

Les matériaux composites sandwichs à base de fibres naturelles et leur potentiel pour les instruments de musique

VIALA R.¹, FOURNIER, M. ², PLACET V.¹, COGAN S.¹

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

Cet article a pour thème les matériaux composites sandwichs à base de fibres naturelles. Une approche en lien avec la facture instrumentale est détaillée. Le but ici est de fabriquer des matériaux composites de substitution aux bois de lutherie, qui présentent aussi l'avantage d'être moins variables et moins sensibles à l'humidité que le bois. Les matériaux fabriqués sont optimisés grâce à un modèle afin de copier le comportement dynamique des essences traditionnellement utilisées en lutherie. Les pièces étudiées et fabriquées sont des tables de guitare archtop de type *Gibson ES-175*, comportant une table voutée, un pan coupé florentin et des ouïes.

1) Matériaux utilisés

Afin d'atteindre un comportement dynamique désiré, le choix des matériaux est crucial. Une grande variété de renforts, âmes et placages existe, une liste non exhaustive est proposée dans le tableau 1. Afin de modifier les propriétés physiques et chimiques et par la suite le comportement dynamique des composites, divers traitements de fibres peuvent être exploités, qu'ils soient chimiques, thermiques ou gazeux. Ces divers aspects font l'objet de recherches. Les matériaux composites sandwichs peuvent être architecturés d'innombrables façons, une méthodologie d'optimisation est donc proposée, décrite dans la section suivante.

Matériau	Description	Fabricant	Propriétés mécaniques mises en forme Valeurs mesurées par méthode dynamique FEMU-3DVF		
			Rigidités EL, ET(R), GLT(R) (GPa)	Facteurs de perte $\eta_L, \eta_T(R), \eta_{LT}(R)$, (%)	Densité (-)
Lin Flaxtape® et matrice	Renfort fibré unidirectionnel	Lineo	35, 4.2, 3.2	2.0, 2.2, 2.4	1.25
Lin flaxpreg® et matrice	Renfort fibré imprégné de résine	Lineo	35, 4.2 3.2	2.0, 2.2, 2.4	1.25
Lin flaxply® et matrice	Renfort fibré 95/5 %	Lineo	28, 5.9, 2.4	1.2, 1.8, 2.0	1.25
Fibres de carbone, matrice	Renfort fibré unidirectionnel	-	105, 8, 5	0.1, 0.7,-	1.5
Bambou et matrice	Fibres de bambou croisées 0/90 °	Cobratex	7.7, 7.7, 1.4	1.6, 1.6, 2.0	0.85
SB 50	Âmes balsa (bois de bout)	Baltek	0.05, 0.05-0.02	2, 2, 1.5	0.1
Bcore QX summer	Âmes balsa (contrecollées)	Bcomp	2.5, 0.13, 0.14	0.7, 1.4, 1.4	0.19
Matrice pétro- sourcée	SR8501 SD8751	Sicomini	-	-	1.15
Matrice partiellement biosourcée	SR Greenpoxy 56 SD 7561	Sicomini®	-	-	1.15
Épicéa	Matériau traditionnel	-	13.5, 0.9, 0.9	0.6, 1.8, 1.2	0.44

Tableau 1 : Renforts, matériaux d'âmes et matrices, fabricants et propriétés mécaniques correspondantes.

2) Méthode d'optimisation

L'optimisation des différents constituants et des stratifications est effectuée en faisant varier les paramètres de conception du modèle jusqu'à ce que le comportement vibratoire simulé soit similaire à celui de référence, comme décrit dans la figure 1. Les différents paramètres considérés sont la nature des différents constituants (plis, âme), leur orientation et l'épaisseur de l'âme. Lorsqu'une architecture permet d'obtenir un comportement vibratoire similaire à une table réelle de référence ou une essence de bois à copier, les paramètres optimaux sont identifiés et le composite est fabriqué.

