Internship at ISAE-SUPAERO / ICA for six/eight month
Stage recherche ISAE-SUPAERO / ICA UMR CNRS 5312 de 6 mois

Title : Modélisation de la performance dynamique d'un système de protection céramique-colle-composite
Supervisor : Pr. Frédéric LACHAUD / Pr. Eric PAROISSIEN

1) Contexte

Ce stage s'inscrit dans un projet amont concernant l'amélioration des performances de blindages dits « bi-dureté » constitués d'une couche de céramique (en face avant) et d'une couche de composite (en face arrière dite de backing) schématisés figure 1. La fonction principale de la couche céramique est de ralentir la progression du projectile impactant en dissipant de l'énergie par fragmentation. La fonction principale de la couche de backing est de retenir les fragments de céramique (critère de non-perforation) et de limiter l'enfoncement de la protection (critère d'enfoncement). Pour assembler ces deux matériaux, une colle est utilisée. Actuellement cette couche de colle n'est pas explicitement fonctionnalisée pour participer aux performances du blindage. ***Un des objectifs principaux de ce projet est de comprendre et modéliser la fonction de cette couche pour l'amélioration du blindage***

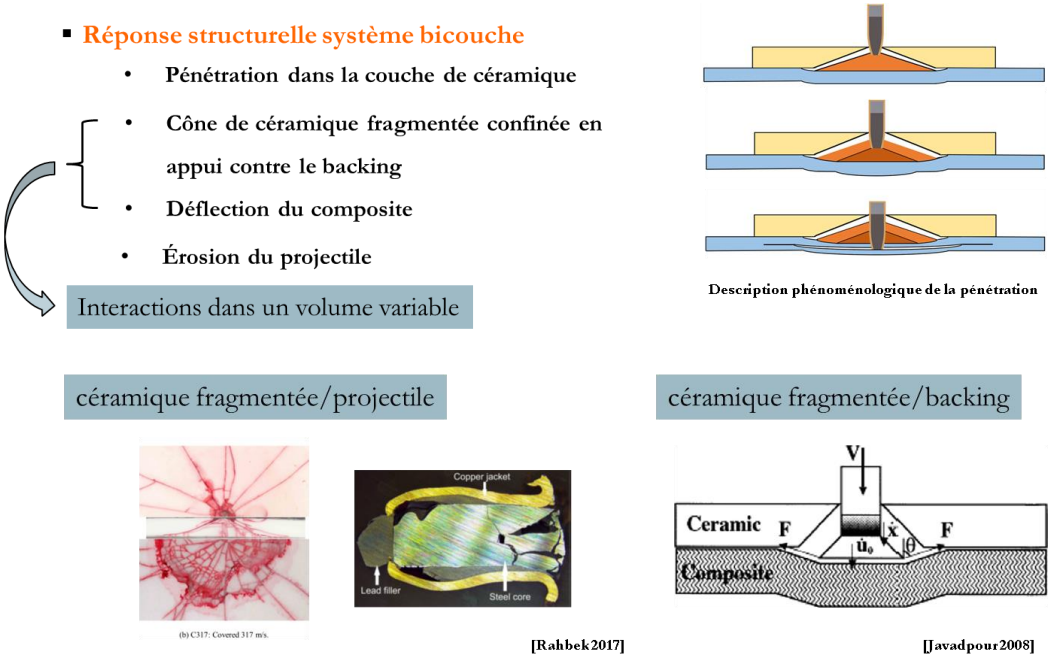

Figure 1 : principe de la protection balistique par l'assemblage de couche céramique et composite

S'il est fondamental de comprendre les modes de fragmentation de la face avant sous l'impact ainsi que les modes de rupture du backing, il s'avère nécessaire de considérer l'influence de la résistance de la colle sur ces modes de ruptures. C'est en effet la résistance à la rupture de la colle qui permet au système d'avoir une rigidité en flexion suffisante limitant la déflection face arrière, et permettant de prévenir la perforation de la couche de

« backing » par des fragments de céramique. La colle a aussi pour rôle le maintien de la couche de « backing ». Il est aussi probable et important d'analyser par un couplage Essais-Calculs afin de comprendre si la couche de colle peut participer à l'amélioration de la fragmentation de la couche de céramique. ***Un autre objectif de ce projet est donc de capitaliser les développements des modèles de comportement développés lors du précédent projet AID « tri-couches » et de la thèse DGA/ISL de Tristan Camalet [Cam 2020].***

