



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE-MECANIQUE



Licence 2 : Génie mécanique et Génie civil

UNITE D'ENSEIGNEMENT :

TRAVAUX PRATIQUES DE RESISTANCE DES MATERIAUX

**Utilisation des jauges d'extensométrie-
Applications**

- 1-Etude des montages de mesure
- 2-Essai de traction.
- 3- Essai de flexion.
- 4- Essai de torsion.

LARBI Said
BILEK Ali
DJEHALI Said

PRINCIPE DE MESURE PAR JAUGES D'EXTENSOMETRIE

Principe de fonctionnement des jauges:

La jauge de contrainte est composée d'un support isolant (polyamide) sur lequel est imprimée une résistance (fig.1). Pour mesurer l'allongement, la jauge est collée sur le modèle à analyser. La déformation subie par le modèle sous le test est transférée directement à la jauge de contrainte qui réagit par un changement linéaire de sa résistance électrique.

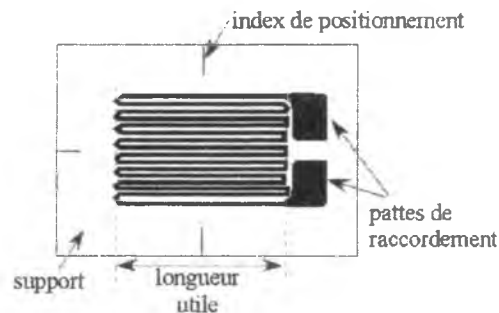


Figure 1: Schéma d'une jauge d'extensométrie.

Les jauges de contrainte sont proposées dans le commerce avec des valeurs de résistance nominales comprises entre 30 et 3000 Ω (120, 350 et 1000 Ω étant des valeurs les plus courantes). La résistance de la jauge est fonction de la longueur du fil L qui la constitue, de sa résistivité ρ et de sa section S :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad \text{Loi de Pouillet}$$

Le facteur de jauge

Le facteur de jauge appelé aussi pouvoir multiplicateur de la jauge est défini comme étant le rapport entre la variation relative de résistance et l'allongement relatif mesuré ϵ .

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\epsilon}$$

Typiquement pour des matériaux classiques (aciers, alliages...), ϵ est de l'ordre de 10^{-6} . Si on choisit de travailler avec une jauge de 120 Ohms avec un coefficient de jauge $K=2$, on obtient alors : $\Delta R = 120 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 240 \mu\text{Ohms}$. Déceler cette variation demande un grand soin dans la procédure de mesure.

Etant donné que les variations de déformation et de résistance électriques sont infimes, il est nécessaire d'utiliser un circuit complémentaire afin de les amplifier. La configuration de circuit la plus courante dans une cellule de charge s'appelle pont de Wheatstone.

Le pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone (Fig.2) est constitué de quatre branches avec une tension d'excitation U , appliquée aux bornes du pont. La mesure de la variation de résistance permet d'accéder à la valeur de l'allongement relatif de la structure dans une direction parallèle au fil de la jauge.

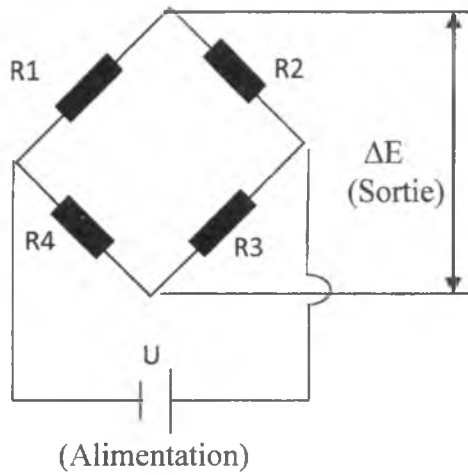


Figure 2 : Pont de Wheatstone

En utilisant les lois de Kirchhoff on montre que la variation de la tension de sortie ΔE est liée aux variations de résistances par la formule :

$$\Delta E = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right)$$

Selon la configuration choisie, on remplace une, deux ou les quatre résistances du pont par des jauges.

