

# Détermination des propriétés mécaniques transverses de fibres par compression diamétrale et mesures de champs de déplacement

F. AMIOT<sup>a</sup>, M. BLOT<sup>a</sup>, T. WEEMAES<sup>a</sup>, H. BERNOLLIN<sup>a</sup>, G.LAURENT<sup>a</sup>,  
C. CLEVY<sup>a</sup>, V. PLACET<sup>a</sup>, J. BEAUGRAND<sup>b</sup>

a. FEMTO-ST Institute, Université Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France  
fabien.amiot@femto-st.fr

b. Biopolymères Interactions Assemblages (BIA), INRA, Nantes, France

## Résumé :

*La littérature concernant les propriétés mécaniques transverses des fibres et mono-filaments est particulièrement pauvre, en comparaison de la quantité abondante d'informations et valeurs disponibles pour la direction longitudinale. On propose ici une méthode originale associant un système micro-mécatronique pour la réalisation d'un essai de compression diamétrale et une mesure de champs de déplacements pour identifier les propriétés élastiques transverses.*

## Abstract :

*The literature focusing on the transverse mechanical properties of single fibers is very sparse compared to those related to longitudinal properties. An original characterization method is proposed herein, relying on a MEMS device to implement a transverse compression test which is monitored using 2D full-field measurements. This is shown to allow for the identification of the transverse elastic properties of a single fiber.*

**Mots clefs : Fibres, Caractérisation mécanique, Mesures de champs**

## 1 Introduction

La littérature concernant les propriétés mécaniques transverses des fibres et mono-filaments est particulièrement pauvre, en comparaison à la quantité abondante d'informations et valeurs disponibles pour la direction longitudinale. Les données disponibles dans la littérature pour la direction transverse sont généralement obtenues à l'aide de l'essai de compression diamétrale, également appelé « essai Brésilien ». Cet essai consiste à placer une fibre cylindrique entre deux plaques planes, sur une certaine longueur, et de la compresser diamétralement. Cet essai a été proposé et développé depuis les années 60 [1]. Cette configuration expérimentale est généralement modélisée en considérant la fibre parfaitement cylindrique, élastique, isotrope ou isotrope transverse, en contact avec deux solides semi-infinis, dans des conditions de déformation plane [2,3]. La littérature relate que la mise en œuvre de

tels essais sur des fibres polymériques de petit diamètre est un véritable défi. En effet, leur taille et leur faible module rendent l'éprouvette très souple par unité de longueur. Ces tests nécessitent donc un capteur d'effort d'une grande sensibilité, un alignement très précis des plateaux de compression et une mesure fine du déplacement diamétral. De plus, la mesure est très sensible à la géométrie du contact fibre-plateau et par conséquent aux variations de diamètre de la fibre.

## 2 Méthodologie

Pour faire face à ces défis, une méthodologie spécifique et le dispositif expérimental associé ont été développés. Il est basé sur un système micro-mécatronique et sur des mesures de champs de déplacement à l'échelle microscopique. Le dispositif expérimental est ainsi constitué d'un actionneur relié à un capteur de force dont l'extrémité constitue le plateau supérieur, un plateau inférieur fixe et un système optique permettant d'observer la section droite de la fibre. L'actionneur et le plateau inférieur sont reliés à des platines de translation et rotation permettant d'ajuster la position initiale des plateaux et ainsi assurer leur bon alignement et parallélisme. Le signal de force est obtenu à partir d'un capteur à poutres déformables développé au sein de l'institut FEMTO-ST. La force est déterminée par vision grâce au suivi de mires positionnées sur les poutres fixes et mobiles du capteur. Ce capteur présente une pleine échelle de mesure d'environ 300 mN et une précision de l'ordre de 14  $\mu$ N. Le déplacement diamétral est également déterminé à partir du déplacement relatif des deux mires. Des images optiques de la section droite de la fibre sont également enregistrées à intervalle de temps régulier. Les champs de déplacement sont alors mesurés par corrélation des images de la coupe en utilisant une formulation intégrée s'appuyant sur une description par les potentiels de Kolosov-Muskhelishvili [4].