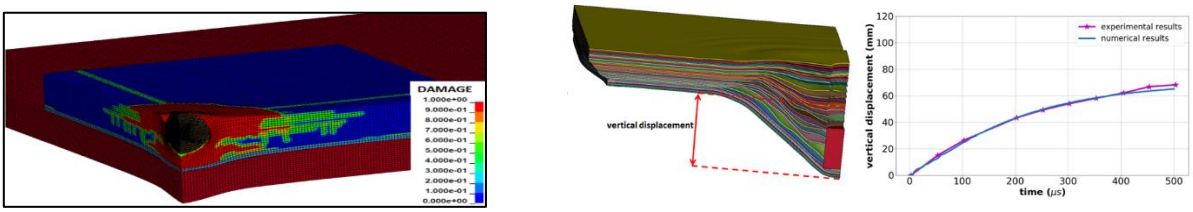

Figure 2 : Modèle numérique en dynamique rapide de la perforation d'une protection tri-couche

De plus, dans le développement de ces protections, la recherche de nouveaux matériaux et d'assemblages optimisés pour satisfaire au mieux les critères de protection (Absorption d'énergie, non perforation du backing, poinçonnement du backing, réutilisation, protection multi-impacts, recyclabilité et environnement) est nécessaire. Dans ce cadre, deux partenaires identifiés (actuellement partenaire de l'ISAE-SUPAERO) Arkema pour les colles et St Gobain pour les matériaux de protection (en face avant et pour le backing) souhaitent participer au projet par la fourniture de matériaux colles (Arkema) ou de matériaux nouveaux (Saint Gobain). ***Ce dernier point constitue un objectif d'ouverture du projet concernant l'étude de nouveaux matériaux en face avant et de backing.***

Ce stage s'inscrit donc à la suite de ces activités de recherche dans le domaine (travaux réalisés à l'ISAE-SUPAERO/ICA depuis 2017 (These CAMALET / Post Doc ESSONGUE) et s'intéresse plus particulièrement à l'influence de la rupture ou des propriétés de tenue de la colle sur la modification de fragmentation de la céramique et la déflection du backing. Ce stage s'inscrit aussi dans une thématique concernant la modélisation à grande vitesse du comportement des matériaux et des structures composites assemblés collés (et/ou boulonnés). A l'issue de ce stage, et fonction du candidat, une proposition de thèse pourra être envisagée.

2) Stage

Objectif globale:

Il s'agit de qualifier la tenue mécanique d'un système de protection balistique par fonctionnalisation de couche de colle dans l'assemblage et d'évaluer son rôle sur la fragmentation de la céramique et la perforation du composite.

Objectif principale du stage

Bibliographie

- Endommagement et rupture des composites et céramiques, notamment ceux utilisés dans la protection
- Utilisation des modèles de comportement développés lors des deux précédentes études à savoir :
    - Modèle de fragmentation de céramique (refx)
    - Modèle d'endommagement/rupture du backing (refx)
- Analyse des modèles numériques et quantification des points faibles et des manques dans les paramètres à identifier.

Tests et campagne d'essais

- Mise en place de deux types de tests :

- A l'échelle des matériaux. Certains paramètres des modèles pour leur utilisation ne sont pas robustes (Energie de rupture inter et intra laminaire par exemple, modèle visco-plastique des colles…etc). Certains essais pourront être réalisés à des fins d'amélioration de ces paramètres (Essais de mécanique de la rupture, d'endommagement composites, de rupture céramique, impact sur les constituants seuls…etc)
- A l'échelle de la protection et pour une éprouvette représentative constituée des 3 couches (céramique, colle, composite) quelques essais au canon hyper vitesse (800 m/s) seront réalisés.

Modélisation numérique

- Les modèles existants seront utilisés en premier lieu pour des cas tests permettant de retrouver certains résultats des études précédentes.
- Chaque campagne d'essais aux différentes échelles sera systématiquement comparée aux modèles numériques (EF, Particulaire, couplage modèle discret/continue…etc)
- Des modifications des modèles existants pourront être proposées (code de calculs ABAQUS explicit)

Le candidat doit posséder des connaissances en matériaux et structures composites, en analyse non linéaire, en méthode numérique en dynamique rapide et avoir un gout prononcé pour des analyses couplées essais-calculs.

