



HAL
open science

Identification de paramètres d'un modèle de plasticité à partir de mesures de champs

Frédéric Ducher, Franck Toussaint, Laurent Tabourot, TERENCE Coudert

► **To cite this version:**

Frédéric Ducher, Franck Toussaint, Laurent Tabourot, TERENCE Coudert. Identification de paramètres d'un modèle de plasticité à partir de mesures de champs. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-04268284

HAL Id: hal-04268284

<https://hal.science/hal-04268284>

Submitted on 2 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Identification de paramètres d'un modèle de plasticité à partir de mesures de champs

Frédéric Ducher^{a,b}, Franck Toussaint^a, Laurent Tabourot^a & TERENCE Coudert^a

^a Laboratoire de Mécanique Appliquée d'Annecy
Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy
BP 806 - 74016 Annecy Cedex

^b VITATECH
Z.I. des Prés Paris - 191 rue des Métaux - 74970 Marignier
frederik.ducher@univ-savoie.fr

Résumé :

Dans cet article, le comportement mécanique en traction du titane T40 est étudié à partir d'une technique de corrélation d'images à niveaux de gris aléatoires. Les déformations mesurées à la surface de l'éprouvette sont exploitées au sein du logiciel 7D puis Matlab afin de restituer, sous l'hypothèse de conservation de volume, les différentes courbes contrainte vraie - déformation logarithmique pour chacune des 69 sections analysées au cours de l'essai. Parmi toutes ces courbes, seule celle conduisant à la déformation maximale, là où la déformation se localise, est retenue pour identifier les paramètres d'un modèle de comportement unidimensionnel d'un solide élastoplastique écrouissable initialement isotrope.

Abstract :

In this paper, the mechanical behaviour of a T40 titanium sample during a tensile test is studied using a technique of random gray levels images analysis. The measured strains on the surface of the sample are analyzed within the software 7D and Matlab in order to give, under the assumption of volume balance, the true stress - logarithmic strain curves for each 69 sections analyzed during the test. Among all these curves, only that leading to the maximum strain, those where the deformation is localised, is used to identify the parameters of a unidimensional isotropic plastic model.

Mots-clefs :

mesures de champs ; essai de traction ; modèle plastique ; identification de paramètres ; emboutissage

1 Introduction

Ce travail entre dans le cadre d'un partenariat entre le laboratoire de mécanique appliquée d'Annecy (LMécA) et la société VITATECH, société spécialisée dans la conception et la distribution d'implants de la colonne vertébrale pour lequel une étude de la mise en forme par emboutissage d'un implant destiné à traiter les pathologies type scoliose a été proposée. Le matériau utilisé pour la fabrication de ces pièces est le titane T40 pour sa biocompatibilité. Bien que largement utilisé dans les secteurs tels que l'aéronautique, l'énergie ou le médical, la caractérisation du comportement mécanique de cette nuance de titane n'a fait l'objet que d'assez peu d'études. Or pour proposer un outil performant de simulation de l'opération de mise en forme à l'industriel, l'étude expérimentale du comportement du titane T40 est une étape préliminaire importante. La section 2 de cet article présente les résultats de cette étude expérimentale dans le cas d'un essai de traction pour lequel une technique de mesures de champs de déformation a été

utilisée. Ces mesures sont ensuite exploitées afin d'identifier les paramètres d'un modèle de comportement d'un solide élastoplastique écrouissable initialement isotrope.

2 Etude expérimentale du comportement du titane T40

2.1 Analyse des déformations au cours d'un essai de traction

L'essai de traction (Figure 1) est réalisé sur une machine de traction INSTRONTM contrôlée en vitesse de déplacement de traverse constante ($V = 2$ mm/min). L'acquisition de l'effort au cours de l'essai s'effectue au travers d'une cellule de force de capacité 50 kN et du logiciel d'acquisition Merlin. Une face de l'éprouvette est recouverte d'un mouchetis de peinture créé à partir de deux bombes blanche et noire. Durant l'essai, des images de l'éprouvette sont enregistrées par une caméra numérique de résolution 1280×1024 , située à environ 30 cm de l'échantillon. L'intervalle de temps entre chaque prise d'images est de 4 secondes.

