



Lire la mémoire du verre

Dominique de Ligny

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Glas und Keramik, Erlangen, Germany

21. Septembre 2022, Nice

Sommaire

- D'où vient la mémoire du verre
- Comment peut on la lire
- Aérosol déposition
- Vitesse de refroidissement autour de zone modifiée par laser à pulsions courte

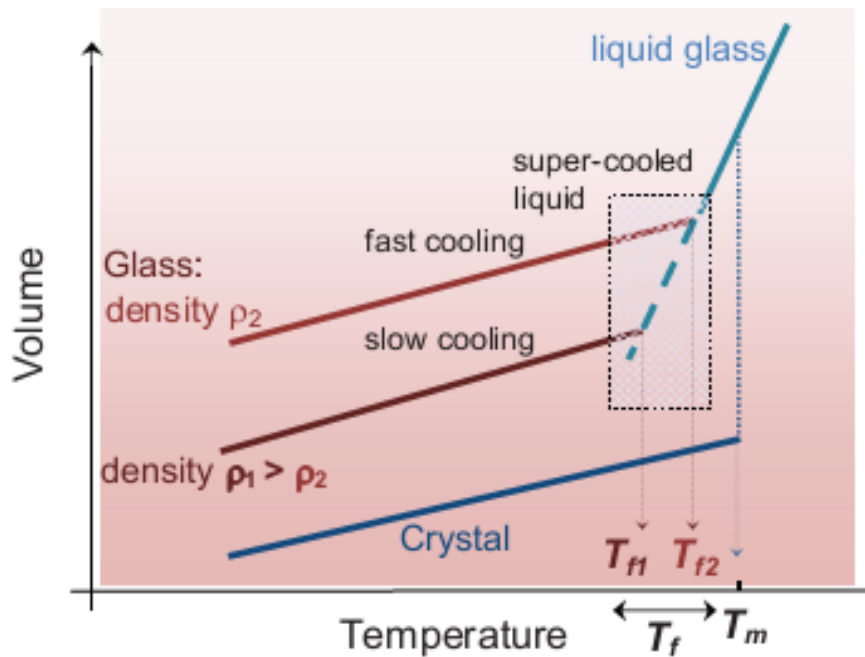


Sommaire

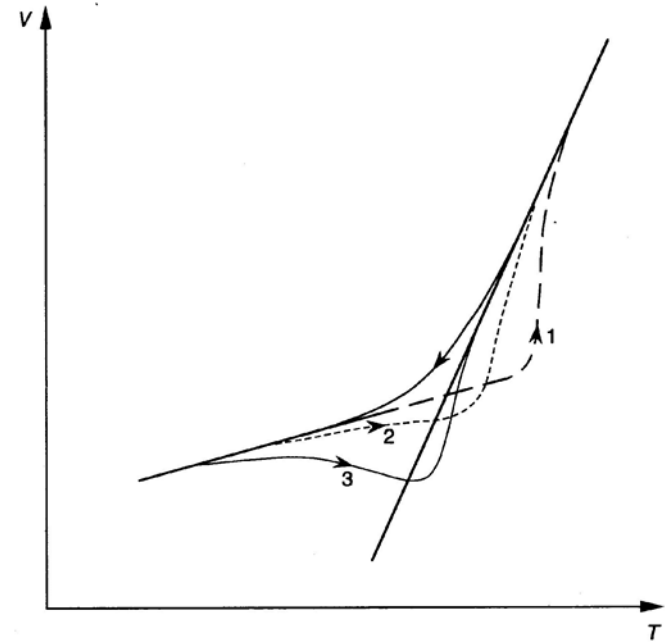
- **D'où vient la mémoire du verre**
- **Comment peut on la lire**
- **Aérosol déposition**
- **Vitesse de refroidissement autour de zone modifiée par laser à pulsions courte**



Effet de la température



Refroidissement à différentes vitesses

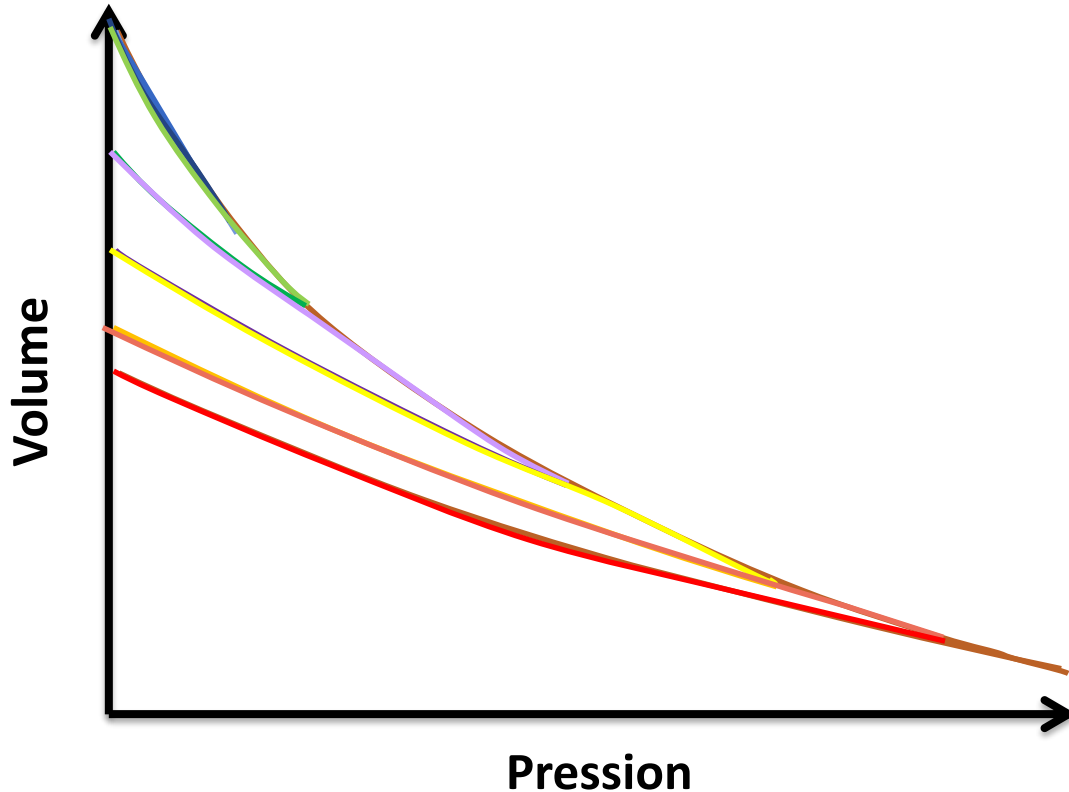


Chauffage à différentes vitesses

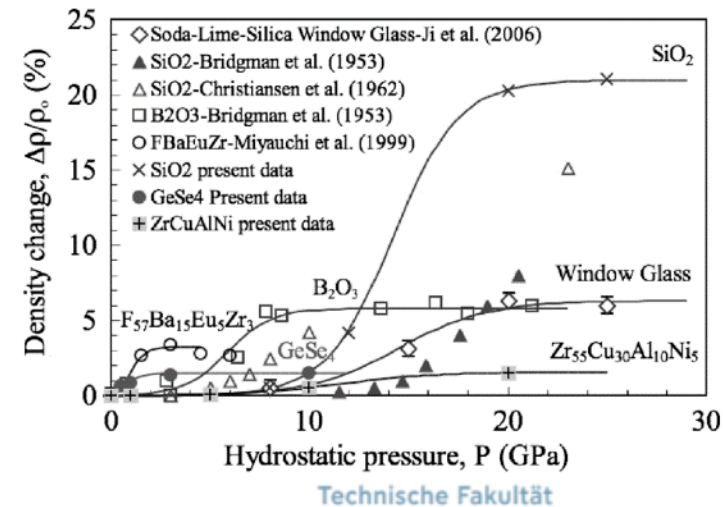
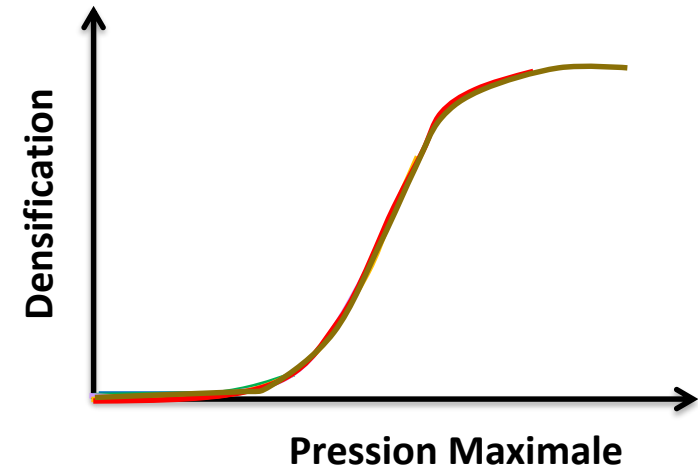
La vitesse de refroidissement dans la zone de transition vitreuse est enregistrée.

