



The **French-German Research Institute of Saint-Louis (ISL)** situated in the border triangle of Germany, France and Switzerland is an internationally renowned research institute belonging to a global industrial and economic network. The spectrum of our core activities comprises a variety of topics: aerodynamics, energetic and advanced materials, lasers and electromagnetic technologies, protection, security and situational awareness. Our activities are related to both basic and applied research.

**Offre de thèse CEA Gramat, École des Mines de Paris et Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL)**

**Mots clés : Matériaux énergétiques, Analyses microstructurales, Simulations numériques**

## Caractérisation de l'endommagement de matériaux énergétiques à l'échelle microstructurale

### Contexte

La sensibilité au choc des matériaux énergétiques (explosifs) est une propriété cruciale liée à leur sûreté. Des études préliminaires expérimentales et de simulation ont été menées dans le cadre d'une thèse en collaboration entre le CEA Gramat, l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL) et le Centre de Morphologie Mathématique (CMM) de MINES ParisTech. Des essais menés à l'ISL sur différents matériaux ont permis d'obtenir des valeurs précises de niveau de choc déclenchant une réaction de l'explosif. Dans l'objectif de déterminer les mécanismes exacts du déclenchement de la réaction, et notamment le rôle de l'endommagement, d'autres échantillons ont été soumis à des essais au-dessous du seuil de réaction. Ces échantillons ont été imagés avant et après le choc par microtomographie à rayons X. Les images ont été segmentées par un logiciel développé au CMM.

L'analyse de ces images a révélé des différences géométriques dans la microstructure de ces matériaux granulaires. Afin de comprendre l'influence de ces différences sur le comportement macroscopique du matériau, des simulations numériques sous différents types de sollicitations ont été réalisées.

Les champs de pression et de température illustrent que des interactions mécaniques complexes ont lieu entre les grains et confirment que le comportement macroscopique du matériau est influencé par sa structure à l'échelle microscopique. Cependant, les interactions entre les grains ne sont pas précisément comprises. Elles dépendent non seulement de la forme géométrique des grains, mais aussi de leurs contacts et positions mutuelles ainsi que des imperfections cristallines.

### Objectif du projet

L'objectif de la thèse est d'établir un lien entre la microstructure initiale du matériau, son endommagement et le mécanisme déclenchant la réaction.

Des échantillons de différents matériaux seront soumis à un essai par impact mécanique. Cet impact doit provoquer un endommagement sans déclencher la

réaction. Chaque échantillon sera imagé par microtomographie X avant et après essai. Les grains seront segmentés avant et après l'endommagement. En parallèle, des simulations numériques d'un impact équivalent seront effectuées afin d'établir les champs de température et de pression. Le choc de l'impact engendrant un déplacement important de la matière, le lien entre la microstructure initiale et l'état thermodynamique final du matériau n'est pas trivial.

Des outils seront développés dans le but de :

- 1) faire correspondre la microstructure saine et endommagée d'un même échantillon (appariement des grains),
- 2) caractériser l'endommagement créé (fissuration, fragmentation, réaction thermique),
- 3) mesurer l'évolution des champs thermodynamiques obtenus par simulation éléments finis en fonction de la microstructure. L'analyse locale des champs de température et de pression, ainsi que l'endommagement observé seront mis en correspondance avec la géométrie de la microstructure.

### Profil du candidat

- ◆ diplôme d'ingénieur et/ou de master recherche avec un excellent niveau scientifique, en mécanique, mathématiques appliquées et/ou intelligence artificielle
- ◆ bon niveau de pratique en français et anglais (niveau B2 ou équivalent minimum)
- ◆ très bon niveau en programmation
- ◆ qualités humaines, créativité, autonomie, facultés d'adaptation, et forte motivation pour la recherche sont essentielles pour ce travail de thèse.

### Localisation

La thèse se déroulera au Centre de morphologie mathématique des Mines de Paris (environ 1 an 1/2) et au CEA Gramat (environ 1 an 1/2). Des visites régulières auront lieu à l'ISL.

**Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis**

Dr, Eric FOUSSON – Physique des Chocs et Détonique  
5 rue du Général Cassagnou – 68301 Saint-Louis – France  
[eric.fousson@isl.eu](mailto:eric.fousson@isl.eu) – tél : +33 (0)3 89 69 50 86



[www.isl.eu](http://www.isl.eu)