

# TP N 2 : Flexion Simple

(Licence N1 /Durée 3H)

## Objectifs :

- Se familiariser avec l'appareil d'étude de flexion des poutres (les pièces constitutives, mode d'emploi ...)
- Bien maîtriser les étapes qui mènent à l'élaboration des différents essais
- Savoir exploiter les connaissances théoriques acquises

## Conditions de réalisation :

- Appareil d'étude de flexion des poutres
- Trois éprouvettes en aluminium, acier et en laiton
- Règle et pied coulisse
- Clé à six-pen

## Connaissances acquises :

- Connaissances de base en RDM (flexion simple)
- Techniques de mesures

## Evaluation :

- Motivation, travail réalisé 50 %.
- Entretien et compte rendu 50%.

# Dossier Technique

Ce fascicule de TP décrit le mode d'installation et d'exécution des différentes expériences à fin de déterminer le comportement de la déformée des poutres et des cantilevers. En effet, L'équipement étudié montre clairement les principes théoriques acquises et donne l'appui pratique à nos études.

## 1-Description du matériel :

La figure 1 montre l'équipement étudié. Il se compose principalement d'un panneau avec un indicateur numérique mobile de la déformée (3). Cet indicateur est lié à un crochet (7) coulissant qui lui permet de se situer dans n'importe quelle position le long de la poutre d'essai. Deux brides (4) et (10) rigides fixes montées sur les deux extrémités du panneau et peuvent tenir la poutre à cette position. Une règle graduée (2) est imprimée en haut du panneau permet un positionnement rapide et précis de l'afficheur numérique de la déformée, des supports de poids et des appuis. La figure 2 illustre le schéma complet de l'équipement (panneau avec le châssis).

