

Développement d'outils de support à la conception pour luthiers

R. Viala¹ V. Placet² S. Cogan³

Univ. Bourgogne Franche-Comté
FEMTO-ST Institute
CNRS/UFC/ENSMM/UTBM
Department of Applied Mechanics
25000 BESANÇON-FR

¹Doctorant, UFC ²Ingénieur de recherche, UFC ³Chargé de recherche, CNRS

Journées Failure Instrumentale et Sciences - JFIS
ITEMM, Le Mans, 24 Avril 2017



Sujet

Facture instrumentale



Violons



Guitares



Sujet de Thèse

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

Sommaire

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Application au violon
- 4 Application à la guitare
- 5 Conclusion

Table of Contents

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Application au violon
- 4 Application à la guitare
- 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



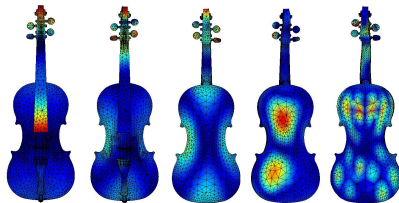
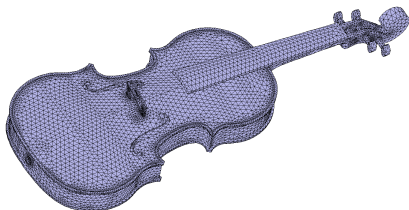
Contexte

- 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

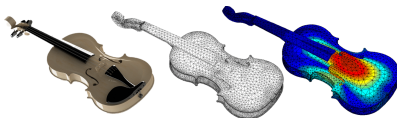
- Explorer le potentiel des modèles virtuels pour l'acoustique musicale, en particulier la facture et la conservation d'instruments à corde
- Limitées par :
 - Variabilité du matériau, irréversibilité des modifications, coût matière première, temps de fabrication, valeur patrimoniale des instruments...
- But : pallier à certaines de ces difficultés en effectuant des études paramétrées en amont, proposer un support pour :
 - Orienter essais, prospecter de nouveaux concepts de facture et matériaux, contribuer aux technologies de synthèse sonore



Exemples présentés

Application violon

- Modèle détaillé de violon monté représentatif de la structure.
- Orientation et définition fine du matériau
- Évaluation de l'impact de modifications (design, matériaux) sur des comportements vibratoires



Application guitare

- Développements d'interfaces pour la conception de guitares
- Modifications des propriétés du matériau, barrage, trou de rosace

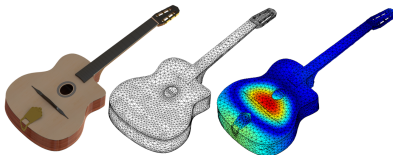
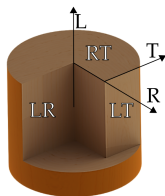
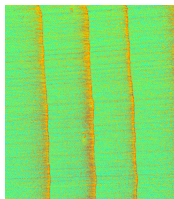


Table of Contents

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie**
- 3 Application au violon
- 4 Application à la guitare
- 5 Conclusion

Bois



Composite naturel de différents polymères, paramètres élastiques indépendants

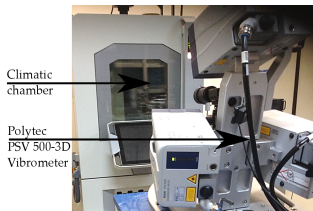
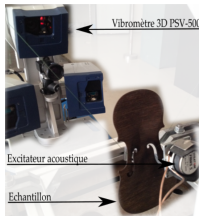
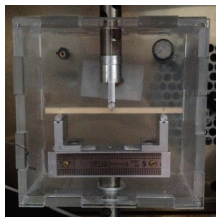
- Densité ρ
- 3 modules d'Young E_L , E_R , E_T
- 3 modules de Coulomb G_{LR} , G_{RT} , G_{TL}
- 3 coefficients de Poisson ν_{LR} , ν_{RT} , ν_{TL}