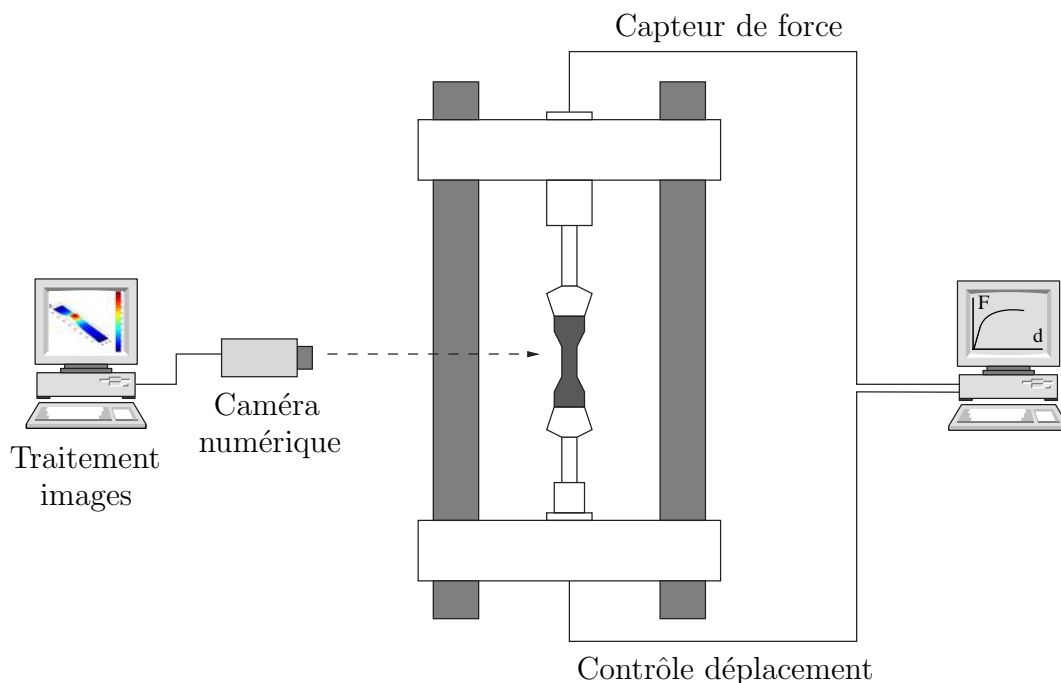


FIG. 1 – Chaîne d'acquisition numérique utilisée au cours de l'essai de traction.

Ces images sont ensuite analysées à l'aide du logiciel 7D développé au laboratoire LMéca par P. Vacher [1],[2]. Basé sur une technique de corrélation d'images, ce logiciel permet de déterminer un champ de déplacement $u(x)$ à la surface de l'éprouvette. Chaque point M de coordonnées x par l'intermédiaire d'une grille d'analyse sont détectés entre l'image initiale et une image enregistrée à un état déformé. Cette grille est constituée de 69×14 quadrilatères de 10 par 10 pixels. Les incertitudes de mesures de déplacements sont de l'ordre de 0.02 pixel. Le champ de déplacement calculé en chaque point s'écrit sous une forme bilinéaire :

$$\begin{cases} u_1(x_1, x_2) = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_1x_2 + d_1 \\ u_2(x_1, x_2) = a_2x_1 + b_2x_2 + c_2x_1x_2 + d_2 \end{cases}$$

Les déplacements hors plans sont négligeables pour un essai de traction, ils sont mêmes quasiment nuls si les conditions expérimentales sont bonnes, i.e. si l'axe optique de la caméra est normal à la face de l'éprouvette. Le tenseur gradient de la transformation est calculé à partir du champ de déplacement selon :

$$\mathbf{F} = \text{grad}(\mathbf{u})$$

La base extensométrique utilisée pour le calcul des déformations est de 10×10 pixels. Le tenseur de Green-Lagrange est ensuite déterminé à partir de la relation :

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2}(\mathbf{F}^T \mathbf{F} - \mathbf{I})$$

où \mathbf{I} le tenseur identité.