Différentes configurations du pont de Wheatstone :

Les jauges sont disposées de manière à ce que le signal soit le plus grand possible, la disposition dépend du type d'essai. Selon le niveau du signal et l'amplification souhaitée nous choisissons une des trois configurations du pont de Wheatstone suivantes (Fig.3):

- montage **en quart (1/4) de pont** : une des résistances est remplacée par une jauge d'extensométrie (1jauge active).
- montage **en demi (1/2) pont** : deux des résistances sont remplacées par deux jauges d'extensométrie (2jauges actives).
- montage **en pont complet**: les quatre résistances sont remplacées par quatre jauges d'extensométrie (4jauges actives).

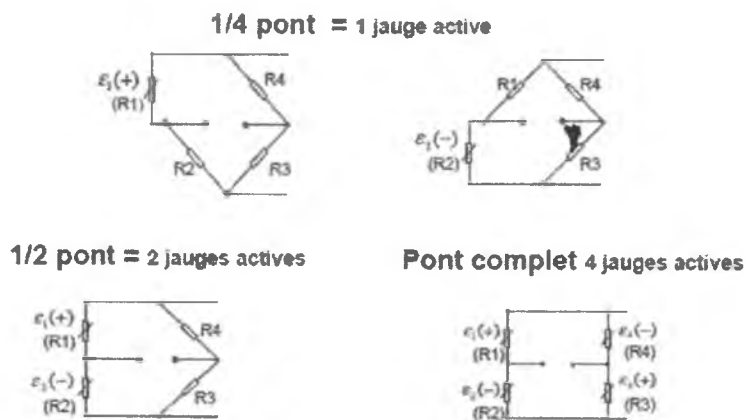


Fig.3 : Différentes configurations du pont de Wheatstone.

Remarque : pour un signal faible nous utilisons le branchement en pont complet et pour un signal fort il est conseillé d'utiliser le branchement en 1/4 de pont.

Equilibre du pont de Wheatstone

A l'équilibre, avant que les jauges ayant remplacé les résistances ne soient sollicitées, la tension à la sortie du pont est nulle. On dit que le pont est équilibré. Cette condition est réalisée si les produits des résistances des branches opposées sont égaux.

Cette condition s'écrit :

$$\text{Condition d'équilibre du pont : } \Delta E = 0 \text{ si } R_1 R_3 = R_2 R_4$$

Remarque : la condition d'équilibre ne dépend que des résistances du pont : les jauges sont disposées de manière à ce que le signal soit le plus grand possible, la disposition dépend du type d'essai.

En résumé :

- Le pont de Wheatstone est utilisé pour la mesure des déformations grâce à sa propriété d'équilibre et à la possibilité d'amplification du signal suivant la disposition des jauges dans le montage.
- Avant l'application de la charge, le pont est équilibré, c'est-à-dire $\Delta E = 0$. Par la suite, la tension de sortie ΔE du pont est relevée en fonction des charges appliquées.

Collage des jauges

Avant de coller la jauge, la surface doit être traitée (Fig. 4). La jauge doit ensuite être recouverte avec une couche protectrice.

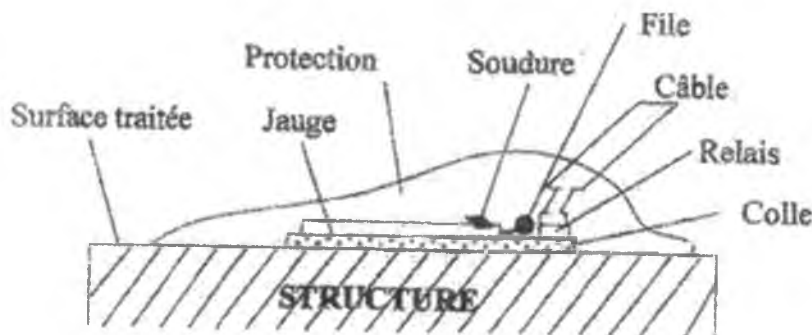







Fig.4 : Schématisation d'une jauge collée sur une structure

Quelques types de Jauges de contraintes :

- Jauges linéaires →  Analyse 1 direction connue
- Jauges en "sapin" →  Analyse 2 directions connues
Capteurs cisaillement, torsion
- Jauges à 90° →  Analyse 2 directions connues
Capteurs Traction/Compression
- Jauges doubles parallèles →  Capteurs Flexion
- Jauges membranes →  Capteurs Pression

T.P N° 1 : Etude des montages de mesure par jauges de déformation en extensométrie.

