

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



Sujet

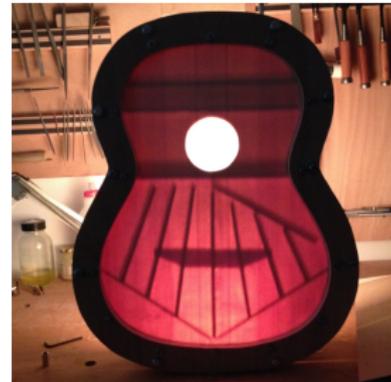
Facture instrumentale



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



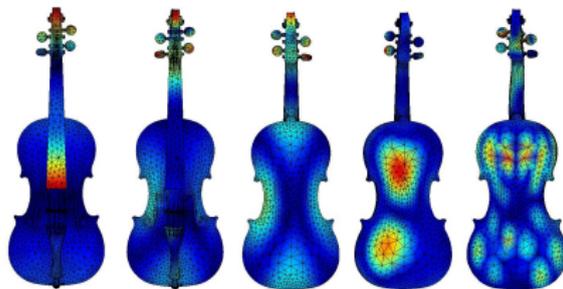
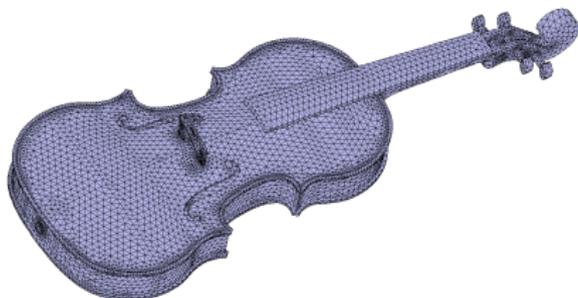
Contexte

- 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

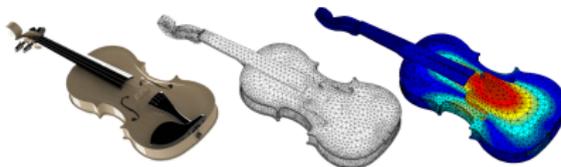
- Explorer le potentiel des modèles virtuels pour l'acoustique musicale, en particulier la facture et la conservation d'instruments à corde
- Limitées par :
 - Variabilité du matériau, irréversibilité des modifications, coût matière première, temps de fabrication, valeur patrimoniale des instruments...
- 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

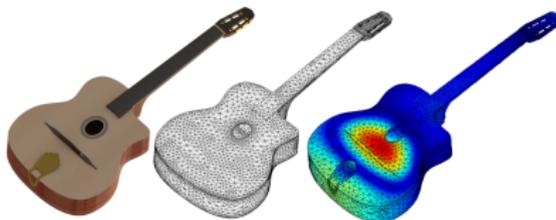
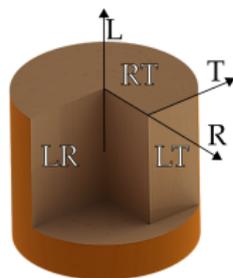
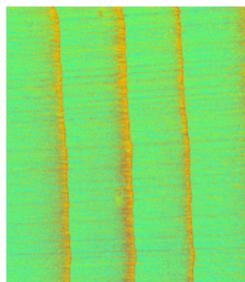


Table of Contents

- 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

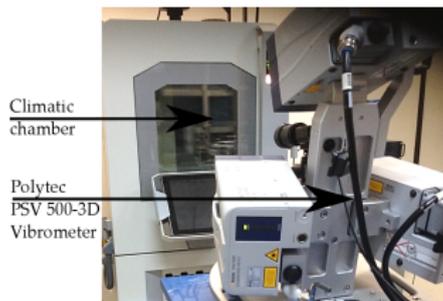
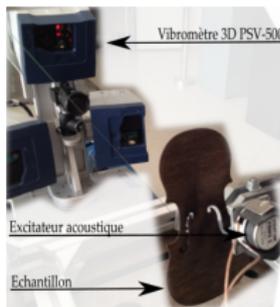
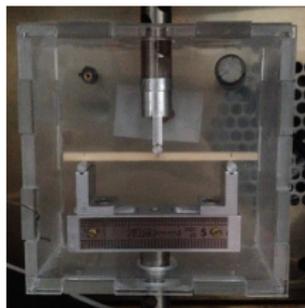
- Densité ρ
- 3 modules d'Young E_L, E_R, E_T
- 3 modules de Coulomb G_{LR}, G_{RT}, G_{TL}
- 3 coefficients de Poisson $\nu_{LR}, \nu_{RT}, \nu_{TL}$

