

## **Proposition de thèse : 1<sup>er</sup> octobre 2020**

### **Systèmes intelligents de contrôle des vibrations appliqué à la conservation des objets du patrimoine**

#### **Financement**

La thèse se déroule dans le cadre d'un contrat doctoral inclus dans le projet « Contrôle des Vibrations » financé la Fondation des sciences du Patrimoine. L'objectif de cette fondation est d'aider à la réalisation de programmes de recherche liés aux problématiques patrimoniales et plus particulièrement la caractérisation, la conservation et la restauration.

#### **Contexte**

Existe-t-il un point commun entre un clavecin du Musée de la musique maintenu en état de jeu et un panneau de bois peint des collections du Louvre prêté pour une exposition temporaire aux antipodes ? Outre le fait qu'il s'agisse d'objets patrimoniaux en bois, du point de vue de la mécanique, le clavecin et le panneau de bois sont des structures contraintes soumises ponctuellement à des vibrations non contrôlées. Celles-ci sont imposées par leur environnement habituel sur leur lieu d'exposition, ou par des circonstances exceptionnelles à l'occasion des transports notamment. Pourtant, si aujourd'hui la température, l'humidité et les lumières ambiantes sont considérées comme des paramètres d'impact déterminant pour les objets patrimoniaux et sont encadrés par des normes de conservation, les sollicitations vibratoires ne sont pas encore prises en compte à l'heure actuelle alors que, ces objets peuvent être soumis à de nombreuses sources d'endommagement lors des phases de transport ou d'exposition, en particulier au phénomène de fatigue vibratoire. En effet, les transports fréquents dans les musées ou à plus grande échelle en véhicule, la proximité de travaux d'aménagement en génie civil, la vibration des bâtiments induite par le passage répété des visiteurs ou par des activités liées à l'événementiel génèrent une excitation vibratoire répétée pouvant endommager les objets du patrimoine.

#### **Sujet**

L'objectif du projet de thèse est de proposer un système intelligent de contrôle de ces vibrations pour limiter le phénomène et favoriser ainsi la conservation des objets patrimoniaux. Pour être efficace quelles que soient les circonstances, on propose de concevoir un système de contrôle mixte, basé à la fois sur une approche passive garantissant un minimum d'efficacité en continu sans coût énergétique supplémentaire et sur une approche active qui permettra de cibler le contrôle sur les bandes fréquentielles les plus dangereuses mais nécessitant un apport d'énergie. Le design de ce système de contrôle sera réalisé à partir d'une étude fine des sources de vibrations dans différentes configurations et des bandes fréquentielles les plus impactantes pour les objets. Le choix du type de stratégie, des pondérations des algorithmes de contrôle ainsi que du positionnement des actionneurs et capteurs mis en œuvre prendra à la fois en compte les critères d'efficacité des systèmes passifs et actifs et la déontologie en conservation préventive. L'objectif final est de proposer un système autonome énergétiquement permettant le transfert de l'énergie absorbée par les systèmes passifs (pompage énergétique) vers les systèmes actifs. Ce projet de thèse vise donc le développement d'une méthode de contrôle actif des vibrations adaptée aux objets du patrimoine dans leur diversité.

En premier lieu, il s'agira d'établir un diagnostic de ces nuisances et de leur impact selon la nature des objets concernés qui couvrent un spectre très large, allant de l'huile sur toile à la structure de marbre sculpté en

passant par le clavecin. On s'appuiera ensuite sur cet état des lieux et sur les compétences avancées de l'encadrement dans le domaine du contrôle actif pour concevoir et développer des systèmes pour protéger les œuvres des vibrations.

Dans un second temps, il s'agira d'élaborer des outils d'analyse pour quantifier l'impact à long terme des vibrations sur la conservation des œuvres. Ces outils permettront d'estimer la fatigue de différents types d'œuvres (tableaux, toiles, panneaux, statues, instruments de musique, ...) en fonction des caractéristiques des excitations vibratoires subies (domaines de fréquence, amplitudes, ...). On disposera alors des éléments nécessaires au dimensionnement des capteurs, actionneurs et autres paramètres intervenant dans la conception des systèmes de contrôle.