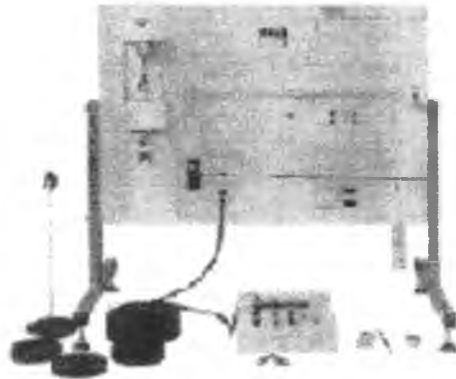
1- But du TP :

Initiation à l'utilisation des jauges de déformation.

Montage en $\frac{1}{4}$ de pont, $\frac{1}{2}$ pont (jauges opposées et jauges adjacentes) et pont complet pour la mesure des déformations d'une poutre en flexion encastrée- libre.

2- Matériel utilisé

Le banc d'essai est présenté sur la figure ci-dessous.



Banc d'essai d'initiation à l'utilisation des jauges de déformation.

3- Mode opératoire :

a- Expérience N°1 : Montage en quart de pont (Utiliser le montage en flexion).

Procédure :

- Raccorder le câble de connexion à la sortie du système de flexion.
- Brancher la jauge de couleur rouge à l'afficheur de contrainte.
- Placer les bouchons portant les trois autres couleurs dans les prises correspondantes de l'afficheur de tension.
- Allumer l'afficheur de tension.
- Positionner le bouton config de l'afficheur de tension 1 (un bras actif).
- Régler le facteur de jauge à la valeur indiquée sur la plaque arrière du système de flexion.
- Dresser un tableau comme suit :

| Position de la charge : $L = 420$ mm | | Facteur de jauge $K =$ |
|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| Charge (g) | Déformation affichée ($\mu\epsilon$) | Tension de sortie (μV) |
| 000 | | |
| 100 | | |
| 200 | | |
| 300 | | |
| 400 | | |
| 500 | | |

- Monter le crochet porte masses sur la poutre et le faire glisser jusqu'à l'ajuster à la position $L = 420$ mm. Laisser l'appareil se stabiliser pendant une minute, puis appuyer sur

le bouton de remise à zéro de l'afficheur de tension (l'écran doit indiquer 0 pour la déformation et pour la tension de sortie).

- i) Placer le porte masse de 10 g et neuf masses de 10 g chacune pour faire 100 g et noter la valeur de la déformation affichée correspondant à la charge de 50 g.
- j) Augmenter la charge de 100 g à chaque fois jusqu'à 500 g et porter les valeurs correspondantes de la déformation affichée dans le tableau.
- k) Enlever les poids.

ATTENTION !!! Ne pas dépasser la charge de 500 g.

b- Expérience N°2 : Montage en demi-pont (Utiliser le montage en flexion).

a- Jauges opposées.

Répéter la même procédure que l'expérience 1 sauf pour les points :

b- Connecter la jauge rouge et la jauge bleue à l'afficheur de tension comme en demi-pont (jauges opposées).

c- Placer les bouchons portant les deux autres couleurs dans les prises de l'afficheur de tension.

e- Mettre le bouton config de l'afficheur de tension à la position 2 (deux bras actifs).

b- Jauges adjacentes.

Répéter la même procédure que l'expérience 1 sauf pour les points :

b- Connecter la jauge rouge et la jauge verte à l'afficheur de tension comme en demi-pont (jauges adjacentes).

c- Placer les bouchons portant les deux autres couleurs dans les prises de l'afficheur de tension.

e- Mettre le bouton config de l'afficheur à la position 2 (deux bras actifs).

Expérience N°3 : Montage en pont complet (Utiliser le montage en flexion).

Répéter la même procédure que l'expérience 1 sauf pour les points :

b- Connecter les quatre jauges à l'afficheur de tension (montage en pont complet).

e- Positionner le bouton config de l'afficheur de tension à la position 4 (quatre bras actifs).

4- Analyse des résultats

- Comparer et commenter les valeurs des déformations et des tensions de sortie ΔE obtenues pour les montages en quart, demi et pont complet.
- Que pouvez-vous conclure sur les montages en demi pont (bras opposés et adjacents).
- En utilisant les valeurs de la déformation affichée et de la tension de sortie ΔE pour une charge choisie, montrer que la relation ci-dessous est vérifiée pour les quatre types de montage.

On donne $U=5$ volts et $K=2$.

