



HAL
open science

Déformation plastique du verre SiO₂: liens entre structure du verre et contraintes mécaniques

Christine Martinet

► **To cite this version:**

Christine Martinet. Déformation plastique du verre SiO₂: liens entre structure du verre et contraintes mécaniques. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444611

HAL Id: hal-03444611

<https://hal.science/hal-03444611>

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.

Déformation plastique du verre SiO₂ : liens entre structure du verre et contraintes mécaniques

C. Martinet^a, M. Heili^a, V. Martinez^a, J. Teisseire^b, E. Barthel^c, G. Kermouche^d, B. Champagnon^a

a. Institut Lumière Matière, UMR5306 CNRS. Université Claude Bernard Lyon 1
Domaine Scientifique de La Doua, 12, rue A. Byron, 69622 Villeurbanne Cedex

^bSurface du Verre et Interfaces, Unité Mixte CNRS/Saint-Gobain, UMR 125,
93303 Aubervilliers Cedex

c. Science and Engineering of Soft Matter. UPMC / CNRS / ESPCI PPMD UMR 7615. 10,
rue Vauquelin. 75231 Paris Cedex 05

d. Ecole des Mines de Saint-Etienne, Science of Materials and Structures (SMS) Division,
LGF UMR 5307 CNRS, 158 Cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne

Résumé :

Quand un verre est déformé au-delà de sa limite élastique, la structure du verre évolue de manière permanente et une augmentation de la densité du verre est observée. Néanmoins, à cause de l'absence d'ordre à longue distance, les mécanismes de déformation plastique à l'échelle microscopique des verres restent encore mal compris.

L'objectif de notre étude est de comparer les modifications structurales suite à différents chargements mécaniques. En particulier, il s'agit d'observer l'impact des contraintes de cisaillement sur la structure du verre SiO₂ et de découpler les effets de densification et de bandes de cisaillement sur la structure du verre.

Pour cela, nous avons déformé plastiquement des verres SiO₂ suite à un chargement hydrostatique par cellule à enclume de diamants et suite à une compression uniaxiale sur des micropiliers. Des études par micro-spectroscopie Raman en mode confocal ont été effectuées sur les échantillons ex-situ après compression. Ces études nous ont permis de déterminer à la fois la densité locale du verre et la structure du verre à moyenne distance.

Des changements structuraux ont été observés suite à une déformation plastique et ces changements sont plus marqués dans le cas d'une compression uniaxiale ayant une proportion de contrainte de cisaillement importante. En particulier, la réorganisation structurale du verre après une déformation plastique dépend des contraintes appliquées.

Abstract :

When glass is deformed beyond its elastic limit, structure glass evolves and the density increases. Nevertheless, because no order at large distance exists in glasses, plastic deformation mechanisms at microscopic scale stays poor understood.

The aim of our study is to compare structural modifications after different mechanical loadings. In particular, it relates to observe the shear stresses impacts on glass structure and to decorrelate the densification effects and the shear stresses on glass structure.

For that, we have plastically deformed SiO₂ glass following hydrostatic loading by a diamond anvil cell and following uniaxial compression on micro-pillars. Microspectroscopy Raman measurements have been performed in confocal mode on recovered samples after compression. These studies have been permitted to determine both the local density and the glass structure at intermediate range.

Structure modifications have been observed after a plastic deformation and these modifications have been more pronounced after shear stresses. In particular, structural reorganization of the glass after a permanent deformation depends on applied compression, uniaxial or isotrope.

Mots clefs : Verres, réponse plastique, densification, spectroscopie Raman, structure, contraintes de cisaillement

1 Introduction

Bien qu'un verre soit un matériau fragile à l'échelle macroscopique, il subit, sous indentation, des déformations plastiques à condition que la taille de l'indent n'excède pas quelques dizaines de micromètres. Le verre devient donc ductile à l'échelle du micromètre. Malgré que ce phénomène de densification ait été mis en évidence par Bridgman en 1953 [1], la plasticité des verres reste encore mal comprise aujourd'hui. Cet effort de compréhension doit mettre en œuvre à la fois des travaux expérimentaux et des simulations. En effet, jusqu'à présent, très peu de modèles de comportement permettent de reproduire la plasticité des verres silicatés [2]. Par ailleurs, ce n'est que récemment qu'il a été possible d'obtenir des résultats expérimentaux, du fait des difficultés à réaliser des essais micromécaniques et des caractérisations adaptées [3, 4].

Le verre SiO₂ présentant un volume libre important a une grande capacité à densifier (maximum +20%), contrairement aux métaux, la plasticité s'accompagne donc d'une densification importante.

