

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Mesure des variations de propriétés vibratoires du bois de lutherie avec les interventions de restauration

Sandie Le Conte¹, Blaise Diringer¹, Clément Werner¹, Loïc Brancheriau²

¹Laboratoire de Recherche et Restauration du Musée de la musique 75019 Paris. sleconte@cite-musique.fr

²CIRAD UPR 40, Production et valorisation des bois tropicaux 34398 Montpellier. loic.brancheriau@cirad.fr

Taquets de bois, de parchemin ou de tissus, flipotage ou recollage direct des bords de la fracture,... un rapide regard porté à l'intérieur des instruments de musique à cordes montre la diversité des techniques d'interventions employées par les facteurs et restaurateurs pour maintenir ou stabiliser les fractures présentes dans les tables d'harmonies des instruments à cordes. Quelles sont les conséquences de ces restaurations ou de celles appliquées par les intervenants d'aujourd'hui ? On se propose de mettre en évidence, par mesures acoustiques, les conséquences des différentes interventions classiquement préconisées sur la lisibilité voire sur la conservation même de la fonctionnalité de la plaque et donc de celle d'un instrument de musique.

1 Introduction

La réponse acoustique d'une plaque de bois peut offrir une lecture pertinente de son état de conservation. Les différentes dégradations du matériau (fissures, gerces, fractures...) restaurées ou non, décalent cette réponse par rapport à ce qu'elle pouvait être à l'origine. A partir de l'étude systématique de plaques d'épicéas volontairement dégradées puis « restaurées », on se propose de mettre en évidence les conséquences des différentes interventions classiquement préconisées sur la lisibilité voire sur la conservation même de la fonctionnalité de la plaque et donc de celle d'un instrument de musique. Les analyses acoustiques réalisées sur les échantillons aboutissent à une première classification des conséquences acoustiques ou vibratoires des différentes techniques d'intervention. Associant de façon claire, la cause et son effet, celle-ci permet au conservateur de choisir le mode d'intervention le plus adapté en fonction de sa problématique et guidera le geste du restaurateur. Elle ouvre ainsi un nouveau champ d'investigation cherchant à éviter la disparition du potentiel musical et sonore détenus par les instruments de musique non maintenus en état de jeu.

2 La table d'harmonie simplifiée par une plaque vibrante

Une étude réalisée par le Musée de la musique sur les collections patrimoniales nationales et européennes d'instruments de musique a montré que seulement 1% des objets conservés sont maintenus en états de jeu.

Ce constat pourrait laisser penser que la démarche d'intervention sur les instruments de musique ne prend que très rarement en compte la fonctionnalité de l'objet, laissant cette question de « l'objet sonore » comme anecdotique dans la pratique régulière des interventions.

En effet, le fonctionnement acoustique de nombreux instruments à cordes peut se schématiser de la façon suivante : le musicien excite la corde (pincement, frappe, ou frottement), qui se met en vibration. La surface d'échange de la corde avec l'air étant trop petite, l'intensité acoustique n'est pas suffisante pour attirer l'attention d'un public. La

vibration doit donc être amplifiée. Elle est alors transmise à la table d'harmonie, via le chevalet, qui elle, présente une surface d'échange beaucoup plus importante. Considérant la majeure partie des instruments de musique, le chevalet est ponctuel de façon à ne pas modifier la vibration de la corde. La table d'harmonie, réalisée en bois de résonance, se trouve soumise à des vibrations forcées.

Presque toujours réalisée dans un bois de résineux (sapin, épicéa,...) de propriétés fortement anisotropes, elle est le lieu à partir duquel l'essentiel du rayonnement de l'instrument sera produit. Ses propriétés mécaniques et vibratoires sont donc fondamentales dans la signature acoustique de l'instrument et leur lecture directe ou indirecte par les méthodes d'investigation offre une clé remarquable d'accès à la fonctionnalité de l'instrument de musique quel que soit son état de conservation. A l'inverse, toute intervention comme par exemple la stabilisation d'une fracture ou le comblement d'une lacune modifiant les caractéristiques mécaniques ou la masse de la pièce (3), éloignera, on le conçoit intuitivement, le fonctionnement mécanique et acoustique de la structure de celui qu'il était avant l'intervention.

