

Développement d'outils numériques d'aide à la conception pour luthiers

VIALA R.¹, PLACET V.¹, FOLTÊTE E.¹, COGAN S.¹

¹Univ. Bourgogne-Franche-Comté, FEMTO-ST institute, CNRS/UFC/ENSMM/UTBM,
Department of applied Mechanics, 25000 Besançon-FR

Mots clés : Facture instrumentale, prototypage virtuel, acoustique musicale, vibroacoustique

Les outils numériques basés sur des simulations sont de plus en plus utilisés dans les domaines industriels. En utilisant le principe du prototypage virtuel, ils permettent de prédire le comportement de structures complexes en amont de leur fabrication. La fabrication d'instrument de musique se base sur des méthodes empiriques et la sélection rigoureuse de matériaux. Les savoirs et les méthodes s'acquièrent principalement par l'apprentissage et la construction durant plusieurs années. Les instruments évoluent avec le temps principalement par la méthode d'essais erreurs, empirique.

Aujourd'hui, l'arrivée sur le marché de procédés de fabrication sophistiqués (usinage laser, machines à commandes numériques), ainsi qu'une concurrence sur les instruments fabriqués avec une main d'œuvre bon marché a créé un environnement compétitif, menant les luthiers à effectuer des opérations de réglages et de réparations au détriment de la fabrication. À ceci s'ajoutent la raréfaction et les problèmes d'approvisionnement en matière première, telles que les essences exotiques ou, potentiellement, certaines essences ou grades de bois tempérés.

Historiquement, les instruments de musique ont été étudiés par des méthodes expérimentales et analytiques. Celles-ci s'avèrent utiles pour la caractérisation de grandes tendances, mais ne sont pas nécessairement adaptées pour l'étude détaillée de l'impact de modifications sur le comportement dynamique des instruments. Ces méthodes sont aussi généralement limitées par l'irréversibilité des modifications structurelles, la forte variabilité du matériau bois et la conservation des instruments anciens.

Le prototypage virtuel, se basant sur des modèles physiques a démontré son utilité dans le domaine industriel en support à la décision. Ces méthodes permettent d'effectuer des analyses de criblage, l'optimisation de designs, la quantification de l'impact des incertitudes pour des systèmes dynamiques complexes. Pour un domaine typiquement basé sur l'expérience et la tradition, le prototypage virtuel peut être un outil utile à la compréhension des phénomènes en jeu. Pour ce domaine, il peut s'agir d'outils numériques d'aide à la décision pour fabricants et conservateurs de musées leur permettant de tester de nouveaux design, réglages, assemblages, matériaux de substitution, mais aussi être un support à la synthèse sonore.

Ces méthodes requièrent la fidélité des résultats de simulations des modèles vis-à-vis de mesures sur des instruments réels, même en présence d'incertitudes. Les ingrédients nécessaires à l'utilité et à la précision de tels modèles sont des géométries finement détaillées, des lois de comportement du matériau pertinentes et dont la variabilité est correctement implémentée. Concernant les instruments à cordes pincées ces modèles ont été développés pour la guitare classique, folk, Selmer, et archtop. Concernant les cordes frottées, les modèles ont été développés pour le violon et le violoncelle. Ces différents instruments ont fait l'objet de nombreuses études du point de vue de l'acoustique musicale, et une large base de données et de résultats concernant leur comportement vibroacoustique existe.

Parmi tous les domaines de l'acoustique musicale, le comportement vibratoire de l'instrument seul est généralement modélisé, ainsi que ses sous-parties (détaillés sur la figure 1).

Le composant principal de ces instruments est le bois de lutherie, et, en particulier, l'épicéa, l'érable, l'ébène et le palissandre sont utilisés. Certaines de ces essences ont fait ou font encore l'objet de recherches pour caractériser leur comportement mécanique, en particulier pour le traitement du bois et la recherche de matériaux de substitution.

