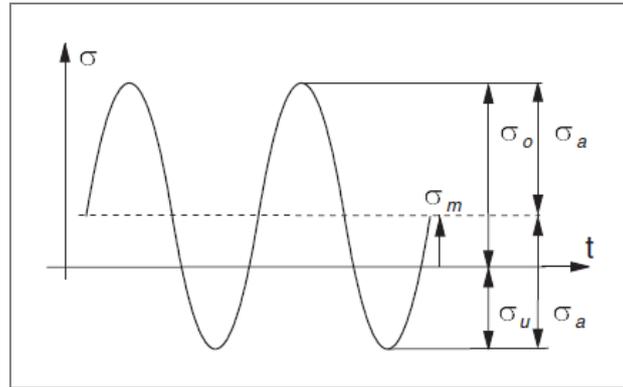
Sollicitation cyclique continue

La sollicitation cyclique se compose d'une partie constante, la tension moyenne σ_m causée par une charge préalable, et d'une partie cyclique superposée avec l'amplitude de tension

La plus grande tension intervenant est appelée σ_a

Tension maximale , la plus petite $\sigma_0 = \sigma_m + \sigma_a$

tension minimale $\sigma_u = \sigma_m - \sigma_a$



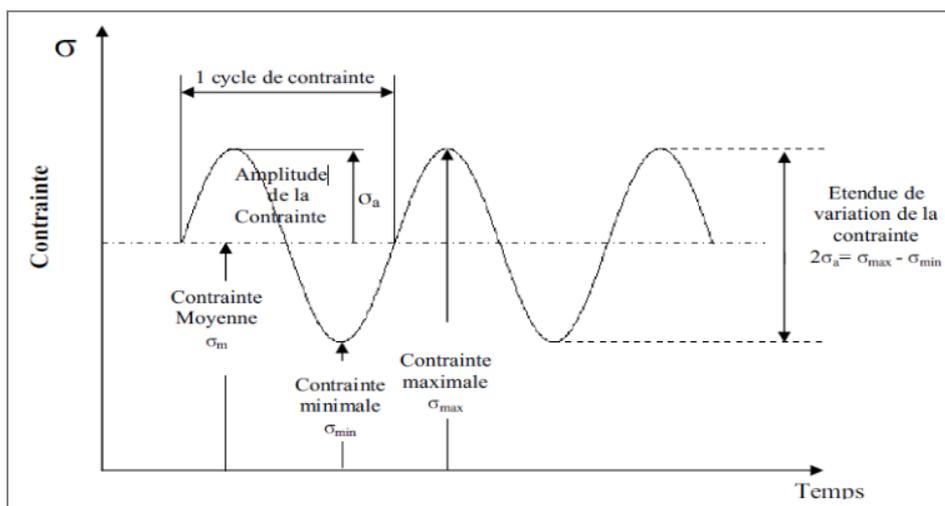
Lors de la sollicitation cyclique continue, on distingue trois zones:

- ❖ **Domaine des efforts ondulés (traction):** la tension moyenne est plus grande que l'amplitude de tension $\sigma_m \geq \sigma_a$
- ❖ **Zone des efforts alternés:** la tension moyenne est en valeur absolue inférieure à l'amplitude de tension $|\sigma_m| \leq \sigma_a$
- ❖ **Domaine des efforts ondulés (pression):** la tension moyenne est plus petite que l'amplitude négative de tension $\sigma_m \leq -\sigma_a$