Pour étudier les mécanismes accompagnant la plasticité de la silice, il est nécessaire de comparer les déformations plastiques locales en fonction du chargement appliqué, c'est-à-dire suite à des contraintes isotrope et de cisaillement. Les contraintes isotropes mettant en jeu uniquement des phénomènes de densification peuvent être obtenues par cellule à enclumes de diamants. Des études précédentes concernant les mécanismes de modifications structurales et de densification ont été réalisées in-situ en CED par spectroscopie Raman [5, 6]. Pour étudier l'impact des contraintes de cisaillement sur la structure, la fabrication de micro-piliers a été mise au point afin d'étudier les compressions uniaxiales sur des micro-piliers où la part du cisaillement est plus importante que celle de la pression isotrope [7]. Nous proposons dans notre étude de comparer l'effet sur la densité et la structure des contraintes hydrostatiques et uniaxiales par spectroscopie Raman.

2 Résultats

Nous avons mis en évidence des variations structurales, à densité équivalente, entre un verre SiO₂ déformé plastiquement suite à une compression isotrope et celui obtenu suite à une compression uniaxiale (figure 1), montrant le rôle important des contraintes de cisaillement dans les modifications structurales du verre. Ces évolutions structurales seront discutées en détail et comparées aux résultats de simulation [8].

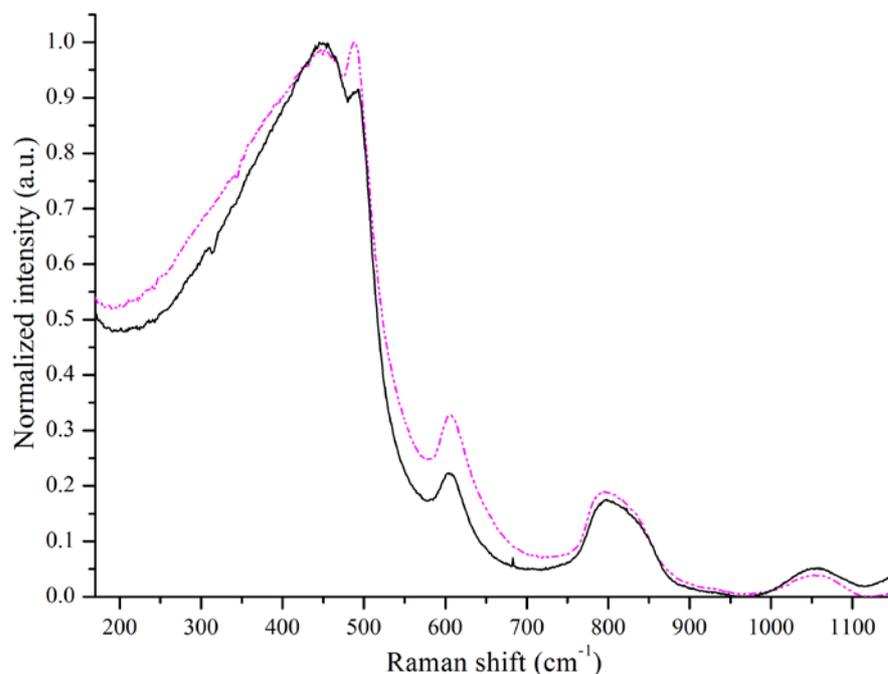


Figure 1: spectres Raman suite à une déformation plastique après compression hydrostatique (trait continu noir) et après la compression uniaxiale sur un micropilier (trait pointillé rose). Le taux de densification obtenue après déformation est de +4,6 % par rapport au verre initial « non densifié ».

Références

- [1] P.W. Bridgman, I. Simon, Effects of Very High Pressures on Glass, *Journal of Applied Physics* 24 (1953) 405
- [2] G. Kermouche, E. Barthel, D. Vandembroucq, P. Dubujet, Mechanical modelling of indentation-induced densification in amorphous silica, *Acta Materialia*, 56 (2008) 3222

- [3] A. Perriot, D. Vandembroucq, E. Barthel, V. Martinez, L. Grosvalet, Ch. Martinet, B. Champagnon, Raman micro-spectroscopic characterization of amorphous silica plastic behaviour, *Journal of the American Ceramic Society* 89 (2006) 596
- [4] A. Kassir-Bodon, T. Deschamps, C. Martinet, B. Champagnon, J. Teisseire, G. Kermouche, Raman Mapping of the Indentation-Induced Densification of a Soda-Lime-Silicate Glass, *International Journal of Applied Glass Science* 3 (2012) 29
- [5] D. Vandembroucq, T. Deschamps, C. Coussa, A. Perriot, E. Barthel, B. Champagnon, C. Martinet, Density hardening plasticity and mechanical aging of silica glass under pressure: a Raman spectroscopic study, *Journal of Physics: Condensed Matter* 20 (2008) 485221
- [6] B. Champagnon, C. Martinet, M. Boudeulle, D. Vouagner, C. Coussa, T. Deschamps, L. Grosvalet, High pressure elastic and plastic deformations of silica: in situ diamond anvil cell Raman experiments, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354 (2008) 569
- [7] R. Lacroix, V. Chomienne, G. Kermouche, J. Teisseire, E. Barthel, S. Queste, Micropillar Testing of Amorphous Silica, *Acta Materialia* 60 (2012) 5555
- [8] N. S. Shcheblanov, B. Mantsi, P. Umari, A. Tanguy, Raman measurement of irreversible shear in SiO₂ glass, *Physical Review B* (soumis)