Variabilité inter/intra spécifique et inter/intra individuelle

→ Définition probabiliste du matériau

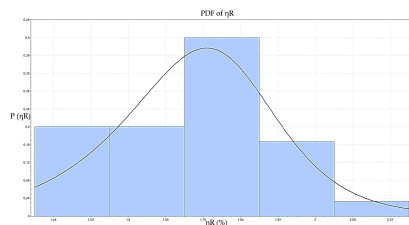
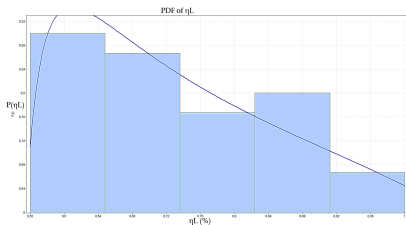
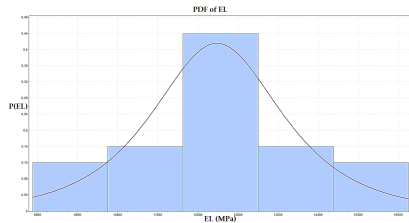
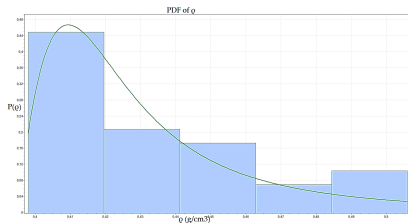
Détermination de propriétés

- Utiliser un modèle numérique pour déterminer les paramètres identifiables
- Calibration de modèle pour identifier les propriétés de plaques, quartiers, tables de violon etc..
- Évaluer la dispersion des propriétés du bois de lutherie et sa dépendance à l'humidité relative de l'air
- Évaluer l'impact d'un procédé de fabrication



Etude de l'épicéa

Distribution des propriétés du bois (sélection) ($N = 60$)



Influence de l'humidité relative et de la température

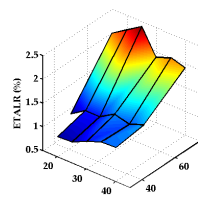
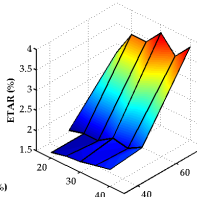
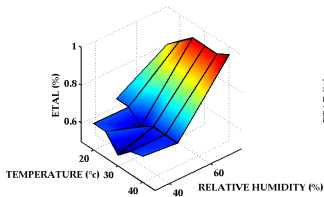
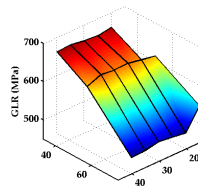
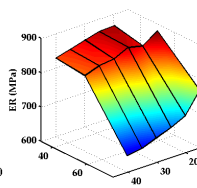
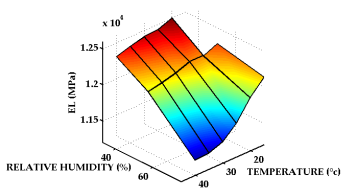


Table of Contents

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Application au violon**
- 4 Application à la guitare
- 5 Conclusion

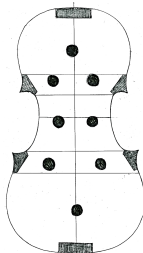
Création du modèle

- Modèle numérique paramétrable développé pour étudier l'influence des choix de luthiers et de la variabilité du matériau sur le comportement vibratoire du violon
- Reconstituit à partir de gabarits du début du XX^{ème} siècle

