

# IDENTIFICATION DE MODELES DE VISCOPLASTICITE

## Fil étain–plomb

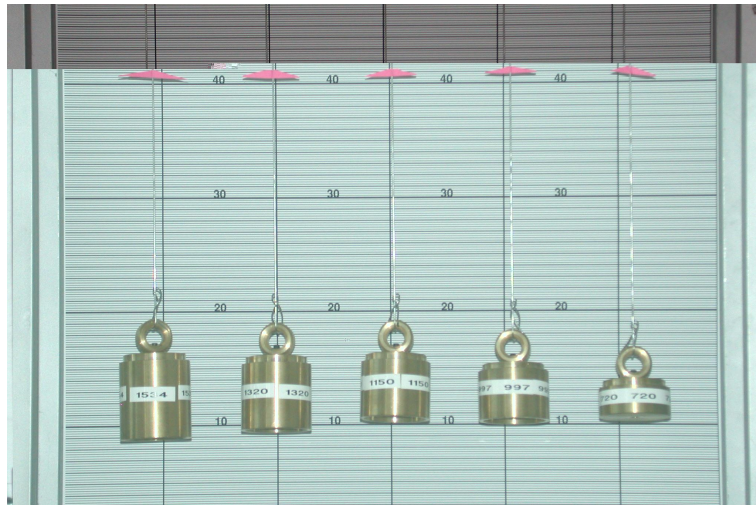


Fig.1 : Montage utilisé pour l'expérience de fluage

Le fil de brasure étain–plomb (60/40) est en fait un composite constitué de 5 fils élémentaires lubrifiés pour améliorer les propriétés de soudabilité. Il fond entre 180 et 200°C. On l'utilise en diamètre 1,2 mm, ce qui correspond à une surface initiale de 1,13 mm<sup>2</sup>. A température ambiante, le matériau est donc à plus de la moitié de sa température de fusion en échelle absolue ; il est viscoplastique.

On effectue d'abord des expériences de **fluage**. On dispose pour cela de 5 poids, de masses respectives 1534g, 1320g, 1150g, 997g et 720g. Comme le montre l'image du montage (Fig.1), on ne dispose pas de moyen de mesure précis. On se contente de mesurer les allongements en prenant des clichés successifs d'un repère situé à une distance  $L_0$  du point d'ancrage. Les déformations sont assez importantes (le déplacement final est de l'ordre d'une dizaine de centimètres pour une base de mesure qui varie selon les essais entre 370 mm et 460 mm). On effectue néanmoins une analyse en termes de petites perturbations.

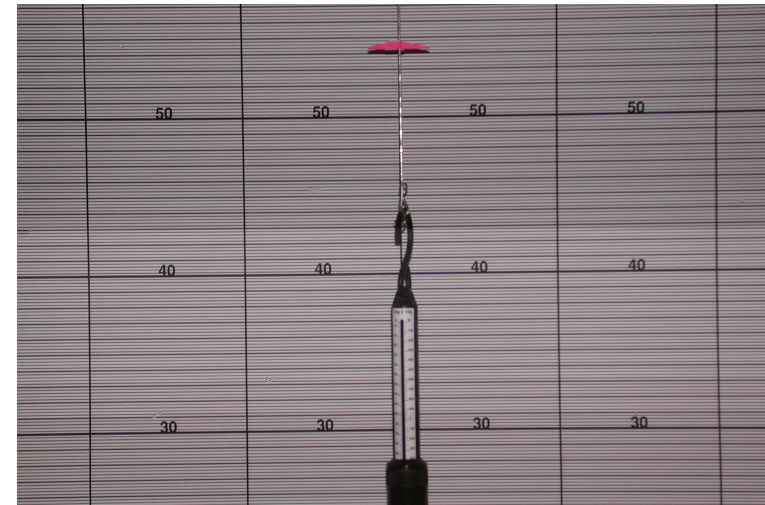


Fig.2 : Montage utilisé pour l'expérience de relaxation

On effectue par ailleurs une expérience de **relaxation**. Le montage, dont la figure 2 donne une vue partielle, utilise le même bâti. On utilise le poids de 1320g, mais celui-ci est maintenant attaché au fil par l'intermédiaire d'un peson, ce qui représente une masse suspendue de 1380g. On laisse s'effectuer une période de fluage, puis le poids se pose sur le sol. A partir de là, la longueur totale de l'ensemble fil + peson est constante. Le peson va continuer à tirer sur le fil, et celui-ci va donc continuer à s'allonger.

Les résultats des trois séries d'essais réalisées en fluage sont reportés en Fig.3. Malgré les moyens rudimentaires, l'expérience est relativement bien reproductible. On observe que le matériau passe directement en fluage secondaire, ce qui justifie une modélisation en termes de modèle de Norton. On écrit alors, en traction simple,  $\dot{\varepsilon}^p = (\sigma/K)^n$ . On effectue pour chaque niveau de contrainte la moyenne des pentes relevées sur les courbes précédentes.

