

Compressed Sensing for elastic guided wave tomography applied to Structural Health Monitoring

A la Direction de la Recherche Technologique (DRT) du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) sur le plateau de Saclay, le département d'imagerie et de simulation pour le contrôle développe des méthodes de contrôle non destructif innovantes pour garantir la sûreté d'exploitation de structures industrielles. Egalement au CEA-Saclay, à la Direction de la Recherche Fondamentale (DRF), NeuroSpin, centre de neuroimagerie cérébrale par résonance magnétique nucléaire, développe des méthodes pour améliorer les diagnostics médicaux en réduisant les temps d'exposition des patients. La thèse proposée s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre les deux instituts et vise à transposer les outils de traitement de signal du domaine médical de la DRF au domaine industriel de la DRT.

Les techniques de contrôle santé intégré (SHM pour *Structural Health Monitoring*) développées à la DRT consistent à munir une structure, telle qu'un avion, d'un réseau de capteurs permettant de détecter à tout moment et de manière automatisée l'apparition de défauts (corrosion, délaminage, ...) pouvant mener à une défaillance. En SHM, l'utilisation des ondes élastiques guidées est particulièrement prometteuse pour la détection des défauts. Ces ondes se propagent en effet sur de longues distances, sont sensibles à une grande variété de défauts et peuvent être émises et détectées à moindre coût par des capteurs piézoélectriques minces noyés dans le matériau ou collés à sa surface. Les données acquises par les différents capteurs peuvent être exploitées par des algorithmes d'imagerie, tels que la tomographie, pour fournir une cartographie de l'épaisseur de la zone inspectée. Ce type d'information permet ensuite d'identifier les défauts et les caractériser (taille, profondeur) [1]. Des résultats récents obtenus au laboratoire ont montré le potentiel de cette technique [2] en détectant, localisant et quantifiant avec une précision submillimétrique un défaut de corrosion dans des coupons métalliques. Cependant l'instrumentation est intrusive puisque la tomographie requiert un grand nombre de points de mesures pour maximiser la résolution de l'imagerie. La photographie de la figure 1(a) montre une telle instrumentation avec 30 capteurs utilisés pour contrôler une zone de 60cm de diamètre tandis que sur la figure 1(b) il est possible de constater la qualité de l'imagerie obtenue par tomographie.

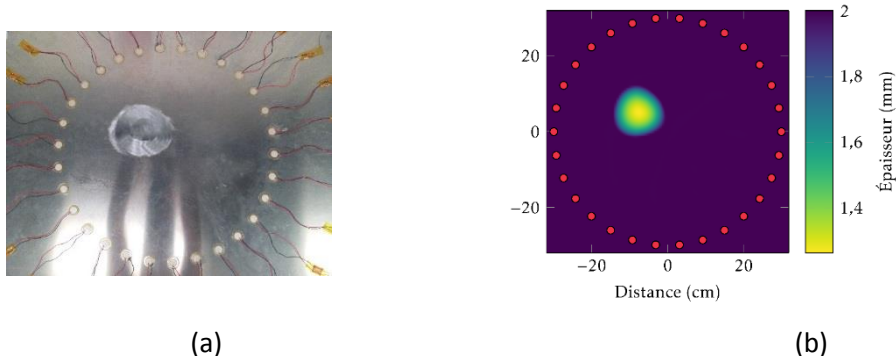


Figure 1: (a) Dispositif expérimental sur plaque d'aluminium, (b) Reconstruction tomographique en épaisseur de la structure

Dans le but de réduire le nombre de capteurs sans dégrader les performances de contrôle, l'utilisation des méthodes parcimonieuses (ou *Compressed Sensing* (CS) en anglais) est envisagée. Le CS est une théorie d'échantillonnage récente permettant d'outrepasser les critères d'échantillonnages classiques (théorème de Shannon-Nyquist), à laquelle la DRF a largement contribué par développement d'outils pour des applications d'imagerie médicale.

Il a été démontré dans [3] que le CS peut être utilisé pour réduire le nombre de mesures nécessaires pour connaître une onde guidée. Dans cette optique, l'objectif de la thèse est d'exploiter les méthodes de CS pour résoudre le problème de tomographie par ondes élastiques guidées en limitant le nombre de capteurs, minimisant ainsi l'intrusivité de l'instrumentation tout en gardant une résolution optimale. Par rapport aux applications médicales, la tomographie par ondes guidées pour le SHM a pour contrainte majeure d'utiliser des capteurs fixés, complexifiant ainsi la reconstruction en termes de positionnement et nombre de points de mesure.

Les principales tâches de la thèse sont les suivantes : 1) Développement des algorithmes de CS adaptés à la reconstruction tomographique par ondes élastiques guidées ; 2) Optimisation du procédé et choix automatisé des paramètres de reconstruction; 3) Mise en œuvre de la méthodologie sur données simulées à l'aide des outils par éléments finis spectraux développés à la DRT ; 4) Essais et validation par l'expérience. Les résultats seront comparés aux algorithmes de tomographie « classiques » utilisant un grand nombre de capteurs. On s'intéressera particulièrement à la robustesse des algorithmes vis-à-vis du bruit de mesure.

Contacts :

Tom DRUET, Laboratoire de Méthodes pour le CND, CEA LIST, Digiteo Saclay

Tel : 01 69 08 60 41 – email : tom.druet@cea.fr

Olivier MESNIL, Laboratoire de Méthodes pour le CND, CEA LIST, Digiteo Saclay

Tel : 01 69 08 58 28 – email : olivier.mesnil@cea.fr

Références :

[1] Huthwaite, P. & Simonetti, F. , High-resolution guided wave tomography *Wave Motion*, 2013, 50, 979-993

[2] Tom DRUET. « Tomographie passive par ondes guidées pour des applications de contrôle santé intégré ». Thèse de doct. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2017

[3] Mesnil, O. & Ruzzene, M., Sparse wavefield reconstruction and source detection using Compressed Sensing *Ultrasonics*, Elsevier, 2016, 67, 94-104