La température fictive représente la température de transition vitreuse pour une vitesse de refroidissement donnée.

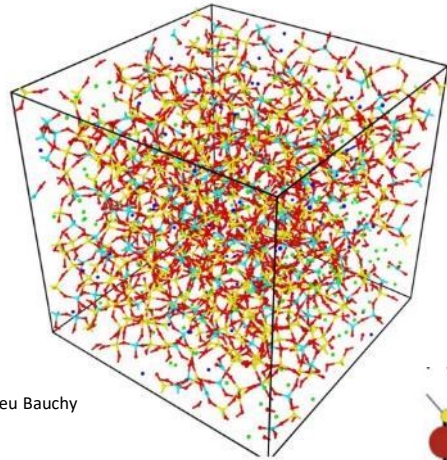
Effet de la pression



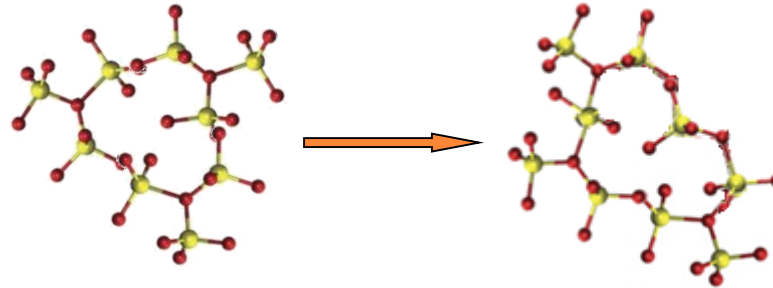
La pression maximale est enregistrée



Modifications atomiques liées aux changements de volume



Mathieu Bauchy

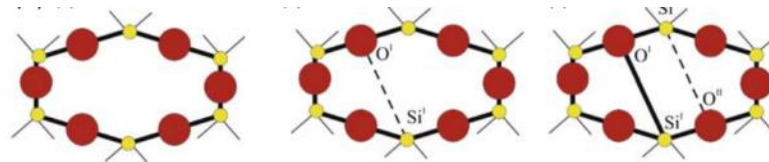


Changement d'angle entre tétraèdres

T_f P_{max}

Si-O-Si

+ -



Zeidler et al. 2014 PRL 113, 135501

Changement des tailles d'anneaux

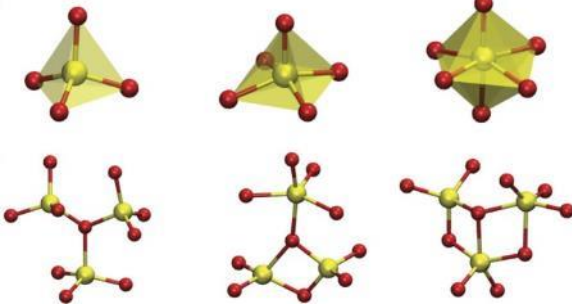
petit/gros

+/+ +/-

CN4

CN5

CN6



Misawa et al. Science Advances 2017

Modification de la coordination de l'oxygène des éléments formant le réseau Si, B, Al

CN

- +

provoque également une modification de l'angle et de la taille des anneaux.

Sommaire

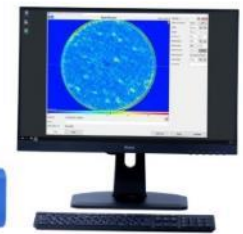
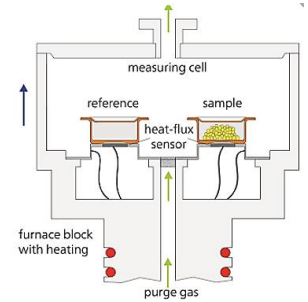
- D'où vient la mémoire du verre
- **Comment peut on la lire**
- **Aérosol déposition**
- **Vitesse de refroidissement autour de zone modifiée par laser à pulsions courte**



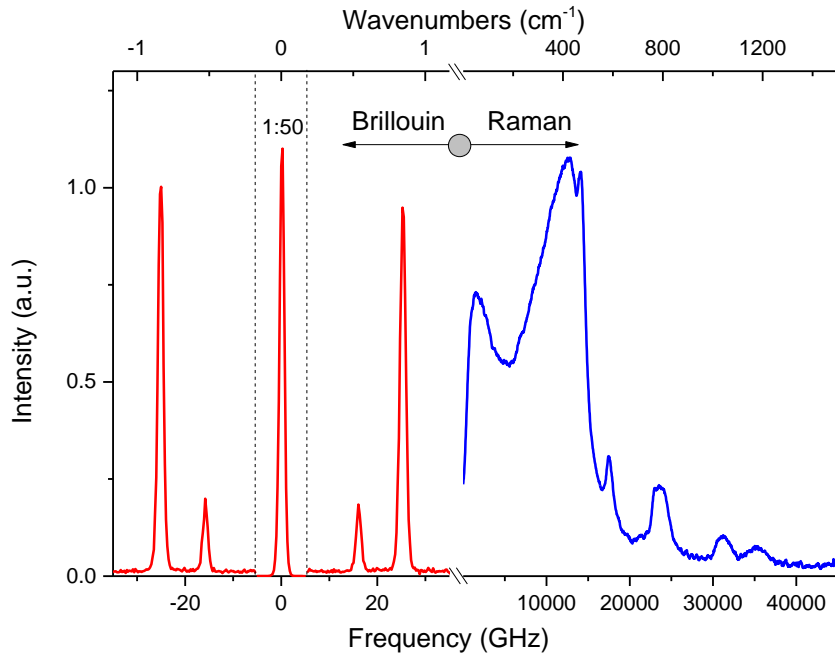
Lire la mémoire du verre

Différents instruments

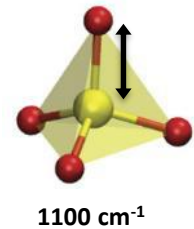
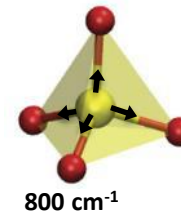
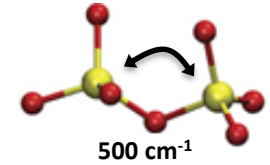
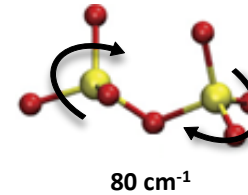
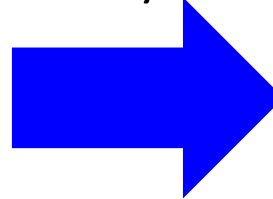
Methode	Taille observée	Forme	Calibration
DSC Calorimétrie	mm	Poudre	pas
Volume	mm	Régulière	pas
Indice de réfraction	100 μm	Régulière	Coef. photoélastique
Densité	cm	Complexe	pas
Raman	1 μm	Complexe	Spécifique
Brillouin	1 μm	Complexe	Spécifique
Luminescence	1 μm	Complexe	Spécifique