Variabilité inter/intra spécifique et inter/intra individuelle

→ Définition probabiliste du matériau

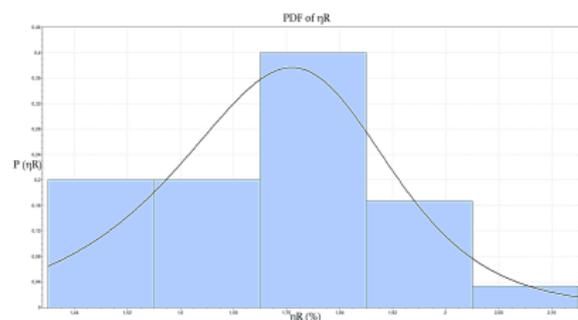
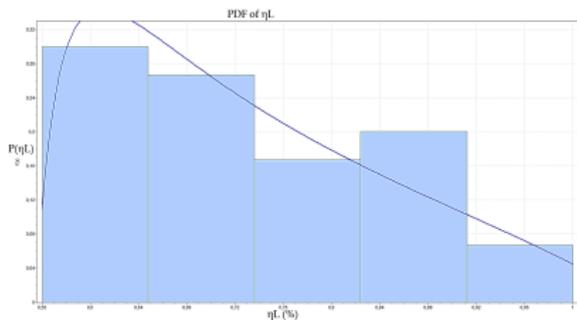
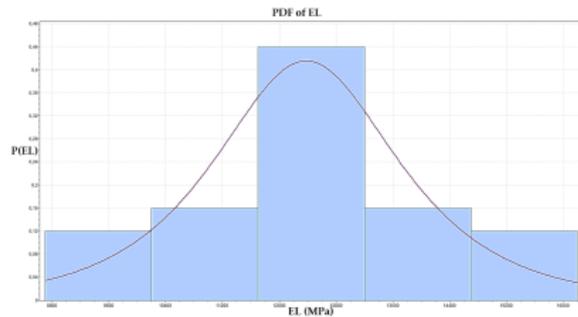
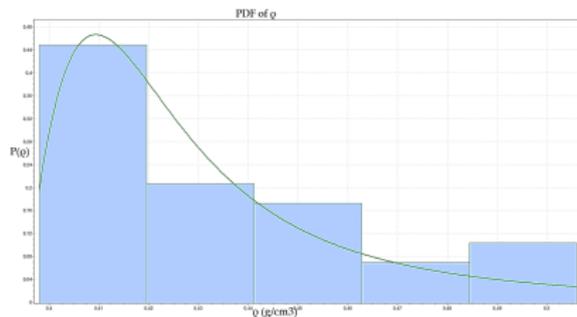
Détermination de propriétés

