

**Context and objectives:** Oxide Glasses have a wide range of industrial applications due to multiple advantageous features, including optical transparency, elevated mechanical and thermal properties, chemical durability, biocompatibility and bioactivity, etc. However, one major drawback is its brittleness. It is well-known that oxide glasses undergo dynamic fracture (crack propagation velocity of  $\sim$ km/s – as in the case of a glass crashing to the floor and shattering). Nevertheless, there is another fracture mode less noticeable that will be studied during this internship, where crack fronts grow at speeds of  $10^{-11}$  –  $10^2$  m/s. The growth of these crack fronts is aided by environmental parameters including atmospheric humidity and temperature, and the crack front velocity ( $v$ ) depends on the local stress felt by a crack tip (Figure 1), coined the stress intensity factor ( $K_I$ ).

Currently, our experimental setup permits tracking the crack front position in time *via* a tubular microscope equipped with a camera. Post-analysis of images provides the crack front velocity. Additionally, finite element simulations give way to an indirect measurement of  $K_I$ .

In recent years, digital image correlation (DIC) techniques have proven to be a powerful tool to access the stress intensity factor [2-3]. This is achieved by comparing the displacement fields between an unstrained and strained image, and it works well for *soft* materials and/or *large* samples that exhibit significant deformation under loading. However, it is more challenging for *stiffer* materials and/or *smaller* samples, as in the case of DCDC (*Double Cleavage Drilled Compression*, Figure 2) oxide glass samples. Recently, our team developed a new protocol to capture the displacement field around a crack front in oxide glasses. Initial results are promising, yet the experimental protocols remain to be optimized.

The internship's goal is to optimize and qualify the DIC methodology and to acquire the displacement fields around a crack front. The intern will take part in various steps: designing and depositing a pattern on the glass surfaces using a cleanroom, running slow crack growth experiment, performing DIC to analyze images acquired during the experiment, and comparing DIC results to traditional finite element results. The intern will have the opportunity to learn and use first-hand advanced methods for characterizing materials and their surfaces, from the macroscopic to the nanometric scale.

**Intern's profile:** Last year of engineering school, M2 or M1 student with a background in materials science, chemistry or physics with knowledge in condensed matter physics, mechanics of materials, surface science and/or image processing. The intern should be curious, motivated by experimental work, and able to work both in a team and independently. Previous exposure to programming languages is a necessity, and experience with chemistry labs and/or cleanroom environments is a plus.

**Environment:** The intern will work in SPEC, the Condensed Matter Physics Laboratory (SPEC: UMR 3680 CEA-CNRS) of CEA Saclay, located at L'Orme des Merisiers. A CEA bus system provides easy access to L'Orme des Merisiers from various locations in Ile-de-France.

Further information and to apply: Please send your CV and motivation letter to Priscille Fauvarque ([priscille.fauvarque@cea.fr](mailto:priscille.fauvarque@cea.fr)), Laure Chomat ([laure.chomat@cea.fr](mailto:laure.chomat@cea.fr)) and Cindy Rountree ([cindy.rountree@cea.fr](mailto:cindy.rountree@cea.fr))

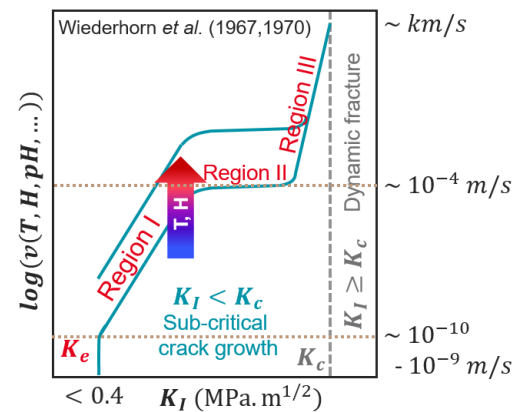


Figure 1: Sketch of slow crack growth in glass with typical values for window glasses



Figure 2: DCDC glass sample under compression with sub-critical cracks propagating symmetrically on both sides of a hole

[1] Rountree, C. L. Recent progress to understand stress corrosion cracking in sodium borosilicate glasses: linking the chemical composition to structural, physical and fracture properties. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 (2017).

[2] Hild, F. & Roux, S. Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties – a Review. *Strain*, 42 (2006).

[3] Pan, B. Digital Image correlation for surface deformation measurement: historical developments, recent advances and future goals. *Measurement Science and Technology*, 29 (2018).

**Contexte et objectifs:** Les verres d'oxydes sont utilisés dans un grande variété d'applications industrielles en raison de leurs multiples propriétés avantageuses : transparence optique, bonnes propriétés mécaniques et thermiques, durabilité chimique, biocompatibilité et bioactivité, ... Cependant, un inconvénient majeur de ces verres est leur fragilité. La fracture dynamique du verre (vitesse de propagation de fissure  $\sim$ km/s, comme dans le cas d'un verre tombant par terre et se brisant) en est un exemple bien connu. Il existe également un autre mode de fracture prépondérant et plus lent ( $10^{-11}$  à  $10^2$  m/s), qui sera étudié au cours de ce stage. La vitesse de propagation de ces fissures sous-critiques ( $v$ ) est pilotée par la contrainte locale ressentie en pointe de fissure, appelée facteur d'intensité de contraintes ( $K_I$ ) et dépend des conditions environnementales, incluant l'humidité de l'air et la température (Figure 1).

