



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

Offre de thèse au CEA Gramat, École des Mines de Paris et Institut Saint-Louis

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 de machine learning 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.

Résumé :

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. Nous utiliserons pour l'étude de ces différents phénomènes des méthodes de machine learning (GANs notamment), à la fois pour générer des microstructures réalistes et pour l'analyse des champs de pression et de température, et leur lien avec la microstructure.

Déroulement :

La thèse se déroulera au Centre de morphologie mathématique des Mines de Paris (environ 1 an ½) et au CEA Gramat (environ 1 an 1/2). Des visites régulières auront lieu à l'ISL.

Directeurs de thèse :

Petr Dokladal et François Willot. Le travail de thèse sera suivi par ailleurs par Steve Belon et Elodie Kaeshammer (CEA Gramat) ainsi qu'Eric Fousson (ISL).

Ecole doctorale : ISMME 621 Ingénierie des Systèmes, Matériaux, Mécanique, Énergétique

Profil :

Nous recherchons un candidat détenteur d'un diplôme d'ingénieur et/ou de master recherche avec un excellent niveau scientifique, en mécanique, mathématique appliqué et/ou intelligence artificielle ainsi qu'un bon niveau de pratique en français et anglais (niveau B2 ou équivalent minimum). Les qualités humaines, de créativité, d'autonomie et d'adaptation, mais également des capacités pédagogiques, et une forte motivation pour la recherche sont essentielles pour ce travail de thèse ainsi qu'un très bon niveau en programmation. Pour postuler, merci d'envoyer votre dossier à francois.willot@mines-paristech.fr comportant : un curriculum vitae détaillé, une lettre de motivation/projet personnel, des relevés de notes (L3, M1, M2 ou autres), une ou plusieurs lettres de recommandation, les noms et les coordonnées de personne(s) pouvant être contactées pour recommandation, une attestation de niveau d'anglais, tout autre document complémentaire démontrant vos qualités pour cette thèse.