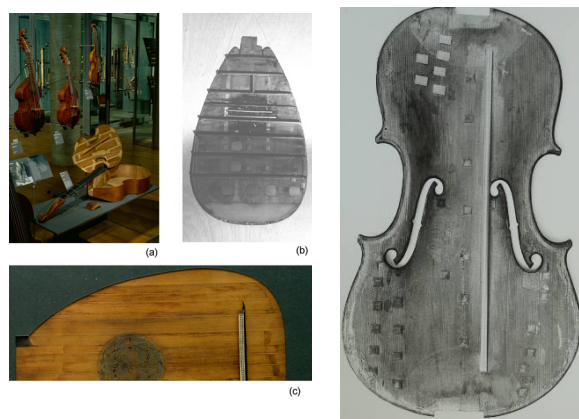


Figure1 : exemples d'intervention sur les tables d'harmonie

L'épaisseur des tables d'harmonie est faible devant les autres dimensions. Pour un violon, elle est de l'ordre de 3

mm pour une longueur de table d'une trentaine de centimètres (pour une quinzaine de centimètres de large). Dans le cas des instruments de musique, d'un point de vue de la structure vibrante, la sollicitation dynamique est la vibration forcée transmise à la table d'harmonie via le chevalet autour de certaines fréquences correspondant aux fréquences des notes jouées. La démarche proposée est la suivante : enregistrer la réponse vibratoire d'un panel de plaques d'epicéa, les plus semblables possible, suspendues librement, créer une fente, puis restaurer les plaques selon 5 techniques classiques afin de mesurer l'écart dans la réponse vibratoire associé à la restauration. L'objectif est de montrer quelle peut être la technique de restauration qui permet d'avoir la réponse vibratoire la plus proche de celle de la plaque initiale.

3 Matériels et méthodes

Une caractéristique propre à une structure, outre sa masse, sa nature, ses dimensions, son élasticité, est la réponse de cette structure à une sollicitation dynamique. L'étude de cette réponse est l'analyse vibratoire. Elle permet d'identifier des fréquences de résonance associées à des géométries de déformations de la structure (mises en évidence par Chladni). Le résultat d'une analyse modale peut être perçu comme une carte d'identité de la structure vibrante. Ainsi, toute modification de la structure (vieillesse, endommagement, ou restauration) entraînera une modification de la réponse modale, donc des propriétés vibratoires. Toute chose restant égale par ailleurs (notamment le dispositif expérimental), l'analyse modale peut être utilisée comme indicateur de vieillissement de la structure vibrante.

3.1 Plaque de bois

La plupart des tables d'harmonie d'instrument à cordes sont faites en épicea [1]. Nous avons réduit la table d'harmonie à sa plus simple expression : une plaque carrée. L'expérience porte sur 40 plaques carrées, d'epicéa de lutherie, de 20 cm de côté, et de 1.5 mm d'épaisseur, géométrie pour laquelle une expression analytique du déplacement de la structure existe [2].



Figure 1 : échantillonnage de plasue d'epicéa de lutherie

De part sa constitution biologique, le bois est considéré mécaniquement comme orthotrope (c'est-à-dire que les plaques possèdent deux plans de symétrie), ce qui implique d'étudier les plaques toujours selon les mêmes directions. Pour des raisons de simplicité d'expérimentation,

les plaques sont libres sur leur périphérie, elles sont simplement suspendues à une potence immobile et rigide.

Le protocole expérimental est le suivant : l'analyse modale de la plaque de bois est enregistrée à l'état initial ; puis la plaque est fendue, et son analyse enregistrée ; et

enfin la plaque est restaurée et son analyse de nouveau enregistrée. Les résultats de l'analyse sont comparés avant et après restauration.

Chaque type de restauration est appliqué à huit plaques pour s'affranchir au mieux des disparités du matériau bois. Nous testons cinq types de restauration (collage, flipot, taquet dans le sens du fil, transverses au fil, et toile), ce qui fait un total de quarante plaques à étudier.

3.2 Différentes restaurations évaluées

Les 5 techniques de restauration de fissures de table d'harmonie utilisées classiquement (figure 2) sont la pose de taquets (petites pièces de bois) dont le sens du fil peut être parallèle à celui de la plaque (taquet longitudinal) ou transverses (taquets transverses) ; la pose d'un flipot, insert en bois de la même essence dans la fente lorsque celle-ci est ouverte ; recollage bord à bord de la fente à la colle animale ; pose d'un parchemin ou d'une toile enduite de colle animale.

