



Sujet de thèse : Institut de Physique de Rennes

## Sujet : Rhéologie des verres hors équilibre thermodynamique par méthode dynamique

### Positionnement du projet scientifique :

Le verre fait partie intégrante de notre vie quotidienne (bâtiments, voitures, vaisselle, smartphones, écrans plats...) mais aussi dans des énergies à faible émission de carbone (protection pour panneaux solaires, pile à combustible...). Comprendre sa rhéologie est un point crucial pour les industriels. En effet, ce sont des matériaux amorphes, hors équilibre thermodynamique, ce qui implique qu'en deçà de leur température de transition vitreuse, leurs propriétés mécaniques évoluent au cours du temps. Au-delà de leur température de transition vitreuse, ils peuvent être sujet à la cristallisation. Ces phénomènes vont faire évoluer leurs propriétés viscoélastiques ou sont même largement contrôlés par ces propriétés. Notamment le recuit, étape indispensable à la synthèse d'un verre massif, qui permet de relaxer les contraintes mécaniques dans un verre sous sa transition, est essentiellement lié à cette viscoélasticité. Les verres inorganiques étant fragiles à basse température, ils sont mis en forme (moulé, fibré, extrudé...) à haute température grâce à cette déformation viscoélastique.

Pourtant, l'évolution de ces propriétés reste mal comprise et les moyens de l'étudier assez peu développés. Au département Mécanique et Verres de l'institut de Physique de Rennes, nous exploitons une méthode de mesure dynamique de propriétés rhéologiques, la RFDA (Resonance Frequency and Damping Analysis), pour analyser l'évolution de ces propriétés dans le domaine de transition vitreuse en temps et en température, ou au-delà de la transition vitreuse quand la cristallisation se produit. Ces analyses permettent d'identifier les différents mécanismes mis en jeu, leur cinétique et leur caractéristique (énergie d'activation) et comment leur évolution impacte le comportement macroscopique du verre. Ces analyses s'appuient sur des modèles de viscoélasticité et la mécanique de la résonance.

### Objectifs de la thèse et moyens expérimentaux

La thèse se focalisera sur des verres inorganiques : verres silicatés, phosphatés et de chalcogénures, couvrant ainsi sur un large panel de fragilité thermodynamique (« thermodynamic fragility ») et permettant de pouvoir jouer à façon sur les compositions. Le doctorant utilisera diverses techniques expérimentales (RFDA, DMA, viscosimétrie, dilatométrie, calorimétrie, RMN, spectroscopie Raman...) afin d'analyser le vieillissement ou la cristallisation d'un verre et de lier l'évolution de ses propriétés thermodynamiques et structurales à l'évolution de son comportement viscoélastique. Une grande partie du travail se concentrera sur la RFDA et le développement de modèles numériques ou analytiques permettant d'extraire un maximum d'information des mesures expérimentales. Ces modélisations feront suite à deux stages de magistère mécatronique, et de licence Professionnelle Verres & Céramiques. Il développera également des protocoles et des plans d'expériences permettant d'obtenir des informations pertinentes de mesures en RFDA.

## Collaborations

La thèse se déroulera en collaboration entre le Département Mécanique et Verres de l'Institut de Physique de Rennes (UMR UR1-CNRS 6251) et le groupe Verres et Céramiques de l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes (UMR UR1-CNRS 6226). Ces deux instituts sont associés au sein du CPER Verres.

## Expertise et complémentarité des encadrants

Fabrice Célarié : RFDA, dilatométrie,

Yann Gueguen : viscosité, viscoélasticité, modélisation,

Jean Rocherullé : synthèse de verres, structure, calorimétrie, cristallisation.

## Mots-clés

Verres, Viscoélasticité, Résonance, Vieillessement, Relaxation

## Domaine de M2

Mécanique des matériaux, sciences des matériaux, verres.

## Financement

Le financement de la thèse est une bourse Ministérielle. Le salaire net mensuel est de 1421,84€.

## Références

1. Sant'Ana Gallo L, Célarié F, Audebrand N, Martins Rodrigues AC, Dutra Zanotto E, Rouxel T. J Am Ceram Soc. 2017;00 :1–10.
2. Mathieu Boivin, Mohammed El-Amraoui, Yannick Ledemi, Fabrice Celarie, Real Vallee, and Younes Messaddeq, 11 May 2016 | Vol. 6, No. 5 Optical Materials Express 1662
3. Mezeix, F. Célarié, P.Houizot, Y. Gueguen, F.Muñoz, T. Rouxel. Journal of Non-Crystalline Solids 445– 446 (2016) 45–52
4. M. Idriss, F. Célarié, Y. Yokoyama, F. Tessier, T. Rouxel Journal of Non-Crystalline Solids 421 (2015) 35–40

## Contacts :

**Yann Gueguen, Dr,**  
Maître de Conférence/Associate Professor,  
Département Mécanique et Verres,  
IPR UMR UR1-CNRS 6251  
✉ : Bat. 10B, Campus de Beaulieu  
35042 Rennes Cedex,  
☎ : +33 (0) 2.23.23.58.06  
✉ : [yann.gueguen@univ-rennes1.fr](mailto:yann.gueguen@univ-rennes1.fr)

**Fabrice Célarié, Dr,**  
Maître de Conférence/Associate Professor,  
Département Mécanique et Verres,  
IPR UMR UR1-CNRS 6251  
✉ : Bat. 10B, Campus de Beaulieu  
35042 Rennes Cedex,  
☎ : +33 (0) 2.23.23.60.47  
✉ : [fabrice.celarie@univ-rennes1.fr](mailto:fabrice.celarie@univ-rennes1.fr)