



HAL
open science

Guitare électrique : quel rôle pour les éléments de lutherie?

Jean-Loic Le Carrou, Joel Frelat, Antonin Mancel, Benoît Navarret

► **To cite this version:**

Jean-Loic Le Carrou, Joel Frelat, Antonin Mancel, Benoît Navarret. Guitare électrique : quel rôle pour les éléments de lutherie?. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00538350

HAL Id: hal-00538350

<https://hal.science/hal-00538350>

Submitted on 22 Nov 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Guitare électrique : quel rôle pour les éléments de lutherie?

Jean-Loïc Le Carrou¹, Joël Frelat², Antonin Mancel¹ et Benoit Navarret^{1,3}

¹ LAM, Institut d'Alembert, CNRS, Univ Paris 6 UPMC, 11 rue de Lourmel, F-75015 Paris, jean-loic.le.carrou@upmc.fr

² MISES, Institut d'Alembert, CNRS, Univ Paris 6 UPMC, 5 place Jussieu, F-75005 Paris, joel.frelat@upmc.fr

³ CICM, Université Paris 08, 4 rue de la Croix Faron, 93210 Saint Denis, France

Le son rayonné par une guitare électrique provient essentiellement du système électro-acoustique amplificateur du mouvement de la corde. Pour étudier les différences sonores entre instruments, les études se sont légitimement focalisées sur les différents « microphones » captant le mouvement de la corde. Cependant, le comportement dynamique de la structure de la guitare est important du fait du couplage de la corde au chevalet et aux frettes du manche. Les éléments de lutherie (manche, corps, chevalet, ...) jouent donc, potentiellement, un rôle dans la vibration de la corde. L'objectif de ce travail est de qualifier l'influence du corps de la guitare.

Dans ce but, une étude expérimentale est menée sur trois instruments dont le matériau du corps est différent (médium, acajou et frêne). Après l'analyse modale de chaque élément et des guitares montées, le comportement dynamique des instruments est analysé. De plus, une étude détaillée des mobilités aux endroits de couplage avec les cordes est entreprise pour qualifier l'influence du comportement dynamique de l'instrument sur la vibration de la corde. Enfin, une modélisation préliminaire éléments-finis est mise en place dans le but de pouvoir quantifier, dans le futur, le rôle des éléments de lutherie dans la vibration des cordes de la guitare.

1 Introduction

Créée aux États-Unis dans les années 1930, la guitare électrique a d'abord trouvé sa place au sein des orchestres de jazz avant de devenir l'un des piliers de la plupart des musiques populaires occidentales. L'électrification de la guitare repose sur la captation de la vitesse de vibration des cordes métalliques par un transducteur électromagnétique, et l'amplification du courant induit ainsi produit. Les études acoustiques portant sur la sonorité de la guitare électrique se sont légitimement focalisées sur les différents transducteurs (appelés « microphones »), notamment ceux développés par les firmes historiques Gibson ou Fender [1]. Néanmoins, le comportement dynamique de la structure de la guitare est important du fait du couplage de la vibration de la corde au chevalet au niveau du corps, et aux frettes (et silet) au niveau du manche. Fleischer et Zwicker [2] ont comparé deux modèles marquants dans l'histoire de la guitare électrique : une Gibson Les Paul et une Fender Stratocaster. Ils ont mis en évidence l'influence de la forme de la tête du manche dans l'apparition de notes creuses (notes très rapidement amorties). Une investigation plus approfondie de ce phénomène [3, 4] montre clairement le lien entre le comportement dynamique de l'instrument (mesuré par sa mobilité) et l'amortissement important de partiels caractéristiques de la vibration de la corde. Par contre, ces auteurs ne se sont pas attachés à relier les éléments de la lutherie de l'instrument (matériaux, jonction manche/corps, chevalet...) au comportement vibratoire de la corde (et donc au son amplifié). Ainsi, l'objectif de ce travail est de qualifier l'influence du corps « plein » de la guitare

sur son comportement dynamique global.

