

Proposition de sujet de thèse LASER & SHM

Analyse de la dynamique non-linéaire de dommages générés par choc laser: application au contrôle de la santé des structures composites

Mots-clés : Contrôle de la Santé des Structures, Choc Laser, Délaminage, Systèmes Dynamiques Non-linéaires, Traitement du Signal.

Lieu & encadrants: Marc Rébillat, Mikhail Guskov, Nazih Mechbal & Laurent Berthe. Laboratoire de Procédé et Ingénierie en Mécanique et Matériau (PIMM, Arts et Métiers ParisTech)

Profil recherché: Master Parcours Recherche abordant plusieurs ou l'intégralité des points suivants : procédés laser, dynamique des structures, identification de systèmes, traitement statistique du signal. Un goût prononcé pour les activités expérimentales et la corrélation avec les aspects numériques est attendu.

Sujet : Le contrôle de la santé des structures (« *Structural Health Monitoring* », SHM [11]) permet d'espacer en moyenne les actions de maintenance planifiée tout en diminuant les risques de défaillance. Cette technologie est basée sur des "*structures intelligentes*" qui se composent d'un réseau de capteurs et d'actionneurs ainsi que d'une architecture d'acquisition et de commande en temps réel. On s'intéressera ici à la surveillance de structures en matériaux composites à l'aide de capteurs et d'actionneurs piézo-électriques représentatifs d'un contexte aéronautique (voir Figure 1). Dans ce cas, différents types de dommages peuvent provoquer la ruine de la structure : les fissures à l'intérieur des plis, le délaminage, et la rupture des fibres [10]. Le processus de contrôle de la santé des structures intelligentes est un processus classiquement décliné en quatre étapes consécutivement à l'apparition d'un dommage: i) détection ii) localisation iii) classification iv) quantification. Il existe actuellement divers algorithmes capables de traiter efficacement le problème de la détection et la localisation d'un dommage, mais il n'existe encore que très peu de solutions réalisant de façon fiable la classification et la quantification d'un dommage. La motivation de cette thèse est donc de lever les verrous scientifiques empêchant actuellement le développement et la validation de telles méthodes.



Figure 1: A gauche: matériau sandwich représentatif du domaine aéronautique et à droite disque piézoélectrique.

Les technologies utilisées pour générer des dommages dans les structures composites sont actuellement assez rudimentaires (ajout de masse ponctuelle pour simuler un dommage, utilisation d'une tour de chute pour la réalisation d'un impact, insertion d'une pastille de Téflon pour simuler un délaminage). En particulier, il est aujourd'hui difficile de maîtriser a priori finement le type et la taille d'un dommage apparaissant entre les plis d'un composite (délaminage) lors de sa génération. La technologie de génération de dommage par choc laser permet cependant de créer une courbe et

intense sollicitation mécanique à l'interface entre différents plis d'un matériau composite susceptible de décoller ces différents plis (voir Figure 2) [1-4]. Cette méthode a déjà été utilisée pour caractériser la cohésion d'assemblages collés et son application à la génération de dommage dans les matériaux composites est récente et encore partiellement comprise [2]. Si elle est bien maîtrisée, cette technologie peut donc permettre de contrôler le type et la taille d'un dommage lors de sa génération. Le premier objectif de cette thèse est donc d'exploiter la technologie de choc laser de façon à générer des dommages calibrés a priori en type et en taille sur des échantillons représentatifs de structures aéronautiques.

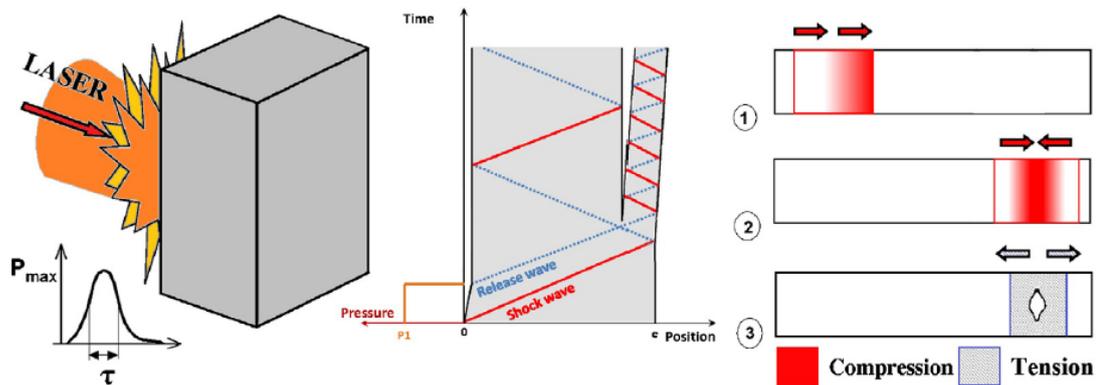


Figure 2: Schéma de principe du choc Laser (d'après [2])

