

## Thèse ministère en *Structural Health Monitoring*

### Méthodologies d'analyse temps réel de signaux transitoires sous incertitudes pour le monitoring de structures composites par des réseaux de capteurs CMUT.

#### Description

Contexte : Les défis liés au monitoring de structures (SHM : *Structural Health Monitoring*) portent principalement sur deux axes : sur la **collecte** de données en lien avec les endommagements à des fins de **détection** et de **localisation** de défauts, et sur le **traitement** « **intelligent** » de ces données, en lien avec la physique des endommagements, pour l'**évaluation** de l'état de santé et la **prédiction du potentiel restant**.

L'approche SHM développée depuis 2012 au sein du thème « Tenue aux Dommages et Durabilité des (bio)Composites » (T2DC), du département Mécanique Appliquée de l'institut FEMTO-ST, privilégie la mesure d'émissions acoustiques. Il s'agit d'ondes élastiques transitoires dans la gamme 20kHz-1MHz se propageant à la surface d'un matériau lorsque celui-ci s'endommage. Les applications envisagées pendant la thèse concernent des structures composites à matrice organique étudiées au sein du thème T2DC. Ces structures sont dédiées au secteur du transport pour répondre à des problématiques d'allègement, de fonctionnalisation et de tenue en fatigue sous contraintes multiaxiales. La collecte des données sera quant à elle effectuée par des réseaux de CMUTs. Il s'agit de transducteurs capacitifs ultrasoniques micro-usinés développés au sein du thème MEMS du département et dédiés au SHM.

Motivation et état de l'art : Une campagne de caractérisation des CMUTs pour le SHM est en cours visant à collecter les premières données sur des éprouvettes de laboratoire. Un des avantages majeurs des CMUTs par rapport aux capteurs standards (majoritairement de type piézoélectriques), outre leur taille (centaine de micromètres), est la possibilité de couvrir une large bande fréquentielle avec très peu de résonances locales. L'intérêt est d'obtenir un signal transitoire reflétant le déplacement de la surface d'un matériau, sans artefact provenant de l'empreinte, généralement très marquée, du capteur [Butaud et al., 2018]. Cette caractéristique a pour objectif de mieux discriminer les familles d'endommagement.

L'utilisation d'un réseau de CMUTs donne accès à une masse d'informations très importante puisque chaque membrane du réseau, spécialisée dans une plage fréquentielle donnée, fournit des signaux transitoires reflétant le passage d'une onde élastique. L'objet du travail de thèse sera d'élaborer une méthodologie permettant de synthétiser l'ensemble des transitoires en une information pertinente reflétant le niveau d'activation du réseau de CMUTs et en lien avec l'endommagement sous-jacent.

Le SHM par CMUTs a été envisagé en 2005 par l'équipe de Oppenheim [Ozevin et al., 2005, 2006, 2017] et quelques références mentionnent cette approche depuis [Hutchins et al., 2011 ; Wu et al., 2007] mais il n'y a pas, à notre connaissance, d'étude de ces capteurs et encore moins des réseaux, pour le SHM de structures composites en fatigue.

Travail de thèse : La problématique scientifique qui se pose pour envisager d'utiliser les CMUTs en SHM sur des structures réelles est de parvenir à développer une méthodologie permettant de corréler les signaux issus de ces cellules avec la famille d'endommagement. L'apport d'éléments de solution à cette problématique pour le cas des CMUTs aura des retombées importantes pour d'autres types de capteurs.

Un premier axe de la thèse portera sur la recherche d'un réseau adapté à la structure étudiée. Une approche par simulation numérique est envisagée en utilisant des résultats issus de travaux précédents financés par le Labex ACTION. Cet axe pourra s'appuyer sur des développements récents réalisés au laboratoire. Un second axe concernera la mise en place d'une méthodologie permettant l'exploitation des données massives issues des différentes cellules pour déterminer en temps réel l'état d'endommagement. Un troisième axe concernera la prise en compte des incertitudes en vue du monitoring au long terme, incertitudes portant à la fois sur les paramètres des cellules et sur l'état d'endommagement initial du matériau considéré.