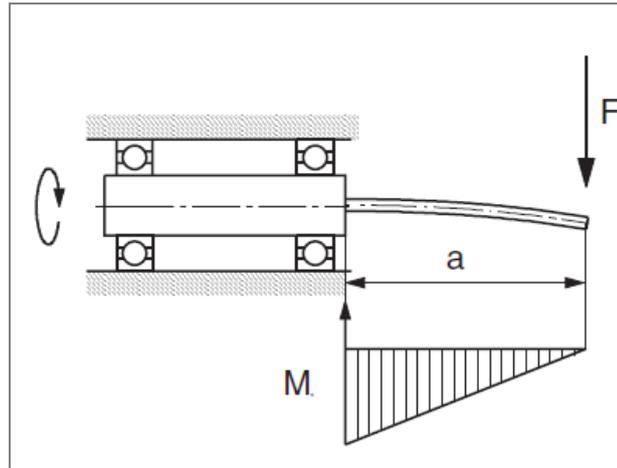
1. Sollicitation de l'éprouvette

La sollicitation de l'éprouvette correspond à une poutre en flexion encastree soumise à une **force unique F**. On génère ainsi dans l'éprouvette un moment de flexion M_b triangulaire.

Comme le moment de flexion est fixe dans l'espace, mais que l'éprouvette est en rotation, celle-ci est soumise à une contrainte de flexion alternée de forme sinusoïdale. Ce faisant, la contrainte de flexion la plus élevée intervient à l'épaulement de l'éprouvette.



Cycle de contrainte en fatigue



Il s'agit d'une sollicitation de flexion alternée pure sans tension moyenne. Dès lors, une machine pour essais de flexion rotative permet uniquement de déterminer la résistance aux efforts alternés σ_W . Elle constitue un cas spécial de la limite d'endurance à la fatigue pour les efforts répétés σ_W .

Le moment de flexion se calcule avec la charge et le bras de levier en $M_b = F \times a$

Compte tenu du module d'inertie de l'éprouvette

$$W_b = \frac{\pi d^3}{32}$$

l'amplitude de tension peut être calculée.

$$\sigma_a = \frac{M_b}{W_b} = \frac{32 \times a \times F}{\pi \times d^3} = \frac{32 \times 100.5 \text{ mm}}{\pi \times 8^3 \text{ mm}^3} \times F$$

$$\sigma_a = 2.0 \left(\frac{1}{\text{mm}^2} \right) \times F$$

5. Résistance à la fatigue aux efforts alternés

La résistance aux efforts alternés σ_W est celle pour laquelle le matériau ne présente pas de défaillance même après $N = 10 \times 10^6$ cycles de charge (acier). On peut alors considérer qu'une défaillance suite à la fatigue du matériau n'interviendra plus, la durée de vie est infinie.

6. Résistance à la fatigue pour une durée de vie déterminée

Une tension pour laquelle le matériau entre en défaillance en dessous de la limite de cycles de charge de 10×10^6 est appelée résistance à la fatigue pour une durée de vie déterminée. On doit ici indiquer entre parenthèses le nombre de cycles de charge respectif N avant la rupture, p. ex.

$$\sigma_{W5.10^5} = 220 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Durée de vie

On désigne par durée de vie le nombre N de cycles de charge avant la rupture pour une sollicitation déterminée. On indique ici entre parenthèses la grandeur de la sollicitation en tension moyenne et amplitude de tension, p. ex.

$$N_{(50 \mp 100)} = 2.6 \times 10^5$$

7. Notion de courbe de Wöhler

Vers la fin du XIXème siècle, Wöhler s'est intéressé au problème de rupture prématurée des essieux de wagons. Wöhler a utilisé une méthode simple basée sur un test de flexion rotative