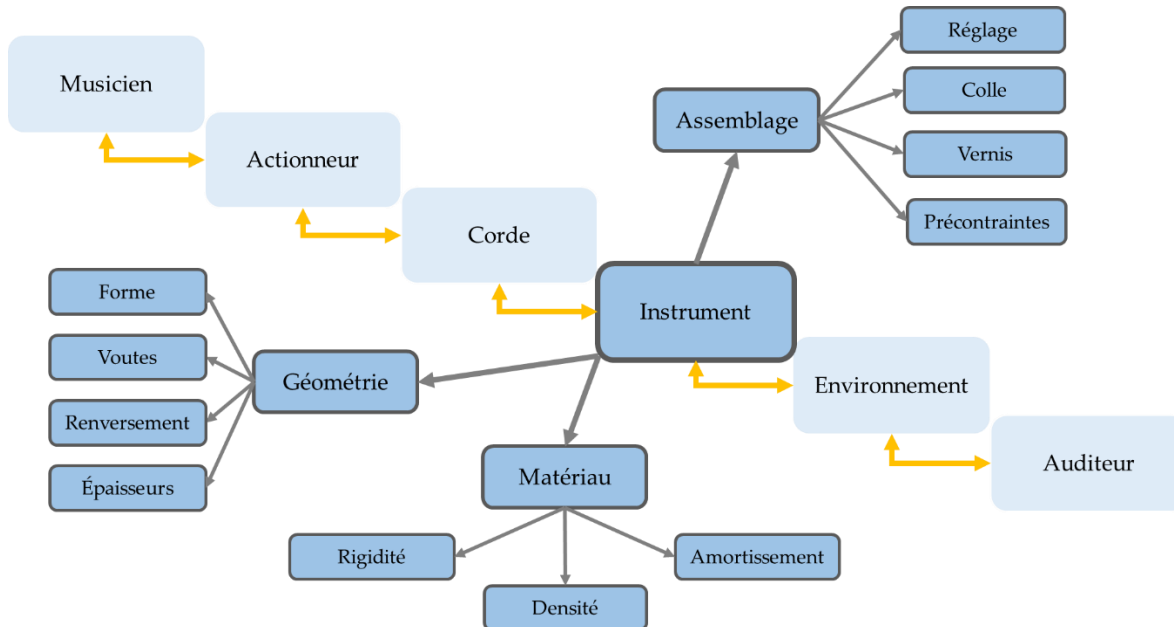


Figure 1 : Domaine d'intérêt pour l'application du prototypage virtuel à l'acoustique musicale. Ici, le comportement mécanique vibratoire de l'instrument, ainsi que ses sous domaines sont observés du point de vue mécanique.

Les différents éléments représentés sur la figure 1, sont décrits ci-dessous, vis-à-vis de leur impact présumé sur le comportement vibratoire, acoustique, et le son de l'instrument.

I) La variabilité structurelle :

- a. L'assemblage (les colles, interfaces)
- b. La géométrie de chaque pièce
- c. Les réglages

II) Les propriétés physico chimiques des vernis

III) La variabilité du matériau bois :

- a. Variabilité entre les espèces
- b. Variabilité au sein d'une même espèce
- c. Variabilité entre les individus
- d. Variabilité au sein d'un même individu
- e. La dépendance des propriétés à la fréquence, l'humidité relative et la température
- f. Les singularités anatomiques (bois chenillé, ondé)

Cette liste est non exhaustive et nécessite, pour chaque sous partie, des études spécifiques dans ces différents domaines :

- Comportement mécanique des colles

- Comportement dynamique des structures assemblées
- Caractérisation chimique et mécanique des vernis
- Comportement mécanique du bois de lutherie
- Thermo-hygroscopicité du bois de lutherie

Afin de maîtriser le développement et la fiabilité du modèle, différentes étapes sont considérées, détaillées dans la figure 2. Ceci permet, en partant du bas vers le haut, de valider successivement les différents éléments, vers une complexité croissante. Inversement, ce protocole permet par la suite d'utiliser la structure complète modélisée afin de déterminer quels sont les différents paramètres les plus influents.