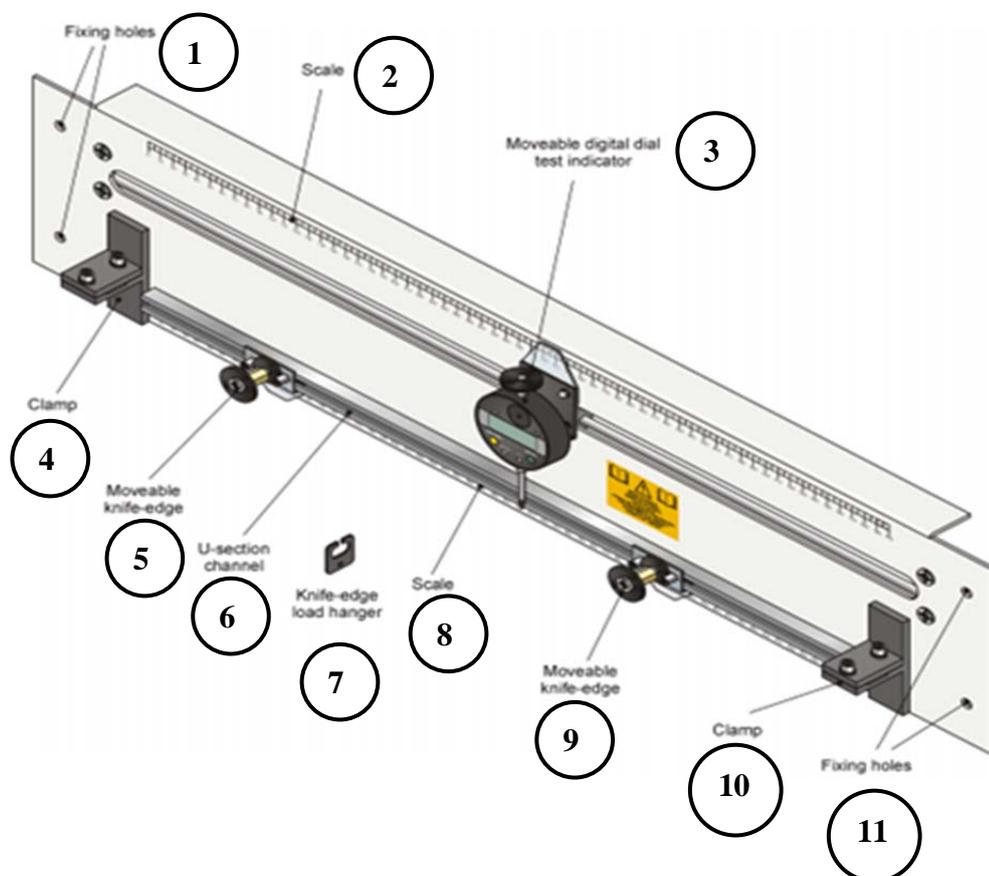


Figure 1 : Présentation du module STR4

Nomenclature	
1	Trous de fixation
2	Règle
3	Indicateur numérique mobile de la déformée
4	Bride
5	Support mobile de poutres
6	Rail
7	Crochet
8	Règle
9	Support mobile de la poutre
10	Bride
11	Trous de fixation

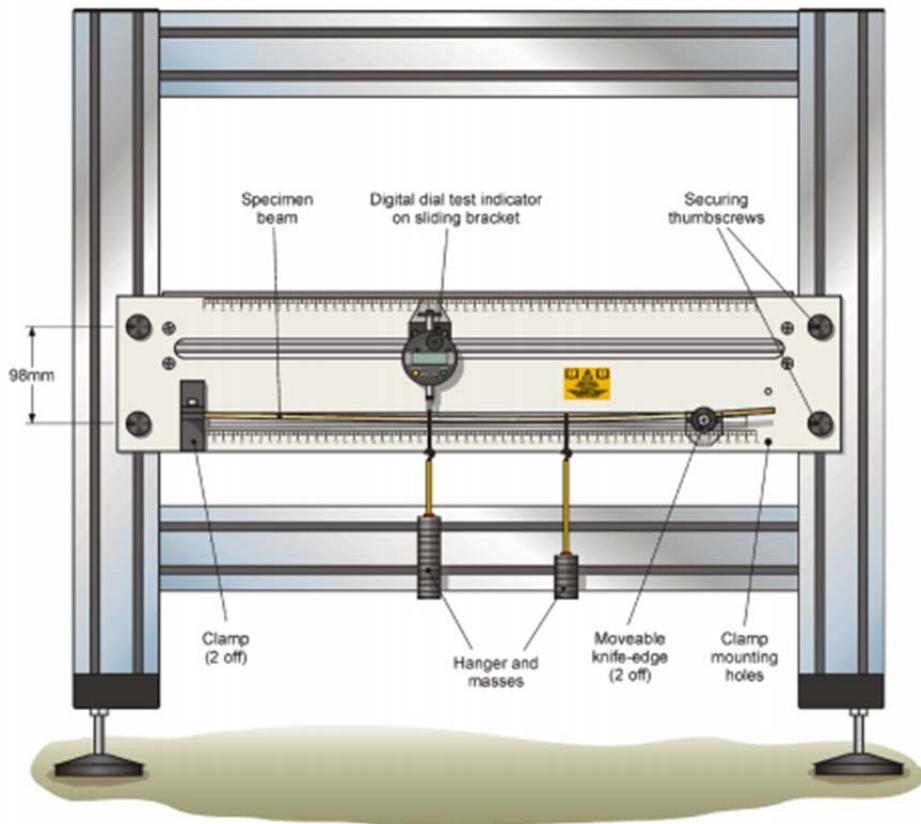


Figure 2 : Présentation du module STR4 monté sur son châssis

## **2-Comment installer l'équipement :**

Avant de monter et d'utiliser l'équipement, toujours Vérifier les points suivants :

- Inspecter visuellement toutes les parties (en incluant les câbles électriques) afin de déceler d'éventuels dommages ou dégradations dues à l'usure. Les remplacer si nécessaire.
- Vérifier que les raccordements électriques sont correctement câblés.
- L'entretien électrique doit être réalisé impérativement par une personne compétente.
- Vérifier que tous les composants sont fixés correctement et que les éléments de fixation sont suffisamment serrés.

