

# ENSMP 1ère année, Mécanique des Matériaux Solides, année 2011

## Identification de Modèles de Viscoplasticité

### Objectif

Le but de ce mini-projet est d'étudier différents comportements viscoplastiques. Il s'agit de tester des modèles rhéologiques, assemblage 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 Fluage des fils de brasure

### 1.1 Les fils de brasure

La brasure est un procédé d'assemblage de deux matériaux. Dans ce type de «soudage», l'assemblage est hétérogène; il est assuré par la seule intervention du métal d'apport, qui agit comme une colle. La température de fusion du métal d'apport est inférieure à celle des matériaux à souder, qui peuvent être de natures différentes. Le terme soudure, bien que couramment utilisé, est inexact dans ce contexte. La soudure, au sens strict, fait en effet référence à la fusion des deux métaux à assembler.

Les fils de brasure utilisés dans le mini-projet constituent le métal d'apport lors du «soudage» de composants électroniques. Ils sont constitués d'un alliage étain-plomb, et leur structure est en fait composite : elle comprend 5 fils élémentaires lubrifiés pour améliorer les propriétés de soudabilité.

Les différentes nuances disponibles pour l'étude fondent entre 180°C et 250°C ( $453 \text{ K} < T_f < 523 \text{ K}$ ). A température ambiante (293 K), le matériau est donc à plus de la moitié de sa température de fusion ( $T_f$ ) en échelle absolue; il présente un comportement visqueux. Dans la mesure où on ne sait pas avant d'avoir fait les expériences s'il existe un seuil ou non, on désignera les modèles développés par le terme de viscoplasticité.

### 1.2 Essais de Fluage

L'étude du comportement viscoplastique s'effectue à l'aide d'essais de fluage (Fig.1). On dispose pour cela d'un ensemble de poids, de masses respectives 1534 g, 1320 g, 1150 g, 997 g et 720 g. Comme le montre l'image de la figure 1, on ne dispose pas de moyen de mesure précis. Les déplacements  $U = L_t - L_0$  sont mesurés en prenant des clichés successifs d'un repère situé à une distance initiale  $L_0 = 1,1 \text{ m}$  du point d'ancrage.

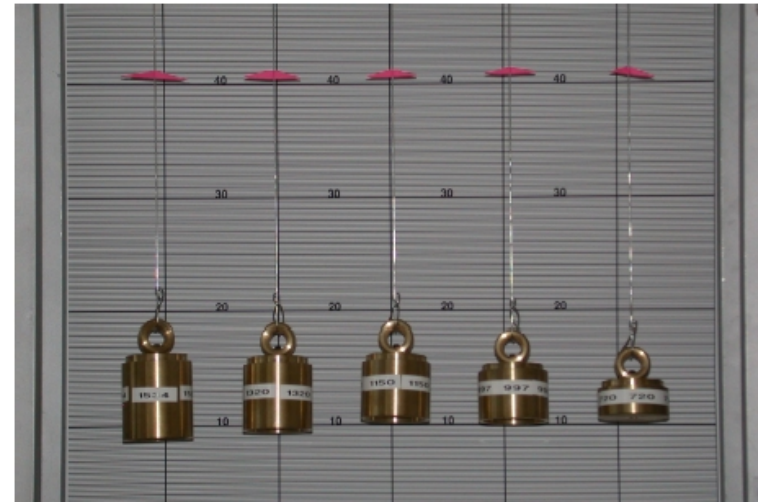


FIG. 1: Montage utilisé pour l'identification du comportement des fils de brasure

On observera qu'il s'instaure immédiatement un régime de fluage secondaire. Ceci justifie une modélisation de l'écoulement viscoplastique par une loi de Norton. On écrit alors, pour un chargement monotone, une loi puissance entre la contrainte appliquée,  $\sigma$  et la vitesse de déformation viscoplastique  $\dot{\epsilon}^p$  :

$$\dot{\epsilon}^p = \left( \frac{\sigma}{K} \right)^n \quad (1)$$

Les coefficients  $K$  et  $n$  sont des paramètres qui règlent le comportement visqueux.

