

## Proposition de sujet de Post-doc (18 mois, ANR DENSE)

*Caractérisation des transformations induites par irradiations laser ultrarapides confinées dans un volume à l'échelle nanométrique.*

### Mots-clés du projet :

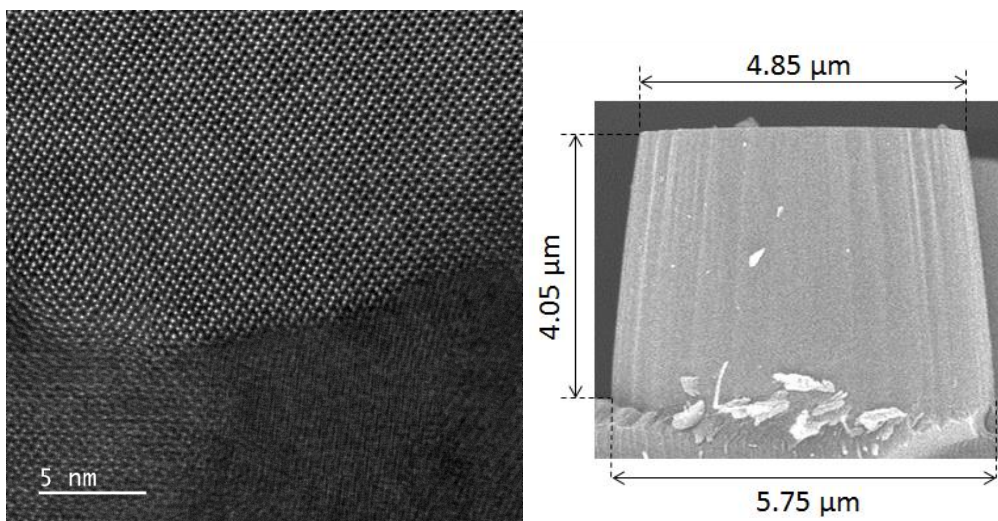
Microscopie Electronique en Transmission, Caractérisation des matériaux, Transformations microstructurales sous chocs, Propriétés mécaniques, Essais micromécaniques, Minéralogie.

### Contexte du projet :

Ce post doc s'intègre dans l'ANR DENSE (Dense structures on the nanoscale ; portée par R. STOIAN, LabHC) qui propose une technique innovante pour créer de nouveaux matériaux de haute densité jusqu'à de nouvelles structures cristallines (matériaux durs, minéraux). L'idée est de créer des conditions extrêmes grâce à des irradiations laser ultrarapides (fs) confinées dans le volume à l'échelle nanométrique, pour générer de nouvelles phases. La technique implique l'utilisation de faisceaux laser avancés et de géométries non diffractives qui peuvent conduire à des conceptions innovantes de densification et à des niveaux de confinement énergétique sans précédent. Des techniques d'observation quantitative multi-échelles sont proposées afin de dresser l'évolution temporelle de la matière, permettant d'identifier les processus de transformation. Les propriétés mécaniques des nouvelles formes structurelles seront évaluées à l'aide de tests nanomécaniques innovants pour évaluer les performances mécaniques de ces phases par rapport à leur structure. Ainsi, en combinant des mises hors équilibre ultrarapides avec de fortes contraintes thermo-mécaniques, nous cherchons à identifier les sources et processus de transformation. Nous nous basons sur l'utilisation de sources d'irradiation modulées spatio-temporellement, sur l'observation de la dynamique des structures et sur la simulation de nouvelles phases et l'évaluation de leurs propriétés mécaniques. Le consortium pluridisciplinaire de DENSE (LabHC, FEMTO-ST, LaMCoS, LGF-EMSE et LGL-TPE) possède une vaste expertise en ingénierie de faisceau laser, en sondage de phénomènes laser, en simulation de transformation de la matière, sur le sujet des matériaux vitreux et avec des compétences en caractérisation électronique, structurelles et mécanique, afin de répondre au mieux aux défis posés par le projet. L'enjeu de DENSE est de porter le dépôt d'énergie à des niveaux record, de valider des scénarios de transformation basée sur l'évolution dynamique et d'accroître la compréhension de la structure des matériaux, de leur métastabilité et propriétés mécaniques.