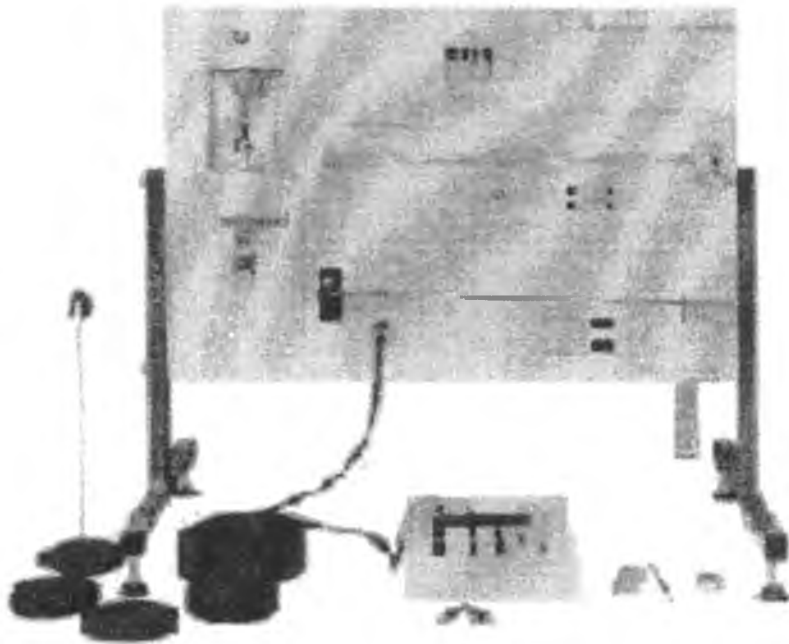
$$K = \frac{\Delta R}{\varepsilon}; \quad \Delta E = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right);$$

$$\Delta E = K \frac{U}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4).$$

Faire attention à l'amplification du signal selon le type de montage !!!.

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

Compte rendu du TP N° :01
ETUDE DES MONTAGES DE MESURE PAR JAUGES DE DEFORMATION.



Nom :.....

Prénom :.....

Département :.....

Groupe :.....

Note :

1- But du TP :

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

2- Matériel utilisé :

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

3-Définition d'une jauge de déformation :

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

4-Différents montages :

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

.....

5-Tableau des résultats :

| | 1/4 de pont | | 1/2 pont jauges opposées | | 1/2 pont jauges adjacentes | | Pont complet | |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Charge (g) | Déformation Affichée (μE) | Tension de sortie (μV) | Déformation Affichée (μE) | Tension de sortie (μV) | Déformation Affichée (μE) | Tension de sortie (μV) | Déformation Affichée (μE) | Tension de sortie (μV) |
| 00 | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | |
| 500 | | | | | | | | |

- Comparaison des valeurs des déformations et des tensions de sorties des différents montages :

.....

- Conclusion pour les montages en demi-pont (jauges opposées et adjacentes) :

.....

-Vérification de la relation ;

$$\Delta E = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) ;$$

$$\Delta E = K \frac{U}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4).$$

Avec K=2 et U=5V

Masse choisie :g

T.P N°4 : Application de l'extensométrie par jauges de déformation à la sollicitation simple de Torsion.

1- But du TP :

- Vérification de la polarité des jauges en vue de la détermination de leur sollicitation.
- Détermination des déformations de Torsion.
- Détermination du module de cisaillement.

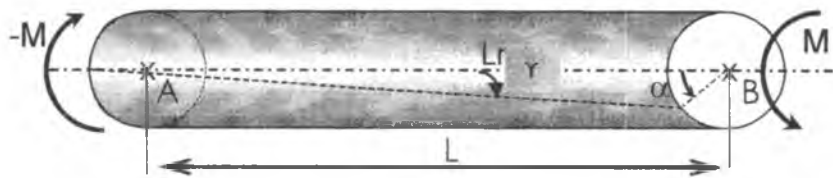
2- Matériel utilisé

Banc d'essai d'initiation à l'utilisation des jauges de déformation (TP1) en position torsion

3- Rappels sur la Torsion

3-1 Définition

Une poutre est sollicitée en torsion lorsque les actions aux extrémités se réduisent à deux moments égaux et opposés, portées par la ligne moyenne L_m .