Dans ce but, trois guitares électriques de forme identique, mais dont le matériau du corps diffère, sont étudiées de manière expérimentale. Une modélisation numérique préliminaire est également entreprise afin d'étudier dans le détail l'influence des éléments de lutherie dans nos futurs travaux.

2 Description des instruments

Les trois instruments étudiés dans cet article sont des guitares électriques de type Fender Telecaster (voir figure 1). Les trois manches ont été débités dans une même planche d'érable. Leur forme et leur poids sont quasiment identiques. La tête asymétrique est propre au modèle. Le corps de chacune des guitares est réalisé dans un matériau différent : médium pour la guitare 1 (G1), acajou pour la guitare 2 (G2) et frêne pour la guitare 3 (G3).



FIG. 1: Photo d'une des guitares étudiées (forme de type Fender Telecaster).

Le choix des matériaux fait référence à la tradition de la facture de la guitare électrique incarnée par les modèles des firmes Gibson (Les Paul, SG, Firebird) et Fender (Telecaster, Stratocaster). En effet, le corps des

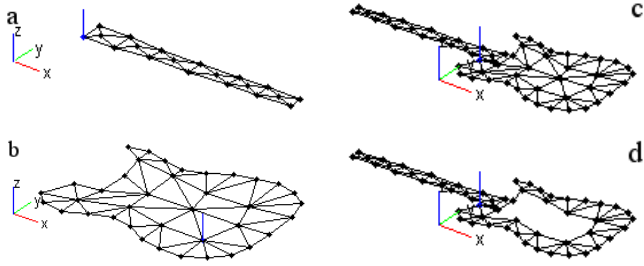


FIG. 2: Points de mesures sur les éléments séparés (manche (a) et corps (b)), guitares non cordées (c) et cordées (d).

guitares à corps plein Gibson est fabriqué en acajou (avec placage d’érable pour les modèles Les Paul à table sculptée), celui des Fender est en frêne ou en aulne [5]. Le médium a été choisi pour ses propriétés mécaniques a priori différentes (matériau plus homogène ne présentant pas d’anisotropie dans le plan moyen du corps de l’instrument).

3 Étude expérimentale

Dans le but d’identifier le rôle du matériau du corps dans le comportement vibratoire de l’instrument, les 3 guitares électriques précédemment décrites sont étudiées. Après une description du protocole expérimental et les méthodes d’analyse utilisées, nous détaillerons les résultats obtenus sur les éléments séparés puis sur les guitares assemblées. Nous discuterons finalement du rôle du matériau du corps à partir de mesures de mobilité.

3.1 Protocole expérimentale

Pour analyser le comportement dynamique des éléments séparés de l’instrument, ainsi que des guitares montées, le protocole expérimental suivant est mis en œuvre : un marteau d’impact avec un embout en plastique comprenant un capteur d’effort (PCB 086C01) vient exciter la structure à analyser tandis qu’un accéléromètre (PCB 352A10, 0,7g) fixe mesure la réponse à cette sollicitation. De plus, tous les éléments sont positionnés sur des tendeurs de telle sorte qu’ils soient proches des conditions libre-libre (résonance du montage à très basse fréquence, bien en dessous de la première résonance de l’objet d’étude, typiquement autour de 5 Hz).

Pour les mesures lorsque la guitare est cordée, l’instrument est accordé classiquement mais les cordes sont étouffées à l’aide de papier en prenant soin de ne pas ajouter un amortissement supplémentaire à la structure. Ainsi, la contrainte statique des cordes est conservée sans entraîner de vibrations additionnelles.

3.2 Analyse modale expérimentale

L’identification des modes est obtenue par analyse modale expérimentale : fréquence propre, déformée modale et amortissement sont extraits des FRFs (Fonction de Réponse en Fréquence) mesurées à différents

points de la structure. Pour chaque élément des guitares électriques (manche et corps) et pour les guitares non cordées et cordées, un maillage expérimental est défini (voir figure 2) suivant le compromis classique entre le nombre de points de mesures et la meilleure résolution spatiale possible (suivant le domaine de fréquence d’étude). Sur chaque maillage, le point fixe (position de l’accéléromètre) est indiqué par un trait bleu sur la figure 2.

