



**HAL**  
open science

# Précurseurs microscopiques de fracture dans les solides amorphes

Med Yassine Nagazi, Luca Cipelletti, Giovanni Brambilla

► **To cite this version:**

Med Yassine Nagazi, Luca Cipelletti, Giovanni Brambilla. Précurseurs microscopiques de fracture dans les solides amorphes. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444608

**HAL Id: hal-03444608**

**<https://hal.science/hal-03444608v1>**

Submitted on 23 Nov 2021

**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.

# Précurseurs microscopiques de fracture dans les solides amorphes

Med Yassine Nagazi<sup>a,b</sup>, Giovanni Brambilla<sup>b</sup>, Luca Cipelletti<sup>a</sup>

- a. Laboratoire Charles Coulomb, CNRS UMR 5221, Université Montpellier II,  
Pl. E. Bataillon 34095 Montpellier Cedex 05, France  
mynagazi@univ-montp2.fr
- b. Formulaction, 10 Impasse Borde Basse, F-31240 L'Union, France.  
<http://www.formulaction.com>

## Résumé

*Nous utilisons la technique de diffusion multiple de la lumière résolue temporellement et spatialement pour sonder la déformation macroscopique et la dynamique microscopique sur des échantillons de polymères et élastomères, lors des essais mécaniques. Ces expériences montrent l'intérêt de cette technique en tant que méthode pour prédire l'occurrence future et la localisation de la défaillance macroscopique d'un matériau.*

## Abstract

*We use space and time-resolved Diffusing Wave Spectroscopy technique to probe the macroscopic deformation and the microscopic dynamics during mechanical tests on polymer and elastomer samples. These experiments show the interest of this technique as a method to predict and localize the occurrence of the macroscopic failure of a material.*

**Mots clefs : Précurseurs microscopiques, Fracture, Essais mécaniques, Diffusion multiple de la lumière**

## Introduction

Nous utilisons la technique de diffusion multiple de la lumière[1] (Diffusing Wave Spectroscopy, DWS) résolue temporellement et spatialement pour sonder la déformation macroscopique et la dynamique microscopique de nos échantillons. Ces mesures montrent que la DWS résolue spatialement peut donner des informations similaires (au niveau mésoscopique) et complémentaires (dynamique microscopique) à celles obtenues par les méthodes classiques (machine

de traction couplée à un banc de stéréo corrélation). Nos expériences nous permettent d'obtenir une carte de la dynamique microscopique dans l'échantillon, par mesure du déplacement carré moyen (MSD), avec une résolution qui peut atteindre la fraction du  $\text{nm}^2$ , moyenné sur des régions d'intérêt (ROI) qui font typiquement quelques dizaines de microns de taille. Par ailleurs, nous mesurons le déplacement rigide mésoscopique des mêmes ROIs définies pour la dynamique microscopiques.

## **1 Matériau**

### **PolyDiMethyl-Siloxane, PDMS**

Le PolyDiMethyl-Siloxane (PDMS) est un élastomère très utilisé dans la microfluidique pour ses propriétés viscoélastiques et la facilité de sa fabrication. Nous avons synthétisé le PDMS en utilisant un kit Sylgard 184 (Dow Corning Corporation). Lors de la fabrication, des particules de Titanium dioxyde ( $\text{TiO}_2$ ) de 300 nm de taille (Marion Technologies) ont été rajoutées au polymère (à une fraction massique de 0.002), pour obtenir un échantillon suffisamment turbide pour les mesures de Diffusing Wave Spectroscopy (DWS). On ajoute ensuite un agent réticulant à un ratio 10:1 massique. Le mélange est mis à dégazer sous vide afin d'évacuer les bulles d'air. Ensuite on place ce mélange au four à  $90^\circ\text{C}$  pendant 1h. Les échantillons ont au final un aspect blanc et possèdent un module de Young  $E = 750 \text{ kPa}$ , d'après[2].

## **2 Méthodes expérimentales**

L'essai se compose d'une succession de tractions uniaxiales, suivies par des phases de « relaxation », où la déformation imposée est maintenue constante. On augmente ainsi progressivement la déformation, jusqu'à la rupture macroscopique du matériau. Une entaille à profondeur maîtrisée (1 mm) a été faite sur toute la largeur de l'éprouvette (en direction orthogonale à celle de la déformation imposée) pour provoquer la rupture.

### 3 Résultats

Au cours de la phase de traction, la mesure mésoscopique du déplacement est en accord la déformation imposée. Pour les quelques premières phases, le déplacement microscopique peut être modélisé comme étant due à une déformation affine en utilisant un formalisme développé dans [3].

Les phases de relaxations suivant les phases de tractions sont caractérisées par des réarrangements microscopiques qui ralentissent au cours du temps suite à la relaxation de la force macroscopique nécessaire pour maintenir la déformation imposée. On observe un scénario complètement différent à l'approche de la rupture macroscopique (Fig. 1). La dynamique microscopique devient deux ordres de grandeur plus rapide que dans les étapes précédentes de relaxation, en relevant ainsi des réarrangements microscopiques que conduiront à la défaillance macroscopique. Par ailleurs, cette forte augmentation de la dynamique microscopique se produit des milliers de secondes avant la défaillance macroscopique, ainsi démontrant le grand potentiel de ces mesures comme un moyen de détecter des précurseur dynamiques de la défaillance du matériau.