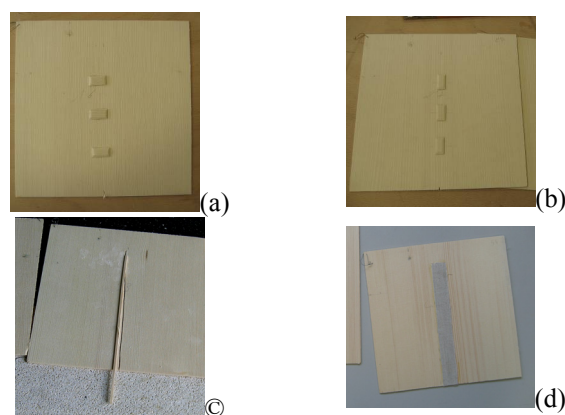


Figure 2: pose de taquet transverse (a), longitudinal (b), de flipots (c) et de toile enduite (d)

3.3 Analyse modale

Pour mesurer les propriétés vibratoires de la plaque nous utilisons un accéléromètre qui enregistre l'accélération en réponse à un impact généré par un marteau instrumenté d'une cellule force. Le tout est conditionné par le système d'acquisition OROS34.

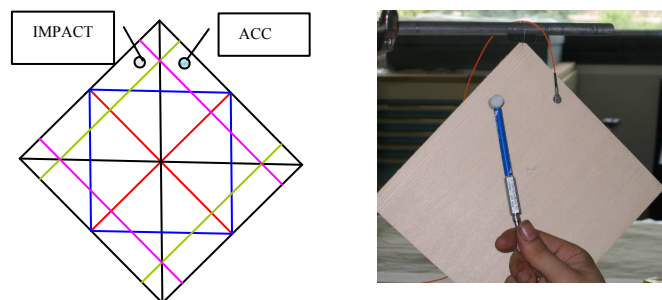


Figure 3 : Dispositif expérimental et optimisation du choix du positionnement

L'intérêt du marteau d'impact réside dans la ponctualité temporelle (et spatiale) de l'excitation, qui permet d'exciter toute les fréquences dans le domaine spectral. Le

positionnement du capteur et de l'impact sont les mêmes d'une plaque à l'autre. Le capteur enregistre un signal temporel, qui est transformé en réponse fréquentielle normée par rapport à l'impact. Cette mesure permet d'enregistrer plusieurs dizaines de fréquences de résonance jusqu'à 2500 Hz. Par comparaison avec la réponse théorique d'une plaque orthotrope avec conditions aux limites libres [2], seules douze fréquences sont sélectionnées pour l'évaluation de l'évolution des propriétés acoustiques après restauration. On mesure alors l'écart de chacune de ces fréquences entre l'état restauré et l'état initial.

3.4 Ids

A partir de la réponse fréquentielle, il est également possible de calculer l'énergie acoustique rayonnée par la plaque répartie par bande d'octave. Il s'agit de l'Intégrateur de Densité Spectrale. Les bandes d'octave sont définies par rapport à la sensibilité de l'oreille humaine [3]. Cette information, normée par rapport à l'énergie totale de vibration de la plaque présente l'avantage d'être dé-corrélée de l'impact exciteur

Ces deux outils complémentaires permettent d'avoir d'une part une information fréquence par fréquence, et d'autre part, une information globale sur le contenu spectral du signal acoustique.

4 Résultats

4.1 Analyse modale

Pour la lisibilité des résultats, nous ne présentons pas les spectres de chacune des analyses modales, mais seulement l'écart de fréquence, en %, entre la plaque restaurée et la plaque neuve pour chaque résonance étudiée. La figure 4 présente donc pour chacune des restaurations effectuées – taquets longitudinaux, taquets transversaux, flipots, collage, toile – cet écart pour les 12 modes sélectionnés dans la gamme 20 Hz – 2500 Hz.

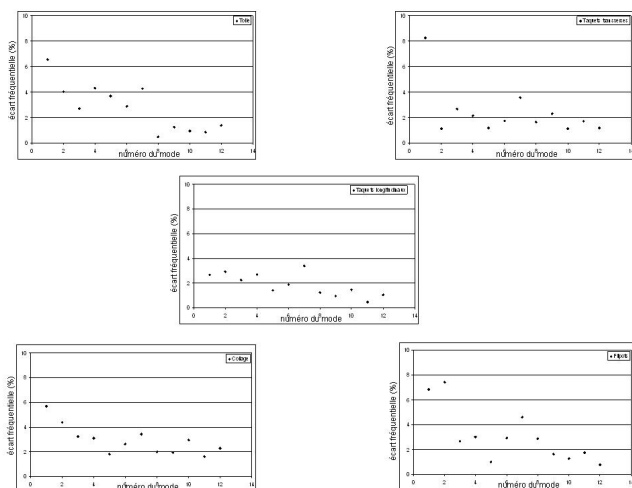


Figure 4 : écart (en %) des fréquences de résonance entre la plaque initiale et la plaque restaurée pour les 5 types de restauration

Il apparaît que c'est la pose de taquets longitudinaux qui perturbe le moins la distribution des fréquences propres des plaques d'epicéa. En effet, c'est pour ce type d'intervention que l'écart de fréquence entre les plaques restaurées et les

plaques initiales est minimisé pour l'ensemble des 12 modes.