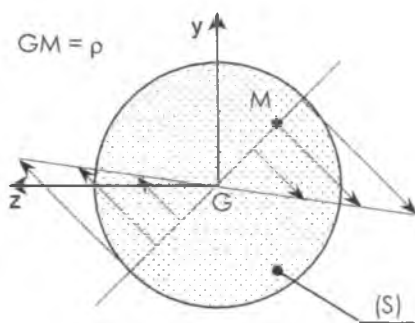


M est appelé *moment de torsion* et est noté M_t et α est l'angle de rotation entre les deux extrémités de la poutre.

3-2 Contrainte tangentielle de torsion

En désignant l'angle *unitaire* de torsion par $\theta = \frac{\alpha}{L}$ et le rayon de courbure de la section droite par ρ , la contrainte tangentielle s'écrit:

$$\tau = G \cdot \theta \cdot \rho$$



τ : Contrainte tangentielle en N/mm^2

G : Module d'élasticité transversal en Mpa

θ : Angle unitaire de torsion en rad/mm

ρ : Rayon GM en mm

Avec $M_t = G \cdot \theta \cdot I_0$

M_t : Moment de torsion en N.mm

G : Module d'élasticité transversal en MPa

θ : Angle unitaire de torsion en rad/mm

I_0 : Moment quadratique par rapport au point G en mm^4

L'expression de la contrainte tangentielle devient : $\tau = \frac{M_t}{I_0} \cdot \rho$

Dans le domaine élastique, la contrainte τ varie linéairement avec l'angle de torsion γ .

$$\tau = G\gamma \text{ avec } \gamma = \rho\theta \text{ et } \theta = \frac{\alpha}{L}$$

α est l'angle de rotation entre les deux sections d'extrémité de la poutre. L'angle unitaire de torsion θ est caractéristique de la déformation.

3-3 Condition de résistance

Soient :

- R_{eg} résistance élastique au cisaillement du matériau (en MPa) ;
- s coefficient de sécurité ;
- R_{pg} résistance pratique au glissement, avec $R_{pg} = R_{eg}/s$;

$$\tau_{Max} \leq R_{pg}$$

4- Mode opératoire

a- Expérience N°1 : Vérification de la polarité des jauges.

▪ Procédure :

- 1- Tracer le tableau de résultats ci-dessous.

| Jauge de déformation | Déformation affichée ($\mu\epsilon$) | Polarité (+/-) | Type de déformation Traction/ Compression |
|----------------------|--|----------------|--|
| Bleue | | | |
| Rouge | | | |
| Jaune | | | |
| Verte | | | |

- 2- Connecter la jauge bleue à l'afficheur de tension en quart de pont.
- 3- Positionner le bouton config en 1.
- 4- Ajuster le facteur de jauge K à la valeur indiquée sur la plaque.
- 5- Laisser stabiliser le système environ une minute et mettre à zéro.
- 6- Disposer le porte-poids de 10 g.
- 7- Ajouter 49 masses de 10g chacune pour faire 500g.
- 8- Laisser le système se stabiliser.
- 9- Noter la déformation affichée.
- 10- Enlever les poids.
- 11- Répéter l'expérience successivement avec les jauges rouge, jaune et verte.

b- Expérience N°2 : Détermination des déformations en Torsion.

▪ Procédure :

- 1- Tracer le tableau de résultats ci-dessous.

| Connexion en pont complet - Facteur de jauge K= | | | | | |
|---|-----------|-------------------------|--|---|---|
| Diamètre de la poutre $d=9,97\text{mm}$ - Longueur du bras de levier $L= 0,150\text{m}$ | | | | | |
| Module de cisaillement $G = 79\text{GPa}$ | | | | | |
| Charge (Kg) | Force (N) | Moment de torsion (N.m) | Déformation affichée ($\mu\epsilon$) | Contrainte de cisaillement τ (MN/m^2) | Déformation calculée ϵ ($\mu\epsilon$) |
| 000 | | | | | |
| 0,25 | | | | | |
| 0,5 | | | | | |

- 2- Réaliser le branchement des jauges en pont complet.
- 3- Mettre le bouton config à la position 4.
- 4- Régler le facteur de jauge.

- 5- Laisser le système se stabiliser pendant une minute puis mettre à zéro.
- 6- Noter la première valeur affichée dans le tableau.
- 7- Placer le porte- poids de 10g.
- 8- Ajouter 24 masses de 10g pour avoir une charge de 250g et noter la déformation affichée.
- 9- Ajouter une charge de 250g pour avoir une charge de 500g et noter la valeur de la déformation affichée.