Précautions :

- S'assurer que le châssis est positionné de manière stable : Vérifier que celui ci est monté sur un plan de travail stable, rigide et facilement accessible.
- Ne jamais appliquer de charges excessives sur l'équipement.

# Dossier de référence

## 1-Equation de la déformée d'une poutre :

L'étude de la déformation élastique de la courbure algébrique de la poutre entre deux sections droites écartées de  $\Delta X$  très petit permet d'obtenir une relation entre l'équation la déformée de la poutre et le moment de flexion :

$$EI_{GZ}y''(x) = M_{fz}(x)$$

Avec:

$E$  : module de Young en  $N/mm^2$

$I_{GZ}$  : moment quadratique par rapport à l'axe  $(G, \vec{z})$   $mm^4$

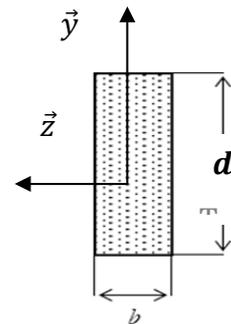
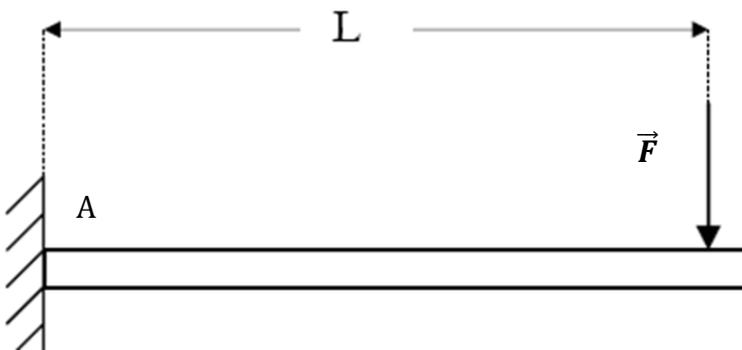
$y''(x)$  : Dérivée seconde de la déformée

$M_{fz}(x)$  : Moment de flexion  $N \cdot mm$

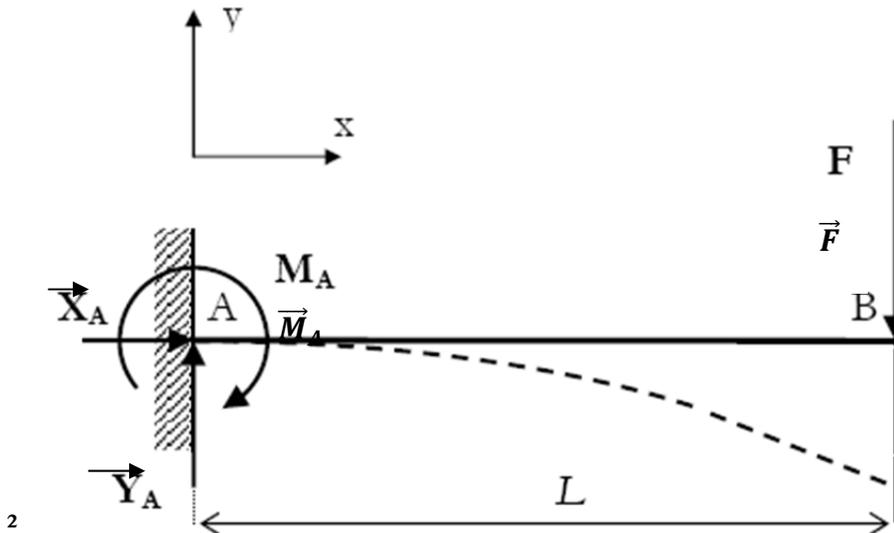
## 2-Etude des cas :

1<sup>er</sup> cas : *Poutre encastree supportant une charge concentrée à son extrémité:*

☒ Schématisation :



$$I_{GZ} = \frac{bd^3}{12}$$



☒ L'Etude de l'équilibre de la poutre donne :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \implies \begin{cases} X_A = 0 & (\text{Projection sur l'axe } A, \vec{X}) \\ Y_A - F = 0 & (\text{Projection sur l'axe } A, \vec{Y}) \end{cases}$$

$$\sum \vec{M}_A(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} \implies \{ M_A - FL = 0 \quad (\text{Projection sur l'axe } A, \vec{Z})$$