2.2 Champs de déformation de Green-Lagrange

La Figure 2 présente les champs de déformation E_{xx} , E_{yy} et E_{xy} ainsi que la courbe force F au cours du temps t issu d'un essai de traction réalisé sur une éprouvette d'épaisseur 0.5 mm de titane T40 découpé à 0° par rapport à la direction de laminage.

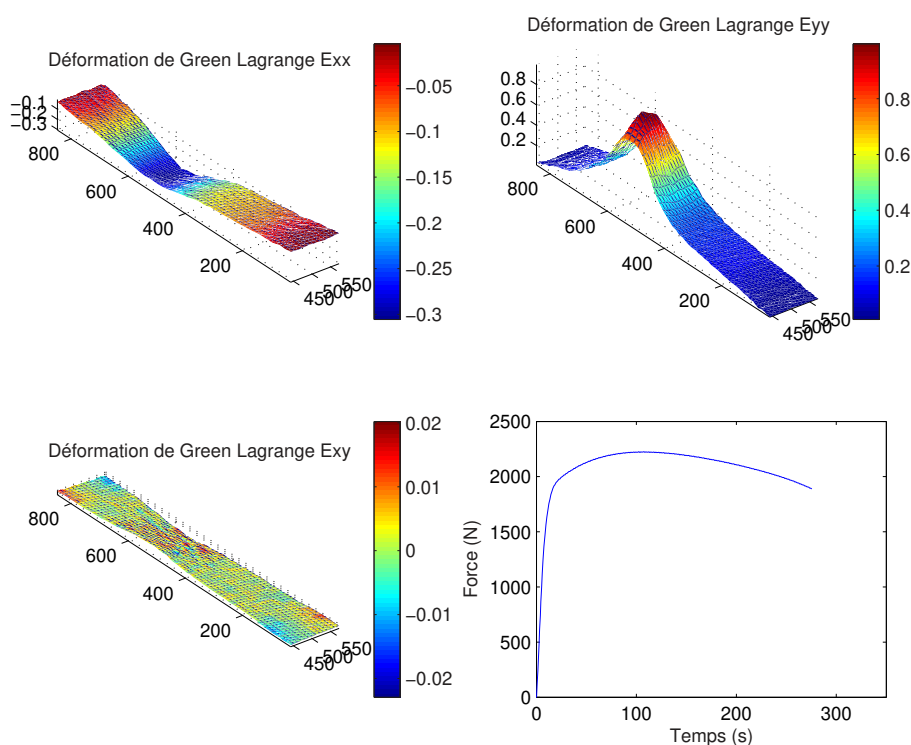


FIG. 2 – Champs des déformations de Green-Lagrange précédant la rupture lors d'un essai de traction sur une éprouvette de titane T40 découpé à 0° par rapport à la direction de laminage.

L'axe de traction est porté par le vecteur de base \vec{e}_y , \vec{e}_x est porté suivant la largeur de l'éprouvette et \vec{e}_z suivant son épaisseur. On constate que les champs de déformations E_{xx} et E_{yy} précédant la rupture ne sont pas homogènes. Les valeurs des déformations atteintes à la

fin de l'essai sont importantes puisque les déformations longitudinale et transversale valent respectivement $E_{yy} = 0.7$ et $E_{xx} = 0.3$. Par ailleurs, les déformations E_{xy} restent négligeables (de l'ordre de 1.5×10^{-3}). La courbe force en fonction du temps indique que F passe par un maximum égale à 2225 N pour un temps t d'environ 100 secondes.