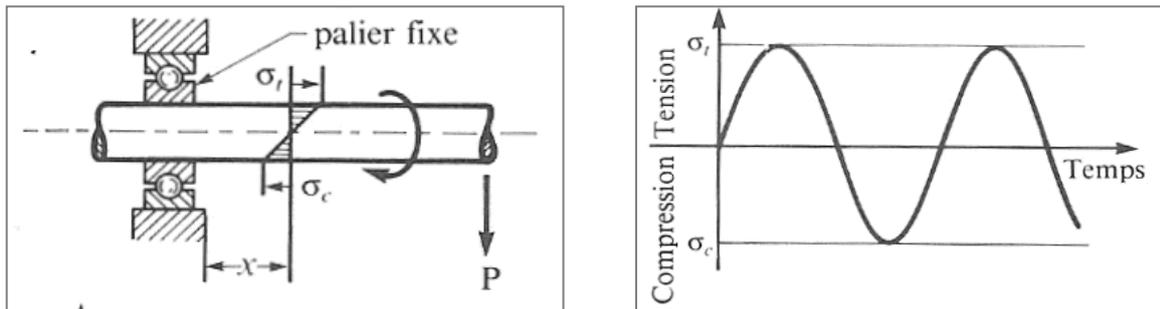
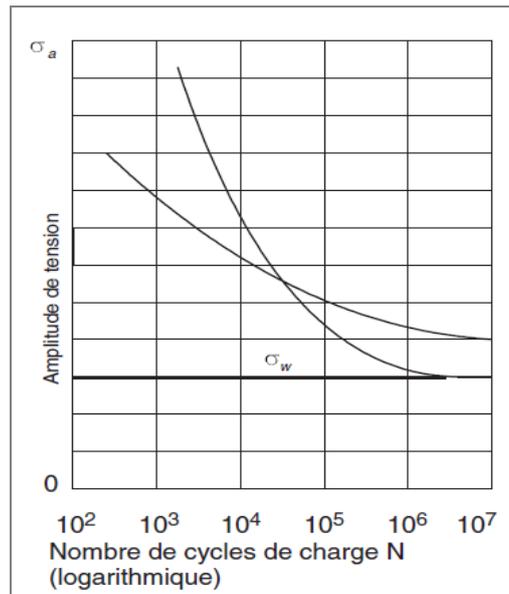


Figure : Flexion rotative

Dans le diagramme de Wöhler, on porte graphiquement la relation entre le nombre de cycles de charge avant la rupture et la sollicitation de tension. On y voit clairement que lorsque le nombre de cycles de charge augmente la sollicitation admissible se rapproche asymptotiquement de la limite d'endurance à la fatigue pour les efforts répétés σ_W .

Lors de l'enregistrement d'une courbe de Wöhler, on doit tenir compte de ce que, pour une sollicitation alternée, la tension moyenne ou, pour une sollicitation ondulée, le rapport de la tension maximale et de la tension minimale sur la tension moyenne doit être maintenu constant pour les différentes charges.

Comme pour la machine pour essais de flexion rotative la tension moyenne est nulle, cette condition est automatiquement remplie.



8. Réalisation d'un diagramme de Wöhler

1. Remplir le tableau

N°	Charge en N	Tension σ_a en N/mm	Durée de vie N	Durée de l'essai
1	200	...	14030	5 min
2	170	...	48800	17 min
3	150	...	167000	60 min
4	130	...	455000	2 h 42 min
5	120	...	1280800	7 h 37 min

2. Tracer le diagramme de Wöhler.

3. interpréter les résultats obtenus.