La méthode d’identification utilisée pour obtenir les modes propres est basée sur la méthode LSCF (Least Square Complex Frequency) [6] implémentée dans le logiciel Modan (développé au sein du laboratoire Femto-St de Besançon). La procédure d’identification consiste, tout d’abord, en une phase d’initialisation par le calcul d’un indicateur, le CMIF (Fonction d’Indicateur de Mode Complexe), permettant de visualiser le nombre de modes présents dans la bande fréquentielle analysée. Puis, une identification globale est entreprise par la méthode des moindres carrés complexes dans le domaine fréquentiel (LSCF). Après un calcul itératif où le nombre de modes du modèle est croissant, on vient sélectionner les pôles stables de la décomposition fractionnelle dans un diagramme de stabilisation. Enfin, une partie importante de cette analyse est dédiée à la validation des résultats par la comparaison des FRF mesurées en chaque point, aux FRF synthétisées à partir des paramètres obtenus par l’identification modale. Les paramètres modaux ainsi que l’ordre du modèle (nombre de modes) sont maintenant connus.


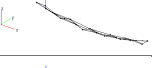
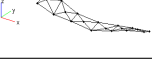
3.2.1 Manche et corps

Dans un premier temps, les manches et les corps sont étudiés de manière séparée.

L’analyse modale expérimentale des manches est effectuée à partir de 20 points de mesures répartis (voir figure 2). Les résultats dans la plage de fréquence [0-600Hz] sont présentés dans le tableau 1. Seuls trois modes sont identifiés dans cette plage d’étude avec une assez bonne concordance au niveau des déformées modales. En ce qui concerne les fréquences propres et les amortissements, il apparait quelques disparités qui ne sont pas liées à la masse des manches (800g pour G1, 810g pour G2 et 805g pour G3). Ces différences sont probablement dues aux propriétés différentes du matériau dans lequel les manches ont été fabriqués, pourtant issu d’un seul et même arbre.

Sur chacun des corps des guitares, les caractéristiques modales sont également identifiées par analyse modale expérimentale. Dans la plage de fréquence [0-1500Hz], entre 8 et 9 modes sont identifiés par instrument. Nous proposons dans le tableau 2 les premiers modes, organisés selon les similarités de leurs déformées modales. Cette organisation fait apparaitre deux familles : G1 et G2/G3. En d’autres termes, on identifie bien le corps fabriqué à partir d’un matériau isotrope (guitare 1) d’un matériau anisotrope (guitare 2 et 3). Dans le détail, il apparait quelques différences entre les guitare 2 et 3, présentes aussi dans les modes d’ordre plus élevé, néanmoins faibles par rapport à celles obtenues avec la guitare 1.

Pour conclure, l’étude des éléments séparés nous

Mode	G1	G2	G3	Déformée modale
1	143,4 Hz <i>1,1%</i>	156,9 Hz <i>1,0%</i>	151,9 Hz <i>0,7%</i>	
2	377,7 Hz <i>1,6%</i>	376,9 Hz <i>1,7%</i>	375,7 Hz <i>1,3%</i>	
3	425,3 Hz <i>4,8%</i>	437,5 Hz <i>1,5%</i>	440,6 Hz <i>0,9%</i>	

TAB. 1: Résultats de l'analyse modale expérimentale menée sur les manches des 3 guitares en médium (G1), acajou (G2) et frêne (G3). Valeur haute fréquence et en italique amortissement.

montrent que le manche peut avoir des caractéristiques dynamiques différentes en fonction du matériau utilisé y compris lorsqu'ils sont issus de la même pièce de bois. En ce qui concerne le corps, deux familles de comportement dynamique différent ont été mises en évidence : corps isotrope et corps anisotrope.



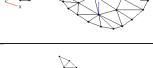
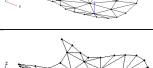






3.2.2 Guitares montées

Le comportement dynamique des guitares assemblées est maintenant étudié. Dans un premier temps, nous nous attachons à mesurer les FRF sur des instruments non cordés (58 points de mesures, voir figure 2), puis, dans un second temps nous mesurons les guitares cordées (56 points de mesures, voir figure 2).

