

# Application de l'indentation instrumentée à l'identification de paramètres de lois de comportement hyper-élastiques.

H. TOCQUEVILLE<sup>a\*</sup>, J. PEPIN<sup>a</sup>, G. LE QUILLIEC<sup>a</sup>

a. Univ. Tours, Univ. Orléans, INSA CVL, LaMé, 37200 Tours, France

\* hugo.tocqueville@univ-tours.fr

## 1 Introduction

L'indentation instrumentée représente à ce jour une technique de caractérisation du comportement mécanique local très utilisée. Ses applications, couvrant différentes échelles de la macro-indentation à la nano-indentation ont fait l'objet de nombreuses recherches ces trente dernières années. L'intérêt s'est tout d'abord porté sur les matériaux au comportement élastique ou élasto-plastique tels que les métaux, les verres ou les céramiques permettant d'établir des relations entre les mesures par indentation et les propriétés macroscopiques du matériau étudié [1, 2]. Dans le cadre de l'indentation d'élastomères, des verrous expérimentaux sont rencontrés du fait de leur caractère visqueux, de leur élasticité non linéaire (hyper-élasticité), de problèmes d'état de surface, de détection de contact ou encore d'adhésion avec la pointe. Afin de pallier ces difficultés, il devient nécessaire d'introduire un couplage numérique.

## 2 Présentation des travaux

C'est dans ce contexte, que les travaux de O. Ezzaamari et al. [3] se sont inscrits. En se basant sur une approche par réduction de modèle, ils mettent en évidence la possibilité d'exploiter l'ensemble de la courbe d'indentation pour identifier des paramètres de lois de comportement hyperélastique. La méthode consiste à réduire la dimensionnalité de courbes d'indentation générées numériquement à partir d'un plan d'expérience faisant varier les paramètres du modèle à identifier. Une interpolation dans l'espace réduit permet de générer une variété de forme, sur laquelle est projeté un point correspondant à une courbe expérimentale (Figure 1a).

Les présents travaux mettent en application la méthode à travers l'étude d'un élastomère au comportement purement hyperélastique (non visqueux à température ambiante). Les essais expérimentaux sont obtenus par indentation instrumentée utilisant un indenteur sphérique. A titre d'exemple, une courbe expérimentale ainsi que la courbe numérique issue de l'identification sont illustrées en Figure 1b. Une étude parallèle des états de déformation induits permet d'établir un comparatif avec des essais macroscopiques homogènes. Par la suite, le caractère visqueux présent à température ambiante pour de nombreux élastomères sera pris en compte par la réalisation d'essais d'indentation dynamiques et de fluage de contact. Ces derniers seront mis en regard d'essais macroscopiques.

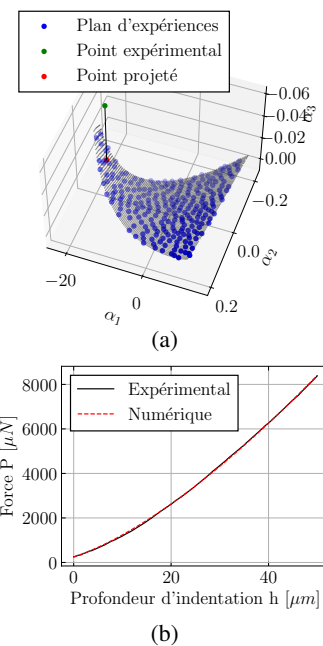


FIGURE 1 — (a) Représentation des courbes d'indentation numériques et expérimentales dans les trois premières dimensions de la base réduite (b) Corrélation après identification par la méthode de réduction de modèle

**Mots clefs :** Élastomères, Indentation instrumentée, Simulation numérique, Réduction de modèle

## Références

- [1] Anthony C. Fischer-Cripps. Nanoindentation. Mechanical Engineering Series. Springer New York, New York, NY, 2011.
- [2] W. C. Oliver et G. M. Pharr. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation : Advances in understanding and refinements to methodology. J. Mater. Res., 19(1) :3–20, 2004.
- [3] O. Ezzaamari et al. : Numerical investigation of the identifiability of elastomer mechanical properties by nano-indentation and shape-manifold approach. Rubber Chem. Technol. , 94(2) :376–392, 2021.