- 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

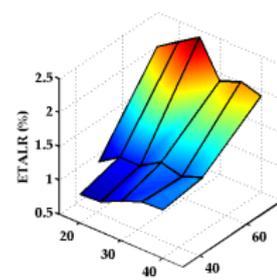
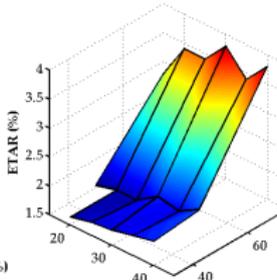
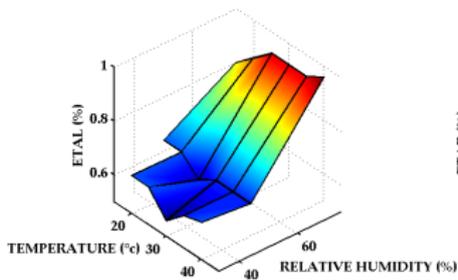
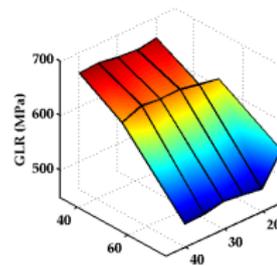
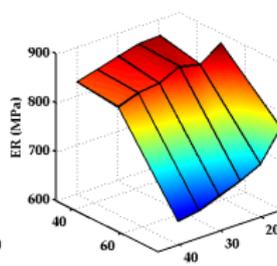
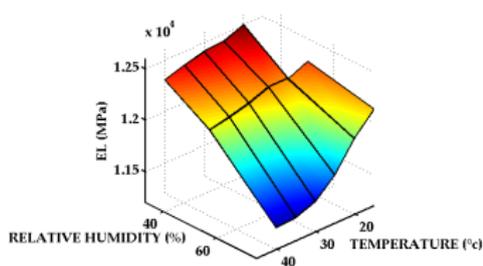


Table of Contents

- 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
- Reconstitué à partir de gabarits du début du XX^{ème} siècle

