

Monsieur Frédéric NOZERES

Génie Mécanique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Contribution à la compréhension et à la prédiction des mécanismes de fragmentation d'enceintes métalliques.*

dirigés par Monsieur Patrice BAILLY et Monsieur Hervé COUQUE

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : LaMé - Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé

Soutenance prévue le **vendredi 18 octobre 2024** à 9h00

Lieu : INSA CVL 88, Boulevard Lahitolle 18000, BOURGES

Salle : Amphithéâtre Impériaux

**Composition du jury proposé**

M. Pascal FORQUIN	Université Grenoble Alpes	Rapporteur
M. Daniel RITTEL	Technion	Rapporteur
Mme Patricia VERLEYSEN	Université de Gand	Examinatrice
Mme Teresa FRAS	Institut Saint-Louis	Examinatrice
M. Jacques PETIT	CEA/DAM Gramat	Examinateur
M. Patrice BAILLY	INSA Centre Val de Loire	Directeur de thèse
M. Hervé COUQUE	KNDS Ammo France	Co-directeur de thèse
M. Jérôme LIMIDO	ASBTRAO	Co-encadrant de thèse
M. François BARTHELEMY	DGA Techniques terrestres	Invité
M. Jean-Sébastien SCHWARTZ	DGA Techniques terrestres	Invité

**Mots-clés :** Dynamique rapide, Aciers, Loi élasto-plastique, Critère de rupture de Mode I, Critère de rupture de Mode II, Bandes de cisaillement adiabatiques

**Résumé :**

La fragmentation naturelle d'une enveloppe métallique soumise à la détonation d'un chargement explosif interne est un processus thermomécanique fortement dynamique basé sur plusieurs phénoménologies complexes dont la compréhension et la modélisation constituent un enjeu important fixant le cadre de ces travaux de thèse. Les approches théoriques développées depuis le second conflit mondial font encore aujourd'hui référence et reposent sur des hypothèses bidimensionnelles de type « expansion d'anneaux » et sur des caractéristiques mécaniques trop simplificatrices pour autoriser de véritables calculs prédictifs. Dans ce contexte, ces travaux ont consisté à élaborer un modèle de fragmentation d'un acier s'appuyant sur des paramètres physiques pertinents et faisant usage d'une méthode numérique particulière apte à reproduire les phénoménologies propres à la fragmentation d'un corps de charge. Pour ce faire, une démarche originale combinant volets expérimentaux, théoriques et numériques a été mise en place. Initialement, la réponse élastoplastique de l'acier a été caractérisée afin d'obtenir les paramètres d'une loi de comportement de Johnson-Cook modifiée apte à reproduire le régime visqueux. Les deux modes de ruine typiques de la fragmentation, à savoir le mode I de rupture en tension et le mode II d'endommagement par bandes de cisaillement adiabatiques (BCA), ont ensuite été investigués par le biais d'approches expérimentales spécifiques : des essais de traction uniaxiale sur éprouvettes entaillées pour le premier et des essais d'impact sur éprouvette chapeau pour le second. Ces essais de ruine ont permis d'alimenter des modèles de rupture préalablement choisis sur la base d'un nombre réduit de paramètres physiquement pertinents. La rupture ductile de mode I est traitée par le modèle de rupture de Johnson-Cook, tandis que les conditions d'émergence et de propagation des BCA sont définies par le modèle d'endommagement de Dolinski, Merzer & Rittel. Afin de localiser les déformations, des défauts volumiques sont introduits par une distribution stochastique de la limite d'écoulement du matériau, ainsi que des défauts surfaciques qui sont induits par variation de l'épaisseur, générant ainsi des ondulations de surface. Les lois de comportement des matériaux ainsi alimentées ont alors été implantées dans un modèle utilisateur intégré dans le logiciel ABSTRAO, faisant usage d'une méthode sans maillage particulière innovante dite « Gamma-SPH ». Conservative en masse, compatible des très grandes déformations et se prêtant aisément à la parallélisation massive des calculs, elle se différencie en outre des approches particulières classiques par sa grande stabilité en tension. Au sein de cet environnement logiciel, l'architecture du modèle de fragmentation s'articule autour de trois étapes. Tout d'abord, les mécanismes de localisation précédemment évoqués génèrent des effets de striction dans l'épaisseur autour desquels va s'articuler la gestion synchrone des deux modèles de ruine. Ensuite, dès que l'endommagement total du matériau est atteint, la rupture est représentée par l'annulation du déviateur des contraintes, la pression devenant positive ou nulle. Finalement, une boîte à outils développée spécifiquement permet de générer la matrice d'éclats numérique pour comparaison aux résultats expérimentaux. Afin de confronter ce modèle de fragmentation au réel, des essais détoniques de récupération en cuve et de caractérisation de mise en vitesse ont été conduits sur des maquettes cylindriques de l'acier étudié chargées en explosif. Les comparaisons calculs/expériences se sont révélées satisfaisantes, montrant la pertinence du modèle développé. En complément, des réflexions ont été menées pour intégrer la contribution thermique de l'équation d'état au calcul de la température, cette contribution n'étant pas négligeable au vu des premières analyses. Mots clés : fragmentation, méthode particulière, BCA.