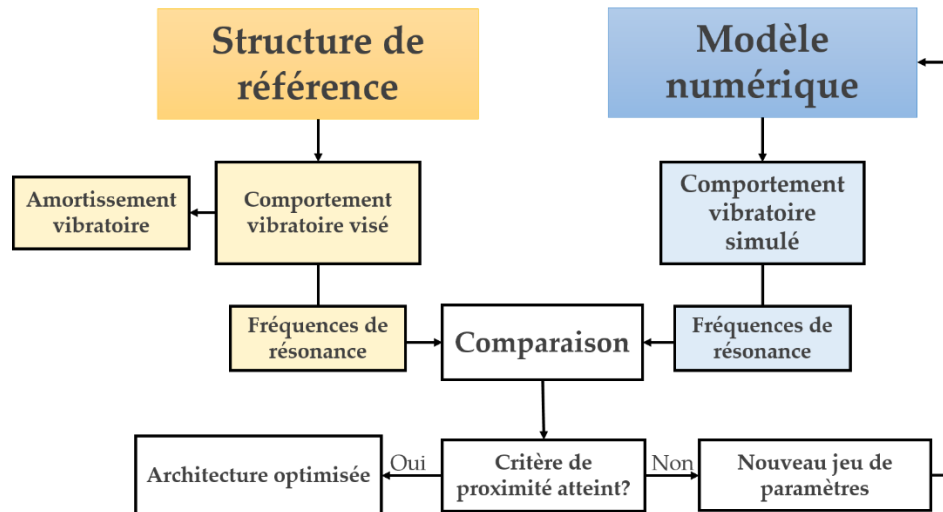


Figure 2 : Méthode d'optimisation des composites, les paramètres du modèle sont mis à jour afin de s'approcher du comportement vibratoire d'une table d'harmonie de référence

3) Mise en forme des composites sandwichs à matrice renforcée par des fibres végétales.

La mise en forme est effectuée par drapage sous vide. Les plis sont imprégnés de résine et disposés empilés sur un moule à la forme finale désirée. Un film perforé est placé entre la dernière stratification intérieure et le feutre de drainage (qui aspirera par capillarité la résine excédentaire). L'ensemble est placé dans une bûche à vide hermétique puis l'air est aspiré jusqu'à une pression de -0.6 à -0.7 bar. Le tout est, suivant la résine utilisée, chauffé. Après cuisson, les ouïes sont découpées par usinage laser sans contact.

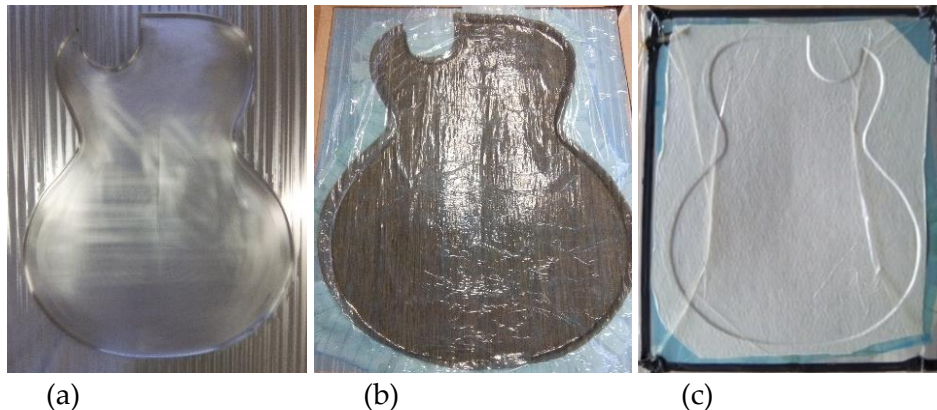


Figure 1 : Mise en forme des tables par vide d'air. (a), moule aluminium usiné par machine à commande numérique, (b), stratifications et film perforé, (c) feutre de drainage et bûche à vide

4) Exemples de tables d'harmonie

Un démonstrateur a été proposé pour des guitares archtop, type ES 175 celles-ci présentent un pan coupé florentin, des ouïes et une forme bombée. Traditionnellement ces tables peuvent être massives et sculptées tels des violons, mais aussi contreplaquées et cintrées. Différentes architectures ont été fabriquées, visibles sur la figure 3. Ces différentes tables ont été caractérisées par des méthodes dynamiques, et l'écart entre les propriétés théoriques optimisées et effectivement mesurées a été évalué. Généralement, en fonction des différentes directions, l'erreur entre les rigidités prédites et mesurées est inférieure à 15 %. Concernant la densité, l'erreur est inférieure à 10 %.