☒ D'après l'équation de la déformée on a :

Pour  $0 \leq x < L$

$$M_{fz}(x) = EI_{GZ} y''(x)$$

$$\text{Avec: } M_{fz}(x) = F(x - L)$$

$$\text{D'où : } y''(x) = \frac{M_{fz}(x)}{EI_{GZ}} = \frac{F(x-L)}{EI_{GZ}}$$

☒ En intégrant successivement :

$$y'(x) = \frac{F}{E \cdot I_{GZ}} \left( \frac{x^2}{2} - L \cdot x + A \right) \text{ alors : } y(x) = \frac{F}{EI_{GZ}} \left( \frac{x^3}{2} - \frac{Lx^2}{2} + Ax + B \right)$$

☒ Les conditions aux limites de la poutre sont :

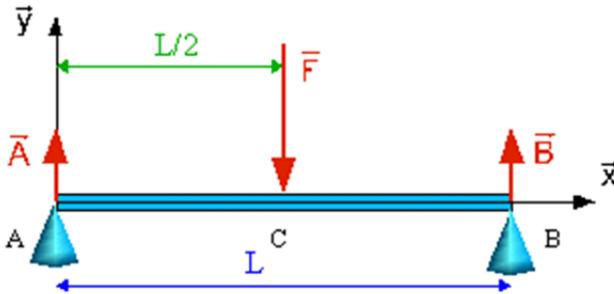
$$\begin{cases} x = 0 \implies y(0) = 0 \\ x = 0 \implies y'(0) = 0 \end{cases} \implies \begin{cases} A = 0 \\ B = 0 \end{cases}$$

$$y(x) = \frac{F}{E \cdot I_{GZ}} \cdot \left( \frac{x^3}{6} - \frac{L \cdot x^2}{2} \right) = \frac{F \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{GZ}} \left( \frac{x^3}{L^3} - 3 \cdot \frac{x^2}{L^2} \right)$$

La flèche maximale est naturellement obtenue pour  $x = L$ , d'où :

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

2<sup>ème</sup> cas : **Poutre reposant sur deux appuis avec charge concentrée au milieu :**



☒ On a  $A = B = \frac{F}{2}$  car le système est symétrique

☒ L'équation de la dérivée seconde de la déformée s'écrit sous la forme :

$$EI_{GZ}y''(x) = Mf_z(x)$$

$$EI_{GZ}y''(x) = \frac{F}{2}x$$

☒ Il faut deux intégrations successives pour déterminer l'équation  $y(x)$  de la déformée.

$$EI_{GZ}y'(x) = \frac{F}{2} \left( \frac{x^2}{2} + K_1 \right)$$

$$EI_{GZ}y(x) = \frac{F}{2} \left( \frac{x^3}{6} + K_1x + K_2 \right)$$

☒ Le calcul des constantes  $K_i$  se fait en choisissant des conditions aux limites de zones:

En A, on a  $y_A = 0$  d'où  $y(0) = 0$

En C,  $y'_C = 0$  d'où  $y'(L/2) = 0$  (la tangente est horizontale au point C)

On obtient par la suite  $K_1 = -\frac{L^2}{8}$  et  $K_2 = 0$ . D'où :

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

# Dossier pédagogique

## EXPERIENCE 1 : ETUDE DE LA DEFORMEE D'UNE POUTRE CANTILEVER

### 1-But:

On considère dans un premier lieu une poutre encastrée en une extrémité et libre dans l'autre extrémité et soumise à un chargement croissant d'intensité  $F$  (Voir figure 1)