Enfin, le travail s'orientera vers le développement des méthodes de contrôle hybrides (actives et passives) pour optimiser l'atténuation de vibrations subies par les œuvres. Les outils d'estimation proposeront une évaluation objective de ces méthodes.

Le caractère innovant de ce projet réside dans l'utilisation couplées de systèmes actifs ('smart structures') et de solutions passives pour un contrôle de vibrations plus efficace adapté aux objets du patrimoine.

## Ressources bibliographiques

Boutin H. « Méthodes de contrôle actif d'instruments de musique. Cas de la lame de xylophone et du violon. » PhD thesis, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, **2011**.

Génevaux J.-M., Hamard G., Lamarins V. & Pringent T., « Efficacité vibratoire d'une protection arrière rigide de tableau: expérience et modèle » 19<sup>ème</sup> congrès français de mécanique, Marseille, France. pp.481, **2009**.

Jossic M., « Contrôle actif et non-linéarités géométriques : le cas du gong xiaoluo. » PhD thesis, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, **2017**.

Läuchli, M., Bäschlin N., Hoess A., Fankhauser T., Palmbach C. & Ryser M. "Packing systems for paintings: Damping capacity in relation to transport induced shock and vibration" ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, Australia, **2014**.

Le Conte S., Le Moyne S., Ollivier F. & Vaiedelich S. "Using mechanical modelling and experimentation for the conservation of musical instruments". Journal of Cultural Heritage 13 (3), S161-S164, **2012**.

Wei W., Sauvage L. & Wölk. J. "Baseline limits for allowable vibrations for objects". ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, Australia, **2014**

S. Benacchio, B.Chomette, A.Mamou-Mani et F.Ollivier. "Modal proportional and derivative state active control applied to a simplified string instrument". In :Journal of Vibration and Control 22.18 (**2016**),p. 3877–3888

A. Arciniegas, L. Martinez, S. Serfaty, N. Wilkie-Chancellor, « Laser vibrometry for mechanical characterization of composite materials used in artwork reproductions », 12th Conference on Lasers in the Conservation of Artworks (LACONA XII), Paris, France, 2018, 10-14 September.

## Profil du candidat

Le/la candidat(e) possèdera un master ou diplôme équivalent en sciences de l'ingénieur à forte dominante vibration – acoustique et traitement du signal. Un goût pour le travail expérimental est recherché et une sensibilité pour le patrimoine serait appréciée.

## Direction et équipe encadrante

La thèse sera co-dirigée par N. Wilkie-Chancellor du SATIE de CY Université et F. Ollivier de l'Institut Jean le Rond d'Alembert de Sorbonne université.

L'équipe encadrante est composée de S. Le Conte, de l'Institut National du patrimoine, M. Jossic de la Philharmonie de Paris, et de Henri Boutin de l'Ircam.

### **Laboratoires d'accueil :**

(1) Institut National du Patrimoine (INP), Laboratoire de recherche, département des restaurateurs, 124 rue Henri Barbusse, 93300 Aubervilliers

(2) Laboratoire Systèmes et Application des Techniques d'Information et de l'Energie (SATIE – CNRS UMR 8029), CY Cergy-Paris Université, 5 mail Gay Lussac, 95031 Neuville-sur-Oise

### **Domaine de recherche :**

Patrimoine / Acoustique vibratoire / Instrumentation / Sciences pour l'ingénieur

### **Informations pratiques**

*Date souhaitée pour le début de la thèse : 01/10/2020*

*Personnes à contacter par le candidat :*

- SATIE : Nicolas WILKIE-CHANCELLIER ([nicolas.wilkie-chancellor@u-cergy.fr](mailto:nicolas.wilkie-chancellor@u-cergy.fr))
- INP : Sandie LE CONTE ([sandie.leconte@inp.fr](mailto:sandie.leconte@inp.fr))

*Ecole doctorale de rattachement : Science et Ingénierie (ED n°417) de CY Cergy-Paris Université.*