

# Description du projet de recherche doctoral

## ***Prévention des fatigues musculaires en agissant sur les éléments de lutherie: cas de la harpe de concert***

La pratique d'un instrument de musique requiert une dextérité fine, des mouvements répétitifs, rapides et précis, ainsi que des efforts importants pour mettre l'instrument en vibration, tout en adoptant des postures souvent peu naturelles pour le corps humain [1]. En conséquence, les musiciens sont l'objet de douleurs [2] et de blessures [3] dès le plus jeune âge [4]. Parmi eux, les harpistes ne sont pas épargnés. Comme en témoigne l'étude épidémiologique menée par Roxane Martin en 2011, 74% des instrumentistes sondés révèle ressentir des douleurs, principalement localisées dans la partie supérieure du dos, de la nuque et des épaules [2]. Ce constat a également été effectué chez des harpistes texans [5]. La tension des cordes [2] serait directement impliquée dans l'apparition de ces douleurs musculo-squelettiques pour ces instrumentistes. En effet, les cordes de harpe de concert voient une tension comprise entre 200 et 500 N quand les cordes d'une guitare classique sont tendues entre 50 et 70 N. Ces tensions élevées des cordes de harpe trouvent probablement leur origine dans l'évolution de l'esthétique sonore de l'instrument : augmenter la tension des cordes permet d'augmenter la puissance sonore, mais aussi d'en modifier le timbre pour un matériau et un calibre donné [6]. L'une de nos études préliminaires vient étayer cette hypothèse [7]. En effet, nous avons pu montrer que le développement d'un effort suffisant au pincement d'une corde de harpe par les doigts, requiert de l'instrumentiste de solliciter l'ensemble de la chaîne cinématique du membre supérieur [8]. Ces stratégies gestuelles et corporelles complexes induisent des efforts musculaires importants autour des articulations du complexe de l'épaule, dont la répétition est propice au développement à terme, de douleurs.

### **Objectif scientifique**

L'objectif du travail de thèse sera de proposer un dimensionnement du cordage de la harpe en vue de limiter les fatigues musculaires et les pathologies liées à sa pratique, tout en conservant ou améliorant les propriétés acoustiques et de jouabilité de l'instrument. Si le temps le permet, un dimensionnement plus large des éléments de lutherie et un travail sur la posture en comparaison avec d'autres instruments à cordes pourra être entreprise.

### **Description du travail**

*1-Développement d'un modèle vibro-acoustique paramétrique de la harpe de concert et estimation de descripteurs pertinents.*

Un modèle paramétrique d'instrument sera mis en place dans le but de simuler les réponses vibratoires et acoustiques de l'instrument en fonction des paramètres d'entrée de l'instrumentiste. Ce modèle prendra en compte, notamment, les propriétés mécaniques des cordes comme leur état de contrainte [9,10] et sera basé sur une formulation quasi-analytique intégrant certaines données directement extraites d'instruments [11,12]. Cette formulation résume, en une seule équation explicite, à la fois les équations dynamiques du système et les contraintes appliquées. En utilisant les paramètres modaux de chaque élément de l'instrument, il est alors possible de simuler le son de l'instrument pour un pincement donné. Les cordes seront le point clé de la modélisation. Par conséquent, les propriétés mécaniques seront correctement mesurées sur de nombreuses cordes à l'aide de notre cadre développé pour garantir des conditions d'extrémité rigides à la corde [13]. Plusieurs hypothèses sur le cordage seront ainsi testées et des descripteurs pertinents seront élaborés pour orienter une proposition de dimensionnement. Parmi ces descripteurs, on s'intéressera à ceux

classiquement utilisés dans l'analyse de son [14] mais aussi aux descripteurs rendant compte d'une certaine sensation de jeu [15] qu'il faudra, bien évidemment approfondir en lien avec la partie 2. L'estimation de ces descripteurs et leur robustesse demanderont une étude numérique approfondie en lien avec le modèle développé. La validation globale de l'approche nécessitera, quant à elle, le développement d'une méthode originale basée à la fois sur des mesures acoustiques et vibratoires mais aussi l'usage de tests perceptifs adéquats. Lorsque le modèle acoustique de l'instrument sera validé, une étude des conséquences sonores de son évolution technologique pourra aussi être entreprise.