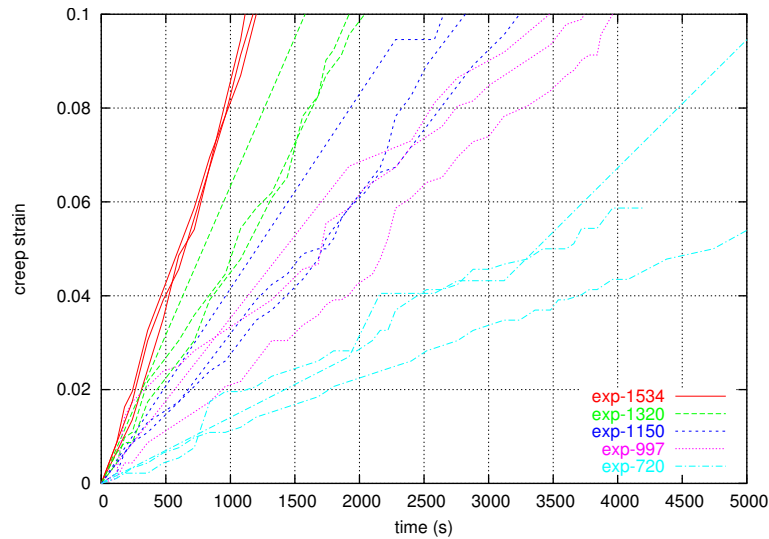


Fig.3 : Déformation *versus* temps au cours de l'expérience de fluage

Ces valeurs, qui représentent les vitesses de déformation viscoplastique stabilisées, sont regroupées dans le tableau ci-dessous. En reportant ces valeurs en fonction de la contrainte dans un diagramme log-log, comme le propose la figure 4, on trouve facilement une estimation des paramètres de la loi de comportement.

Masse (Kg)	1.53	1.32	1.15	1.00	0.72
$\sigma$ (MPa)	13.3	11.4	1.0	8.6	6.2
$\dot{\epsilon}^p$ ( $10^{-5} s^{-1}$ )	8.7	5.5	3.8	2.7	1.5

Pour analyser l'expérience de relaxation, on considère que le déplacement lié à l'élasticité du fil est négligeable. Le fonctionnement du système est tel que le déplacement du point de liaison peson-fil, qui est égal au rapport de la force  $F$  passant dans le système par la raideur du peson,  $R$ , est compensé par l'allongement total du fil, dû à la plasticité,  $D_{pt}$ .

$$D = \frac{F}{R} + D_{pt} = C^{te}$$

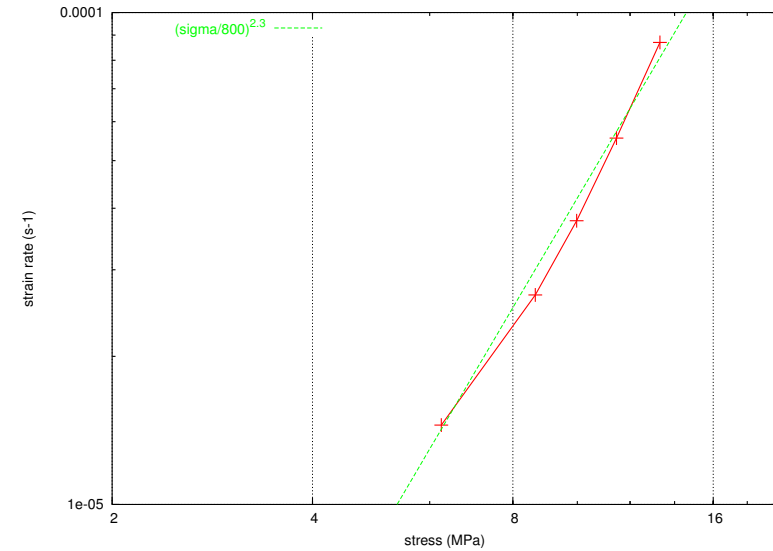


Fig.4 : Diagramme log-log vitesse de fluage *versus* contrainte

On connaît en fait le déplacement  $D_p$  sur une base de mesure de  $L$ . En supposant que la déformation est uniforme tout au long du fil, de longueur  $L_t$ , le déplacement  $D_{pt}$  total pour le fil s'obtient par  $D_{pt} = D_p L_t / L$ . Comme  $D$  est constant lorsque la masse repose sur le sol, on peut donc étalonner la raideur du peson au travers de sa réponse mécanique, montrée en figure 5 :

$$R = - \frac{\Delta F}{\Delta D_p} \frac{L}{L_t}$$

On peut par ailleurs transformer l'équation initiale en faisant apparaître contrainte et déformation plastique :

$$\frac{D}{L_t} = \frac{\sigma S}{R L_t} + \frac{D_p}{L} = \frac{\sigma}{E^*} + \epsilon^p$$

L'expérience peut donc être simulée comme une véritable relaxation, mais en choisissant un module apparent  $E^*$ , qui prend en compte la souplesse du peson.

