

# Méthode des Champs Virtuels pour la caractérisation de modèles de comportement viscoplastiques

D. Notta<sup>1,2</sup>, B. Langrand<sup>1</sup>, E. Markiewicz<sup>2</sup>, F. Lauro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ONERA Centre de Lille, DADS/CRD, France, {delphine.notta,bertrand.langrand}@onera.fr

<sup>2</sup> Univ. Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Lille Nord de France, LAMIH, France, {eric.markiewicz,franck.lauro}@univ-valenciennes.fr

**Résumé** — L'identification des paramètres de comportement du modèle viscoplastique de Johnson-Cook par la Méthode des Champs Virtuels est étudiée. L'utilisation de champs de déformations simulés numériquement permet de mettre en évidence et de quantifier les différents biais pouvant influencer les résultats d'identification.

**Mots clefs** — Identification, Méthode des Champs Virtuels, Viscoplasticité.

## 1 Introduction

Le développement des techniques de mesure de champs (comme la stéréo-corrélation d'images numériques) permet l'analyse de champs mécaniques fortement hétérogènes, pour lesquels aucune relation explicite ne relie les champs de déformation et de contrainte. De nouvelles perspectives s'ouvrent alors pour l'identification de paramètres matériaux, en particulier pour des modèles de comportement non-linéaires. La Méthode des Champs Virtuels (MCV) [1] est dédiée à l'identification de paramètres matériaux à partir de mesures de champs de déformation. Pour des modèles linéaires (e.g. élasticité linéaire [2]), l'identification est directe. Pour des cas non-linéaires (élastoplasticité, viscoplasticité, endommagement...), la méthode repose sur un processus itératif de minimisation d'une fonction-coût.

Le modèle viscoplastique de Johnson-Cook (JC) [3] est très largement utilisé pour caractériser le comportement de matériaux métalliques subissant des chargements en grandes déformations, grandes vitesses de déformation et hautes températures. Les travaux présentés ici visent à identifier ses paramètres constitutifs grâce à la MCV. Des tests utilisant des champs de déformation simulés numériquement ont permis de mettre en avant les différents biais pouvant influencer les résultats de la méthode.

## 2 Identification du modèle viscoplastique de Johnson-Cook par la MCV

La MCV repose sur le Principe des Travaux Virtuels (PTV), exprimant l'équilibre mécanique d'un solide quelconque, de volume  $V$ . La relation (1) est ici présentée en négligeant l'action des forces volumiques (poids, interactions électromagnétiques ...) et le travail virtuel des accélérations.

$$0 = \int_{S_f} \vec{T} \cdot \vec{u}^* dS - \int_V \bar{\sigma} : \bar{\epsilon}^* dV \quad (1)$$

avec  $\vec{T}$  le vecteur contrainte agissant sur  $S_f$  (surface d'application des efforts) et  $\bar{\sigma}$  le tenseur des contraintes de Cauchy.  $\vec{u}^*$  est le champ de déplacement virtuel (CV – cinématiquement admissible) et  $\bar{\epsilon}^*$  le tenseur virtuel des déformations, dérivant de  $\vec{u}^*$ .

Un algorithme à retour radial permet le calcul des champs de contrainte selon les relations de comportement du modèle de JC. Les paramètres de comportement à identifier sont ainsi introduits dans l'équation (1).

Les champs de déformation (données du problème inverse) sont issus de la résolution de modèles aux éléments finis d'une éprouvette entaillée (Figure 1) subissant des chargements de traction uniaxiale (axe y). Le CV simple,  $\vec{u}^* = (0; y)$ , permet d'exprimer le travail virtuel des efforts extérieurs directement à partir de la résultante des efforts, F, et de la longueur totale de l'éprouvette L. La fonction-coût,  $\phi(\vec{X})$  (2), qui en découle traduit les écarts à l'équilibre (au sens des moindres carrés) selon l'expression du PTV (1), en fonction du vecteur des paramètres matériaux,  $\vec{X}$ . Sa minimisation constitue le processus d'identification par la MCV.

$$\phi(\vec{X}) = \sum_k \left[ \left( \int_V \sigma_{yy}(\vec{X}, t_k) dV - F(t_k) \cdot L(t_k) \right) / F(t_k) \cdot L(t_k) \right]^2 \quad (2)$$

où les  $t_k$  sont les instants d'enregistrement des cartographies de déformation.

Les résultats de l'identification sont assez précis pour des chargements statiques ( $\dot{\epsilon}^{vp} < \dot{\epsilon}_0$ ). Cependant, malgré la convergence du processus, l'identification renvoie des valeurs très éloignées des valeurs de référence pour les chargements dynamiques (viscoplastiques,  $\dot{\epsilon}^{vp} > \dot{\epsilon}_0$ ). Une des principales sources de ces écarts est l'erreur commise sur le calcul des contraintes pour les cas dynamiques, qui est négligeable pour des cas statiques. Les résultats d'identification par la MCV sont également très sensibles aux erreurs sur la valeur de F et, plus généralement, à l'ensemble des erreurs pouvant affecter la construction de la fonction-coût (e.g., données bruitées). Indépendamment de ces erreurs sur  $\phi$ , l'identification peut être compromise par une influence déséquilibrée des paramètres matériaux sur la réponse mécanique. Par exemple, une variation des valeurs des paramètres viscoplastiques aura un faible impact sur le calcul des contraintes alors qu'elles sont immédiatement affectées par une variation de la limite initiale d'élasticité. Enfin, certains couplages entre paramètres nuisent à leur identification précise.

Une solution abordée consiste en une identification successive des paramètres plastiques et viscoplastiques. Dans ces conditions, une fois les paramètres plastiques identifiés, l'influence sur la fonction-coût des autres paramètres peut être renforcée, et leur identification améliorée.

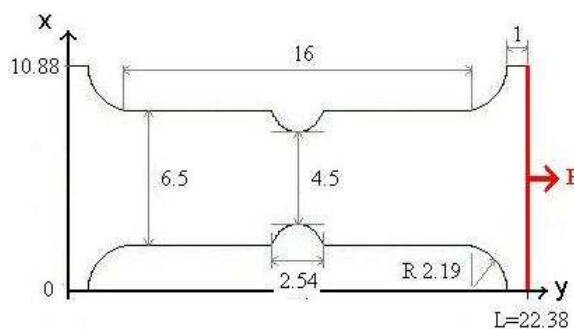


FIG. 1 – EPROUVETTE ENTAILLEE

## Références

- [1] M. Grédiac. *Principe des Travaux Virtuels et Identification*, CR de l'Académie des Sciences Paris, Série II, vol 309, 1-5, 1989.
- [2] M. Grédiac, E. Toussaint, F. Pierron. *Special Virtual Field for the Direct Determination of Material Parameters with the Virtual Fields Method. 1-Principle and Definition*, Int. J. of Solids and Structures, vol 39, 2691-2705, 2002.
- [3] G.R. Johnson, W.H. Cook. *A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain-Rates and High Temperatures*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> Int. Symposium on Ballistic, The Hague, 1983.