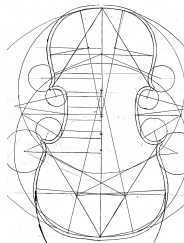
Gabarits



Intérieur



Reconstruction



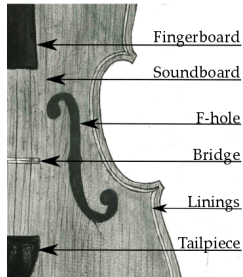
Pièces



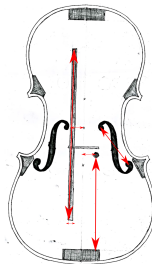
Choix de conception

- Parmi les nombreuses possibilités de conception, 12 choix sont considérés

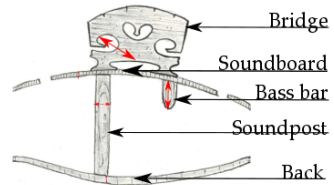
Nomenclature



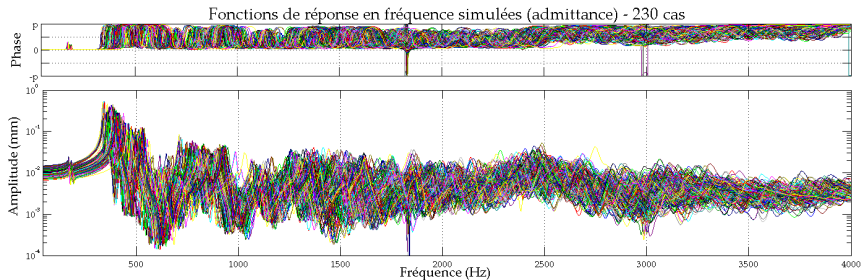
Table



Chevalet



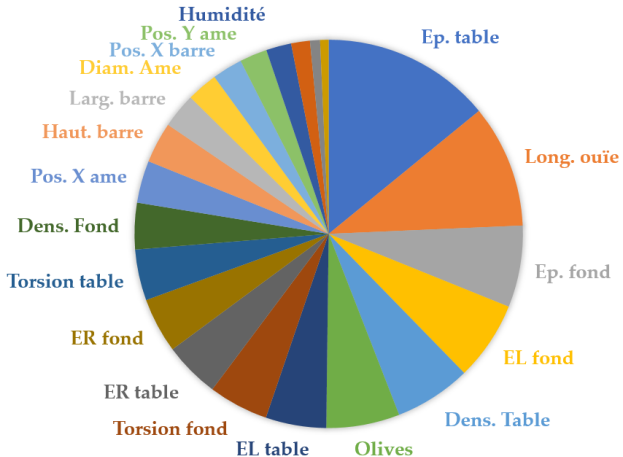
Dispersion des résultats



→ Indéchiffrable en l'état

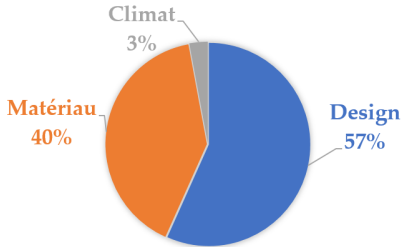
Analyse de sensibilité globale

RÉSULTATS SUR L'AMPLITUDE MAXIMALE ENTRE 1600 ET 4000 HZ

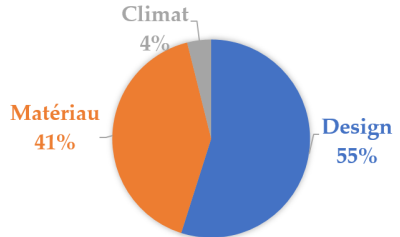


Analyse de sensibilité globale

ADMITTANCE MAXIMALE



FREQUENCES PROPRES



Optimisation de design sous incertitudes

Étapes

- 1 Définition d'objectifs (admittance maximale, proximité du comportement vibratoire avec violon existant etc...)
- 2 Design robuste
 - Prise en compte de la variabilité
 - Améliorer la robustesse par rapport aux conditions climatiques
- 3 Construction de prototypes
- 4 Comparaison des mobilités avec le modèle et les mesures compilées

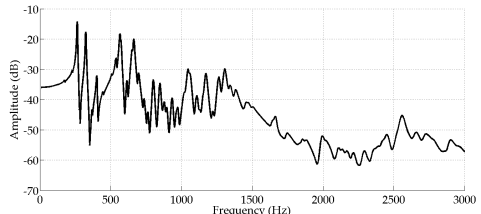
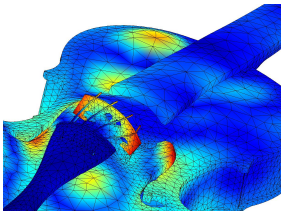


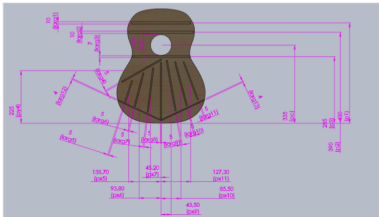
Table of Contents

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Application au violon
- 4 Application à la guitare**
- 5 Conclusion