Dans la plage de fréquence [0-420Hz], 6 modes sont identifiés et montrés dans les tableaux 3 (guitares non cordées) et 4 (guitares cordées). Les résultats sont affichés et classés en fonction de la forme de leur déformée modale.

De manière générale, on retrouve une très grande similitude entre les modes des guitares cordées ou non cordées au niveau des déformées modales. Les fréquences se voient très légèrement varier (de 1% à 5%) entre les guitares cordées et non cordées du fait de la contrainte imposée par les cordes qui modifie intrinsèquement la rigidité du système. L'amortissement est également affecté, probablement du, en plus d'une estimation souvent difficile de ce paramètre, à l'utilisation de papier pour amortir les cordes qui augmente très légèrement l'amortissement du système.

De la même façon que pour les corps, on retrouve 2 familles de modes (indiquées 2 et 2Bis, 4 et 4Bis, 6 et 6Bis) entre la guitare en médium et les guitares en acajou et frêne. La différence entre ces deux familles est liée à un comportement différent en torsion du manche. En effet, sur les guitares 2 et 3, le manche a un mouvement de torsion combiné à celui de flexion pour les modes 2Bis, 4Bis et 6Bis alors que pour la guitare 1, seul le mouvement de flexion du manche est présent. On peut expliquer cette variation par une différence de mode d'encastrement du manche dans le corps de l'instrument. En effet, le manche est vissé directement dans la table et celle-ci n'a pas le même comportement élastique suivant l'axe de la guitare (sens des fibres du bois) et ses perpendiculaires dans le cas du frêne et de l'acajou (matériau bois orthotrope). Contrairement au médium où le com-

Mode	G1	G2	G3	Déformée modale
1	393,4 Hz <i>1,7%</i>	394,0 Hz <i>0,9%</i>	383,0 Hz <i>2,7%</i>	
2	-	400,1 Hz <i>0,8%</i>	422,7 Hz <i>4,6%</i>	
3	527,9 Hz <i>2%</i>	-	-	
4	781,2 Hz <i>1,6%</i>	657,3 Hz <i>1,9%</i>	-	
5	798,2 Hz <i>0,9%</i>	-	-	
6	898,2 Hz <i>1,3%</i>	-	-	
7	-	906,2 Hz <i>1%</i>	534,7 Hz <i>1,8%</i>	
8	-	-	553,6 Hz <i>1,6%</i>	
9	-	998,0 Hz <i>0,7%</i>	869,5 Hz <i>2%</i>	
10	928,7 Hz <i>1,0%</i>	-	-	

TAB. 2: Résultats de l'analyse modale expérimentale sur les corps des 3 guitares en médium (G1), acajou (G2) et frêne (G3). Valeur haute fréquence et en italique amortissement.

portement élastique (module d'Young) est à priori identique dans les deux directions de plan de la table. Cette particularité élastique entre la guitare 1 et les guitares 2 et 3 pilotera d'une certaine manière le comportement dynamique en torsion du manche. À noter que la présence des cordes entraîne une légère atténuation en amplitude de cette torsion.

Les déformées modales ici obtenues pour les guitares 2 et 3 peuvent être classées en 3 types à l'instar des travaux effectués sur la basse électrique [4] :

- Type I : flexion avec un noeud au niveau du corps et une très faible torsion (mode 1)
- Type II : flexion avec un deuxième noeud proche de la tête et une forte torsion du manche (mode 2Bis, 3Bis)
- Type III : flexion importante avec des noeuds au niveau du manche (mode 6bis,...)

En condition réelle de jeu, il est certain que le comportement dynamique de l'instrument va être affecté. Cependant, Fleischer a montré que cela n'affecterait que le premier mode (mode type I, mode de flexion de poutre) [4]. Il vient donc que l'on retrouvera cette mobilité en torsion et flexion du manche même en condition réelle d'utilisation de l'instrument.