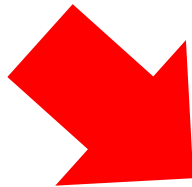
Spectroscopie vibrationnelle



Raman analysis



interpretation
du Brillouin



Vitesse du son

$$c = \frac{\lambda}{\sqrt{2n}} f^{90}$$

module de cisaillement

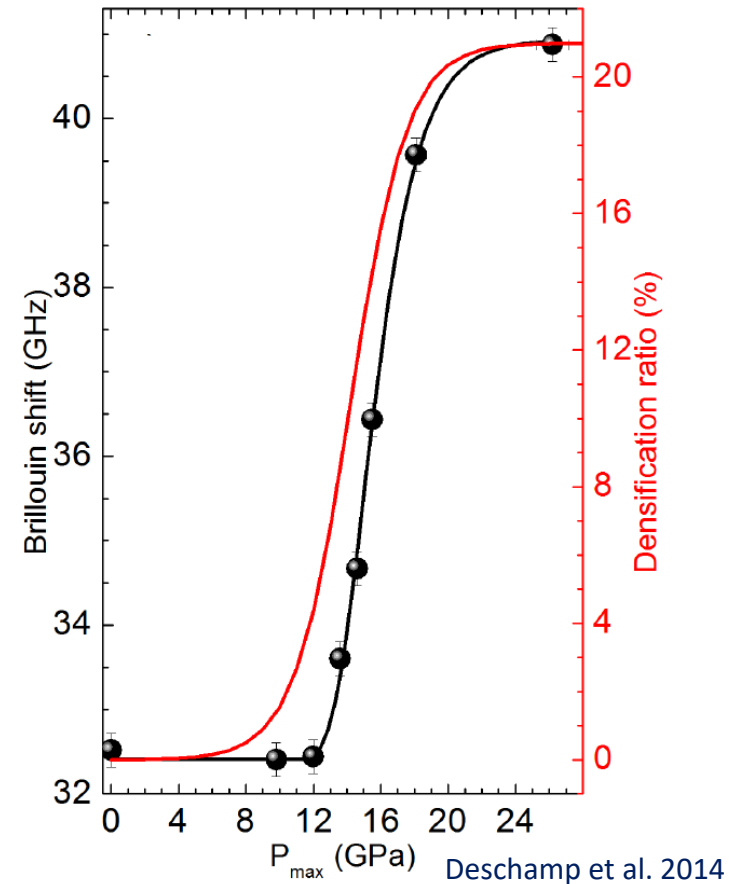
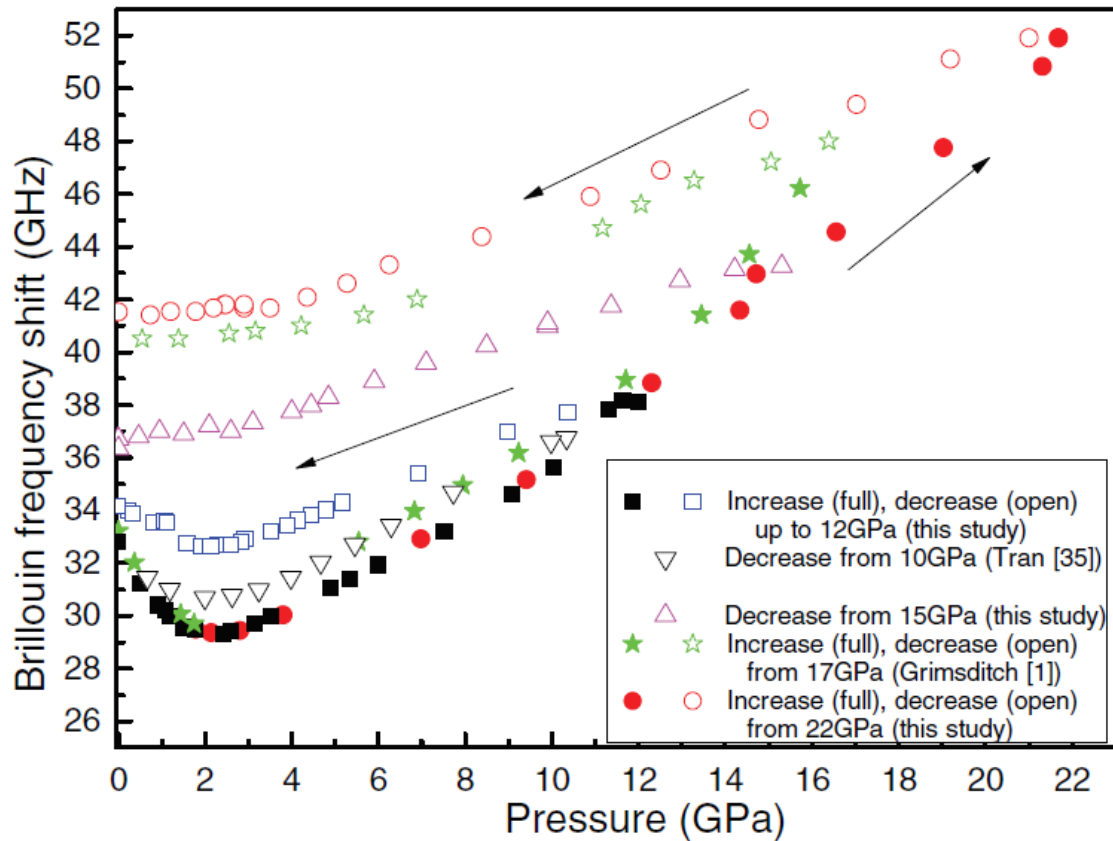
$$G = \rho c_t^2$$

λ – longueur d'onde du laser
 n – indice de réfraction
 f^{90} – fréquence

$$K = \rho c_l^2 - \frac{4}{3} \mu$$

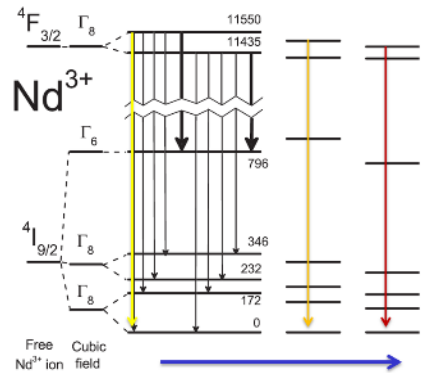
module
d'imcompressibilité

Spectroscopie Brillouin

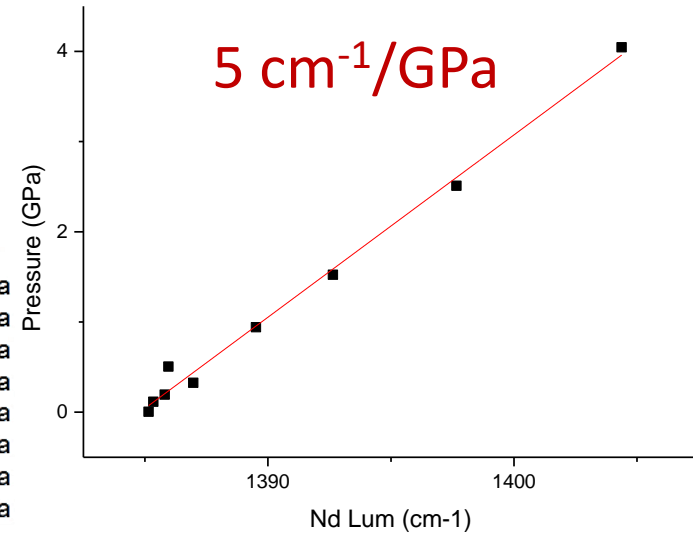
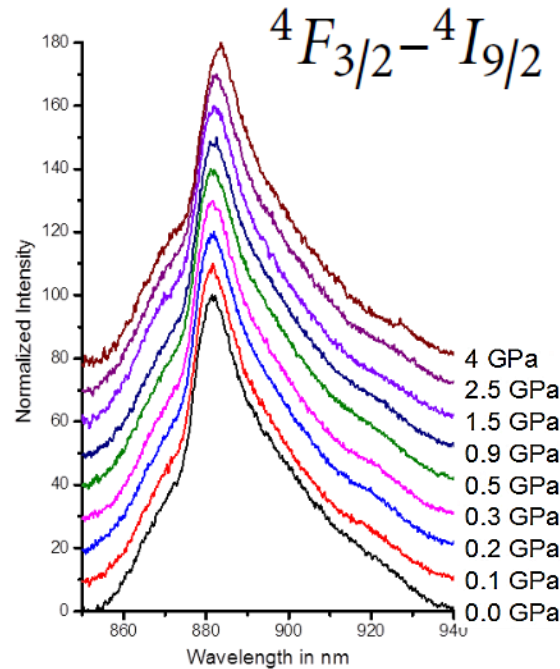


Le signal Brillouin montre une évolution progressive avec une pression maximale. Pas tout à fait proportionnel à la compression.