4. Conclusion

Fiche de travail diagramme de Wöhler

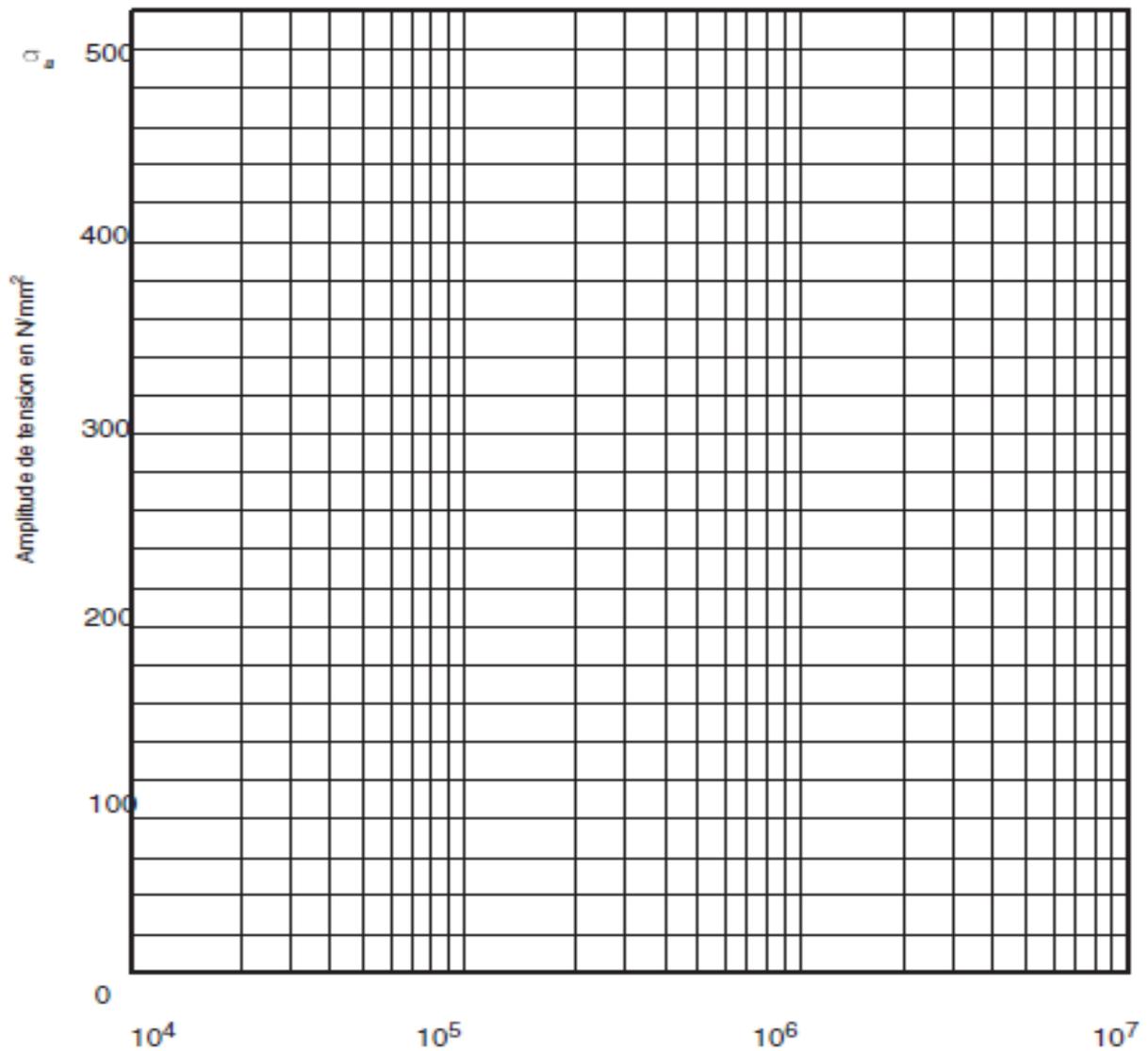


Diagramme de Wöhler

Conclusion :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

TP 06 : Essai de dureté



Définition

La dureté d'un métal est la mesure de sa résistance à la pénétration. Les résultats des essais de dureté peuvent apporter des informations intéressantes sur le comportement mécanique d'un acier et sur son état structural.

Informations sur

- Comportement mécanique
- État structural

Objectifs pédagogiques

- Comprendre la notion de dureté

- Découvrir les différents appareillages de mesure de dureté et effectuer quelques Essais.
- Voir l'effet des traitements thermiques de trempe sur la dureté
- Mesurer de la dureté de différentes éprouvettes et faire une confrontation entre le résultat théorique et numérique de la dureté de différentes éprouvettes.

Compétences visées

- Savoir mesurer la dureté.
- Savoir analyser et interpréter les différents résultats obtenus de l'essai de dureté.

Rappels théoriques

La dureté peut être évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue (essais Brinell, Vickers et Rockwell) mais aussi par une hauteur de rebondissement d'un objet très dur sur la surface à tester (essai Shore pour élastomères et plastiques).