### Objectifs du Post-doc :

Dans un premier temps, l'objectif sera de caractériser par microscopie électronique, essentiellement en transmission (MET), les transformations structurales induites par l'irradiation laser confinée dans un très petit volume ( $< \mu\text{m}^3$ ), dans différents matériaux, minéraux compris (e.g. zircon, monazite). Des études poussées à l'échelle nanométrique (diffraction, STEM, EELS) seront réalisées en combinant à une découpe précise de la zone irradiée par amincissement ionique (réalisation de lames FIB) la caractérisation par MET. Le site stéphanois du Clym (<https://www.clym.fr/fr/node/336>) dispose d'un MET JEOL NeoARM200F Cold FEG corrigé (Cs) de dernière génération, équipé de détecteurs ADF/ABF, EDS et d'un spectromètre de perte d'énergie des électrons (EELS) permettant une caractérisation structurale atomique (figure).



A gauche - Image STEM-ADF (NeoARM 200F) d'un cristal de monazite ( $\text{CePO}_4$ ) choqué (d'après Seydoux-Guillaume *et al.*, 2022). Noter le contraste entre un domaine préservant un arrangement atomique parfait (en haut) et un domaine extrêmement désordonné (en bas). A droite : micropilier de silice amorphe pour la réalisation d'essais de micro-compression (d'après Kermouche *et al.*, 2016)



Dans un second temps, les propriétés mécaniques de ces nouveaux matériaux résultants des irradiations laser seront caractérisées à l'aide des moyens d'essais micromécaniques du laboratoire Georges Friedel. Les gradients de propriétés mécaniques seront investigués en s'appuyant sur les techniques de nanoindentation instrumentée et de microscopie à force atomique. La ductilité/fragilité de ces nouveaux matériaux sera analysée à travers la compression de micropiliers (*figure*) ou la flexion de microcantilevers, usinés par FIB, réalisées à l'aide d'un indenteur In Situ MEB (Alemnis). Le travail sera réalisé en interaction étroite avec les partenaires du projet, spécialistes de l'interaction laser/matière et des simulations atomistiques associées.

### **Environnement de travail :**

Les travaux seront localisés à Saint-Etienne au laboratoire LGF de Mines Saint-Etienne (<https://www.mines-stetienne.fr/lgf/>), et au LGL-TPE de l'université Jean Monnet (<https://www.univ-st-etienne.fr/fr/lgl-tpe.html>). Ils seront encadrés par Anne-Magali Seydoux-Guillaume (LGL-TPE, microscopie électronique à transmission), Guillaume Kermouche (LGF, essais micromécaniques) et Sergio Sao-Joao (LGF, microscopie et usinage FIB).

### **Profil recherché :**

*Formation* : Doctorat en Science des matériaux.

*Compétences* : Solides connaissances en caractérisations des matériaux. Une grande expérience (pratique) en caractérisation par MET est indispensable.

*Candidature* : Les candidat.e.s intéressé.e.s enverront un court CV (incluant la liste des articles/communications) + une lettre de motivation + une lettre de recommandation, par email à Sergio Sao-Joao ([sao-joao@emse.fr](mailto:sao-joao@emse.fr)) et Anne-Magali Seydoux-Guillaume ([anne.magali.seydoux@univ-st-etienne.fr](mailto:anne.magali.seydoux@univ-st-etienne.fr))

*Durée et financement du Post-doc* : 18 mois et environ 2740 €/mois fonction de l'expérience professionnelle.

*Date d'embauche* : 1<sup>er</sup> Semestre 2023.

### **Références :**

Seydoux-Guillaume A.-M., de Resseguier, T., Montagnac, G., Reynaud, S., Leroux, H., Reynard, B., and Cavosie, A. J. (2022). Bridging the shocked monazite gap- Deformation microstructures in natural and laser shock-loaded samples. *Earth and Planetary Science Letters*, 595, 117727. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117727>

Kermouche, G., Guillonnet, G., Michler, J., Teisseire, J., & Barthel, E. (2016). Perfectly plastic flow in silica glass. *Acta Materialia*, 114, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.05.027>