

Prototypage virtuel d'un violon pour l'étude de phénomènes complexes en acoustique musicale

R. Viala¹ V. Placet² S. Cogan³

Département Mécanique Appliquée, Institut FEMTO-ST,
Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France

¹Doctorant, UFC

²Ingénieur de recherche, UFC

³Chargé de recherche, CNRS

13^{ème} Congrès Français d'Acoustique

Université du Maine, Le Mans

11 Avril 2016



Sujet

Facture instrumentale



Violons



Guitares



Instrument de musique à cordes

- Bois de lutherie
- Comportement vibroacoustique

Sujet de Thèse

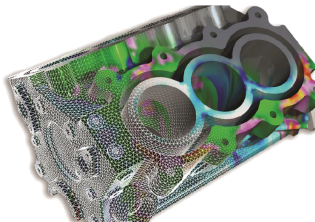
Prototypage virtuel pour l'aide à la décision en facture instrumentale

Sommaire

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Applications
- 4 Discussion
- 5 Conclusion

Contexte

- Fabrication d'instruments à cordes par des méthodes traditionnelles
- Matériaux aux propriétés variables et évolutives
- Environnement compétitif vis-à-vis des instruments fabriqués industriellement
- Raréfaction de matière première



Contexte

- L'acoustique musicale se base historiquement en grande partie sur des approches analytiques et expérimentales
- Approches représentatives de la réalité mais pas nécessairement les mieux adaptées pour étudier l'impact de modifications de conception d'un instrument
- Le prototypage virtuel basé sur les modèles physiques est devenu un outil performant dans le domaine industriel pour l'aide à la décision
- Analyses de criblage, quantification d'incertitudes, conception de systèmes complexes
- Actuellement un enjeu majeur dans les milieux industriels et de recherche

⇒ Opportunité à saisir pour le transfert vers l'artisanat d'art

Prototypage virtuel

- Explorer le potentiel des modèles virtuels pour l'acoustique musicale, en particulier la facture et la conservation d'instruments à corde
- Limitées par :
 - ① La variabilité du matériau
 - ② L'irréversibilité des modifications
 - ③ Le coût important de matière première
 - ④ Le temps de fabrication
 - ⑤ La valeur patrimoniale des instruments
- Pallier à certaines de ces difficultés en effectuant des études paramétrées en amont
- Proposer un support pour :
 - ① Orienter les essais
 - ② Prospector de nouveaux concepts de facture instruments
 - ③ Explorer des possibilités de remplacement des matériaux traditionnels
 - ④ Contribuer aux technologies de synthèse sonore
 - ⑤ ...

Les modèles numériques sont-ils suffisamment fidèles pour répondre à ces problématiques?

Etude

Objet de l'étude

- Modèle détaillé de violon monté prenant en compte les effets de précontraintes mécaniques résultant de l'assemblage, des cordes et du réglage de l'instrument

Méthodologie

- Etapes de construction du modèle et limitations

Illustrations

- Comportement statique de l'instrument sous précontraintes
- Comportement vibratoire de l'instrument à basses fréquences
- Variables d'intérêt : déplacement statique, fréquences et déformées propres, facteur de recouvrement modal, mobilité au chevalet

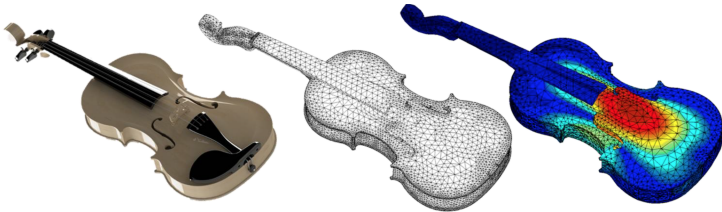
Conception Assistée par Ordinateur

- CAO de violon monté ou non
- Construction suivant étapes traditionnelles de lutherie



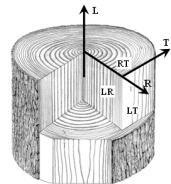
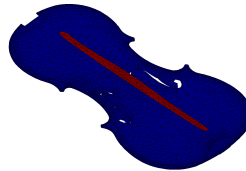
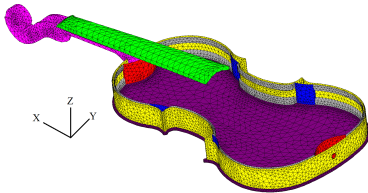
Modèle numérique

- Éléments finis solides
- Simplification des interfaces



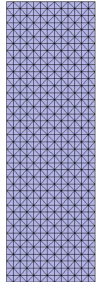
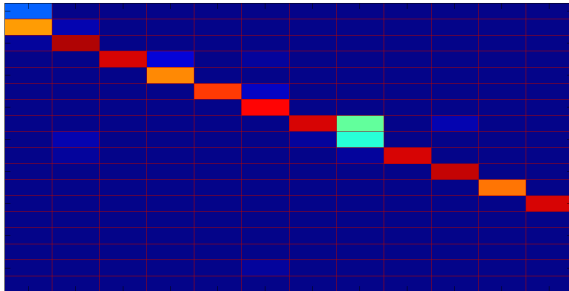
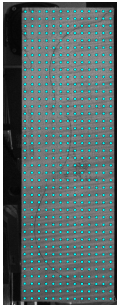
Matériau

