

## Sujet de stage M1/M2 – English version below

**Laboratoire:** LP3, Campus de Luminy, Marseille 13009, France

**Encadrement:** Alexandros Mouskeftaras - Chargé de Recherche CNRS

**Email:** [alexandros.mouskeftaras@cnrs.fr](mailto:alexandros.mouskeftaras@cnrs.fr)

**Titre:** Transitions de phase induites par laser ultrabref dans la silice

**Mots clé:** physique ultrarapide, impulsion laser ultracourte, traitement laser

**Rémunération:** ~600 €/mois

**Description:** L'utilisation des lasers à impulsions ultra-brèves (femtoseconde, picoseconde) permet d'atteindre localement des densités de puissance suffisamment élevées ( $\sim \text{TW}/\text{cm}^2$ ) pour ioniser tout type de matériau. Dans le cas des matériaux transparents (verres, cristaux etc.) l'absorption non-linéaire de l'énergie laser permet de déposer l'énergie dans le volume focal et donne accès à une écriture 3D à l'intérieur du solide. En utilisant des objectifs de microscope, il est possible de minimiser le volume focal ( $\sim \mu\text{m}^3$ ) et ainsi atteindre des densités d'énergie déposées de l'ordre du  $\sim \text{J}/\text{m}^3$  transformant quasi-immédiatement la matière en un état dense et tiède comme celui qui est présent dans le cœur des étoiles. A partir de là, la matière ayant « perdu » toute mémoire de son état solide, des nouveaux chemins de restructuration lui deviennent accessibles pouvant mener à des phases solides plus denses. Dans ce stage, on se propose d'explorer les transitions de phase induites par laser ultrabref à l'intérieur d'un solide transparent tel qu'est la silice. Afin d'optimiser le schéma d'interaction et générer des volumes de matériau modifié en quantité suffisante, on va utiliser des faisceaux laser de type Bessel et/ou Vortex-Bessel. L'étudiant.e prendra en main une petite station d'usinage basée sur ce principe afin de préparer des échantillons qui pourront par la suite être caractérisés. Les différents moyens de caractérisation incluront dans un premier temps un microscope optique, un microscope électronique à balayage et un microscope-polariscope avant de procéder à une caractérisation plus complexe par micro-diffraction de rayons X et/ou microscope électronique à transmission.

Il s'agit d'une excellente opportunité pour développer des compétences dans un domaine pluridisciplinaire de la Physique (Physique des Plasmas, Lasers, Thermodynamique, Mécanique etc.) et de l'ingénierie. L'étudiant.e intéressé.e devra avoir de solides connaissances en Optique et/ou en Science des matériaux. Un goût pour la physique expérimentale est nécessaire.

Sélection de publications:

- Mouskeftaras, A., & Bellouard, Y. (2018). Effect of the Combination of Femtosecond Laser Pulses Exposure on the Etching Rate of Fused Silica in Hydrofluoric Acid. *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 13(1).
- Mitra, S., Chanal, M., Clady, R., Mouskeftaras, A., & Grojo, D. (2015). Millijoule femtosecond micro-Bessel beams for ultra-high aspect ratio machining. *Applied optics*, 54(24), 7358-7365.
- Mouskeftaras, A., Guizard, S., Fedorov, N., & Klimentov, S. (2013). Mechanisms of femtosecond laser ablation of dielectrics revealed by double pump-probe experiment. *Applied Physics A*, 110(3), 709-715.

## Master Internship

**Laboratory:** LP3, Campus de Luminy, Marseille 13009, France

**Advisor:** Alexandros Mouskeftaras – CNRS researcher

**Email:** [alexandros.mouskeftaras@cnrs.fr](mailto:alexandros.mouskeftaras@cnrs.fr)

**Title:** Ultrafast laser-induced phase transitions in silica

**Keywords:** ultrafast physics, ultrashort pulse laser, laser processing

**Remuneration:** ~600 €/mois

**Description:** The use of ultrashort pulsed-lasers (femtosecond, picosecond) allows to reach locally power densities in the order of  $\sim \text{TW}/\text{cm}^2$  high enough to ionize any type of material. In the case of transparent materials (glasses, crystals etc.) the non-linear absorption of laser energy allows to deposit the energy inside the focal volume and gives access to 3D writing within the solid. By using microscope objectives, it is possible to minimize the focal volume ( $\sim \mu\text{m}^3$ ) and thus reach deposited energy densities of the order of  $\sim \text{J}/\text{m}^3$  transforming the matter almost immediately into a warm and dense state like that present in the core of stars. Hence, the matter having "lost" all memory of its solid state, new transformation paths become accessible that can lead to denser solid phases.

In this internship, we propose to explore the phase transitions induced by ultrafast laser inside a transparent solid such as silica. In order to optimize the interaction scheme and to generate sufficient volumes of modified material, we will use Bessel and/or Vortex-Bessel laser beams. The student will use a small laser machining station based on this principle in order to prepare samples that can then be characterized. The various means of characterization will include an optical microscope, a scanning electron microscope and a microscope-polariscope before proceeding to a more complex characterization by X-ray micro-diffraction and/or transmission electron microscope.

This is an excellent opportunity to develop skills in a multidisciplinary field of Physics (Plasma Physics, Lasers, Thermodynamics, Mechanics etc.) and engineering. The interested student should have a strong background in Optics and/or Materials Science. A taste for experimental physics is necessary.

Publications selection:

- Mouskeftaras, A., & Bellouard, Y. (2018). Effect of the Combination of Femtosecond Laser Pulses Exposure on the Etching Rate of Fused Silica in Hydrofluoric Acid. *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 13(1).
- Mitra, S., Chanal, M., Clady, R., Mouskeftaras, A., & Grojo, D. (2015). Millijoule femtosecond micro-Bessel beams for ultra-high aspect ratio machining. *Applied optics*, 54(24), 7358-7365.
- Mouskeftaras, A., Guizard, S., Fedorov, N., & Klimentov, S. (2013). Mechanisms of femtosecond laser ablation of dielectrics revealed by double pump-probe experiment. *Applied Physics A*, 110(3), 709-715.