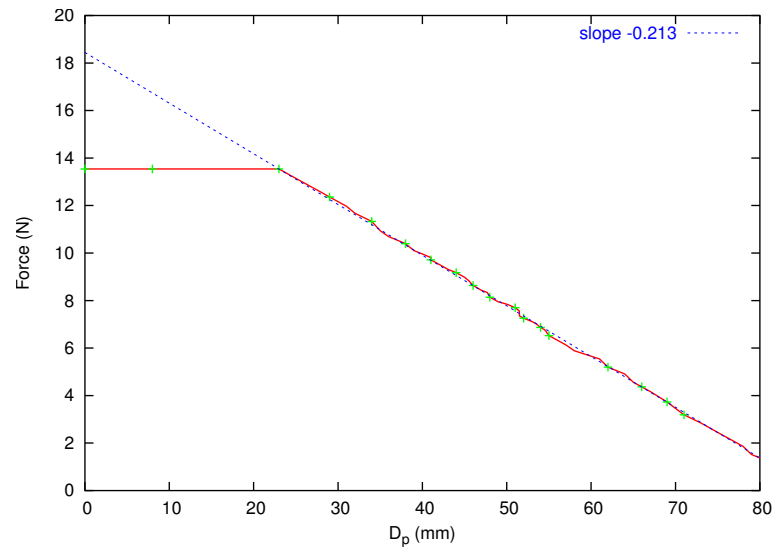


Fig.5 : Evolution de la force en fonction du déplacement mesuré

On trouve l'expression suivante pour  $E^*$  :

$$E^* = \frac{RL_t}{S} = -\frac{\Delta F}{\Delta D} \frac{L}{S}$$

L'application numérique donne 60,38 MPa, ce qui est très petit au regard du module du matériau (environ 30000 MPa), et justifie l'hypothèse faite *a priori*. La figure 6 montre le résultat obtenu dans le plan temps–contrainte. Pour obtenir cette dernière courbe, on a laissé de côté la période de fluage, qui correspond à la partie à force constante jusqu'à un allongement de 24 mm en figure 5, et on a divisé la force par la section initiale. L'expression de l'évolution au cours de la relaxation est analytique avec la loi de Norton. En écrivant  $\dot{\sigma}/E^* + \dot{\varepsilon}^p = 0$ , on trouve une équation différentielle du premier ordre en  $\sigma$  donc l'intégration, en prenant  $\sigma = \sigma_0$  au temps initial, fournit, en fonction du temps  $t$  :

$$\sigma^{1-n} - \sigma_0^{1-n} = \frac{(1-n)E^*}{K^n} t$$

Bien que la modélisation soit analytique, tant pour le fluage que pour la relaxation, on offre ici la possibilité d'effectuer une modélisation numérique dans laquelle

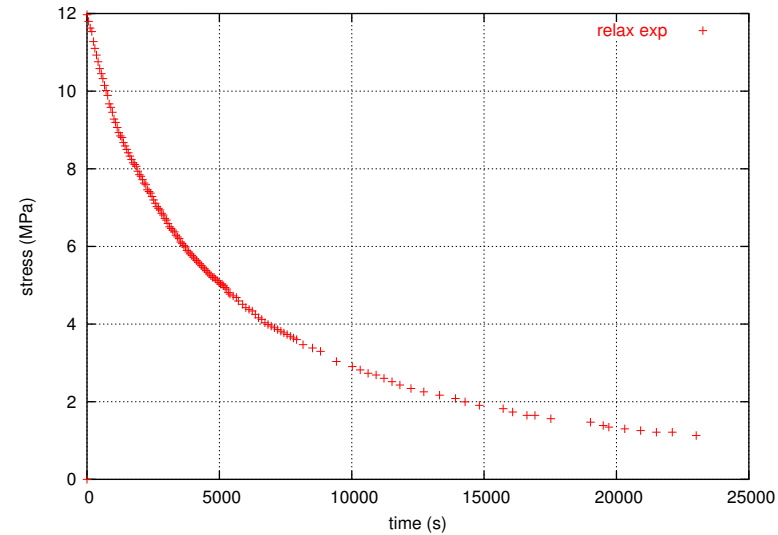


Fig.6 : Evolution de la contrainte en fonction du temps pendant la relaxation

l'équation différentielle est intégrée. On utilise pour cela par des fichiers du type indiqué en colonne de gauche, appelant le fichier matériau, défini en colonne de droite (code de calcul ZéBuLoN).

*Chargement de l'essai de fluage à 1150 MPa*

```
***test cr1150
**load
time sig11
0. 0.
10. 9.975
10000. 9.975
**model *file solder.mat
**output time etoll sig11
```

*Fichier définissant un matériau élasto-viscoplastique*

```
***behavior gen_ev_p
**elasticity isotropic
young 30000. poisson 0.4
**potential gen_ev_p ep
*criterion mises
*flow norton
K 800. n 2.3
***return
```

[Accès à la feuille de calcul](#)