Luminescence des Terres Rares



Effet de la pression



Periodic Table of the Elements

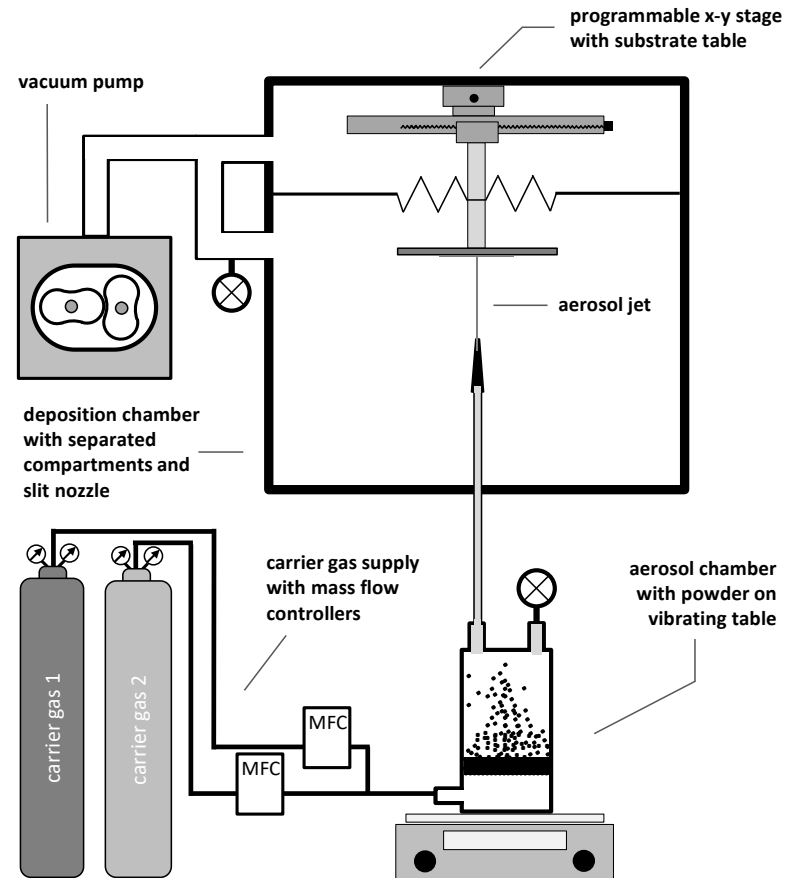
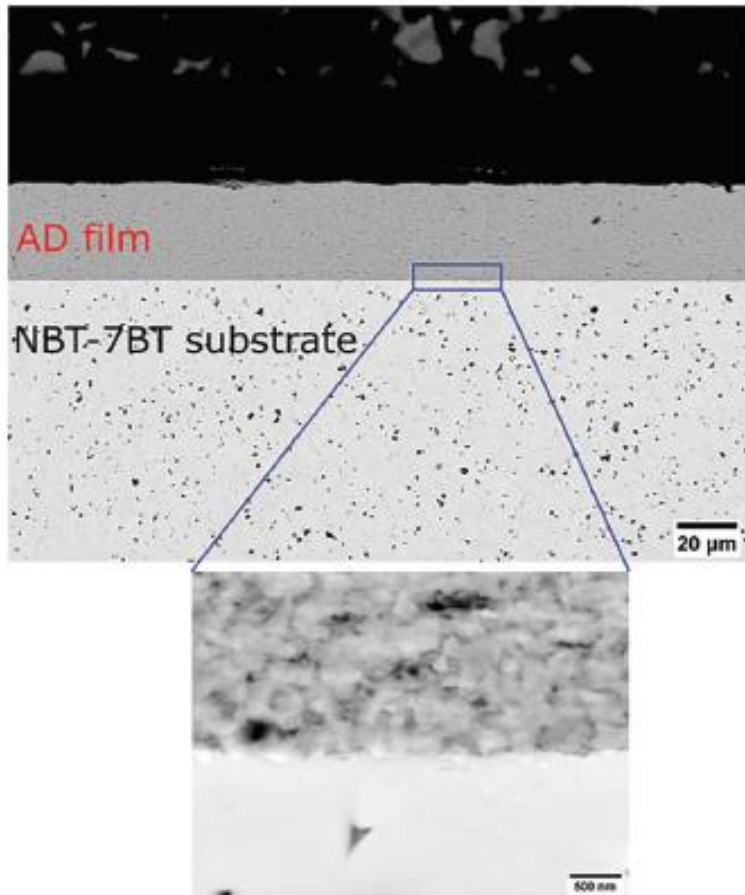
La luminescence est proportionnelle à la densité, soit par compression, soit par contrainte résiduelle.

Sommaire

- D'où vient la mémoire du verre
- Comment peut on la lire
- **Aérosol déposition**
- **Vitesse de refroidissement autour de zone modifiée par laser à pulsions courte**

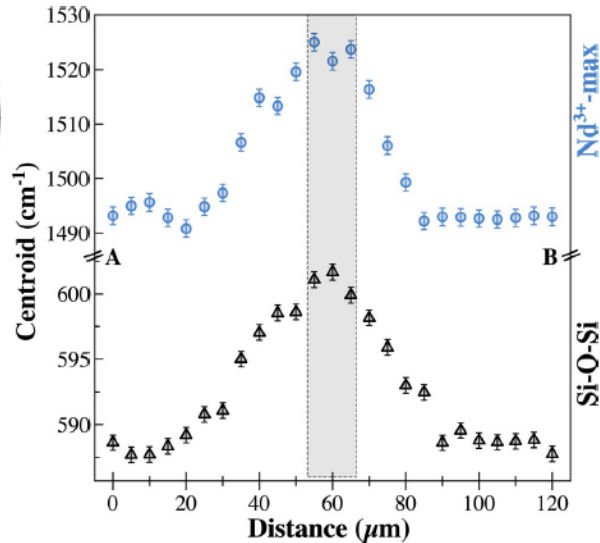
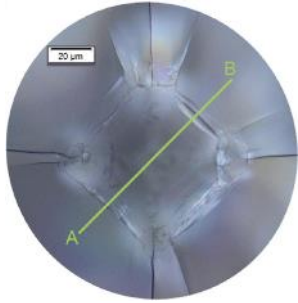