Actuellement, notre dispositif expérimental permet de suivre la position du front de fissure au cours du temps grâce à un microscope tubulaire doté d'une caméra. Le traitement des images acquises permet de déterminer la vitesse du front de fissure. Par ailleurs, des simulations par éléments finis fournissent une évaluation indirecte de  $K_I$ .

Au cours de ces dernières années, les techniques de corrélation d'images numériques (*digital image correlation* : DIC) se sont révélées être un outil puissant pour accéder au facteur d'intensité de contraintes [2-3]. Pour ce faire les champs de déplacement entre une image non déformée et déformée sont comparés, ce qui fonctionne bien dans le cas de matériaux *souples* et/ou de *grands* échantillons qui présentent une déformation importante sous charge. Cependant, cela se révèle plus compliqué dans le cas de matériaux *plus rigides* et/ou d'échantillons plus petits, comme dans le cas des échantillons de verre DCDC (*Double Cleavage Drilled Compression*, Figure 2). Récemment, notre équipe a développé une nouvelle méthodologie pour capturer le champ de déplacement autour du front de fissure dans des verres d'oxydes. Les premiers résultats sont prometteurs mais les protocoles expérimentaux restent à optimiser.

Le but du stage est d'optimiser et qualifier la méthodologie DIC afin d'acquérir les champs de déplacement autour d'un front de fissure. Le/la stagiaire prendra part aux étapes suivantes : conception et dépôt d'un motif à la surface des verres en salle blanche, réalisation d'une expérience de fissuration lente, analyse des images obtenues lors de l'expérience  $K_I$  par DIC, et comparaison de ces résultats à ceux précédemment acquis en utilisant les éléments finis. Le/la stagiaire aura l'opportunité de mettre en œuvre des méthodes avancées de caractérisation des matériaux et surfaces, de l'échelle macroscopique à l'échelle nanométrique.

**Profil recherché:** Etudiant(e) en dernière année d'école d'ingénieur, M2 ou M1 issu(e) d'une formation en sciences des matériaux, chimie ou physique avec des connaissances en physique de la matière condensée, mécanique des matériaux, surfaces et/ou traitement d'images. La curiosité, la motivation pour réaliser un travail expérimental et la capacité à travailler à la fois en équipe et en autonomie sont des compétences recherchées. Une expérience avec un ou des langage(s) de programmation est nécessaire et une expérience en laboratoire de chimie et/ou salle blanche est un plus.

**Laboratoire d'accueil:** Le/la stagiaire travaillera au SPEC, le Service de Physique de l'Etat Condensé (SPEC: UMR 3680 CEA-CNRS) du CEA-Saclay, situé à L'Orme des Merisiers. Un système de bus CEA permet d'accéder facilement à L'Orme des Merisiers depuis de nombreux endroits en Ile-de-France.

Pour plus d'informations et pour candidater: Envoyer CV et lettre de motivation à Priscille Fauvarque ([priscille.fauvarque@cea.fr](mailto:priscille.fauvarque@cea.fr)), Laure Chomat ([laure.chomat@cea.fr](mailto:laure.chomat@cea.fr)) et Cindy Rountree ([cindy.rountree@cea.fr](mailto:cindy.rountree@cea.fr))

[1] Rountree, C. L. Recent progress to understand stress corrosion cracking in sodium borosilicate glasses: linking the chemical composition to structural, physical and fracture properties. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 (2017).

[2] Hild, F. & Roux, S. Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties – a Review. *Strain*, 42 (2006).

[3] Pan, B. Digital Image correlation for surface deformation measurement: historical developments, recent advances and future goals. *Measurement Science and Technology*, 29 (2018).

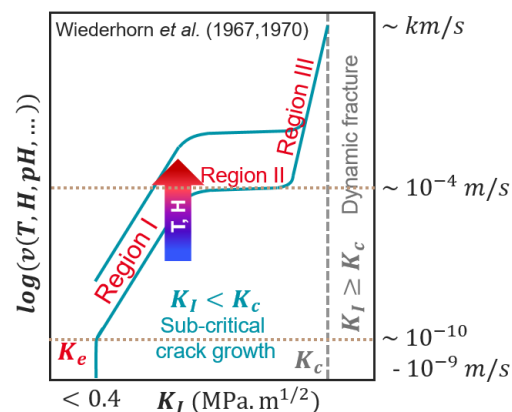


Figure 1 : Courbe caractéristique de fissure sous-critique d'un verre avec valeurs typiques pour un verre à vitre



Figure 2 : Echantillon DCDC de verre en compression avec propagation symétrique de fissures sous-critiques de part et d'autre d'un trou