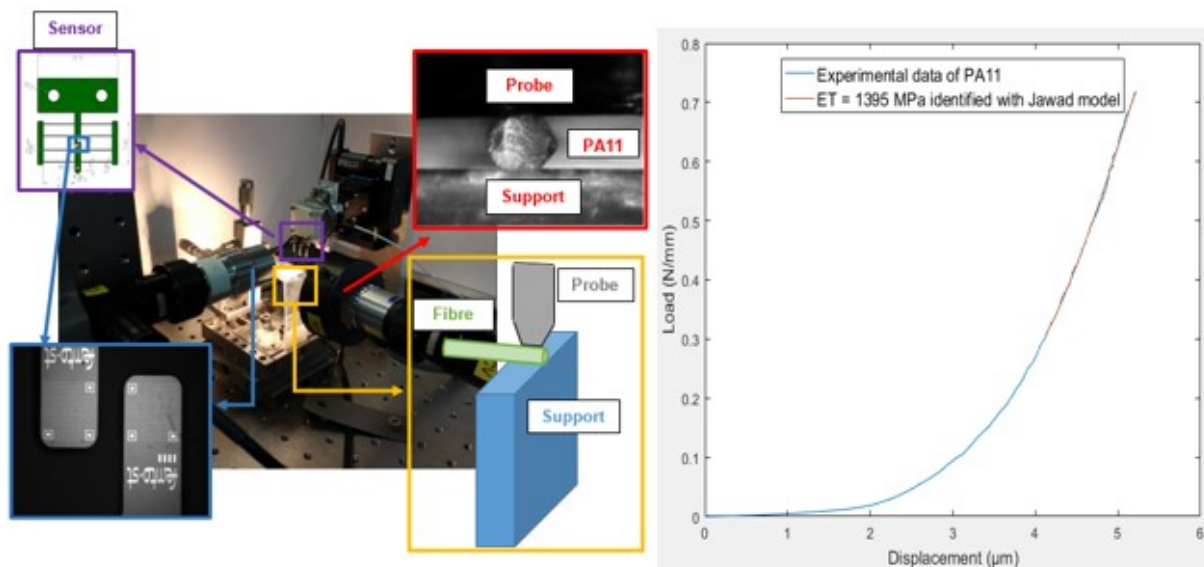


Figure 1 : Vue d'ensemble du dispositif expérimental utilisé et courbe force-déplacement mesurée pour une fibre de PA11.

Des mono-filaments de polyamide 11 (PA11), d'un diamètre moyen d'environ 40  $\mu$ m, ont été testés sur ce dispositif expérimental (voir Fig 1). Le mono-filament est comprimé entre le plateau supérieur et le plateau inférieur sur une longueur d'environ 300  $\mu$ m. Il est alors soumis à un chargement monotone à une vitesse de déplacement constante, suivi d'un plateau au palier de déplacement et d'une décharge monotone. Le module d'élasticité transverse est alors déterminé à partir des données expérimentales

(images de la section droite, voir Fig 2, et de la force) enregistrées lors de la décharge, du modèle analytique développé et des valeurs du module longitudinal et du coefficient de Poisson déterminés préalablement grâce à un essai de traction sur fibre élémentaire.



Figure 2 : Exemple d'image de section transverse d'une fibre de PA11 utilisée pour la détermination du module transverse par corrélation d'image intégrée.

### 3 Résultats

Pour ce mono-filament de PA11, les valeurs mesurées sont respectivement de 2100 MPa et 1450 MPa pour les modules longitudinal et transversal. Ces mesures permettent de mettre en évidence l'anisotropie des propriétés d'élasticité à l'échelle du mono-filament.

### Références

- [1] D.W. Hadley, I.M. Ward, J. Ward, The transverse compression of anisotropic fibre monofilaments, Proc. R. Soc. London A (1965), 275-286
- [2] S. Abdul Jawad, I.M. Ward, The transverse compression of oriented nylon and polyethylene extrudates, J Mater Sci 13 (1978), 1381-1387
- [3] J. Wollbrett-Blitz, S. Joannès, R. Bruant, C. Le Clerc, M. Romero De La Osa, A. Bunsell, A. Marcellan, Multiaxial mechanical behavior of aramid fibers and identification of skin/core structure from single fiber transverse compression testing, J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys. 54 (2016), 374-384
- [4] N.I. Muskhelishvili, (1953) Some Basic Problems of Mathematical Theory of Elasticity, Noordhoff, Holland, 1953