2.3 Courbe contrainte vraie - déformation logarithmique

La détermination de la contrainte vraie nécessite la détermination de la section courante de l'éprouvette et notamment l'épaisseur courante que nous ne pouvons atteindre expérimentalement avec les mesures de déformation plane réalisées. L'hypothèse de conservation de volume au cours de l'essai soulève cette indétermination. Ainsi en utilisant les déformations principales de Hencky ou déformations logarithmiques, la conservation du volume se traduit par :

$$\varepsilon_I + \varepsilon_{II} + \varepsilon_{III} = 0$$

où ε_I , ε_{II} et ε_{III} sont les déformations principales du tenseur de Hencky défini par : $\varepsilon = \frac{1}{2} \ln(\mathbf{C})$ avec $\mathbf{C} = \mathbf{F}^T \mathbf{F}$ tenseur des élongations. La déformation ε_{III} ainsi déduite permet alors de calculer l'épaisseur courante suivant la relation $e = e_0 \cdot \exp(\varepsilon_{III})$ où e_0 est l'épaisseur initiale de l'éprouvette. La Figure 3 présente les courbes contrainte vraie - déformation logarithmique pour les 69 lignes de l'analyse.

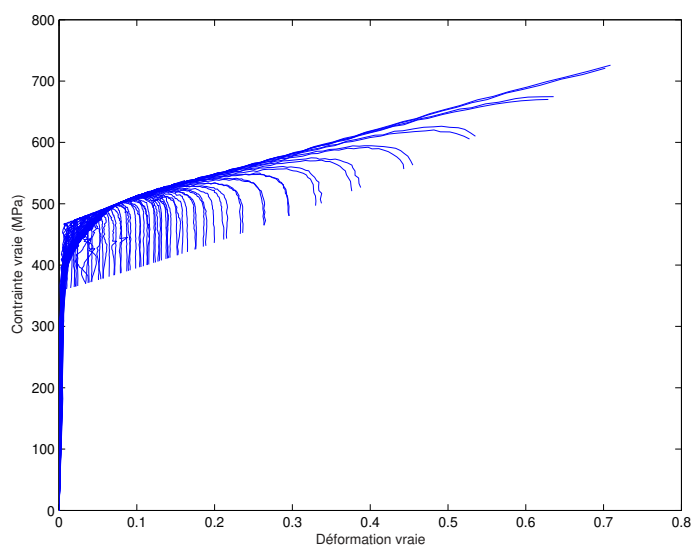


FIG. 3 – Courbes contrainte vraie - déformation logarithmique pour chacune des 69 lignes analysées au cours de l'essai de traction.

Au début de l'écroutissage toutes les courbes décrivent quasiment un chemin unique. En fonction des zones d'analyses les courbes n'atteignent pas toutes les mêmes valeurs de déformation. En particulier, les courbes pour lesquels les déformations restent faibles correspondent aux extrémités de l'éprouvette où la section courante S varie peu. On constate par ailleurs que l'écroutissage est toujours positif dans la zone où la déformation se localise [3].

2.4 Identification des paramètres d'une loi plastique

Afin de simuler l'essai de traction, on décide alors d'identifier les paramètres d'une loi simple type Hollomon :

$$\sigma = K_e \varepsilon_p^{\frac{1}{M_e}}$$

Le modèle de comportement unidimensionnel a été programmé sous le logiciel de calcul numérique Matlab suivant un schéma d'intégration de type Euler explicite. Afin d'identifier les paramètres plastique, on utilise la toolbox Optimisation de Matlab. La fonction coût est définie par :

$$f(K_e, M_e) = \sum_{i=1}^n e^2(i) = \sum_{i=1}^n (\sigma_{num}(i) - \sigma_{exp}(i))^2$$

où n est le nombre de points expérimentaux, σ_{num} et σ_{exp} sont respectivement la contrainte calculée numériquement et la contrainte expérimentale. Le tableau 1 présente les valeurs des paramètres K_e et M_e après optimisation pour des essais de traction réalisées sur des éprouvettes découpées à 0° , 45° et 90° par rapport à la direction de laminage.

Angle	0°	45°	90°
K_e	414	433	471
M_e	2.54	2.47	2.40

TAB. 1 – Valeurs des paramètres d'une loi de type Hollomon identifiées sur des essais de traction réalisés à 0° , 45° et 90° par rapport à la direction de laminage.

Les valeurs initiales des paramètres K_e et M_e pour l'essai à 0° sont issues de données de la littérature pour des matériaux métalliques [4]. Par suite et afin de limiter le nombre d'itérations, les paramètres à 0° servent de valeurs initiales pour les directions à 45 et 90° .