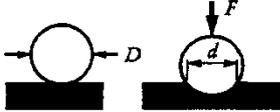
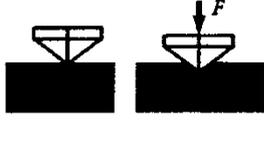
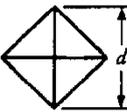
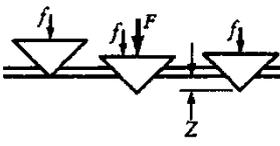
1. Dureté Brinell (**symbole HB**) Elle est obtenue par calcul. Après essai, on mesure l'empreinte laissée par une bille polie (diamètre : 1-2,5-5-10 mm) et la valeur de la charge F appliquée pour obtenir cette empreinte.

Essai de dureté Rockwell (HR)

C'est l'essai de dureté le plus connu mondialement. Dans ce cas, la dureté, contrairement à Brinell et Vickers, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur, bille acier ou cône diamant. Une pré-charge (F_0) permet de faire une empreinte initiale et, par-là, d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de la surface.

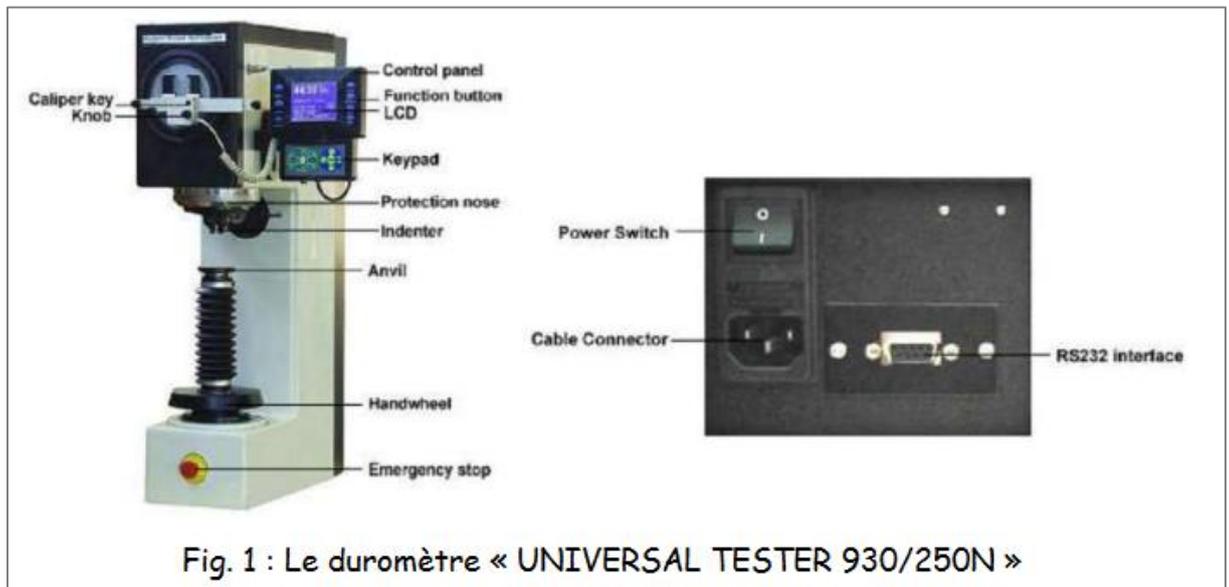
Echelles de mesure :

- HRC (pour ferreux), HRD et HRA avec cônes (pour matériaux durs et très durs : carbures, aciers trempés ...)
- HRB (non ferreux et métaux en feuilles) ; HRE, HRF, HRG (pour métaux doux) ; HRM et HRR avec billes (pour matières plastiques) sur une surface propre.