## *2-Développement d'un modèle biomécanique de l'interaction musicien/instrument*

Un modèle biomécanique du musicien en interaction avec son instrument sera développé afin d'identifier les facteurs de risques pour l'intégrité de l'instrumentiste. Des processus de cinématique et de dynamique inverses seront déployés afin d'estimer précisément les efforts développés aux articulations des doigts et poignets du musicien en fonction du contexte musical. Le processus de dynamique inverse devra prendre en considération les différentes localisations des efforts appliqués à l'extrémité distale de la chaîne cinématique en fonction du ou des doigts pinçant chaque corde. Le modèle biomécanique sera alimenté par la cinématique mesurée directement sur le musicien, ainsi que par les forces de pincement mesurées à l'interface entre les doigts du musicien et les cordes. Ce modèle prédira l'évolution des efforts articulaires avec les propriétés de cordages, ou encore une nouvelle posture. Des perspectives d'approfondissement de ce modèle pourront être envisagés, notamment par le biais de la modélisation musculo-squelettique afin d'approcher les efforts musculaires développés par le musicien lors de la pratique musicale. A terme, la procédure de validation des hypothèses formulées à partir de ce modèle quant à la posture des instrumentistes bénéficiera de l'expertise des praticiens et des pédagogues de la musique. Par exemple, Y. Kondanassis [16] recommande de ne pas poser les poignets sur la table d'harmonie ou de garder une certaine souplesse de l'auriculaire pour réduire la tension dans la main. En complément d'un travail sur l'instrument contemporain, une vision historique de la pratique instrumentale et de son évolution dans le temps pourra être entreprise. Pour ce faire, une analyse des pratiques pédagogiques à travers les traités et les méthodes peut être réalisée dans le cadre de l'étude de l'évolution de l'instrument. Elle permettra d'identifier les jalons historiques et technologiques qui reflètent des changements importants dans l'instrument qui pourraient entraîner des troubles physiques chez les instrumentistes. Troubles que l'on retrouve certainement dans les manuels d'enseignement, les mémoires ou la correspondance des instrumentistes. Ces documents devraient également décrire les stratégies mises en œuvre pour remédier à la situation.

Ce projet permettra de continuer une dynamique de travail autour (1) des pathologies physiques liées à la pratique musicale, (2) l'histoire du jeu et des pratiques instrumentales, ainsi que (3) la relation entre facture instrumentale / interprétation, 3 grandes thématiques de recherche pour les années futures identifiées par le Collegium Musicae. Le projet intègre une collaboration entre l'équipe LAM de l'institut Jean Le Rond d'Alembert, l'institut de biomécanique humaine Georges Charpak, Le laboratoire de recherche sur la conservation restauration du musée de la musique et du Pole Supérieur d'enseignement artistique Paris Boulogne-Billancourt

### **L'encadrement du projet est particulièrement complémentaire**

- *Jean-Loïc Le Carrou*, MCF HDR à SU et au sein de l'équipe LAM de l'institut Jean Le Rond d'Alembert apportera ses compétences en vibroacoustique des instruments de musique à cordes
- *Delphine Chadefaux*, MCF à l'université Sorbonne Paris Nord et au sein de l'institut de biomécanique humaine Georges Charpak apportera ses compétences en biomécanique humaine

- *Thierry Maniquet*, Conservateur à la cité de la musique, apportera ses compétences sur les pratiques instrumentales historiques

### **Profil de l'étudiant**

Formation en acoustique ou en biomécanique et intéressé par la musique, sa pratique et son histoire.

### **Références**

- [1] P. Blanco-Piñeiro et al., Musicians, postural quality and musculoskeletal health: A literature's review. *J Body Mov Ther*, 21(1), 157-172, 2017.
- [2] R. Martin. Tension/Détente de la posture du harpiste en Europe occidentale. *Médecine des arts*, 74, 10-16, 2013.
- [3] D. L. Rickert et al. A study of right shoulder injury in collegiate and professional orchestral cellists: an investigation using questionnaires and physical assessment. *Med Probl Perform Ar*, 27(3), 65-73, 2012.
- [4] S. Ranelli et al. Playing-related musculoskeletal problems in children learning instrumental music: the association between problem location and gender, age, and music exposure factors. *Med Probl Perform Ar*, 26(3), 123-139, 2011.
- [5] C.J. Semmler, *Harp Aches*, *Med. Probl. Perform. Arts*, 13(1), 35, 1998
- [6] J. Woodhouse. Influence of damping and nonlinearity in plucked strings: why do light-gauge strings sound brighter? *Acta Acust united Ac.*, 103, 1064-1079, 2017.
- [7] J-L. Le Carrou, S. Le Conte et al. 18th and 19th French Harp classification using vibration analysis, *J Cult Herit*, 27S, S112-S119, 2017.
- [8] D. Chadeaux, J-L. Le Carrou et al. Gestural strategies in the harp performance. *Acta Acust united Ac*, 133(4), 2444-2455, 2013.
- [9] N. Lynch-Aird and J. Woodhouse. Mechanical properties of nylon harp strings. *Materials*, 10, 497-529, 2017.
- [10] N. Lynch-Aird and J. Woodhouse. Comparison of mechanical properties of natural gut and synthetic polymer harp strings. *Materials*, 11, 2160-2185, 2018.
- [11] J. Antunès and V. Debut. Dynamical computation of constrained flexible systems using a modal Udwadia-Kalaba formulation: Application to musical instruments. *J Acoust Soc Am*, 141(2), 764-778, 2017.
- [12] J-T. Jiolat, C. D'Alessandro, J-L. Le Carrou et J. Antunès. Toward a physical model of the clavichord. *J Acoust Soc Am*, 150(4), 2350-2363, 2021.
- [13] A. Paté, J-L Le Carrou et al. Predicting the decay time of solid body electric guitar tones, *J Acoust Soc Am*, 135(5), 3045-3055, 2014.
- [14] G. Peeters et al. The timbre toolbox: extracting audio descriptors from musical signals. *J Acoust Soc Am*, 130(5), 2902-2916, 2011.
- [15] I Firth. Harps strings of the eighteenth century. *Journal of the Catgut Acoustical Society*, 1(2), 19-23, 1988.
- [16] Y Kondonassis. *On playing the harp*. Carl Fischer, 2006.