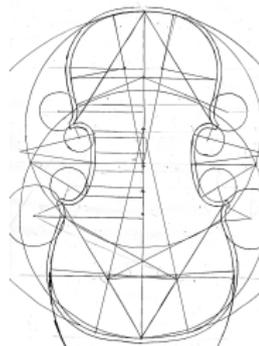
Gabarits



Intérieur



Reconstruction



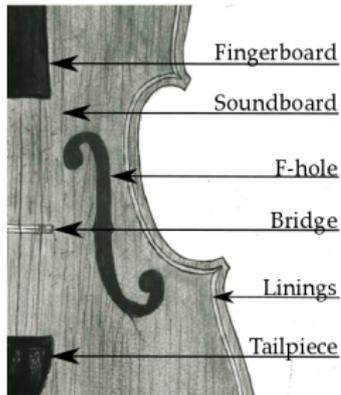
Pièces



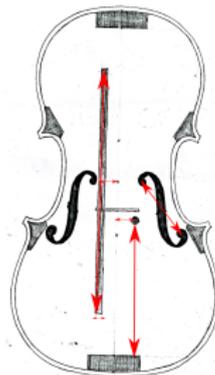
Choix de conception

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

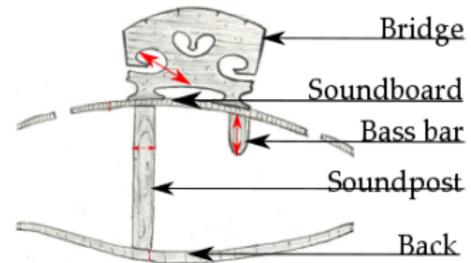
Nomenclature



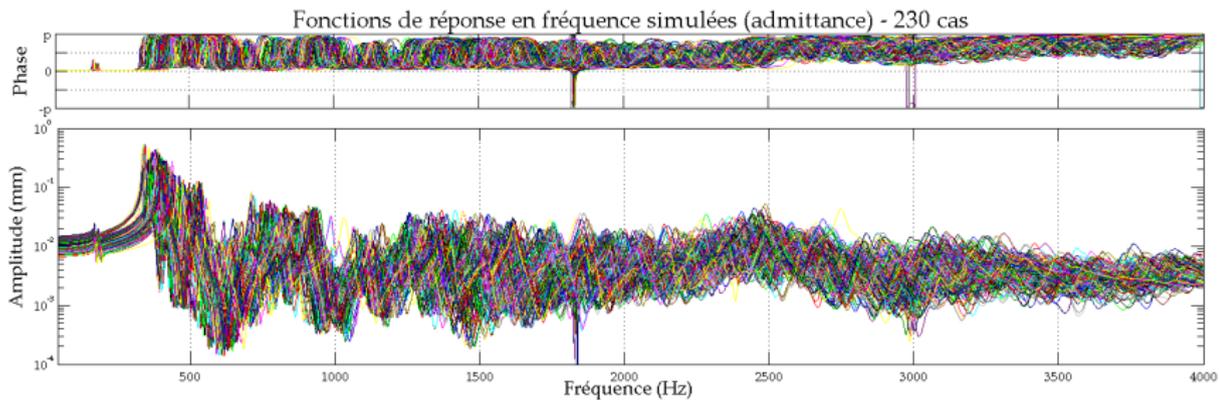
Table



Chevalet



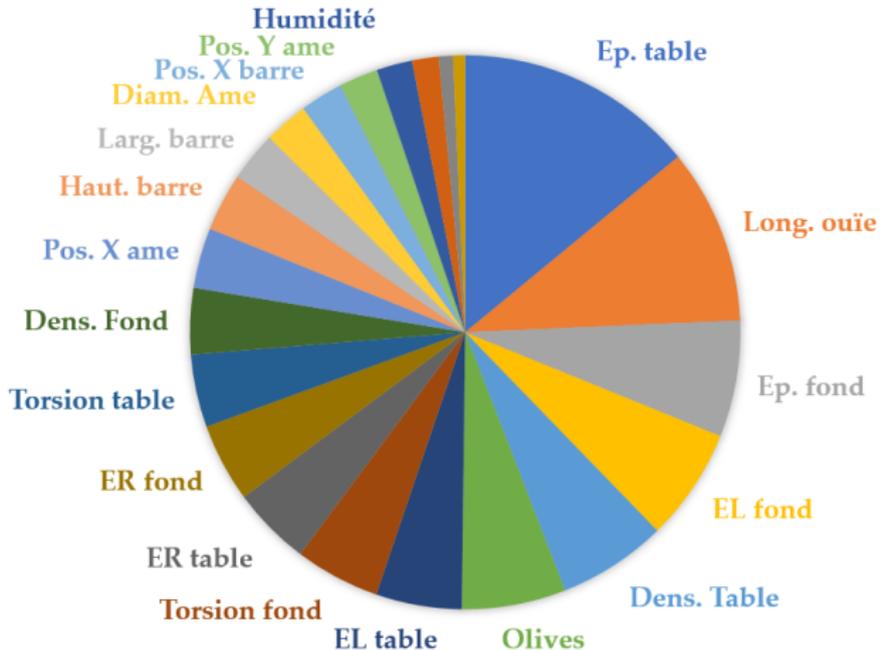
Dispersion des résultats



→ Indéchiffrable en l'état

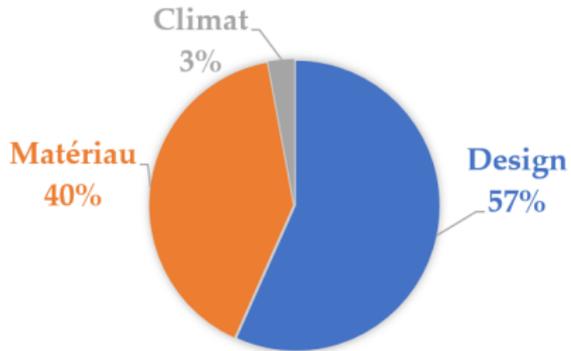
Analyse de sensibilité globale

RÉSULTATS SUR L'AMPLITUDE MAXIMALE ENTRE 1600 ET 4000 HZ

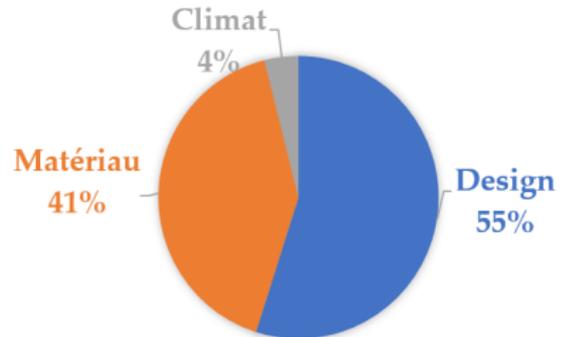


Analyse de sensibilité globale

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

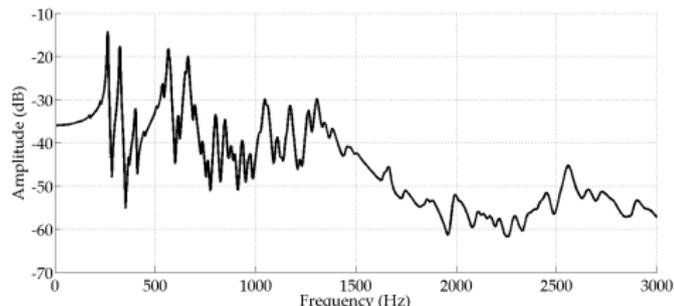
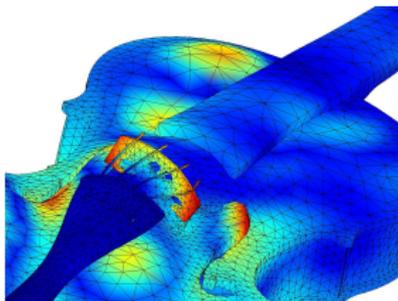


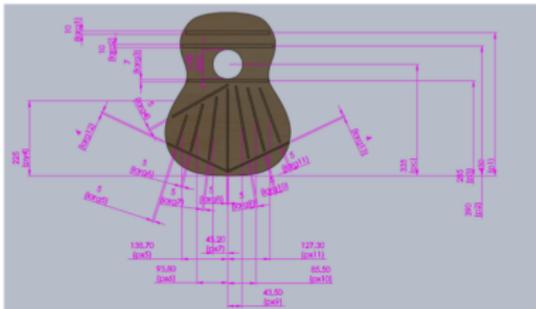
Table of Contents