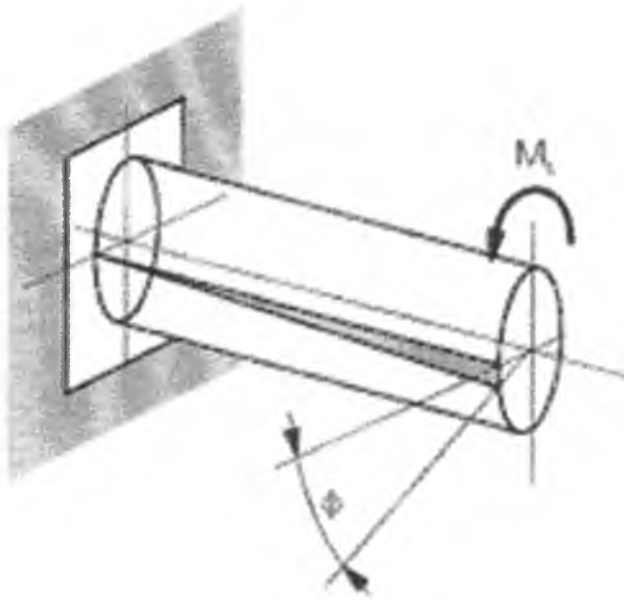
▪ **Traitement des résultats.**

- a- Calculer les poids en newton pour chaque charge.
- b- Calculer le moment d'inertie polaire de la section droite de la poutre $J = \frac{\pi d^4}{32}$
- c- Calculer le moment de torsion $M_t = F * L$ pour chaque charge.
- d- Calculer la contrainte de cisaillement $\tau = \frac{M_t * d}{2J}$
- e- Calculer la déformation de cisaillement γ en utilisant la loi de Hooke en cisaillement $\tau = Gd * \gamma$
- f- Diviser la valeur de la déformation de cisaillement γ par 2 pour trouver la valeur de la déformation ε calculée ($\varepsilon = \frac{\gamma}{2}$)
- g- Comparer les valeurs des déformations mesurées et calculées.
- h- Calculer l'erreur relative et conclure.

2- **Conclusions**

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE-MECANIQUE

Compte rendu du TPN° :04
ESSAI DE TORSION



Nom :

Prénom :

Groupe :département.....

Note :

1-But du TP :

.....

2-Matériel utilisé :

.....

3- Définition de la torsion :

.....

4- Analyse des résultats :

Expérience 01 : vérification de la polarité des jauges :

Tableau des résultats :

| Jauge de déformation | Déformation affichée ($\mu\epsilon$) | Polarité (+/-) | Type de déformation Traction/Compression |
|----------------------|---|----------------|---|
| Bleue | | | |
| Rouge | | | |
| Jaune | | | |
| Verte | | | |

Expérience 02 : détermination des déformations en torsion :

Tableau des résultats :

| Montage en pont complet | | facteur de jauge $K=...$ | | | | |
|---|---------------------------|--------------------------------|---|---|--|---|
| Bras de levier $L=150\text{mm}$ | | | | | | |
| Diamètre de la poutre $d=9,97\text{ mm}$ | | | | | | |
| Moment d'inertie polaire $J=\frac{\pi d^4}{32} = \text{-----} = \text{.....mm}^4$ | | | | | | |
| Module de cisaillement $G_d=79\text{ GPa}=\text{.....MPa}$ | | | | | | |
| Charge $m(\text{Kg})$ | Force $F=mg(\text{N})$ | Moment de Torsion $M_t=F.L$ | Déformation affichée ($\mu\epsilon$) | Contrainte de cisaillement $\tau=\frac{M_t d}{2J} \text{ MPa}$ | Déformation de cisaillement $\gamma=\frac{\tau}{G_d}$ | Déformation calculée $\epsilon=\gamma/2 (\mu\epsilon)$ |
| 00 | | | | | | |
| 0,25 | | | | | | |
| 0,5 | | | | | | |

Comparaison des valeurs des déformations mesurées et calculées :

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

Calcul de l'erreur relative:

$$\Delta\varepsilon \% = \left| \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_m}{\varepsilon_c} \right| * 100 = \left| \frac{\dots}{\dots} \right| \times 100 = \dots \%$$

Conclusion :

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