

Mesure de champs de propriétés mécaniques par nano-indentation de grille

F. AMIOT^a, Y. GAILLARD^a

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

Résumé :

Le Congrès Français de Mécanique a pour but principal de favoriser les échanges entre les acteurs de la communauté qu'ils soient du monde académique ou du monde industriel, de présenter les challenges technologiques, d'identifier les problématiques scientifiques associées et de proposer des voies de progrès pour répondre aux enjeux sociétaux. (11 Italique) Interligne (1.15)

Abstract :

The development of economical and safer societies requires to improve the means of transport and of energy production. Rotating machines hold a central place. (11 Italique) Interligne (1.15)

Mots clefs : Nano-indentation, Mesures de champs, Matériaux composites

1 Introduction

Une attention certaine se porte aujourd'hui sur l'étude mécanique de matériaux composites pour lesquels une simple loi des mélanges du comportement des matériaux de base ne permet pas de décrire le comportement macroscopique résultant. Pour ces matériaux, on suspecte les propriétés mécaniques des constituants d'être significativement modifiées aux interfaces, ce qui est parfois mis en évidence expérimentalement [1]. En fonction de la nature des matériaux et des procédés de mise en œuvre, les différentes phases peuvent être liées intimement (à l'échelle cristallographique) ou très faiblement (adhésion). De plus, les contraintes résiduelles découlant de la cristallisation de la matrice peuvent modifier les propriétés des fibres. L'étude expérimentale des interfaces apparaît donc comme cruciale, bien qu'elle soit particulièrement difficile : cette zone interfaciale est vraisemblablement très fine (moins d'1 μm), de sorte qu'elle est très difficile à mettre en évidence et à quantifier.

2 Méthodologie

La nano-indentation instrumentée est donc particulièrement indiquée pour aborder ce problème. Dans le cas de l'étude de matériaux hétérogènes, on peut également tirer parti de systèmes de positionnement précis qui permettent d'obtenir une cartographie de propriétés mécaniques (dureté, module

d'élasticité). Un très grand nombre de courbes force-déplacement sont ainsi obtenues aux nœuds d'une grille de mesure définie par l'utilisateur. Classiquement, le grand nombre de propriétés mécaniques qui en sont extraites est traité statistiquement : leur densité de probabilité est supposée résulter de la combinaison de distributions gaussiennes, correspondant à autant de phases dans le matériau testé [2,3]. L'information de localisation spatiale est alors utilisée a posteriori pour corrélérer les phases identifiées aux propriétés mécaniques identifiées.

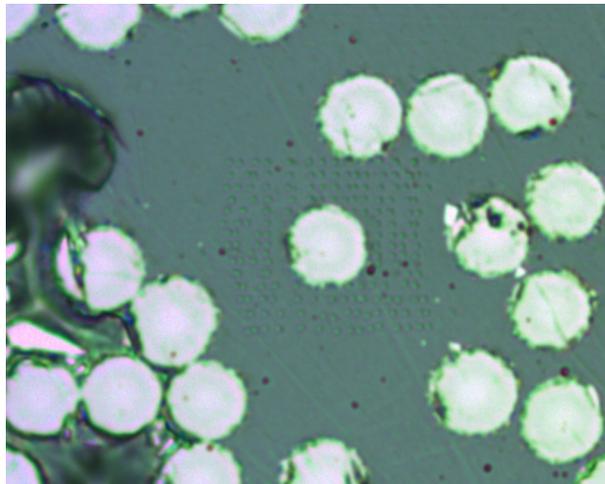


Figure 1 : Image optique du réseau d'indentations utilisé autour d'une fibre isolée.

On se focalise ici sur un composite à base de Polyetherketoneketone (PEKK) renforcé par des fibres de carbone dont le diamètre est de l'ordre de quelques μm (voir Fig 1). Ce type de matériau est classiquement testé en indentation, ce qui permet de bien distinguer les phases en termes de propriétés mécaniques. On montre cependant que ce type d'échantillon éprouve les limites de l'approche statistique (voir Fig 2).

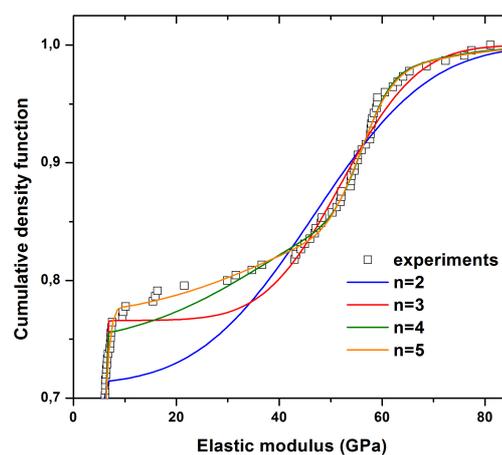


Figure 2 : Fonction de répartition des modules élastiques mesurés et représentation par composition d'un nombre croissant de distributions gaussiennes.

A rebours des approches statistiques, on propose donc ici d'analyser les champs de propriétés mécaniques en s'appuyant sur une description de la topologie de l'échantillon. Ceux-ci sont analysés comme résultant d'un processus d'imagerie, et un modèle simplifié est utilisé pour approcher la

‘fonction d’appareil’ (c’est-à-dire le noyau de convolution de l’instrument). Une méthode d’inversion est alors proposée, s’appuyant sur la description de ce noyau de convolution.

3 Résultats

En exploitant la description du module mesuré comme une fonction de la distance au centre de la fibre (voir Fig 3), on développe une méthode de déconvolution pour en extraire un champ de propriétés.

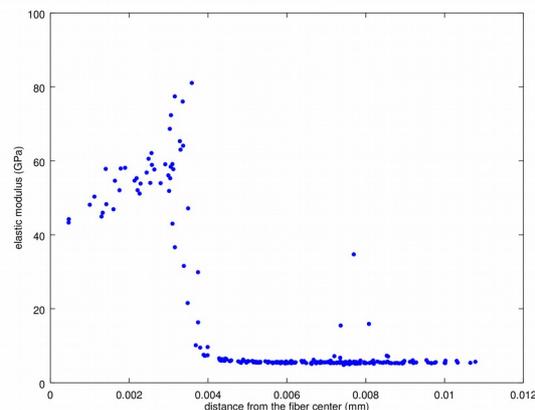


Figure 3 : Module élastique mesuré en fonction de la distance au centre de la fibre.

La description mécanique sous-jacente est progressivement enrichie pour décrire au mieux le comportement mesuré. La fonction d’appareil (dans les conditions expérimentales utilisées) fait apparaître une limite de résolution inférieure à 200 nm, de sorte que des gradients de propriétés à très petite échelle peuvent être révélés. On montre dans le cas présent un fort gradient de module à l’intérieur de la fibre ainsi qu’une forte variation du module de la matrice sur une longueur inférieure au micromètre au voisinage immédiat de la fibre.

Références

- [1] A. Knob, J. Lukes, L. T. Drzal and V. Cech, Further Progress in Functional Interlayers with Controlled Mechanical Properties Designed for Glass Fiber/Polyester Composites, *Fibers* 6 (2018), 58.
- [2] F.J. Ulm, M. Vandamme, C. Bobko, J. Alberto Ortega, K. Tai, C. Ortiz, Statistical indentation techniques for hydrated nanocomposites: concrete, bone, and shale, *J. Am. Ceram. Soc.* 90 (2007), 2677.
- [3] C. Tromas, M. Arnoux, X. Milhet, Hardness cartography to increase the nanoindentation resolution in heterogeneous materials: Application to a Ni-based single-crystal superalloy, *Scripta Mater.* 66 (2012), 77.