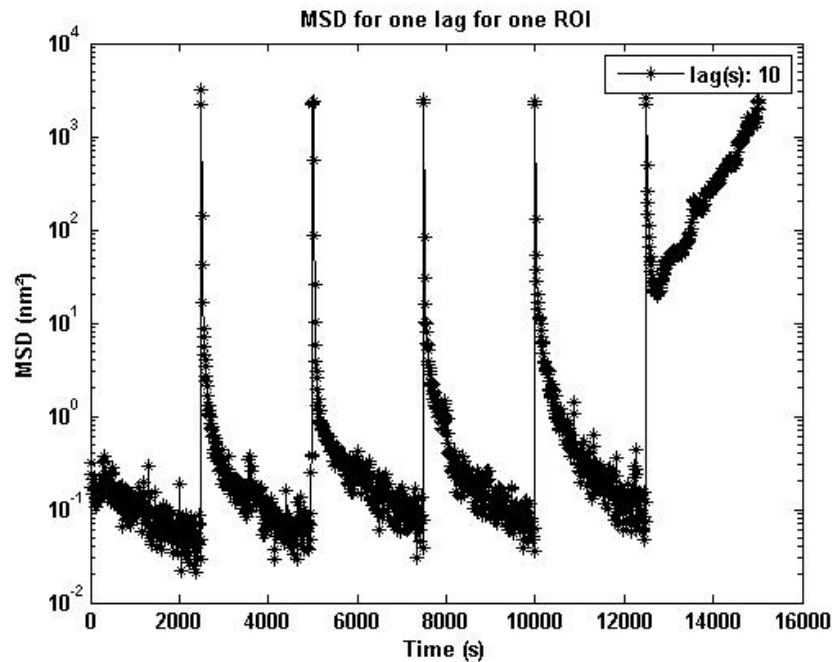


Figure 1:  $\langle \Delta r^2(10) \rangle$  Vs Time.

Nous construisons une cartographie dynamique 2D pour suivre la dynamique microscopique des différentes régions d'intérêt sur l'échantillon (Fig. 2). Cette carte indique que les réarrangements microscopiques présentent des hétérogénéités spatiales lors des phases de relaxation lorsque l'échantillon est parfaitement fixe.

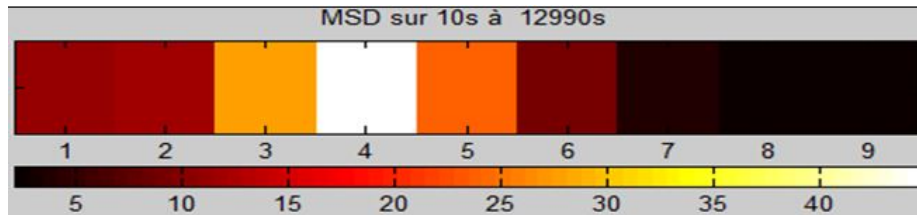


Figure 2: Cartographie de la dynamique mesurée à  $t = 12990$  s et pour un retard  $\tau = 10$  s. Le code couleur correspond au MSD en  $\text{nm}^2$ .

D'autre part, si l'on compare la cartographie dynamique avec une image après la rupture, nous observons que la région qui présentait les réarrangements microscopiques les plus rapides c'est la région où la rupture se passe. Ce résultat nous permet de pré-localiser la région de la fracture.

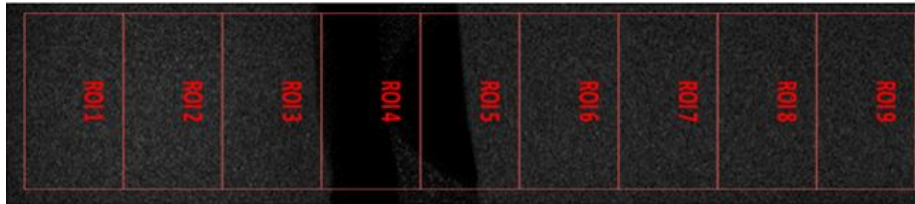


Figure 3: image de l'échantillon à  $t = 15070$ s, après sa fracture.

Ces expériences montrent l'intérêt de cette technique comme méthode pour prédire et pré-localiser une éventuelle fracture d'un matériau.

## References

- [1] D. J. Pine, D.A.W., J. X. Zhu and E. Herbolzheimer, Diffusing-wave spectroscopy: dynamic light scattering in the multiple scattering limit. Journal de physique, 1990.
- [2] Deniz Armani, Chang Liu and Narayan Aluru. RE-CONFIGURABLE FLUID CIRCUITS BY PDMS ELASTOMER MICROMACHINING. University of Illinois - Urbana-Champaign, Il 61801, USA.

- [3] M. Erpelding, B. Dollet, A. Faisant, J. Crassous and A. Amon, Diffusing-Wave Spectroscopy Contribution to Strain Analysis. 2013.