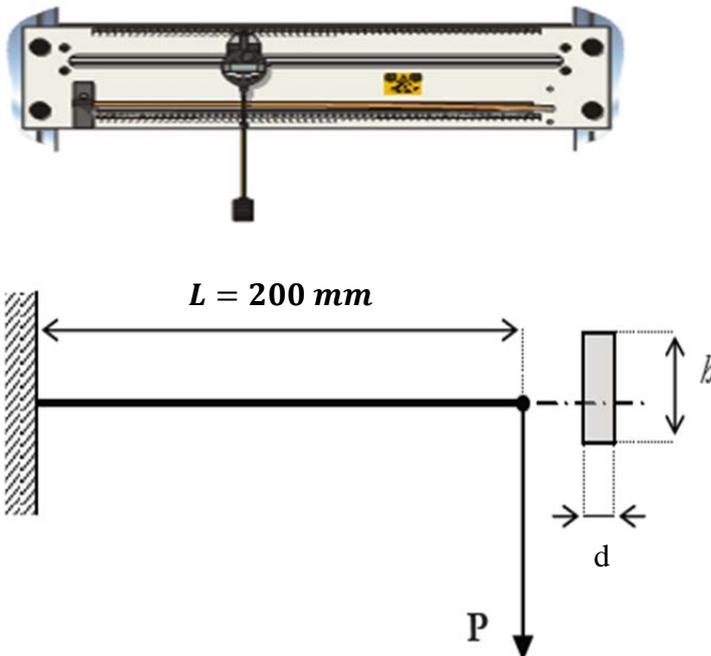


Figure 1 : Principe d'une poutre cantilever

### 2-Principe de l'expérience :

Cette expérience sera faite de la même façon pour trois éprouvettes de matériaux différents (Acier, Aluminium et Laiton).

Il faut suivre les instructions suivantes pour le bon déroulement de l'expérience :

- ✚ Fixer la poutre comme illustré dans la figure (1)
- ✚ Glisser l'indicateur de la déformée, le placer à l'extrémité de la poutre et le verrouiller en agissant sur un écrou situé à l'arrière. Placer par la suite le crochet qui va assurer la suspension de support de poids à la position montrée à la figure (1)

- ✚ Visser légèrement le châssis et mettre l'indicateur de la déformée à zéro à l'aide du bouton « origine ».
- ✚ Appliquer successivement des masses sur le support de poids (les valeurs des masses sont indiquées dans le tableau 2). Refaire le réglage de zéro à chaque fois qu'on ajoute des masses
- ✚ Enregistrer la valeur donnée par l'indicateur de la déformée et répéter le même procédé pour les deux autres matériaux.

### 3-Travail demandé :

1. Remplir les tableaux ci-dessous (tableau 1,2,3 et 4). N'oublier pas de s'appuyer sur le dossier de référence pour le calcul de la flèche théorique.  
NB : Un pied à coulisse est utilisé pour mesurer la largeur et la hauteur de la poutre à fin de déduire le moment quadratique  $I_{GZ}$ .
2. Tracer sur le même graphe les courbes qui décrivent la variation de la flèche théorique et expérimentale en fonction de la charge ( $F$ ).  
NB : Les courbes représentant les trois matériaux (acier, aluminium et laiton) seront tracés sur le même graphe.
3. Comparer les résultats expérimentaux trouvés avec ceux théoriques, déduire si l'équation de la déformée prédit avec précision le comportement de la poutre et justifier.
4. Déduire l'influence des propriétés du matériau, plus précisément le module d'Young, sur la déformée de la poutre et conclure.

Masse (Gramme)	Charge (Newton)
100	0.98
200	1.96
300	2.94
400	3.92
500	4.90

Tableau 1 : Conversion de Gramme en Newton

Matériau : Acier	
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm
I :-----m <sup>4</sup>	Profondeur b :----- mm

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 2 : Résultat de l'expérience 1 (Poutre en acier)

Matériau : Aluminium	
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm
I :-----m <sup>4</sup>	Hauteur b :----- mm

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 3 : Résultat de l'expérience 1 (Poutre en Aluminium)

Matériau : Laiton	
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm
I :-----m <sup>4</sup>	Profondeur b :----- mm

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 4 : Résultat de l'expérience 1 (Poutre en Laiton )

**EXPERIENCE 2 : ETUDE DE LA DEFORMEE D'UNE  
POUTRE REPOSANT SUR DEUX APPUIS SIMPLES :**

Cette expérience se fait en deux parties (1et 2). En premier lieu on va appliquer une charge croissante concentrée en milieu de la poutre et en second lieu on va fixer la valeur de la charge et faire varier la longueur de la poutre en changeant la distance entre les deux appuis.