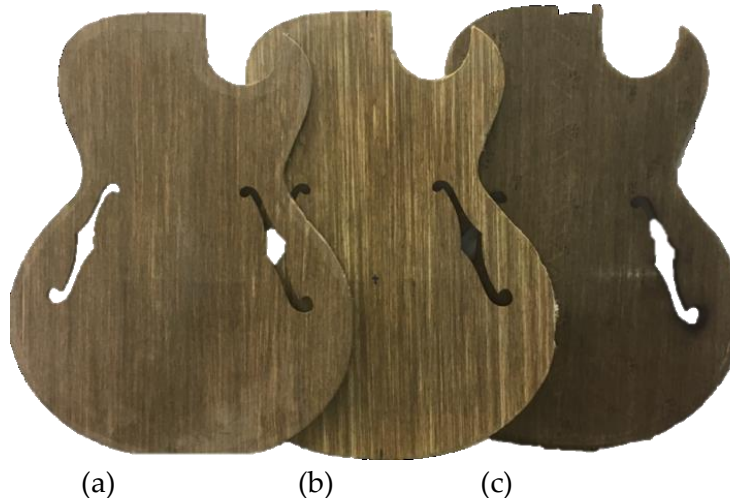


Figure 3 : Exemples de tables d'harmonie en composite sandwich.
(a), flaxpreg et bCore, (b) flaxtape et balsa massif, (c), carbone, bCore et lin.

5) Avantages potentiels des composites sandwichs à fibres naturelles

En comparaison avec les bois de tables d'harmonie tels que l'épicéa, la variabilité du matériau composite est deux fois plus faible par rapport à l'épicéa. Par simulation, et en prenant en compte les incertitudes de fabrication, la tolérance des épaisseurs, de l'orientation des fibres et les propriétés mécaniques, le coefficient de variation des fréquences propres est deux fois plus faible pour les composites (5%) que pour l'épicéa de résonance (10%).

À l'instar des matériaux biosourcés, ces composites présentent une évolution de leur paramètres mécaniques lorsque l'humidité relative de l'aire varie. Toutefois, des mesures effectuées à l'échelle de plaques ont démontré une sensibilité de deux (direction longitudinale) à trois (direction radiale/transverse) fois plus faible par rapport à l'épicéa

La fabrication de telles plaques peut être automatisée, la disposition des plis, la cuisson et l'usinage par découpe laser permettent une efficacité accrue du procédé de fabrication et une meilleure répétabilité.

Les fibres utilisées sont renouvelables annuellement, elles peuvent être récoltées en France puis mise en forme pour créer un tissu exploitable. La résine est issue principalement de la pétrochimie. Pour les âmes types bCores™, les arbres proviennent de cultures certifiées FSC et sont renouvelables à 5 ans. Les âmes pourraient être remplacées par des mousses de poly téréphtalate d'éthylène ou des structures en nid d'abeille (nomex© par exemple).

Les résines pétrosourcées actuellement utilisées amènent une certaine dépendance à l'industrie pétrochimique. Les alternatives de résines biosourcées permettent d'obtenir une résine à partir de la biomasse, ingrédient de la matrice. Ceci permettrait d'amener la part de matrice biosourcée à 40 % actuellement.

La perte de matière est potentiellement plus faible rapport à une table sculptée, qui peut atteindre 80 % de perte, sans prendre en compte les différentes étapes de découpe du tronc vers les quartiers ou plaques. Les bords du composite sont perdus, ainsi que certains éléments utilisés lors de la fabrication (film perforé, feutre de drainage et surplus de résine).

Conclusion :

En support au développement, des méthodes numériques telles que l'optimisation peuvent être particulièrement efficaces afin d'optimiser le comportement vibratoire de ces matériaux en développement. Il est proposé ici l'ouverture de la facture instrumentale à un domaine en plein développement et suggérant un potentiel important. L'objectif à terme est de copier le comportement vibratoire des essences de bois dont l'approvisionnement est, ou, devient problématique. Ces composites présentent théoriquement de nombreux avantages, mais ceux-ci doivent encore être testés et validés pour chacun de ces critères et faire l'objet d'études propres. La validation à l'échelle de tables d'harmonie seules n'est toutefois pas suffisante vis-à-vis de l'application finale. Des comparaisons entre les tables d'harmonie en bois et en composites doivent être effectuées pour divers instruments par l'intermédiaire de tests de jeu et tests d'écoute par les utilisateurs finaux, les musiciens.