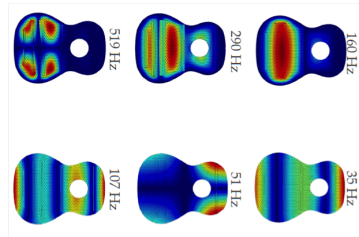
MICAD



Solidworks



AESOP




- Géométrie et propriétés paramétrées
- Automatisation de toutes les étapes de conception

MICAD - Interface

Stage Yue Wang 2016

Nombre de rosaces

Une rosace
 Deux rosaces
 Trois rosaces



point centre


Paramètres des rosaces

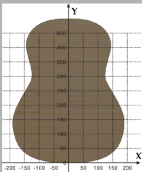
	X	Y
Position centre de rosace 1	0	350
Diametre de rosace 1	100	
Position centre de rosace 2	0	0
Diametre de rosace 2	0	0
Position centre de rosace 3	0	0
Diametre de rosace 3	0	0

Propriétés de la table

EL (MPa) 12500
 ER (MPa) 900
 GLR (MPa) 800
 Densité 0.44


Epaisseur de table
 Epaisseur 8





Nombre de barres

une barre
 deux barres
 trois barres
 quatre barres
 cinq barres
 six barres
 sept barres
 huit barres
 neuf barres
 dix barres
 onze barres
 douze barres



maximum point
 deux-ème point
 premier point

Paramètres des barrages

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
Position premier point	-100	50	Position premier point	-125	250	Position premier point	0	0	Position premier point	0	0
Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0	
Longueur de la barre 1	200		Longueur de la barre 4	250		Longueur de la barre 7	0		Longueur de la barre 10	0	
Largueur de la barre 1	7		Largueur de la barre 4	7		Largueur de la barre 7	0		Largueur de la barre 10	0	
Hauteur de la barre 1	17		Hauteur de la barre 4	17		Hauteur de la barre 7	0		Hauteur de la barre 10	0	
Position premier point	-150	100	Position premier point	-120	425	Position premier point	0	0	Position premier point	0	0
Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0	
Longueur de la barre 2	300		Longueur de la barre 5	240		Longueur de la barre 8	0		Longueur de la barre 11	0	
Largueur de la barre 2	7		Largueur de la barre 5	7		Largueur de la barre 8	0		Largueur de la barre 11	0	
Hauteur de la barre 2	17		Hauteur de la barre 5	17		Hauteur de la barre 8	0		Hauteur de la barre 11	0	
Position premier point	-150	150	Position premier point	0	0	Position premier point	0	0	Position premier point	0	0
Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0		Angle d'inclinaison a	0	
Longueur de la barre 3	300		Longueur de la barre 6	0		Longueur de la barre 9	0		Longueur de la barre 12	0	
Largueur de la barre 3	7		Largueur de la barre 6	0		Largueur de la barre 9	0		Largueur de la barre 12	0	
Hauteur de la barre 3	17		Hauteur de la barre 6	0		Hauteur de la barre 9	0		Hauteur de la barre 12	0	

Millimètres, Degrés

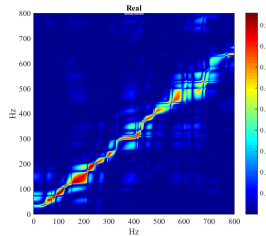
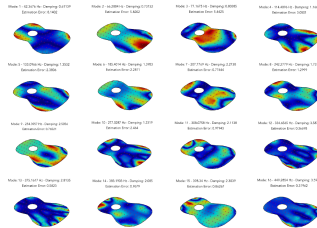
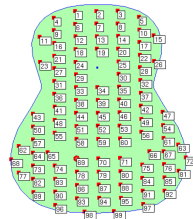
Type d'analyse

Encasté
 Libre

GO

Validation de modèle

Comparaison calcul-essai de FRF



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...Et la prospection de nouveaux matériaux et techniques..



Table of Contents

- 1 Éléments de contexte
- 2 Méthodologie
- 3 Application au violon
- 4 Application à la guitare
- 5 Conclusion

Conclusion

- Développement de modèles détaillés d'instruments
- Modèles par définition faux mais pouvant être utiles
- Tendances quantifiables de comportement vibratoire
- Limites à définir
- Validations nécessaires
- Forte interdisciplinarité (mécanique, acoustique, biologie, psycho-acoustique...)



Merci de votre attention