

# Acoustique des harpes d'Afrique Centrale

---

- **Directeur de thèse :** Jean-Loïc Le Carrou (MCF HDR, SU, CNU 60)
- **Contact:** jean-loic.le\_carrou@sorbonne-universite.fr
- **Codirection:** Baptiste Chomette (MCF, SU CNU 60), Sylvie Le Bomin (MCF, MNHN, CNU 18)
- **Collaborations dans le cadre de la thèse :** Institut Jean Le Rond d'Alembert et Laboratoire d'Éco-Anthropologie du Muséum National d'Histoire Naturelle
- **Financement :** Projet ANR NGombi



## 1 Contexte

Le projet ANR NGOMBI dans lequel s'insère cette thèse vise à étudier les processus évolutifs des instruments de musique de population de tradition orale en se basant sur une démarche interdisciplinaire mêlant ethnomusicologie, linguistique, acoustique, etc. Il s'agit, dans ce projet, de comprendre les mécanismes spécifiques d'évolution des instruments, mais aussi l'impact des contextes socio-culturels sur ces mécanismes. En particulier, les harpes d'Afrique centrale que l'on rencontre de nos jours et qui sont présentes sous des formes historiques dans les collections muséales, témoignent de la grande diversité de leurs caractéristiques morphologiques et acoustiques, de leurs répertoires et de leurs appellations. Malgré cette diversité, il est possible de reconnaître certaines ressemblances fondées par exemple sur la forme de la caisse de résonance, la représentation symbolique de l'instrument, les appellations ou la thématique des chants associés. D'un point de vue acoustique, la harpe d'Afrique centrale est constituée de trois éléments clés participant au son de l'instrument : les cordes, la table d'harmonie et la caisse de

résonance (voir Figure 1b). Si le choix de la forme des éléments et des matériaux constitutifs est relativement uniformisé pour les instruments occidentaux, nous observons une évolution rapide des matériaux en rapport avec les changements sociétaux pour la harpe d'Afrique centrale. Étudier ces évolutions, nécessite de définir des descripteurs pertinents en lien avec la physique du système. Des travaux récents ont adopté cette démarche sur des données expérimentales pour comparer des guitares [1], des harpes de concert anciennes [2], des violons [3], des guitares électriques industrielles [4] ou pour suivre le processus de fabrication de guitares électriques artisanales [5]. L'originalité du projet est de généraliser cette démarche sur les harpes d'Afrique centrale ayant un comportement dynamique non linéaire (grande amplitude de vibrations des cordes et table d'harmonie en peau d'animaux). Ces descripteurs peuvent aussi être estimés sur des simulations pouvant analyser en détail l'influence d'un élément de facture. Les méthodes de synthèses modales ont montré des résultats particulièrement prometteurs pour décrire la physique des instruments de musique à cordes [6, 7] et en particulier la méthode de type Udwadia-Kalaba [8, 9] pouvant intégrer des non linéarités. Avec un modèle pertinent d'excitation [10] ou avec des données directement extraites de la pratique instrumentale, ces modèles permettent in fine de pouvoir écouter les sons d'instruments incomplets présents dans les musées.

## 2 Objectifs scientifiques

L'objectif de la thèse sera donc de déterminer des descripteurs acoustiques pertinents et de pouvoir les estimer sur des instruments sur le terrain ou dans les musées afin d'alimenter des méthodes d'analyse phylogénétique.

## 3 Descriptif

Pour cela, la thèse s'appuiera sur une méthodologie basée sur le développement (1) d'un modèle vibro-acoustique hybride et paramétrable de l'instrument confronté à des résultats expérimentaux, (2) d'un système de mesure portable pouvant être utilisé par des non spécialistes sur le terrain et ne portant pas atteinte à l'intégrité de l'instrument et (3) de descripteurs acoustiques et vibratoires permettant de caractériser et discriminer les instruments. Cette méthodologie pourra s'appliquer à un instrument test confectionné spécifiquement pour le projet par un des facteurs de harpe gabonais afin d'étudier en détail l'influence des éléments de facture. Il pourra aussi servir, après avoir été équipé de capteurs optiques [11], à identifier les paramètres de jeu des instrumentistes par méthode inverse. Ces données permettront d'alimenter le modèle de l'instrument pour en faire de la synthèse sonore. Le modèle hybride consiste à mettre ensemble des données mesurées et des données modélisées. Il permet ainsi en prenant en compte le rayonnement en plus de l'interaction avec l'instrumentiste, de produire un son synthétique pouvant servir pour les études acoustiques. De manière spécifique, les conséquences sonores du cordage, du matériau et des précontraintes de la table d'harmonie (en tant qu'éléments acoustiques ayant connu le plus d'évolution) seront analysées. Ce travail permettra ainsi de définir des descripteurs acoustiques et vibratoires les plus pertinents pour cette étude. Au-delà de cette seule définition, il faudra développer des protocoles expérimentaux adéquats et applicables sur

le terrain et transférables sans connaissance spécifique en vibrations et en acoustique. Nous nous orientons probablement vers des méthodes d'identification basées sur l'analyse modale opérationnelle [12, 13], dont le principe est d'utiliser le système d'excitation propre à la harpe, c'est à dire les cordes, qu'il faudra étendre aux cas spécifiques des instruments présentant des non-linéarités comme la harpe d'Afrique centrale. Dans un premier temps, les instruments présents dans les musées et ceux déjà à notre disposition pourront être analysés. A noter que des travaux préliminaires [14, 15, 16, 17] basés sur trois instruments de trois ethnies différentes (voir Figure 1a) ont déjà permis de tester la faisabilité de la méthodologie proposée. Dans un second temps, une grande campagne de mesure pourra être entreprise sur le terrain. En particulier, il sera intéressant d'analyser un corpus d'instruments produit par un même facteur afin d'établir sa variabilité propre en comparaison avec la variabilité de l'ensemble des instruments.