Aérosol déposition

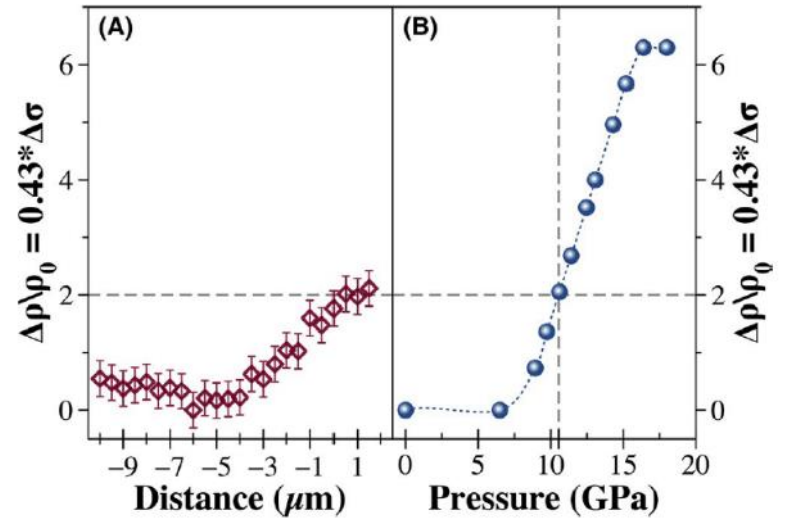
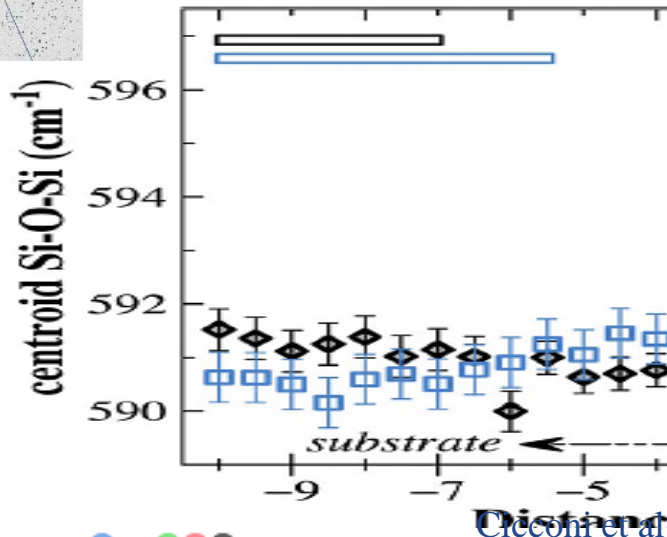
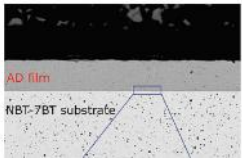


Cicconi et al. JACS 2019

Aérosol déposition



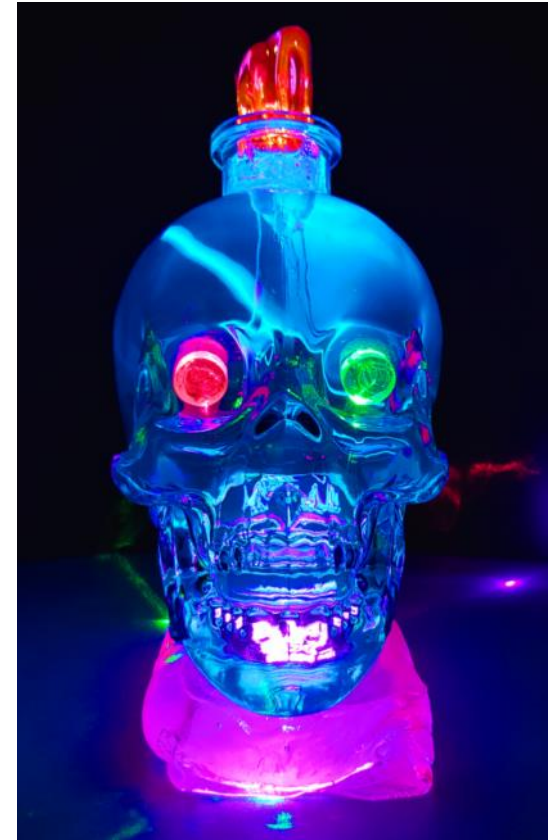
Pendant la déposition la pression augmente jusqu'à 10GPa



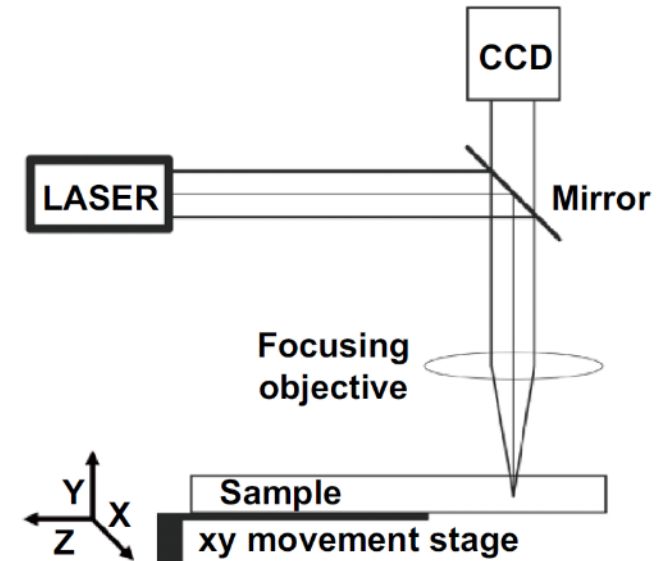
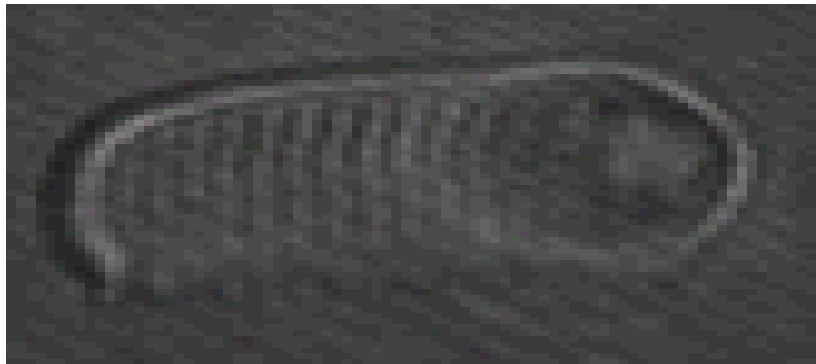
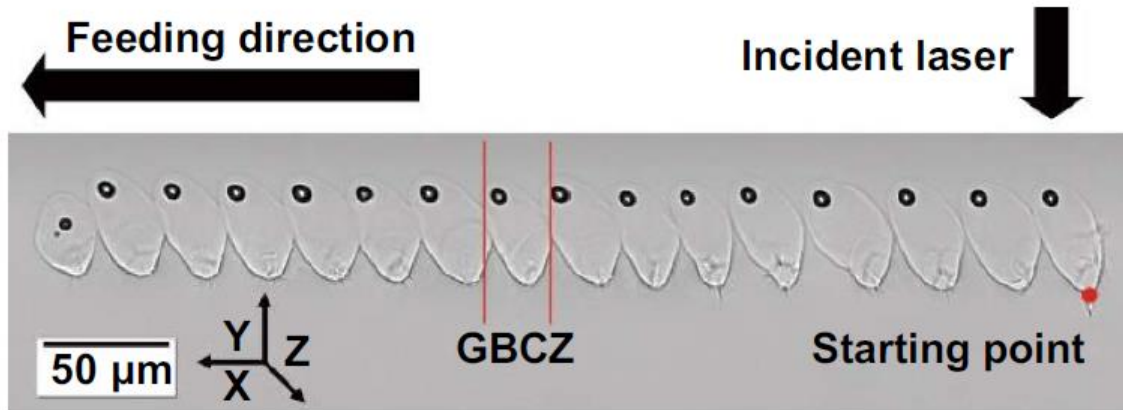
Cicconi et al. JACS 2019

Sommaire

- D'où vient la mémoire du verre
- Comment peut on la lire
- Aérosol déposition
- **Vitesse de refroidissement
autour de zone modifiée par
laser à pulsions courte**