- Q1 On suppose que l'on a un comportement de type Maxwell, mais avec une viscosité non linéaire répondant à la loi de Norton rappelée ci-dessus. Rappelez la représentation schématique de ce modèle.*
- Q2 Réalisez une série d'essais sur le fil de brasure contenant 50% d'étain et de diamètre  $\varnothing = 1.5$  mm. Mesurez l'allongement du fil,  $U = L_t - L_0$ , toutes les minutes, avec les différents poids.*
- Q3 Pour chaque valeur des contraintes  $\sigma = F/S_0$ , déterminez la vitesse de déformation plastique stabilisée,  $\dot{\epsilon}^p$ . Tracez dans un diagramme log-log l'évolution de la vitesse de déformation plastique  $\dot{\epsilon}^p$  en fonction de la contrainte.*
- Q4 Identifiez les coefficients  $n_1$  et  $K_1$  de la loi de Norton. Tracez les prédictions du modèle pour chaque essai de fluage dans le diagramme  $\dot{\epsilon}^p$  en fonction du temps et comparez-les avec les résultats expérimentaux.*

## 2 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 (50% étain et  $\varnothing = 1.5$  mm). La figure 2 donne une vue partielle du montage utilisant le même bâti. Dans cette expérience, le fil de brasure est relié au poids par l'intermédiaire du peson. De plus, le poids est relié au système d'ancrage par l'intermédiaire d'un fil de Nylon supposé inextensible.

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.

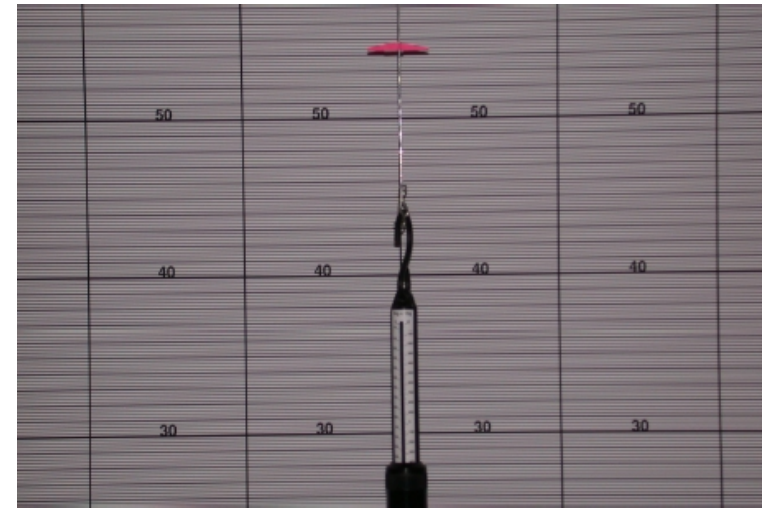


FIG. 2: Montage utilisé pour l'essai de relaxation

### 2.1 Etude théorique

- Q5 Donnez le schéma rhéologique du système {fil de brasure + peson}*
- Q6 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  $S = S_{fil}$  est constante. Comparez la valeur de  $E^*$  à la valeur du module du fil ( $E = 30000$  MPa).*
- Q7 Donnez l'évolution la force  $F$  dans le peson en fonction du déplacement du marqueur  $U$ .*
- Q8 A partir du schéma rhéologique, donnez l'expression de la contrainte  $\sigma$  dans le fil en fonction du temps.*
- Q9 Tracez la prédiction du modèle en utilisant les valeurs  $n_1$  et  $K_1$  précédemment identifiées.*

## 2.2 Essai d'écrouissage

*Q10 Mettre au point un système permettant d'effectuer des essais de traction lente sur les fils*

*Q11 Réaliser des essais de traction sur les deux types de brasure, avec deux ou trois vitesses selon le temps disponible.*

## 2.3 Montage complexe

*Q12 Réalisez un ou plusieurs montages avec des fils et ressorts en série ou en parallèle et tester leur réponse en fluage ;*

*Q13 Etablir les équations du système et vérifier en utilisant les paramètres préalablement établis qu'il est possible de simuler numériquement le comportement expérimental.*

## 3 Déroulement du projet

On dispose de deux fils, avec des proportions différentes d'étain et de plomb (fils 1 et 2, avec des proportions respectives de 40/60 et 97/3).

---

### Plan de travail possible

---

28 mars	Fluage, fil 1
4 avril	Relaxation, fil 1
2 mai	Traction, fils 1 et 2 Synthèse matériau 1
9 mai	Fluage et relaxation fil 2
16 mai	Synthèse matériau 2
23 mai	Création d'un système complexe
30 mai	Identification du système

---