Ce résultat est intuitivement surprenant dans la mesure où l'apport de masse est plus grand dans le cas de la pose de taquets que pour un simple collage ou la pose de renforts de toile. Or la masse influe directement sur les fréquences de résonance, mais au même niveau que l'élasticité. Ce qui revient à dire que les taquets longitudinaux perturbent moins l'élasticité de la plaque que l'augmentation de masse associée.

4.2 IDS

La première lecture des IDS représentés sur la figure 4 indique qu'une grande partie de l'énergie est contenue dans les bandes 5 et 6, ce qui correspond aux fréquences comprises entre 1200 et 2500 Hz.

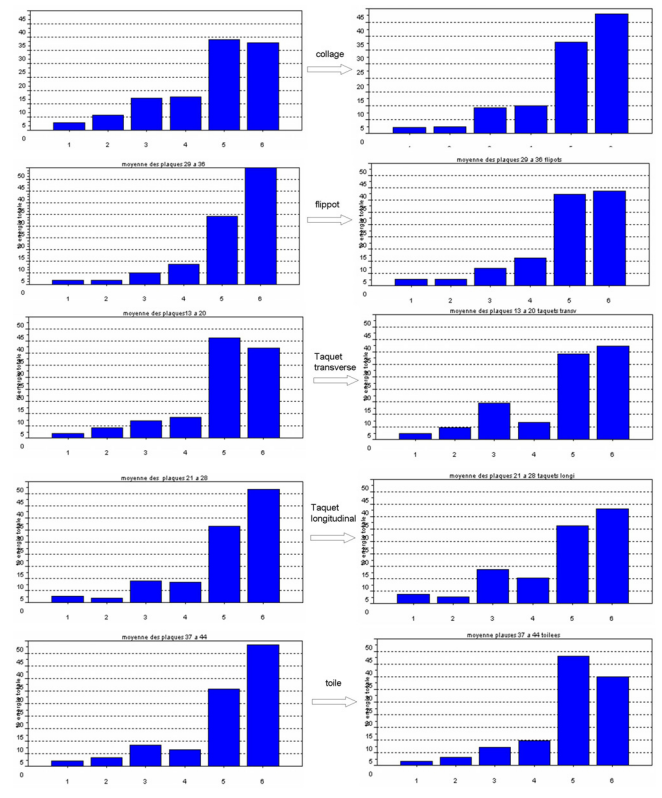


Figure 4 : comparaison des IDS avant et après restauration pour chacune des restaurations

On constate également, que les répartitions d'énergie ne sont pas les mêmes pour toutes les plaques, ce qui s'explique par la nature même du matériau bois, qui est naturel, donc pas reproductif.

Cependant, il apparaît que c'est encore la pose de taquets longitudinaux qui conservent le mieux la répartition de l'énergie spectrale. En effet, le poids relatif des bandes de fréquences les unes par rapport aux autres est conservé par ce type d'intervention.

Synthèse

La répartition des fréquences jusqu'à 2500 Hz d'une part, et la répartition de leur énergie associée d'autre part montre que d'un point de vue vibratoire, c'est la pose de taquets longitudinaux (sens du fil dans le sens de la plaque) qui modifie le moins la structure.

Conclusion

L'analyse modale a permis de montrer que d'un point de vue vibratoire, la pose de taquets longitudinaux pour restaurer une fente est la technique qui permet de perturber le moins la réponse acoustique de la structure fendue. Dans le cadre de la conservation de la fonctionnalité sonore des instruments de musique, cette étude permet de considérer l'objet patrimonial non seulement comme une œuvre d'art, mais aussi comme porteur d'une fonction. L'étude nous a permis de classer les différents types de restaurations couramment appliquées aux fentes d'un point de vue de la conservation de la fonction vibratoire. Il serait intéressant de poursuivre l'étude par l'analyse du vieillissement de ces consolidations. La prochaine étape est le vieillissement artificiel de plaques d'épicéa, soumises à des cycles thermo-hygrométriques afin d'en mesurer l'impact sur les propriétés vibratoires.

Références

- [1] J. Dugot. Les bois dans la facture des instruments de musique en Europe au XVIe et XVIIe siècles. *Techné* n°29, 2009, pp. 44-50.
- [2] E. Leipp. L'intégrateur de densité spectrale et ses applications. *Bulletin du GAM* n°94. 1977
- [3] GW Caldersmith, Vibration theory wood properties *Journal of the Catgut Acoustical Society*, no 42, 1984.