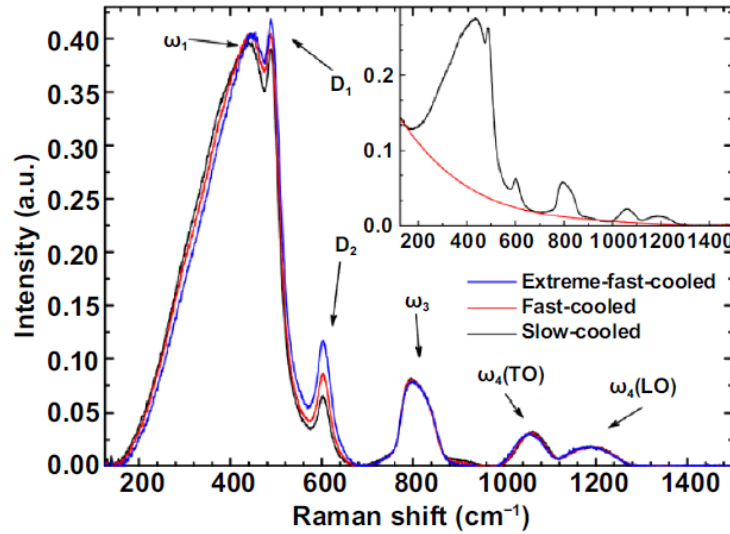


Modifications de SiO_2 avec laser picosecond

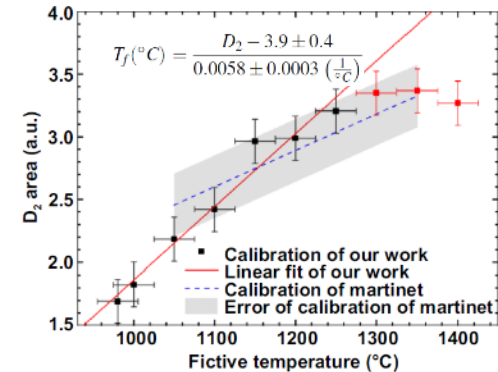
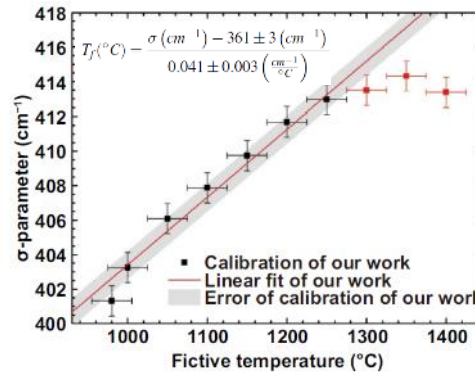
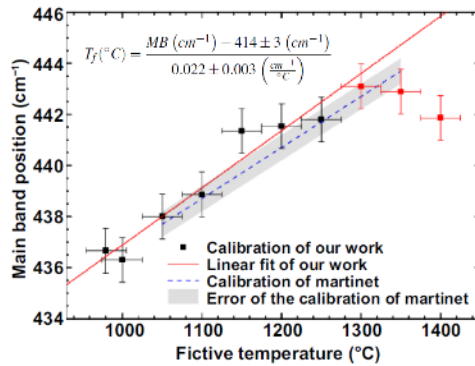


Nd:YVO₄-laser, 10 ps, 1064 nm, 2MHz, 3W

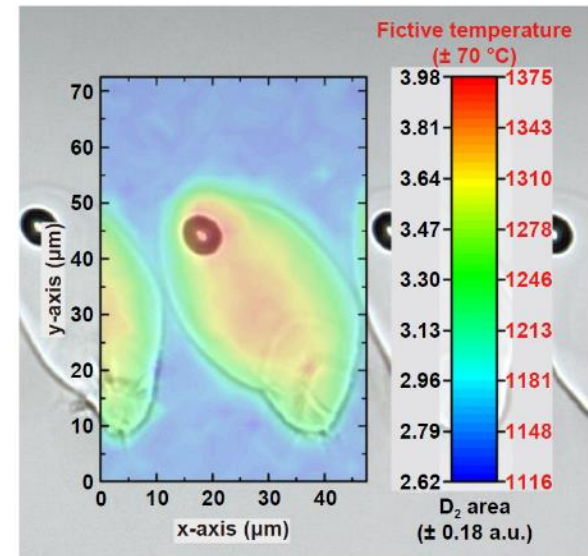
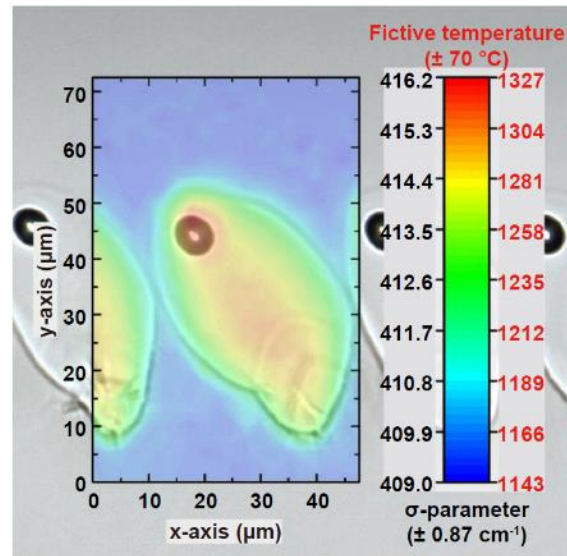
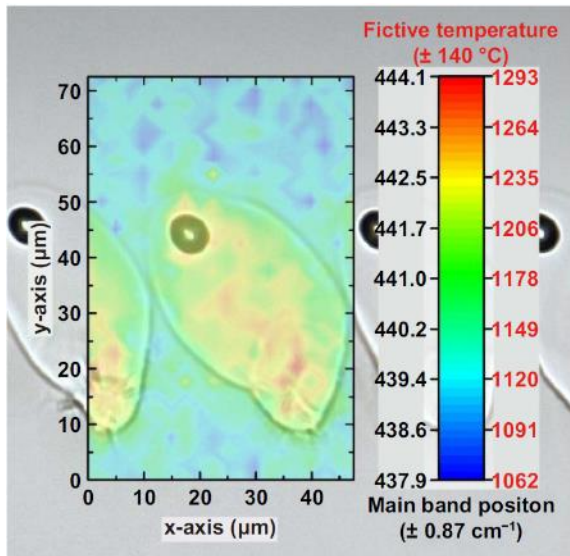
Précise calibration du Raman avec la vitesse de refroidissement



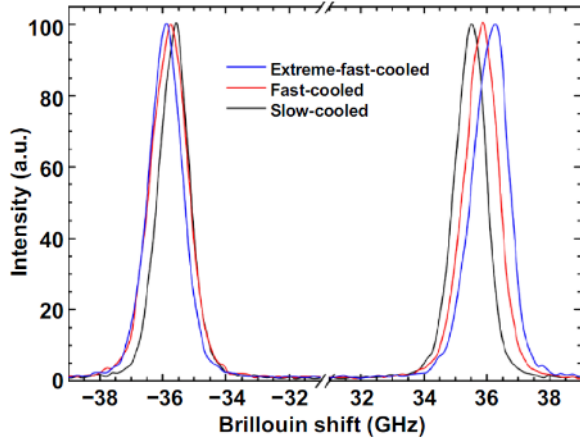
$$\begin{aligned} \log(q_g(T_f)) &= 13 - \log(\eta(T_f)) \\ &= 13 - A + \frac{B}{(T_f - T_0)} \\ &= -5.66 + \frac{19433}{(T_f - 364.15)} \end{aligned}$$



