

EXTENSOMETRIE

Objectifs du TP

- Vérifier la linéarité entre contraintes et déformations (loi de Hooke) pour les matériaux étudiés ;
- Déterminer le module d'Young (E) et le coefficient de Poisson (ν) de ces matériaux ;
- Vérifier la théorie pour la plaque percée d'un trou ;
- Comparer les résultats obtenus par deux méthodes de mesures différentes : déplacements et déformations.

Rappels théoriques

Elasticité linéaire, D. Dartus, Cépaduès éditions :

- Lien entre les déplacements et les déformations : Chapitre 2
- Loi de Hooke : Chapitre 3 p.40
- Extensométrie : Chapitre 6.1

Installation expérimentale

Banc d'essais

Il se compose :

- d'un bâti triangulaire rigide,
- de deux mors permettant la mise en traction des éprouvettes,
- d'un mors et de deux appuis en laiton, pouvant être disposés en deux positions différentes sur le bâti, permettant la sollicitation en flexion des poutres,
- d'un volant de chargement dont l'intensité est connue grâce à une barre étalonnée.

Les liaisons entre le bâti, le volant de chargement et les mors sont articulées afin d'obtenir un bon alignement dans la direction de la charge.

Jauges extensométriques

Les éprouvettes pour la traction simple et les poutres pour la flexion simple sont équipées de jauges extensométriques. Une jauge extensométrique est un circuit résistif dont la résistance varie avec la déformation.

Un allongement de la jauge provoque une variation de sa longueur donc de sa résistance.

En première approximation, on montre que la déformation ε est connue d'après la variation relative de résistance par :

$$\frac{\delta R}{R} = k \frac{\delta L}{L} = k\varepsilon \quad (1)$$

où k est le facteur de jauge donné par le fabricant. Ici, $k = 2.040$ (2040 sur l'affichage de l'appareil de mesure).

Pont d'extensométrie

Pour mesurer la variation de résistance des jauges, on dispose d'un pont d'extensométrie à six voies. Les jauges sont reliées au pont par un connecteur spécial qui place chaque **paire de jauges** dans les branches d'un pont de Wheastone. Les variations de résistance des jauges provoquent des variations de tension aux bornes du pont.

Le pont d'extensométrie dispose d'un réglage du facteur de jauge qui permet de traduire les variations de tension directement en micro-déformations exprimées en $\mu m/m$. Il est réglé à la bonne valeur en maintenant l'interrupteur de jauge enclenché.

Lorsque l'éprouvette n'est pas chargée, on peut ajuster, par les potentiomètres prévus à cet effet, l'équilibrage de chaque voie de mesure (réglage à zéro).

Lors du chargement, le pont d'extensométrie donne, avec un facteur de jauge correct, la somme des déformations des deux jauges placées en regard de part et d'autre de la section droite de l'éprouvette et ce, pour chaque voie de mesure. **On lit donc le double de la déformation de chaque jauge.**

Comparateurs

Un comparateur est un instrument de mesure de déplacement. Le déplacement mesuré est celui qui est dans l'axe du comparateur. Celui-ci est équipé d'une touche orientable pour la mise en contact de l'appareil avec le point dont on désire mesurer le déplacement. On prendra donc soin au montage des comparateurs sur les éprouvettes et on utilisera la touche orientable dans une position à 90° . De plus, le cadran du comparateur permet, par rotation, de caler le zéro de l'appareil.

Conditions opératoires

Monter l'éprouvette en traction ou en flexion simple, avec une légère précharge, pour aligner le dispositif dans l'axe de chargement.

Effectuer le zéro du comparateur de la barre étalonnée, et, selon le cas, l'équilibrage des

voies du pont d'extensométrie ou le zéro des comparateurs qui mesurent le déplacement.

Quand nécessaire, on appliquera des charges par palier de 200 N jusqu'à 1000N et mesurera la déformation et le déplacement de l'éprouvette.

On pourra faire quelques points de mesure lors de la décharge de l'éprouvette. On pourra effectuer plusieurs fois la série de mesures afin d'évaluer les erreurs expérimentales.

1 Étude en traction simple

Questions préalables

- 1) Quelles forces applique-t-on à la poutre ? Faites un schéma explicatif.
- 2) Pouvez-vous déduire la forme du tenseur des contraintes en tous points ? Précisez les hypothèses utilisées.
- 3) Que mesure chaque jauge ? Préciser le numéro de la voie lorsque c'est possible.