Les algorithmes utilisés pour réaliser les étapes de classification et de quantification des dommages sont aujourd'hui basés sur une analyse linéaire de la réponse dynamique de la structure étudiée. Or, dans la réponse dynamique de la structure tout dommage induit nécessairement une part de non-linéarité dépendant de son type et de sa taille [12]. L'analyse des non-linéarités générées par les dommages dans la réponse dynamique d'une structure intelligente peut donc potentiellement permettre de proposer une solution fiable pour la classification et la quantification des dommages [5,6]. Le second objectif consistera donc à comprendre et modéliser les phénomènes mécaniques non-linéaires mis en jeu lors de l'interrogation d'une structure composite endommagée. On cherchera ensuite à développer et à valider une méthode de classification et de quantification des dommages basée sur l'analyse des non-linéarités générées par le dommage dans la réponse dynamique de la structure. Les échantillons endommagés de façon calibrée en type et en taille par choc laser serviront de support à la validation expérimentale de la méthode proposée.

La thèse se déroulera au sein du PIMM qui dispose à la fois de compétences en génération de dommages par choc laser (équipe LASER), en contrôle de la santé des structures et en mécanique non-linéaire (équipe DYSCO). Au niveau national, ce sujet pluridisciplinaire fera naturellement intervenir des collaborations au sein du réseau ENSAM (plateforme COMPOL – Réseaux nationaux de la connaissance). Des collaborations avec des partenaires industriels tels que SAFRAN/AIRCELLE sont aussi envisageables.

Contact : Marc Rébillat (marc.rebillat@ensam.eu)

Eléments de bibliographie :

- [1] Peyre P., Fabbro R., Berthe L., Dubouchet C. *“Laser shock processing of materials, physical processes involved and examples of applications”*, *Journal of Laser Applications*, 8(3), 2012, 135-141
- [2] Ecault R., Boustie M., Touchard F., Pons F., Berthe L., Chocinski-Arnault L., Ehrhart B., Bockenheimer B. *“A study of composite material damage induced by laser shock waves”*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2013, 53, 54-64
- [3] Berthe L., Arrigoni M., Boustie M. *“State-of-the-art laser adhesion test (LASAT)”*, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2011, 26(3-4), 303-317.
- [4] Gay, E., L. Berthe, E. Buzaud, M. Boustie, and M. Arrigoni. *“Shock Adhesion Test for Composite Bonded Assembly Using a High Pulsed Power Generator.”* *Journal of Applied Physics* 114(1), 2013.
- [5] Rébillat M., Hajrya R. & Mechbal N. *« Nonlinear structural damage detection based on cascade of Hammerstein models”*, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2014, in press.
- [6] Rébillat M., Hennequin R., Corteel E. & Katz B. *“Identification of cascade of Hammerstein models for the description of non-linearities in vibrating devices”*, *Journal of Sound and Vibration*, 2010, 330 (5), 1018-1038.
- [7] Hajrya R. & Mechbal N. *“Principal component analysis and perturbation theory-based robust damage detection of multifunctional aircraft structure”* *Structural Health Monitoring*, 2013, 12(3), 263-277.
- [8] Guskov M. & Thouverez F. *“Harmonic Balance-Based Approach for Quasi-Periodic Motions and Stability Analysis”*, *Journal of Vibration and Acoustics*, 134(3), 2012.
- [9] Bossi R., Housen K., Walters C. T. & Sokol D. *“Laser Bond Testing”*, *American Society for Nondestructive Testing*, 2009, 67(9).
- [10] Abdallah E. A., Bouvet C., Rivallant S., Broll B. & Barrau J.-J. *“Experimental analysis of damage creation and permanent indentation on highly oriented plates”*, *Composites Science and Technology*, 69(7-8), 2009, 1238-1245
- [11] Worden K., Farrar C. R., Manson G. & Park G. *“The fundamental axioms of structural health monitoring”*, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*, 463, 2082, 2007, 1639–1664.
- [12] Farrar C. R., Worden K., Todd M. D., Park G., Nichols J., Adams D. E., Bement M. T. & Farinholt M. T. *“Nonlinear system identification for damage detection”*, Tech. rep., Los Alamos National Laboratory, 2007.