**Partie1 :**

**1-Principe :**

En se référant sur la figure2, réaliser le montage d'une poutre de longueur 400 mm reposant sur deux appuis simples avec une charge variable appliquée en son milieu. Faire varier les masses et enregistrer par la suite la valeur de la flèche.

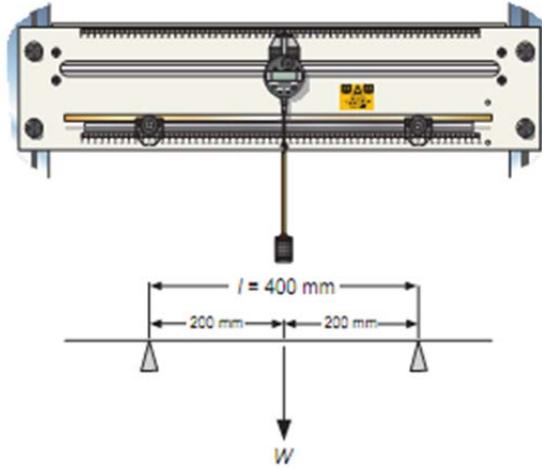


Figure 2 : schématisation d'une poutre reposant sur deux appuis simples (poutre fixe avec une charge variable)

## 2-Travail demandé :

1. Remplir les tableaux ci-dessous
2. Tracer dans le même graphe  $Y_c = f(P)$  expérimental et théorique et pour les trois types de matériaux
3. Interpréter la forme des courbes obtenues et la précision des résultats
4. Conclure

Matériau : Acier		
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm	
I :-----m <sup>4</sup>	Profondeur b :----- mm	

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 5: Résultat de l'expérience 2 (Poutre en acier)

Matériau : Aluminium	
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm
I :-----m <sup>4</sup>	Profondeur b :----- mm

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 6 : Résultat de l'expérience 2 (Poutre en Aluminium)

Matériau : Laiton	
Valeur E :-----Nm <sup>-2</sup>	Largeur d :----- mm
I :-----m <sup>4</sup>	Profondeur b :----- mm

Masse (g)	P (N)	Flèche expérimental (mm)	Flèche théorique (mm)
0			
100			
200			
300			
400			
500			

Tableau 7: Résultat de l'expérience 1 (Poutre en Laiton)

## Partie2 :

### 1-Principe :

Le principe de cette expérience (comme illustré sur la figure 3) se résume aux instructions suivantes :

- ✚ Monter la poutre de longueur ( $l = 200 \text{ mm}$ ) . S'assurer que l'indicateur de la déformée et le support de charge sont au milieu de la poutre
- ✚ Mettre à zéro l'indicateur en agissant sur le bouton « **origine** ». Appliquer une masse de **500 g** et enregistrer la valeur de la déformée.
- ✚ Répéter la même procédure pour chaque longueur de la poutre

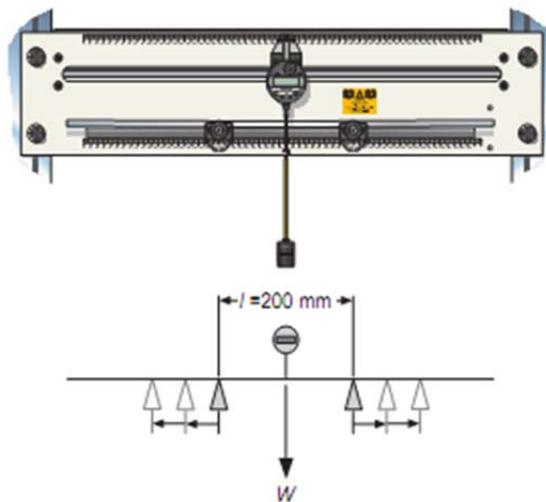


Figure 3 : schématisation d'une poutre reposant sur deux appuis simples  
(Poutre de longueur variable avec une charge fixe)