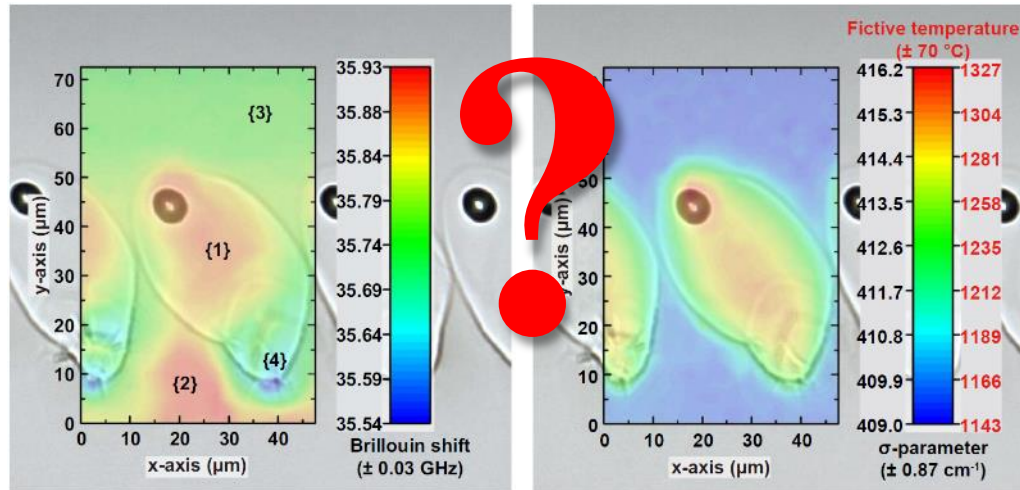
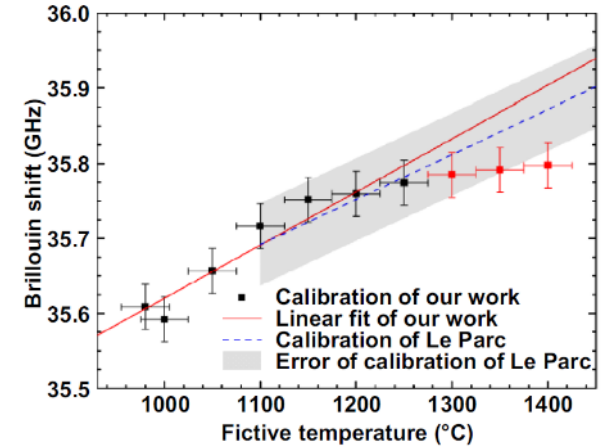
Utilisation de la calibration Raman



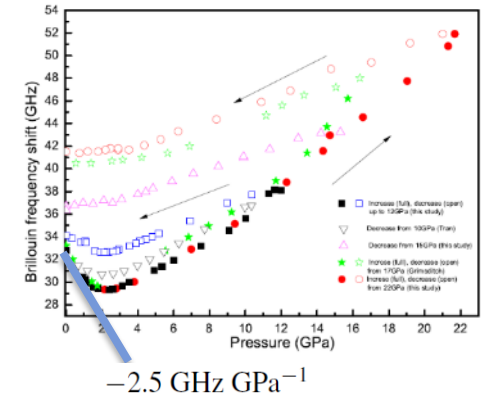
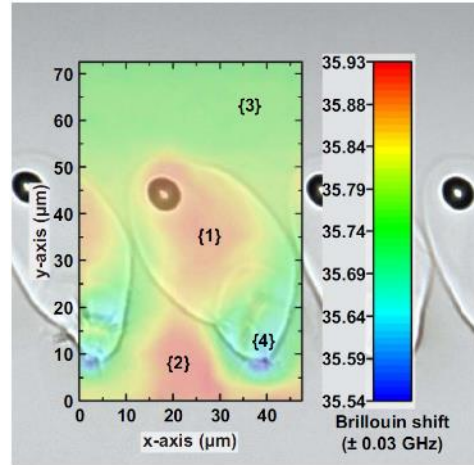
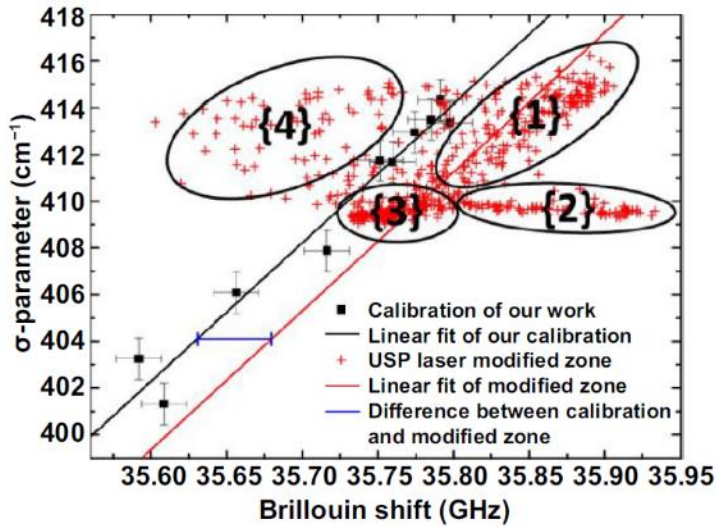
Utilisation de la calibration Brillouin



$$T_f(^{\circ}C) = \frac{BR (GHz) - 34.9 \pm 0.1 (GHz)}{0.00071 \pm 0.00009 \left(\frac{GHz}{^{\circ}C}\right)}$$

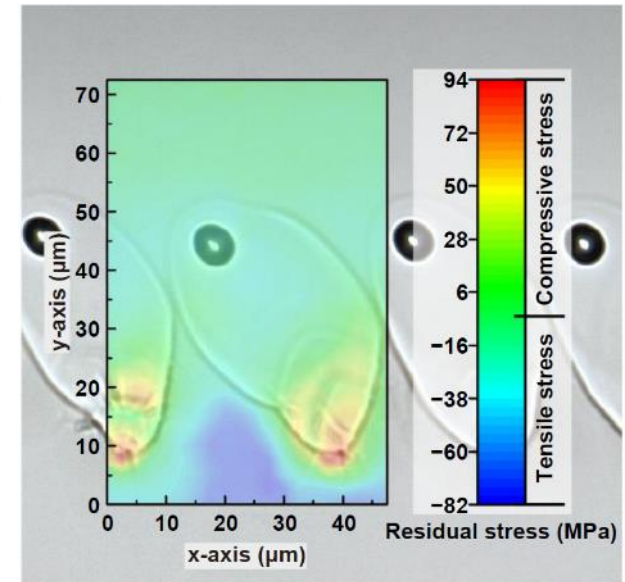


Comparaison entre Raman et Brillouin

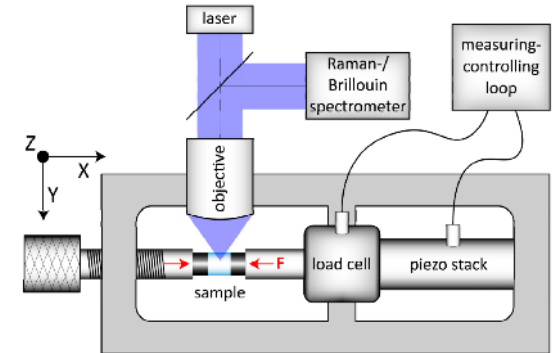


$$RS \text{ (GPa)} = \frac{BR \text{ (GHz)} - 0.0173 \left(\frac{\text{GHz}}{\text{cm}^{-1}} \right) \cdot \sigma \text{ (cm}^{-1}) - 28.6 \text{ (GHz)}}{-2.5 \left(\frac{\text{GHz}}{\text{GPa}} \right)}$$

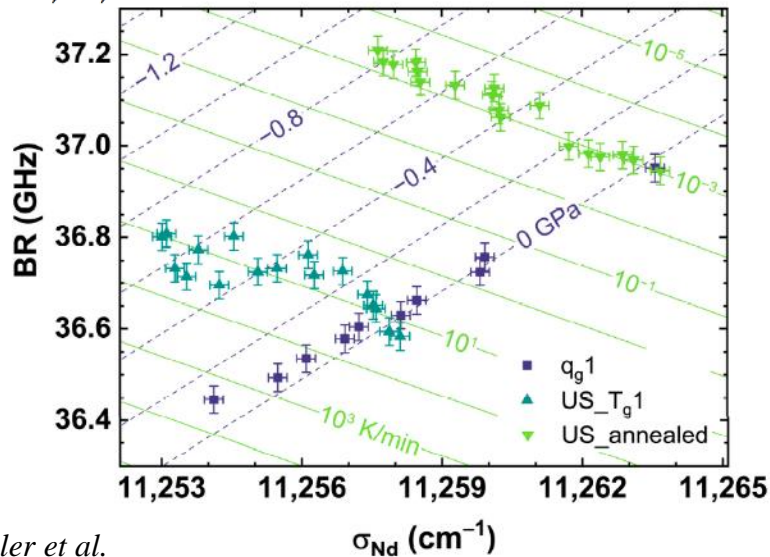
Possibilité de déterminer les contraintes résiduelles dans la zone modifiée