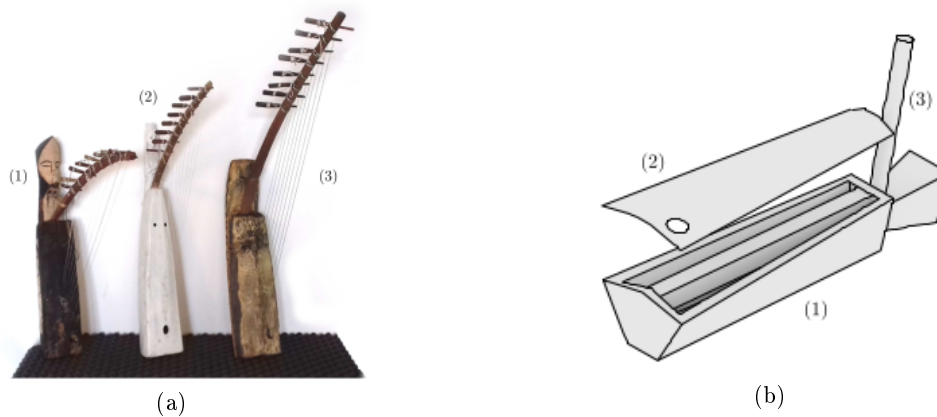


Figure 1: (a) Photo des trois harpes collectées par M.-F. Mifune de 3 ethnies différentes : (1) Massango, (2) Fang, (3) Tsogho; (b) Représentation d'une harpe éclatée : (1) caisse de la harpe taillée en général d'un bloc, (2) peau tendue sur la caisse comportant un ou plusieurs événements, (3) manche de la harpe permettant l'accord des huit cordes.

## 4 Profil recherché

Le candidat recherché aura de solides compétences en acoustique et vibrations ainsi qu'en traitement du signal. Un intérêt pour la programmation d'interface sur système embarqué serait souhaitable. Le candidat présentera un intérêt personnel pour l'objet musical.

## References

- [1] B. Elie, F. Gautier et B. David, Macro parameters describing the mechanical behavior of classical guitars, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(6), pp.4013-4024, 2012.
- [2] J-L. Le Carrou, S. Le Conte et J. Dugot, 18th and 19th French harp classification using vibration analysis. *Journal of Cultural Heritage*, 275, S112-S119, 2017



- [3] Elie, F. Gautier et B. David, Acoustic signature of violin based on bridge transfer mobility measurements, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(3), pp.1385-1393, 2014.
- [4] Paté, J-L. Le Carrou, F. Teissier et B. Fabre, Evolution of the modal behaviour of nominally identical electric guitars during the making process, *Acta Acustica united with Acustica*, 101 (3), pp. 567-580, 2015.
- [5] Paté, J-L. Le Carrou, et B. Fabre, Modal parameter variability in industrial electric guitar making: manufacturing process, wood variability, and lutherie decisions, *Applied Acoustics*, 96, pp. 118-131, 2015.
- [6] Woodhouse J., 2004, On the synthesis of guitar plucks, *Acta Acustica united with Acustica*, 90, pp. 928-944.
- [7] Debut V., J. Antunes, M. Marques et M. Carvalho, Physics-based modeling techniques of a twelve- string Portuguese guitar: A non-linear time-domain computational approach for the multiple- strings/bridge/soundboard coupled dynamics, *Applied Acoustics*, 108, pp. 3-18, 2016.
- [8] Laulusa A, Bauchau O, Review of classical approaches for constraint enforcement in multi-body systems, *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 3(1), 2008.
- [9] Antunes J, Debut V, Dynamical computation of constrained flexible systems using a modal Udwadia-Kalaba formulation: Application to musical instruments, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(2):764?778, 2017.
- [10] Chadefaux D., J-L. Le Carrou et B. Fabre, A model of harp plucking. *Journal of the Acoustical Society of America*, 133(4), pp. 2444-2455, 2013.
- [11] J-L. Le Carrou, D. Chadefaux, L. Seydoux et B. fabre, A low-cost high-precision measurement method of string motion, *Journal of Sound and Vibration*, 333, pp. 3881-3888, 2014.
- [12] B. Chomette et J-L. Le Carrou. Operational modal analysis applied to the concert harp. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 56-57, pp. 81-91, 2015.
- [13] J-L. Le Carrou, A. Paté et B. Chomette. Influence of the instrumentalist on the dynamics of the electric guitar. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), pp. 3123-3130, 2019.
- [14] D. Bedoya, Acoustique des harpes d'Afrique centrale, Stage de Master 1 de l'Université Pierre et Marie Curie, 2017.
- [15] Le Carrou, J.-L., Bedoya, D., Mifune, M.-F., Le Bomin, S., Acoustique des harpes d'Afrique centrale : étude préliminaire, Congrès Français d'Acoustique, Le Havre, France, 2018
- [16] A. Caillon, Etude des harpes d'Afrique Centrale, Stage de Master 1 de Sorbonne Université, 2018.
- [17] A. Caillon, J-L. Le Carrou, B. Chomette et S. Le Bomin, Modelling of Gabonese harps, International Symposium on Music Acoustics, Detmold, Allemagne, 2019