3.3 Analyse des mobilités

La vibration de la corde, captée par le microphone, peut être affectée par le comportement dynamique de

Mode	G1	G2	G3	Déformée modale
1	52,3 Hz <i>1,0%</i>	59,6 Hz <i>0,7%</i>	56,6 Hz <i>1,0%</i>	
2	175,3 Hz <i>0,9%</i>	- -	- -	
2bis	- -	196,6 Hz <i>1,4%</i>	197,3 Hz <i>2,1%</i>	
3	230,1 Hz <i>0,9%</i>	230,0 Hz <i>3%</i>	228,5 Hz <i>0,5%</i>	
4	348,7 Hz <i>1,6%</i>	- -	- -	
4bis	- -	369,9 Hz <i>2,3%</i>	383,3 Hz <i>2%</i>	
5	379,6 Hz <i>1,1%</i>	- -	- -	
6	383,8 Hz <i>0,9%</i>	- -	- -	
6bis	- -	405,6 Hz <i>1,2%</i>	400,5 Hz <i>2%</i>	

TAB. 3: Résultats de l'analyse modale expérimentale menée sur les 3 guitares en médium (G1), acajou (G2) et frêne (G3) non cordées. Valeur haute fréquence et en italique amortissement.

l'instrument via ses conditions aux limites. Ainsi, leur mobilité entrainera un amortissement supplémentaire à la corde pouvant créer des « notes mortes » [3, 4]. Une manière de quantifier le transfert d'énergie de la corde à ses extrémités est de mesurer la partie réelle de la mobilité quasi-colocalisée (effort et accélération mesurés quasiment au même point) [3, 4]. Nous nous attachons donc à mesurer cette quantité sur les trois guitares cordées suivant 4 positions le long de la guitare (3 sur le manche : silet, frettes 7 et 15 (début de la jonction manche/table) et 1 sur le corps au niveau du chevalet) et suivant 3 positions dans la largeur du manche (le long des frettes des cordes aiguës à graves), voir figure 3. Seule la conductance (partie réelle de la mobilité) hors plan est mesurée car c'est la plus active dans l'amortissement supplémentaire induit par le couplage aux conditions aux limites [2].

Comme nous montrent ces mesures, la conductance au niveau du chevalet est bien plus faible que celle mesurée au niveau du manche ainsi que la partie du manche vissée au corps (au niveau de la frette 15). Il apparaît donc que le principal couplage entre les cordes et la structure de la guitare s'effectue par le manche. Cependant, pour le mode 1, la conductance au niveau du chevalet peut avoir une amplitude non négligeable. Ce résultat confirme ceux trouvés par Fleischer pour la guitare électrique [2] et pour la basse électrique [4]. Pour ce mode basses fréquences, l'amplitude de sa conductance sera grandement affectée par le corps et les bras

Mode	G1	G2	G3	Déformée modale
1	54,2 Hz <i>1,3%</i>	60,6 Hz <i>1,0%</i>	56,6 Hz <i>1,0%</i>	
2	180,2 Hz <i>1,5%</i>	- -	- -	
2Bis	- -	198,7 Hz <i>1,9%</i>	201,8 Hz <i>1,5%</i>	
3	234,2 Hz <i>1,2%</i>	234,7 Hz <i>1,9%</i>	230,0 Hz <i>1,3%</i>	
4	365,3 Hz <i>1,6%</i>	- -	- -	
4Bis	- -	369,0 Hz <i>2,7%</i>	382,3 Hz <i>2,1%</i>	
6	387,4 Hz <i>1,2%</i>	- -	- -	
6bis	- -	405,8 Hz <i>1,3%</i>	410,5 Hz <i>3%</i>	

TAB. 4: Résultats de l'analyse modale expérimentale menée sur les 3 guitares en médium (G1), acajou (G2) et frêne (G3) cordées. Valeur haute fréquence et en italique amortissement.

du musicien en condition de jeu [4].