Analyse des résultats

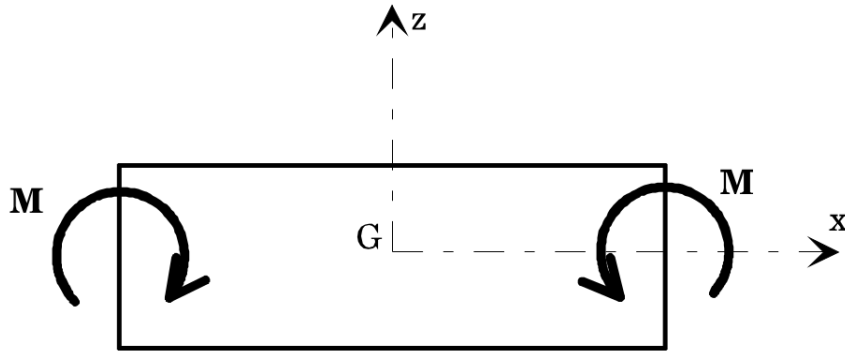
Extensométrie

- 4) Pour deux jauges à 90° , tracer la courbe force-déformation. Qu'en déduisez-vous sur le comportement du matériau ?
- 5) A partir de la loi de Hooke, écrire le tenseur des déformations.
- 6) A l'aide des mesures, déduire le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau.

2 Étude en flexion simple

Questions préalables

Soit une poutre soumise à un moment $+M$ sur une de ses extrémités et $-M$ à l'autre.



1) En supposant que les axes y et z sont des axes principaux de la section expliquer brièvement que le tenseur des contraintes suivant est bien solution du problème (si TD fait)

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

avec $\sigma_{11} = \frac{-M}{I_{yy}}z$ et I_{yy} le moment quadratique de la section par rapport à l'axe y . Le moment quadratique est donné par $I_{yy} = \int \int z^2 dy dz$.

2) Quelles forces applique-t-on à la poutre dans le cas du T.P.? Faire un schéma des forces appliquées. Se trouve-t-on exactement dans le cas précédent ?

On notera que le tenseur Σ est une bonne approximation des contraintes à laquelle est soumise la poutre dans le cadre du TP si la contrainte σ_{xy} due à l'effort tranchant est négligée par rapport à la contrainte σ_{xx} .

3) Que mesure chaque jauge ? Préciser le numéro de la voie.

Analyse des résultats

Extensométrie

4) Mesurer la répartition des déformations dans une section droite **pour une force appliquée**. Peut-on en déduire la répartition des contraintes dans cette section ?

5) En déduire le module d'Young du matériau.

Déplacements

A partir de l'expression théorique du tenseur des contraintes obtenu dans la question préalable, on montre que la flèche f au milieu d'une poutre soumise à une flexion simple s'écrit : $f = \frac{FL^3}{48EI}$. (La flèche due à l'effort tranchant est négligeable) où F est la charge appliquée au milieu des deux appuis, L la distance entre appuis, E le module d'Young du matériau et I le moment quadratique de la poutre par rapport à son axe principal selon

la direction du moment fléchissant.

- 5) Montrer que la poutre se comporte comme un ressort de raideur k dont on déterminera l'expression.
- 6) Tracer la courbe force - flèche pour une poutre à plat et à chant.
- 7) En déduire le module d'Young.
- 8) Commenter.

3 Etude de la plaque percée

Questions préalables

- 1) Faire un schéma du montage (cas de la traction simple). Que mesure chaque jauge ? Préciser le numéro de la voie.
- 2) Expliquer en deux lignes l'utilisation de la rosette.

Le tenseur des contraintes théorique dans le repère en coordonnées polaires (r, θ) , centré sur le centre du trou et $\theta = 0$ dans l'axe de la charge est le suivant :

$$\sigma_{rr} = \frac{F}{2S} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{F}{2S} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2}\right) \cos(2\theta) \quad (2)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{F}{2S} \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{F}{2S} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos(2\theta) \quad (3)$$

$$\sigma_{r\theta} = -\frac{F}{2S} \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2}\right) \sin(2\theta) \quad (4)$$

avec a le rayon du trou et F la charge appliquée sur la surface d'aire S . 3) L'emplacement des jauges permet-il de déterminer les contraintes au bord du trou ?

Conditions opératoires

Monter l'éprouvette en traction simple. Faire les mesures **pour une charge donnée**. Le pont d'extensométrie n'ayant que six voies de mesure, on procédera en deux temps pour les jauges simples et la rosette (si le temps).

Analyse des résultats

- 4) Calculer le tenseur des déformations au bord du trou et sur l'axe (Oy) ($\theta = \pi/2$) dans la direction où on peut le mesurer.
- 5) Tracer les courbes théoriques et expérimentales $\epsilon_{\theta\theta} = f(\theta)$ en $r = a$ et $\epsilon_{\theta\theta} = f(r)$

en $\theta = \pi/2$.

6) Calculer la contrainte $\sigma_{\theta\theta}$ maximale au bord du trou.

7) Le facteur de concentration de contrainte est donné par $f_c = \frac{\sigma_{max}}{F/S}$. Le calculer. Que peut-on en conclure ?

Questions bonus

8) A l'emplacement de la rosette, tracer le tricerle des déformations et des contraintes.

9) Trouver les directions principales. Interpréter les résultats.