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

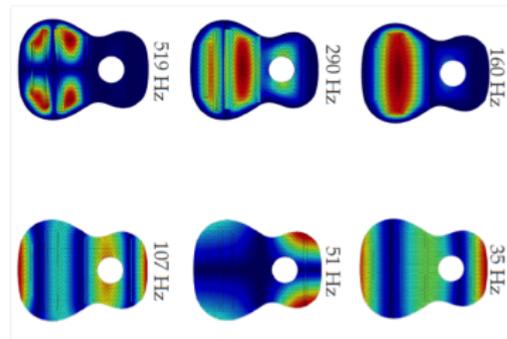
MICAD



Solidworks



AESOP



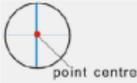
- Géométrie et propriétés paramétrées
- Automatisation de toutes les étapes de conception

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

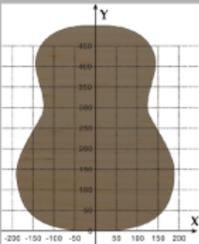
Propriétés de la table

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

Epaisseur de table
 Epaisseur 8



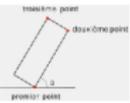
Plate-forme d'aide à la facture instrumentale de



Millimètres, Degrés

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-0me 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	

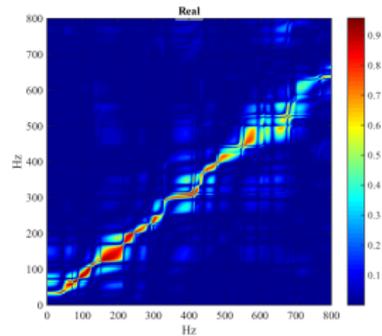
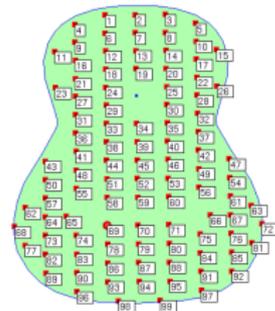
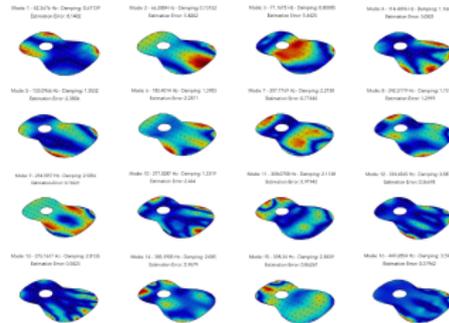
Type d'analyse

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