#### Nature du financement et intitulé du doctorat

- Thèse ministère. Début : Octobre 2018.
- Montant : environ 21k€ brut / an, avec possibilité de cumuler une rémunération pour des enseignements (séances de travaux dirigés et pratiques) en fonction des besoins de l'établissement (environ 2000 Euros bruts par mois).
- Ecole doctorale de rattachement : Sciences pour l'ingénieur et Microtechniques (SPIM).
- Les financements de déplacements (conférences, missions) sont assurés par des projets en cours en SHM.

## **Etablissement, laboratoire d'accueil et encadrement**

La thèse se déroulera au sein du département Mécanique Appliquée de l'institut FEMTO-ST, localisé à Besançon.

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique – Sciences et Technologies, UMR 6174), est une unité mixte de recherche, née le 1er janvier 2004 de la fusion de cinq laboratoires francs-comtois, formant ses départements initiaux. Elle est placée sous la quadruple tutelle de l'Université de Franche-Comté (UFC), du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (ENSMM) et de l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (UTBM). L'institut peut s'appuyer sur des technologies de haut niveau, équipements et plateformes, en particulier la centrale de micro et nanotechnologies MIMENTO (Microfabrication pour la MEcanique, les Nanosciences, la Thermique et l'Optique).

L'équipe d'encadrement sera principalement composée de : Emmanuel Ramasso (MCF HDR à l'ENSMM), Gilles Bourbon (Ingénieur de recherche CNRS) et Patrice Le Moal (Chargé de Recherche).

## **Profil du candidat**

La thèse est fortement pluridisciplinaire, avec des interactions fortes entre 3 thèmes du département Mécanique Appliquée en lien avec l'analyse de données (temporelles, sous la forme de transitoires, en présence d'incertitudes) pour des capteurs spécifiques développés au laboratoire (notamment des MEMS) et avec des applications en lien avec le transport (matériaux composites et structures).

Des connaissances générales en traitement et analyse de données sont requises, notamment sur :

- le traitement du signal : acquisition, techniques de filtrage, transformée de Fourier, ondelettes, méthodes statistiques et processus stochastiques.
- la reconnaissance de formes, fouille de données et apprentissage : méthodes supervisées et non-supervisées, optimisation.

## **Contacts pour les candidatures**

Les candidatures, **accompagnées du CV et des notes et classement de Master**, peuvent être envoyées à :

[emmanuel.ramasso@femto-st.fr](mailto:emmanuel.ramasso@femto-st.fr)

[gilles.bourbon@femto-st.fr](mailto:gilles.bourbon@femto-st.fr)

## **Références**

[Hutchins et al., 2011] Hutchins, D. A., Billson, D., Bradley, R., and Ho, K. (2011). Structural health monitoring using polymer-based capacitive micromachined ultrasonic transducers (cmuts). *Ultrasonics*, 51(8) :870-877.

[Ozevin et al., 2005] Ozevin, D., Pessiki, S., Greve, D., and Oppenheim, I. (2005). Adapting a cmut transducer to detect acoustic emissions. In *2005 IEEE Ultrasonics Symposium*, pages 956-959.

[Ozevin et al., 2006] Ozevin, D., Greve, D., Oppenheim, I., and Pessiki, S. (2006). Resonant capacitive mems acoustic emission transducers. *Smart Materials and Structures*, 15(6) :1863.

[Ozevin et al., 2017] Ozevin, D., Saboonchi, H. « Micro-electro-mechanical-systems based acoustic emission sensors » Brevet US20170370768.

[Wu et al., 2007] Wu, W., Greve, D. W., and Oppenheim, I. J. (2007). Characterization and noise analysis of capacitive mems acoustic emission transducers. In *Sensors, 2007 IEEE*, pages 1152-1155. IEEE.

[Butaud et al., 2018] P. Butaud, G. Bourbon, P. Le Moal, V. Placet, E. Joseph, B. Verdin, E. Ramasso, L. Boubakar, 9th European Workshop on Structural Health Monitoring, Bordering the footprint of AE sensor using a bank of sharply-defined frequency domain capacitive micromachined ultrasonic transducers, July 10-13, 2018, Manchester, UK.