Dans le détail, l'influence du matériau est notable sur la figure 3 :

- le niveau global des conductances se voit affecté par le matériau du corps. En effet, l'instrument en frêne est trouvé avoir des mobilités beaucoup plus importantes que celui en acajou (+38% et +50% respectivement sur les deux premiers modes suivant l'axe du manche) ou en médium (+26% et +30%).
- l'amplitude des conductances suivant la largeur du manche dépend du matériau du corps. En effet, pour le mode 2 (180,2 Hz), l'amplitude de la conductance de la guitare 1 est équivalente suivant la largeur du manche. Par contre, pour les guitares 2 et 3, on voit une grande disparité suivant la largeur du manche (mode 2Bis à 198,7 Hz et 201,8 Hz) pouvant entraîner des variations importantes de conductances. Cette différence est liée à la torsion du manche qui est plus ou moins présente suivant le matériau du corps (mode 2 et 2Bis du tableau 4). Ces résultats montrent donc que l'assymétrie de la tête n'est pas la seule cause du comportement en torsion du manche comme suggérée par les études de Fleischer et Zwicker [2]. Le type de matériau du corps (orthotrope ou isotrope) joue donc un rôle non négligeable.

L'amplitude des conductances entraîne des modifications notables sur l'amortissement supplémentaire de la vibration de la corde via la mobilité de ses conditions aux limites [3, 4]. La structure de la guitare 3 (de conductance globalement plus importante) affectera d'avantage l'amortissement de la corde que pour les deux

autres instruments. De plus, une différence notable entre la guitare 1 et les guitares 2 et 3 est observée suivant les cordes graves et aiguës en fonction de leur position selon la largeur du manche.

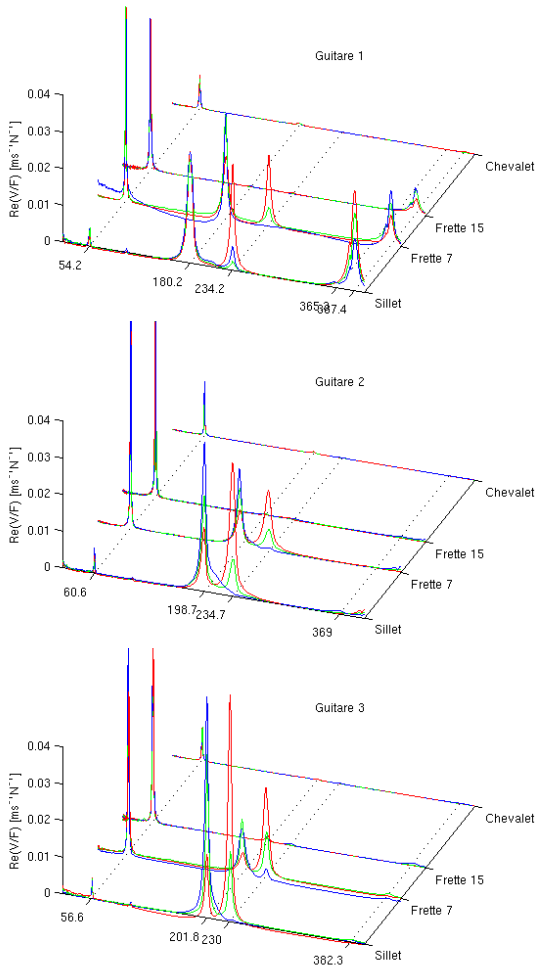


FIG. 3: Conductance (partie réelle de la mobilité) mesurée au niveau du sillet, des frettes 7 et 15 et du chevalet coté cordes graves (bleu), au milieu (vert) et coté cordes aiguës (rouge) suivant la largeur du manche.

4 modélisation numérique

Dans le but de comprendre l'implication des éléments de lutherie dans le son de la guitare électrique, une étude numérique préliminaire est entreprise. Suivant les résultats expérimentaux précédents, il serait envisageable de modéliser l'instrument comme une poutre [4] pour nous donner des tendances sur la géométrie de l'instrument, mais cela ne nous permettrait pas d'appréhender de manière suffisamment précise l'implication de chaque élément de lutherie dans la vibration de la corde. C'est pourquoi, nous choisissons de modéliser par éléments-finis l'instrument. Nous présentons ici des résultats uniquement sur le corps de l'instrument.

