

# ENSMP 1ère année, Mécanique des matériaux solides, 2012-2013

## Identification d'un Modèle de Viscoplasticité

Le but de ce mini-projet est d'étudier le comportement viscoplastique. Il s'agit de tester des modèles rhéologiques constitués d'éléments élastiques et visqueux, à la fois par une approche expérimentale et des simulations analytiques. La partie élastique des modèles est représentée par des ressorts, alors que la partie visqueuse est constituée de fils de brasure, qui présentent la particularité de fluer à température ambiante.

### 1 Les fils de brasure

Les fils de brasure étain-cuivre utilisés dans le mini-projet constituent le métal d'apport lors du soudage de composants électroniques. La nuance disponibles pour l'étude fond autour de  $240^\circ$  (513 K). A température ambiante (293 K), le matériau évolue donc au delà de la moitié de sa température de fusion  $T_f$  en échelle absolue ; il présente un comportement visqueux et on désignera les modèles développés par le terme de *viscoplastique*.

### 2 Essais de fluage

L'étude du comportement viscoplastique s'effectue à l'aide d'essais de fluage (Fig. 1). Vous réaliserez ces essais en accrochant une longueur de fil de brasure d'environ un mètre à un poids et en mesurant son allongement au cours du temps. On dispose pour cela d'un ensemble de poids, de masses respectives 1534 g, 1320 g, 1150 g, 997 g et 720 g. Après avoir mesuré la longueur initiale  $L_0$  et mis le système en charge, l'allongement  $e = (L - L_0)/L$  est évalué en adaptant le pas de temps grâce à un chronomètre à la vitesse de déformation (pour le poids le plus élevé on pourra mesurer l'allongement toutes les 30 secondes).



Fig. 1 : Montage utilisé pour l'identification du comportement des fils de brasure.

1. On suppose que l'on a un comportement de type Maxwell, mais avec une viscosité non linéaire répondant à la loi de Norton. Décrivez la représentation schématique de ce modèle.
2. Réalisez une série d'essais sur le fil de brasure de diamètre 1.0 mm. Mesurez l'allongement du fil, avec les différents poids.
3. Pour chaque valeur des contraintes  $\sigma_0 = F/S_0$ , déterminez la vitesse de déformation plastique stabilisée,  $\dot{\epsilon}^p$ . Tracez dans un diagramme log-log l'évolution de la vitesse de déformation plastique en fonction de la contrainte.
4. Identifiez les coefficients  $n$  et  $K$  de la loi de Norton. Tracez les prédictions du modèle pour chaque essai de fluage dans un diagramme  $\dot{\epsilon}^p(t)$  et comparez-les avec les résultats expérimentaux. Que remarquez vous lorsque la déformation dépasse quelques pourcents ? Proposez une explication.
5. Reprendre l'étude en considérant cette fois la contrainte vraie (on dit aussi rationnelle)  $\sigma$  et la déformation vraie  $\epsilon$ . On commencera par établir la relation liant  $\sigma$  à  $\sigma_0$  et entre  $\epsilon$  et  $e$  (on utilisera la conservation du volume au cours de la déformation).

### 3 Essai de relaxation

L'expérience de relaxation s'effectue à l'aide d'un peson et de la masse de 1534 g en plus du fil de brasure précédemment utilisé ( $\Phi = 1.5 \text{ mm}$ ). La Fig. 2 donne une vue partielle du montage ; dans cette expérience, le fil de brasure est relié au poids par l'intermédiaire du peson. Durant l'essai de relaxation, on suit le déplacement  $U = L_t - L_0$  d'un marqueur placé à l'extrémité du fil de brasure en fonction du temps. On observe deux étapes distinctes :

**Phase de fluage** après la mise en charge, la force appliquée au système est constante. Par conséquent, le déplacement global de l'ensemble *fil de brasure + peson* est égal au déplacement  $U$  du marqueur.

**Phase de relaxation** Cette phase commence lorsque le fil de Nylon relié au poids est tendu. A partir de ce moment, le déplacement total  $D$  de l'ensemble *fil + peson* reste constant  $D = D^\infty$ . Les forces appliquées sur les extrémités du peson vont se relaxer.

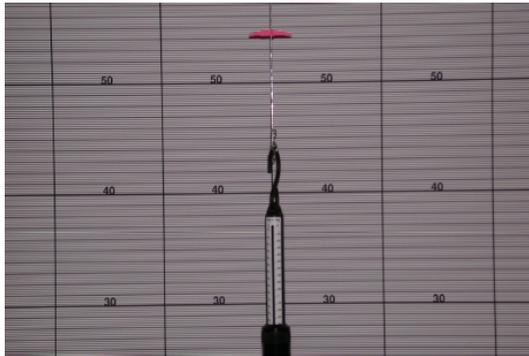


Fig. 2 : Montage utilisé pour l'essai de relaxation.

1. *Donnez le schéma rhéologique du système {fil de brasure + peson}*
2. *Déterminez la raideur  $k$  du peson. Calculez le module élastique équivalent  $E^*$  du système {fil de brasure + peson} en considérant que la section de l'ensemble  $S$  est constante. Comparez la valeur de  $E^*$  à la valeur du module du fil ( $E = 30000 \text{ MPa}$ ).*
3. *Donnez l'évolution la force  $F$  dans le peson en fonction du déplacement du marqueur  $U$ .*
4. *A partir du schéma rhéologique, donnez l'expression de la contrainte  $\sigma$  dans le fil en fonction du temps.*
5. *Tracez la prédiction du modèle en utilisant les valeurs  $n$  et  $K$  précédemment identifiées.*