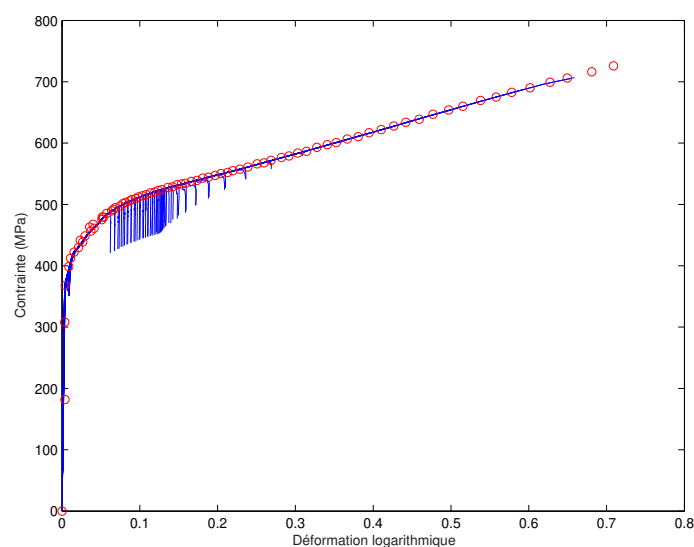


FIG. 4 – Courbes contrainte - déformation obtenues par simulation numérique pour chacune des 69 lignes du maillage de l'éprouvette. (Les cercles représente la loi de comportement initiale.)

Une étude numérique de l'essai de traction pour l'éprouvette à 0° est une tâche actuellement en cours de développement. La Figure 4 présente les courbes contraintes déformations issues d'une première simulation numérique sous le code éléments finis ABAQUS. Ces résultats sont à comparer avec ceux de la Figure 3 issus de l'expérimentation.

3 Conclusion et perspectives

La première partie de ce travail a été consacrée à l'analyse des déformations au cours d'un essai de traction sur des éprouvettes en titane T40 à partir d'un outil d'analyse d'images. Les mesures ainsi réalisées ont permis de tracer les courbes contrainte vraie - déformation logarithmique pour différentes zones de l'éprouvette. On constate que l'écrouissage est toujours positif là où la déformation se localise. Les paramètres d'une loi de type Hollomon ont été déterminés sur cette dernière courbe. Ces derniers sont actuellement utilisés pour simuler l'essai de traction et comparer in fine les résultats numériques aux mesures expérimentales. A court terme, ces résultats serviront de point d'appui à la mise en oeuvre d'une technique de recalage de paramètres matériaux par simulation numérique [5], [6] sur des essais non homogènes. Cette démarche d'identification par optimisation de paramètres matériaux devrait améliorer la prédiction des simulations numériques et notamment celle de la mise en forme de l'implant.

La même démarche d'identification par optimisation pourra alors être effectuée à la sortie du logiciel éléments finis.

Références

- [1] F. Morestin P. Vacher, S. Dumoulin and S. Mguil-Touchal. Bidimensional strain measurement using digital images. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 213 :811–817, 1999. 2.1
- [2] A. Haddad P. Vacher and R. Arrieux. Determination of the forming limit diagrams using image analysis by correlation method. *Annals of the CIRP*, 48(1) :227–230, 1999. 2.1
- [3] T. Coudert F. Toussaint L. Tabourot, P. Vacher and R. Arrieux. Numerical determination of strain localisation during finite element simulation of deep-drawing operations. *J. of Materials Processing Technology*, 159 :152–158, 2005. 2.3
- [4] Chaboche J.L. Lemaître, J. Mécanique des matériaux solides. Technical Report 198-205, Dunod, 2001. 2.4
- [5] Oomens C.W.J Baaijens F.P.T Petterson R Meuwissen, M.H.H and J.D. Janssen. Determination of the elasto-plastic properties of aluminium using a mixed numerical-experimental method. *J. of Materials Processing Technology.*, 75(8) :204–211, 1998. 3
- [6] Kajberg J. and Lindkvist G. Characterization of materials subjected to large strains by inverse modelling based on in-plane displacement fields. *International Journal of Solids and Structures*, 41 :3439–3459, 2004. 3