4.1 Description

La modélisation numérique de la guitare (complète ou partielle) semble devoir être effectuée dans le strict

cadre tridimensionnel. En effet, les dimensions relatives du corps et même du manche avec sa tête ne nous permettent pas de les modéliser uniquement avec des plaques et des poutres. Pour cette toute première analyse par éléments-finis, le but poursuivi est d'observer si les tendances expérimentales présentées précédemment peuvent être retrouvées, même s'il est certain qu'un difficile travail de recalage est nécessaire.

Le corps de chaque instrument est modélisé par 5146 éléments tridimensionnels (prisme à 15 nœuds), d'approximation de degré 2, soit 77190 degrés de liberté. Ce maillage nous semble suffisant pour traiter le problème. À noter que le corps de l'instrument est supposé massif, c'est-à-dire sans trou ni découpe pour les transducteurs et appareillages électroniques. Une représentation graphique de ce maillage est montré figure 4.

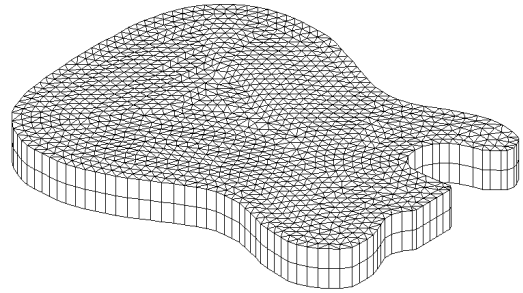


FIG. 4: Maillage du corps de l'instrument.

4.2 Résultats et discussion

Pour obtenir le comportement dynamique des corps des instruments par éléments-finis, il faut, après la phase de maillage, estimer les paramètres mécaniques. Pour la masse volumique, il suffit simplement de diviser le volume (obtenu par le modèle) par son poids. Néanmoins, il reste à estimer les paramètres d'élasticité (module d'Young, module de cisaillement et coefficients de Poisson suivant les trois directions, longitudinal (L), radial (R) et transversal (T)). L'idée ici n'est pas de retrouver exactement les fréquences du tableau 2, mais plutôt les tendances observées expérimentalement.

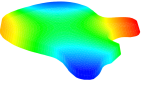
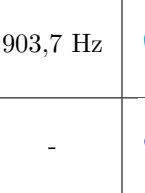
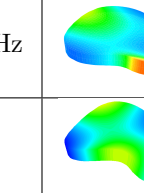
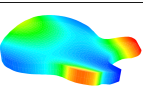
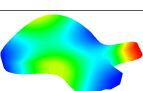
Pour le frêne et l'acajou, les paramètres d'élasticité sont issus de [7] et reportés dans le tableau 5. En ce qui concerne le médium, l'estimation de ses paramètres demande une phase de recalage empirique (reportée aussi dans le tableau 5). Les fréquences et déformées modales ainsi obtenues après calcul par le logiciel CAST3M¹ sont reportées dans le tableau 6.

Les résultats trouvés (voir tableau 6) montrent la présence des deux familles déjà évoquées : cas isotrope (médium) et anisotrope (frêne et acajou). La difficulté pour obtenir l'ensemble des modes ainsi que les fréquences exactes par éléments-finis peut s'expliquer. Tout d'abord, la géométrie proposée n'est pas réelle, il manque les parties creuses. Ensuite, la rigidité locale des parties vissées sur le corps de l'instrument (chevalet, réglage du volume, ...) n'est pas prise en compte. De plus, les propriétés mécaniques du bois varient probablement le long de la table (suivant la découpe de la planche