Ce protocole, appliqué au violon et aux tables de guitares, a notamment permis de mettre en avant l'impact principal des choix du luthier par rapport à la variabilité du matériau et aux conditions environnementales, en particulier l'humidité relative. Ceci permet donc de justifier de l'utilité du prototypage virtuel pour la facture d'instruments, en particulier, dans un premier sur leur comportement vibratoire (modes et fréquences de résonance, amortissement, courbes de réponse en fréquence).

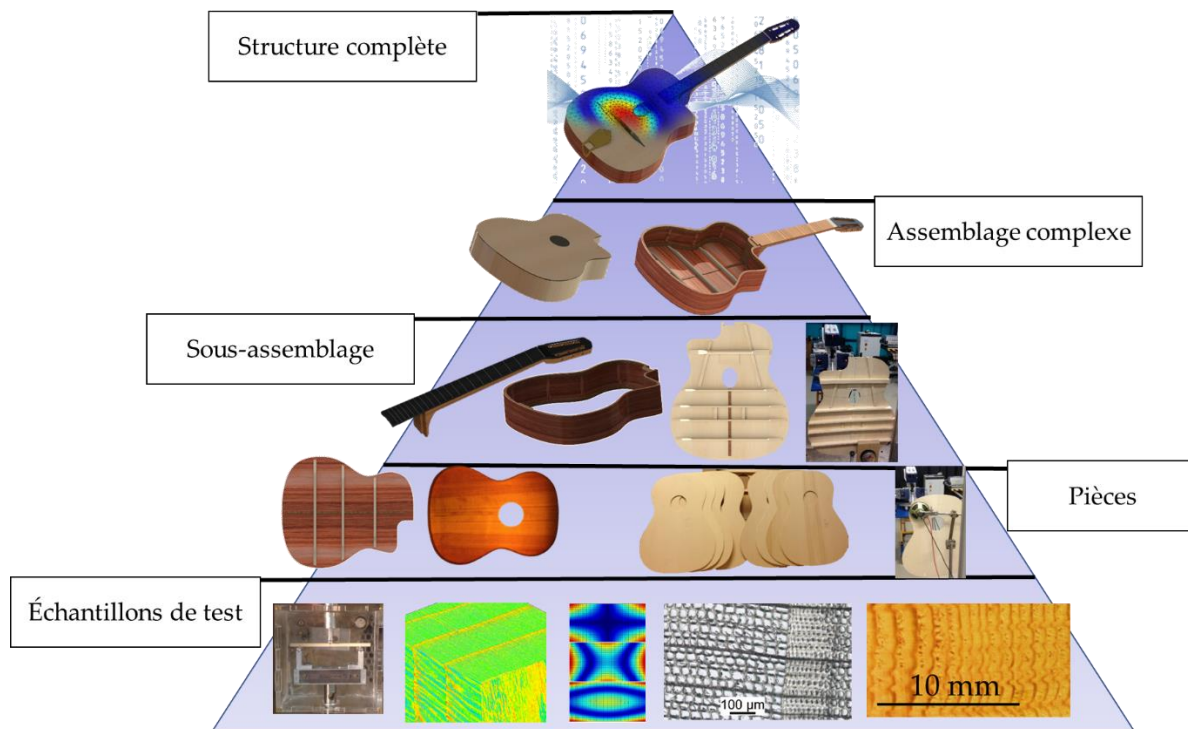


Figure 2 : Exemple de pyramide validation pour un modèle de guitare de jazz acoustique type Selmer à bouche ovale.

Pour les instruments de la famille des guitares acoustiques, un outil numérique peut-être proposé afin de permettre aux luthiers de modifier les paramètres géométriques et des matériaux de guitares afin de tester des idées conception ou d'optimiser le comportement vibratoire des instruments. Dans un premier temps la possibilité d'étudier les choix de formes de barrages et de rosaces des tables d'harmonies de guitare est visée. Actuellement, l'obstacle principal pour de tels outils est le coût très élevé des logiciels commerciaux utilisés jusqu'alors. Un objectif à long terme est donc de développer ce type d'interfaces avec des outils logiciels libres, rendant possible leur distribution.