Mots clés : Fragmentation, endommagement, rupture, céramique, composite, collage, dynamique rapide, choc, impact, méthode numérique

3) Administratif

Date: de Février/Mars à Juillet/Aout 2024 fonction des écoles
Duration: 6 months
Remuneration: 650/mois
Contacts : envoyer un CV et lettre de motivation à : frederic.lachaud@isae-supaero.fr
Au besoin une visio peut être réalisée afin de discuter du sujet, fonction des attentes du candidats.

Références non exhaustive:

[Camalet 2020] Tristan Camalet Caractérisation et modélisation du comportement dynamique des matériaux constituant une structure de protection céramique-composite Thèse de l'Université de Strasbourg, 2020.
[Colard 2013] Colard L, Kerisit C, Rusinek A, Azari Z and Daire P. Investigations on dual-hardness lightweight armor. Congrès Français de Mécanique 2013, Bordeaux, 26-30 Août 2013.
[Colard 2015] Colard L, "Etude du comportement sous impact balistique d'un blindage multicouche à composantes carbure de bore et aluminium », thèse de doctorat, Université de Lorraine, 2015.
[DaSilva, 2009] LFM DA SILVA, PJC DAS NEVES, RD ADAMS, and JK SPELT. Analytical models of adhesively bonded joints-Part I: Literature survey. Int J Adhesion Adhesives. 29, pp. 319-330. 2009

[Duplan 2020]. Yannick Caractérisation expérimentale et modélisation des propriétés de rupture et de fragmentation dynamiques d'un noyau de munition et de céramiques à blindage
[Essongue 2022] Simon Essongue. Influence de la tenue à rupture de la couche de colle sur la performance d'un système céramique-colle-composite. Rapport d'avancement AID Projet « Tri-Couches », ISAE-SUPAERO 2022
[Francart2017] Francart C., "Experimental and numerical study of the mechanical behavior of metal/polymer multilayer composite for ballistic protection", thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2017.
[Holmquist 2008] Holmquist, T.J. and G.R. Johnson, *Response of boron carbide subjected to high-velocity impact.* International Journal of Impact Engineering, 2008. **35**(8): p. 742-752.
[Ingen, 1994] JW VAN INGEN, and A VLOT. Stress analysis of adhesively bonded single lap joints. (Report LR-740). Delft University of Technology (April 1993)
[Lachaud et al. 2023] Frédéric Lachaud, Christine Espinosa, Eric Paroissien. Influence de la tenue à rupture de la couche de colle sur la performance d'un système céramique-colle-composite. Rapport final AID Projet « Tri-Couches », ISAE-SUPAERO 2023
[Lachaud et al. 2021] Lachaud F., Boutin M., Espinosa C., Hardy D. Failure prediction of a new sandwich panels based on flax fibers reinforced epoxy bio-composites. Composite Structures, 2021
[Paroissien 2006] E. Paroissien. Contribution aux Assemblages Hybrides (Boulonnés/Collés) – Application aux Jonctions Aéronautiques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 3 / Institut de Génie Mécanique (IGM). 2006
[Paroissien 2013a] E. Paroissien, F. Lachaud and T. Jacobs. A simplified stress analysis of bonded joints using macro elements. In book Advances in modeling and design of adhesively bonded systems, Chap. 4, p.93-146. Ed. MITALL K. L.; KUMAR S. 2013
[Paroissien 2013b] E. Paroissien, F. Gaubert, A. Da Veiga and F. Lachaud. Elasto-Plastic Analysis of Bonded Joints with Macro-Elements. Journal of Adhesion Science and Technology. 27(13)1464-1498. 2013
[Lachaud 2011] F. Lachaud. Contribution à l'analyse multi échelle du comportement mécanique non linéaire matériau des structures composites. Habilitation à diriger des recherches, Université Paul Sabatier. 2011
[Lopez-Puente 2005] J. López-Puente, A. Arias, R. Zaera, C. Navarro. The effect of the thickness of the adhesive layer on the ballistic limit of ceramic/metal armours. An experimental and numerical study. Int. J. Imp. Eng. 32(1-4), pp 321-336. 2005
[Pawar 2016] M.J. Pawar, A. Patnaik, S.K. Biswas, U. Pandel, I.K. Bhat, S. Chatterjee, A.K. Mukhopadhyay, R. Banerjee, B.P. Babu. Comparison of ballistic performances of Al2O3 and AlN ceramics. Int. J. Imp. Eng. 98, pp 42-51. 2016.