¹<http://www-cast3m.cea.fr/>

Guitare	E_L [GPa]	E_R [GPa]	E_T [GPa]	G_{LR} [GPa]	G_{TL} [GPa]	G_{RT} [GPa]	ν_{LR}	ν_{TL}	ν_{TR}	ρ [Kg.m ⁻³]
1	2,8			1,17			0,2			853,2
2	10,4	1,15	0,52	0,92	0,61	0,21	0,39	0,46	0,38	735,9
3	16,3	2,24	1,43	1,33	1,30	0,52	0,39	0,46	0,38	789,2

TAB. 5: Valeur des constantes mécaniques (E : module d'Young, G : module de cisaillement, ν : coefficient de Poisson et ρ : masse volumique) pour le calcul éléments-finis des corps des guitares suivant les trois directions (L : longitudinal, R : radial et T : transversal)

Mode	G1	G2	G3	Déformée modale
1 (1)	399,7 Hz	373,5 Hz	405,1 Hz	
2 (3)	479,4 Hz	-	-	
3 (4)	807,0 Hz	547,1 Hz	671,1 Hz	
4 (9)	-	781,9 Hz	903,7 Hz	
5 (10)	889,5 Hz	-	-	

TAB. 6: Résultats du calcul éléments finis des premiers modes du corps des 3 guitares en médium (G1), acajou (G2) et frêne (G3). Le numéro des modes entre parenthèses correspond à celui identifié expérimentalement (voir tableau 2).

dans le tronc de l'arbre) et les valeurs prises comme constantes dans le calcul numérique ne correspondent pas à la réalité y compris pour le corps en médium. Pour s'approcher au mieux du comportement réel de la structure, un véritable travail de recalage doit donc être envisagé (ce qui n'était pas l'objet du présent travail).

Pour traiter le problème de la guitare complète, nous procéderons dans la suite de nos travaux aux étapes suivantes : modélisation du manche (avec sa tête), variation des conditions de liaison corps-manche et enfin étude du chargement des cordes.

5 Conclusion

Dans cette étude, l'influence du corps des guitares électriques a été mise en évidence. La rigidité du corps « pilote » en torsion le manche de la guitare ce qui aura des conséquences sur l'amortissement supplémentaire ajouté à la vibration de la corde pouvant donc engendrer des différences de longueur de son (ou *sustain*) entre guitares. De plus, il semble clair que les variations du comportement dynamique du manche isolé influencent dans une moindre mesure le comportement dynamique global de l'instrument. Une étude numérique préliminaire semble pouvoir nous apporter des éléments dans la quantification des autres éléments de lutherie dans le son des

instruments.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Institut Technologique Européen des Métiers de la Musique pour la fabrication et le prêt des 3 guitares et le responsable du pôle d'innovation, Vincent Doutaut, pour l'intérêt qu'il porte à notre travail. Merci aux étudiants du Master SdI parcours Acoustique de l'UPMC, Jules Françoise et Benjamin Beaudequin, pour leur aide pendant les mesures.

Références

- [1] Lotton P., Lemarquand G. et Lemarquand V., "Microphones et amplification dans la guitare électrique", numéro spécial de *Musique & Technique : Revue professionnelle de la facture instrumentale* 3, (2008)
- [2] Fleischer H. et Zwicker T., "Mechanical vibrations of electric guitars", *Acta Acustica united with Acustica* 84, 758-765 (1998)
- [3] Fleischer H. et Zwicker T., "Investigating dead spots of electric guitars", *Acta Acustica united with Acustica* 85, 128-135 (1999)
- [4] Fleischer H., "Vibration of an electric bass guitar", *Acta Acustica united with Acustica* 91, 247-260 (2005)
- [5] Navarret B., "Etude de la qualité sonore de la guitare électrique solid body : influence du matériau du corps sur le son amplifié perçu" *Musique & Technique : Revue professionnelle de la facture instrumentale* 4, 43-60 (2009)
- [6] Guillaume P., Verboven P., Vanlanduit S., Van der Auweraer H. et Peeters B., "A poly-reference implementation of the least-squares complex frequency-domain estimator", *In proceedings of the IMAC XXI* in Kissimmee, Florida, 2003.
- [7] Guitard D., "Mécanique du matériau bois et composites", *Cepadues-Editions*, Toulouse, 1987.