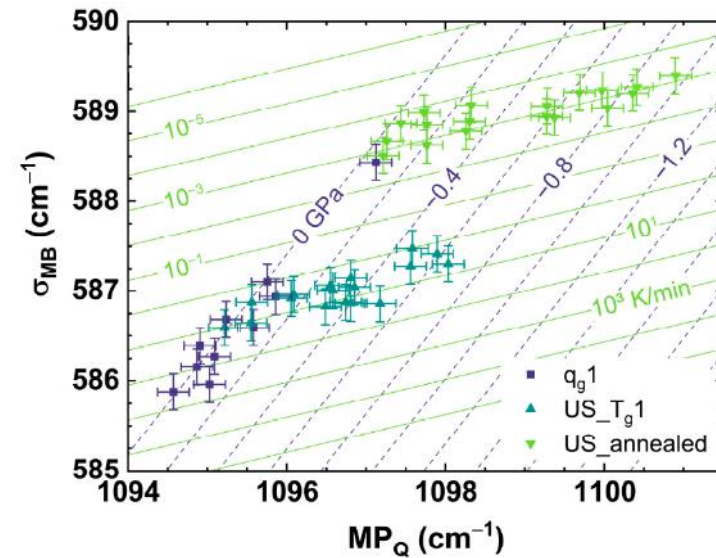
Croiser les informations



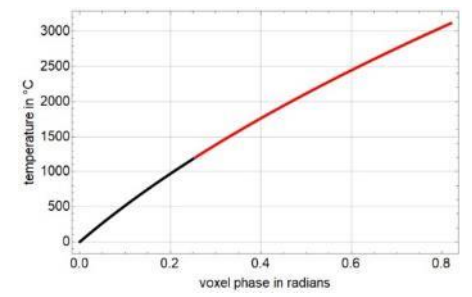
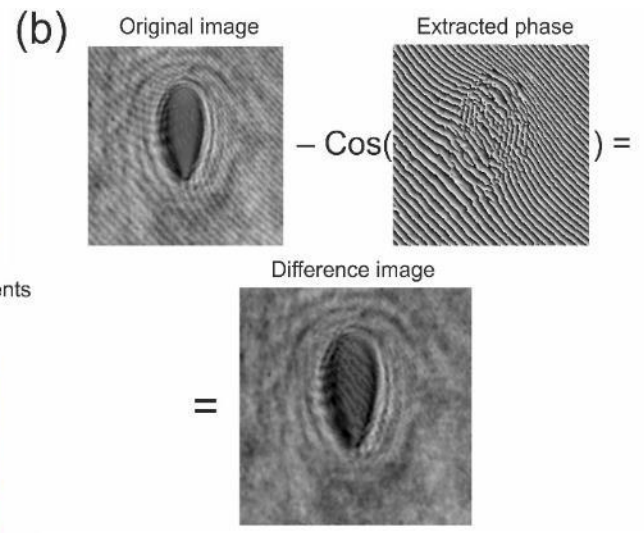
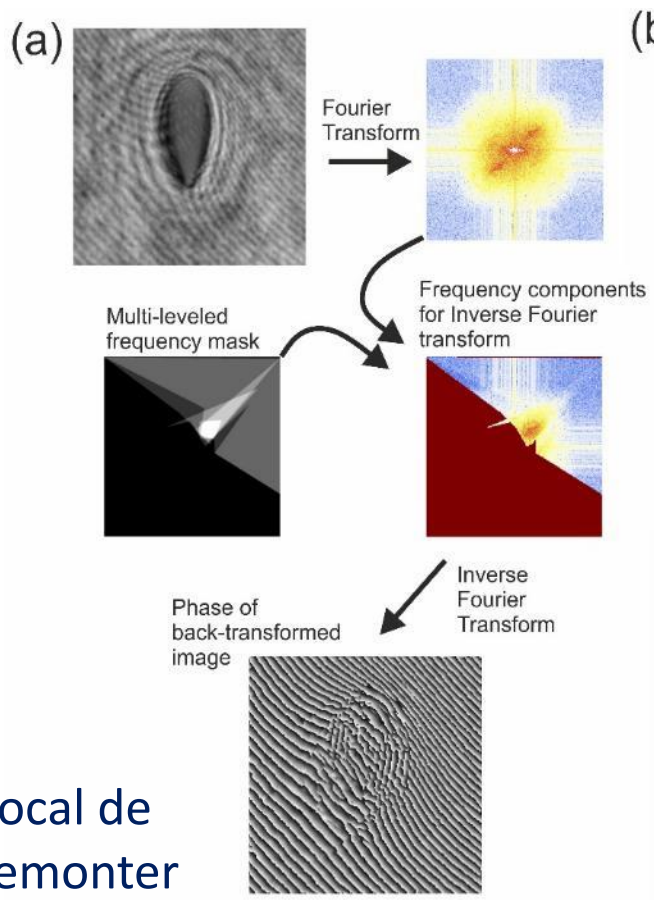
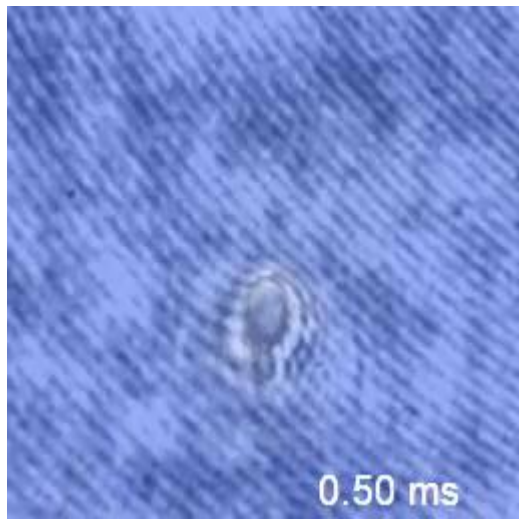
F. Werr et al.
Materials 2021, 14, 1831



M. Bergler et al.
Materials 2021, 14, 3584



Modification laser stationnaire

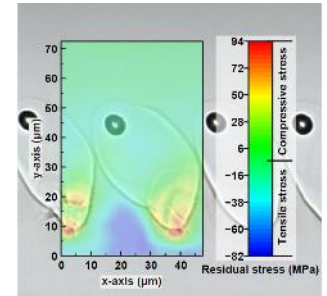
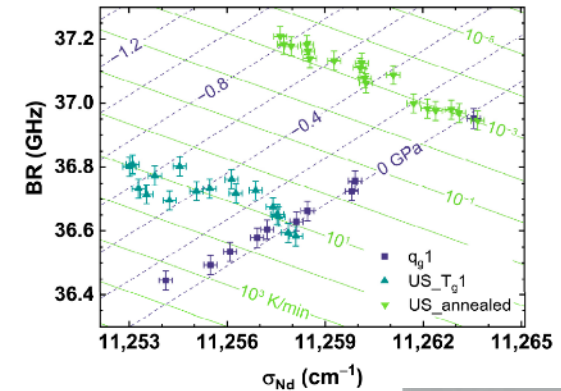


K. Cvecek et al. 2020

Utilisation du changement local de l'indice de refraction pour remonter à la vitesse de refroidissement

Conclusion

- Le verre a une mémoire
- Cette mémoire peut être lue en utilisant les spectroscopies de vibrations et de luminescence
- Elle est sensible à beaucoup de paramètres: vitesse, pression max, contrainte, cisaillement
- Elle peut aussi s'effacée totalement ou partiellement





Rita Cicconi, Neamul Khansur, Udo Eckstein, Kyle Webber

Michael Bergler, Kristian Cvecek, Michael Schmidt