### 2-Travail demandé :

1. Remplir le tableau 8

NB : Cette expérience est réalisée uniquement pour une seule poutre qui sera fixé par l'enseignant du TP

2. Tracer la courbe  $y_c = f(L^3)$  et déduire l'influence de la longueur de la poutre sur la déformée
3. Comparer la pente de la courbe tracée avec le résultat théorique (*utiliser document de référence*)
4. Conclure

Longueur : $L$ (mm)	$L^3$	Flèche : $y_c$ (mm)
200		
320		
320		
380		
440		
500		
560		

Tableau 8 : Résultat de l'expérience 2 (charge fixe et longueur variable)

**EXPERIENCE 3 : ETUDE DE LA DEFORMEE EN PLUSIEURS POSITIONS D'UNE POUTRE REPOSANT SUR DEUX APPUIS SIMPLES :**

**1-Principe :**

Le principe de cette expérience est comme illustré dans la figure4 consiste à déterminer la déformée en plusieurs positions de la poutre.

(le choix de la poutre est fixé par l'enseignant du TP).

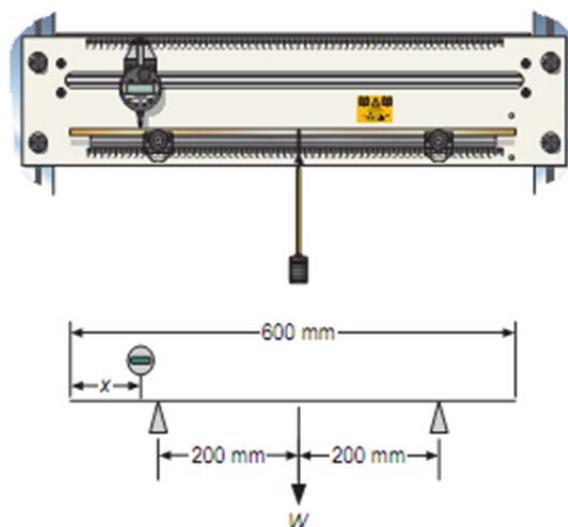


Figure 4 : schématisation de l'expérience 3

Il faut suivre les instructions suivantes :

- ✓ Installer la poutre comme schématiser sur la figure 4 sans accrocher le support de poids.
- ✓ Mettre l'indicateur numérique de la déformée en milieu et faire le réglage de zéro en appuyant sur le bouton « **origine** ».
- ✓ Glisser soigneusement l'afficheur dans les positions montrées dans le tableau 9 et enregistrer la valeur de la déformée sans charge dans chaque position.
- ✓ Remettre l'indicateur de la déformée au milieu de la poutre et refaire le réglage de zéro.
- ✓ Accrocher le support de charges et appliquer une masse de 500 g
- ✓ Faire traverser l'indicateur de la déformée les positions indiquées dans le tableau 9 et enregistrer les valeurs des déformées avec charge

## 2-Travail Demandé :

1. Compléter le tableau 9 et calculer la déformée réelle.
2. Pourquoi est il important dans cette expérience de prendre les valeurs des déformées sans charge ?
3. quelle est la forme de la poutre en dehors des appuis ? Justifier.

Position (mm)	Lecture de la déformée sans Charge (mm)	Lecture de la déformée sous charge	Déformée réelle de la poutre
0			
20			
40			
60			
80			
150			
200			
250			
350			
400			
450			
500			

550			
600			

Tableau 9 : Résultat de l'expérience 3

**CONCLUSION GENERALE :**

Il s'agit de rédiger une petite synthèse récapitulative dont le quel l'étudiant évoque les points suivants :

- Les intérêts acquis après élaboration de ce TP
- Les obstacles confrontés
- Y' a-t-il une grande différence entre les résultats expérimentaux déterminés et les résultats théoriques déduits **du dossier de référence**. Justifier.