Modélisation du matériau bois



- 3 Modules d'Young (EL, ER, ET)
- 3 Coefficients de poisson
- 3 Modules de Coulomb (GLR, GRT, GTL)
- Densité (homogénéisée)
- Teneur en eau

Obtention des paramètres matériaux

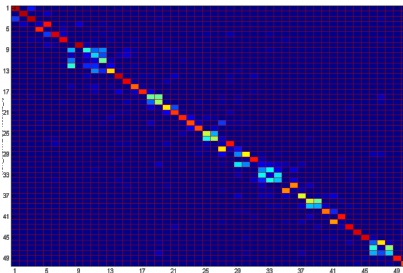


- Essai sur quartier et plaques de bois de lutherie [0 4000] Hz
- Critère MAC pour corrélation calcul essai
- Identification des propriétés élastiques orthotropes par recalage de modèle

Précontraintes et vibrations

- Application de précontraintes dues à la barre d'harmonie
- Modification des fréquences propres et des déformées propres
- A corrélérer expérimentalement

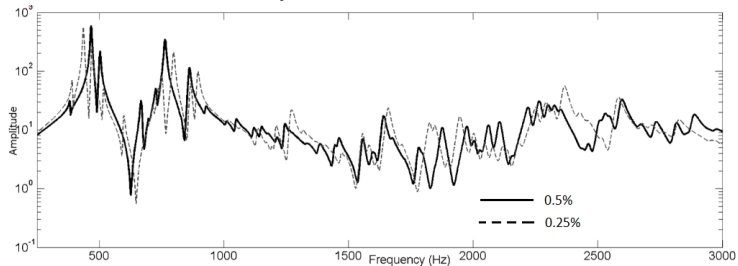
Matrice MAC pour deux cas de forçement de barre



Admittance au chevalet

- Simulation d'essais de mobilité au chevalet
- Excitation dans le plan du chevalet côté grave et observation coté aigu
- Mesure de vélocité : admittance au chevalet
- Déformation de l'ame et de la barre d'harmonie pour simuler champ de contraintes
- Amortissement modal moyen de 1% pour la synthèse de FRF

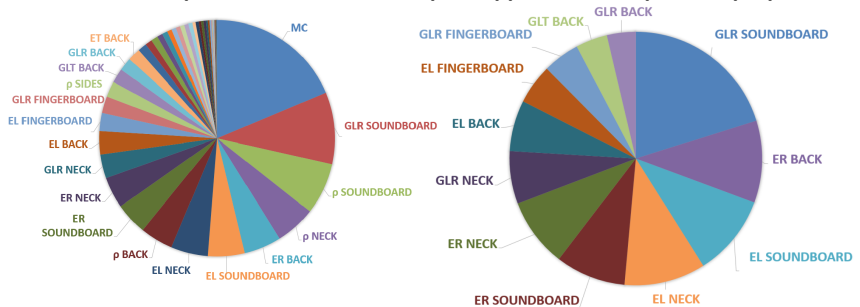
Mobilité au chevalet pour deux cas de contraintes de l'ame



Analyse de sensibilité

Résultats

Classement des paramètres matériaux par rapport aux fréquences propres



- Classement des paramètres les plus influents par rapport à leur influence sur les fréquences propres entre 0 et 3500 Hz
- Etude de l'effet de la teneur en eau (liée à l'humidité relative et la température)

Limitations actuelles du modèle

- Incertitudes non prises en compte
- Simplification du matériau importante
- Cavité acoustique non prise en compte mais importante pour les étapes ultérieures de corrélation avec instruments complets
- Orientation des pièces cintrées
- Géométrie trop fixe pour analyses de criblage complètes

Amélioration de CAO précédente

- CAO paramétrable de violon à partir de moule et gabarits de Michel Fauconnier, luthier début XXe siècle
- Conservation de l'aspect lutherie à partir de gabarit traditionnels
- Voutes et épaisseurs paramétrables, solides et surfaces, cavité acoustique
- Interaction fluide structure nécessaire



Mise en place du pilotage sur CAO

- Pour certains cas de modélisation, la modification à partir de la CAO est nécessaire
- Mise en place d'une boucle pour pilotage des paramètres géométriques
- Analyse de sensibilité afin de déterminer les paramètres prépondérants
- Fonctions d'optimisation fortement dépendantes du nombre d'entrées possibles
- Développer à terme un outil d'aide à la décision pour la facture et la conservation des instruments

Conclusion

- Développement de modèles détaillés d'instruments
- Modèles par définition faux mais pouvant être utiles
- Tendances quantifiables de comportement vibratoire
- Limites utiles de la modélisation à définir
- Exemples sur cas concrets nécessaires
- Travaux en développement
- Forte interdisciplinarité (mécanique, acoustique, biologie, psycho-acoustique...)

Merci pour votre attention