Méthode d'essai	Géométrie du pénétrateur	Charge F	Principe de l'essai	Paramètre mesuré	Dureté
Brinell	Bille d'acier dur ou de carbure (10 mm de diam.)	500 ou 3000 kgf		Diamètre de l'empreinte (d)	$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pyramide de diamant à base carrée; angle entre les faces opposées: 136° 	5 à 100 kgf (microdureté: 5 à 1000 gf)		Diagonale de l'empreinte (d) 	$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$
Rockwell C	Cône de diamant d'angle au sommet de 120° 	Précharge f de 10 kgf; $F = 150$ kgf		Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRC = f(Z)$
Rockwell B	Bille d'acier dur (1,59 mm de diam.)	Précharge f de 10 kgf; $F = 100$ kgf	Même principe que Rockwell C	Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRB = f(Z)$

Dispositif de l'essai expérimental :

Un duromètre « UNIVERSAL TESTER 930/250N ».



Les étapes suivies :

Après l'observation au microscope et la prise d'image des différentes microstructures, on mesure la dureté HRC et HB des échantillons à l'aide d'un duromètre.

1. Utiliser le duromètre et le dispositif de positionnement afin d'évaluer en mesurant une empreinte laissée en surface (Pour l'essai de HB) par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue.
2. Prenez deux essais différents HB et HRc.
3. Mesurer 3 valeurs de dureté Sur la même surface pour les quatre éprouvettes différentes sous l'effet d'une force constante.

Compte rendu :

1. Donner les étapes de mesures de dureté (HB) par ce duromètre :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Faites la moyenne de trois mesures sur les tableaux ci-dessous puis discuter les résultats obtenus.

N°	Nature de l'éprouvette	Type de l'essai	Mesure de dureté			
			Empreinte 1	Empreinte 2	Empreinte 3	La moyenne
1	Avant traitement	HB				
2	Après traitement (refroidissement par eau)					
3	Après traitement (refroidissement par huile)					
4	Après traitement (refroidissement par air libre)					

3. Pourquoi mesurons-nous plusieurs fois ?

4.
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Conclusion :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Références Bibliographiques

- [1] **FANCHON J.L.** Guide de mécanique : Sciences et technologie industrielle, Statique, Cinématique, Dynamique, Résistance des matériaux, Elasticité, Mécanique de fluides. Editions Nathan, Paris, 1998.
- [2] **FERDINAND P. BEER E. RUSSELL JOHNSON, JR.** Mécanique à l'usage des ingénieurs Statique. Mc GRAW-HILL, Editeurs.
- [3] **ZAMILA HARICHANE.** Polycopié de Résistance des Matériaux RDM-I. Université Hassiba Ben Bouali de Chlef-Septembre 2011.
- [4] **JAMES M. GERE,** Mechanics of Materials. Library of Congress Control Number: 2008923451-ISBN-13: 978-0-534-55397-5 -ISBN-10: 0-534-55397-4.
- [5] **TIMOSHENKO S.** Résistance des matériaux – Tome 1 : Théorie élémentaire et problèmes. 3^{ème} Ed. Dunod, Paris, 1968.
- [6] **P. AGATI, N. MATTERA.** Mécanique appliquée. ISBN: 2100032178. Dunod, Paris, 1996
- [7] **R. C. HIBBELER.** Mechanics of materials. Eighth edition. ISBN 10: 0-13-602230-8 ISBN 13: 978-0-13-602230-5 Pearson Prentice Hall.
- [8] **NASH W. A.,** "Résistance des matériaux 1". Cours et Problèmes. Série Schaum. Edition française : Henri le boiteux et Robert Boussard, 1985.
- [9] **NASH W. A.,** "Résistance des matériaux". Cours et problèmes, série Schaum, 2e édition, 1994.
- [10] **Timoshenko S.** Résistance des matériaux – Tome 1 : Théorie élémentaire et problèmes. 3^{ème} Ed. Dunod, Paris, 1968, 420p.
- [11] **Timoshenko S.** Résistance des matériaux – Tome 2 : Théorie développée et problèmes, Dunod, Paris, 1968. 3^{ème} Ed. Dunod, Paris, 1968, 464p.
- [12] **J. L. Meriam, L. G. Kraige.** Engineering Mechanics' o l u m e 1 Statics- Seventh Edition. John Wiley & Sons, Inc.