

Alternatives à l'ébène pour la fabrication de touches

Principes mécaniques, nature des composites et leur transformation



ALLIANCE

L'empreinte environnementale

Bien que les matériaux de remplacement puissent chercher à protéger les essences menacées, leur production n'est pas pour autant sans impact écologique.

Protection des espèces menacées :

- Réduit la pression sur les écosystèmes fragiles.
- Réduit les pertes liées à la variabilité du matériau et en valorisant les chutes et les sciures.
- Réduit l'impact sur le réchauffement climatique lié à la déforestation, vecteur de maladies, ravageurs et autres facteurs modifiant les écosystèmes des forêts.

Réchauffement climatique :

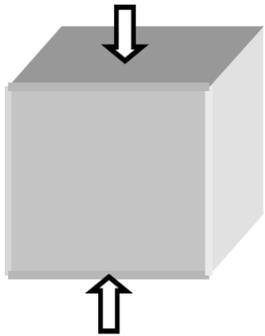
- Génèrent des gaz à effet de serre lors de leur production et de leur transport.
- Technologie souvent basée sur l'utilisation de résines pétrochimiques.
- Procédé de transformation requérant l'utilisation de COV.

Pollution :

- Les composites ne sont pas biodégradables et les déchets de production persistent dans l'environnement contrairement au bois.
- Selon les procédés de fabrication, peuvent présenter des substances présentant un risque pour la santé telles que les urées, les formaldéhydes et les solvants pétrochimiques.

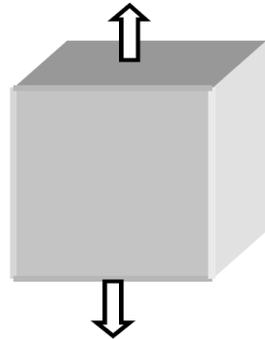
Mesurer la résistance mécanique

En ingénierie, on distingue différentes contraintes pour lesquelles il est possible de se représenter la résistance d'un composant ou d'un matériau à différentes forces cherchant à le déformer. Ces notions sont utiles pour aborder le problème des matériaux de remplacement pour une touche d'instrument.



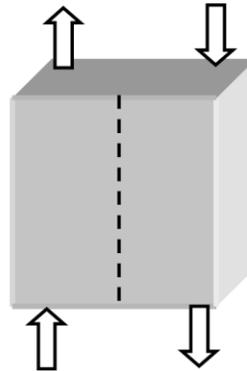
Compression

Forces convergentes axiales exercées de manière à ce que le corps auquel on l'applique se trouve réduit en dimension dans le sens de la contrainte.



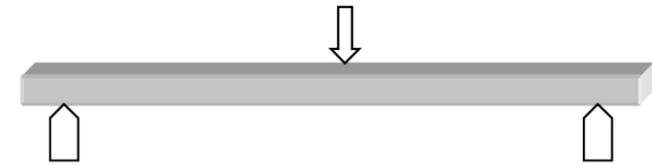
Tension

Forces divergentes axiales exercées de manière à entraîner l'allongement d'un corps auquel on les applique.



Cisaillement

Forces parallèles opposées de part et d'autre d'un axe cherchant en quelque sorte à déchirer le corps sur lequel elles font action.



Flexion

déformation d'un solide soumis à des forces transversales.

« Ces concepts fournissent la base pour se représenter d'autres propriétés liées à la performance mécanique d'un matériau ou d'un composant telles que la dureté (résistance aux indentations) et la rigidité (solidité d'un composant résultant du matériau et de la géométrie de la pièce. »

[Voir HOADLEY, R. Bruce, \(2000\), Understanding wood. The Taunton press, chapitre 4](#)

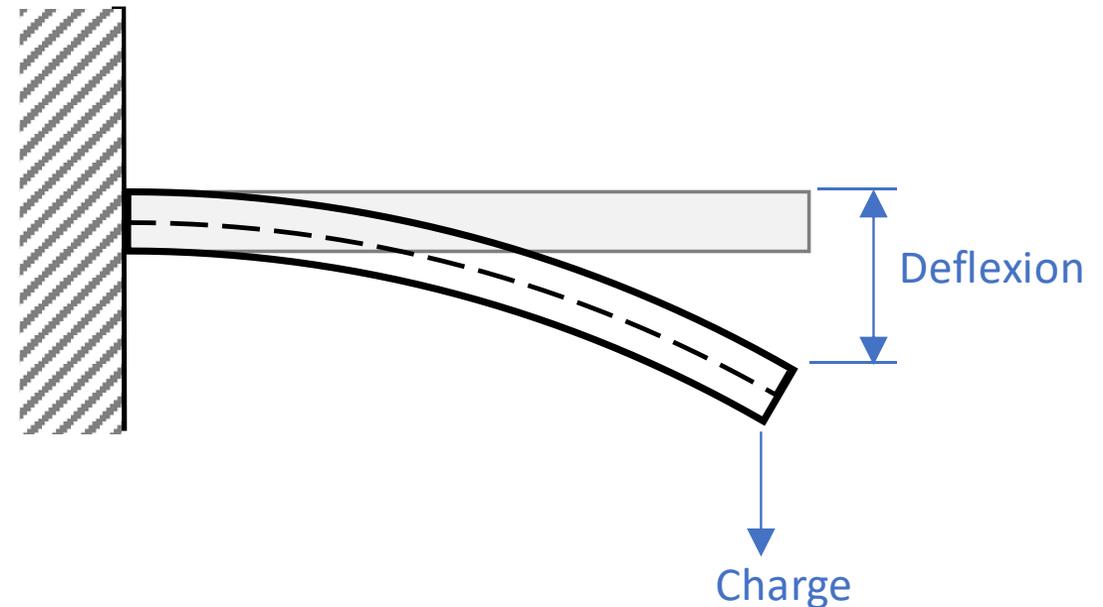
Le manche comme poutre en porte-à-faux

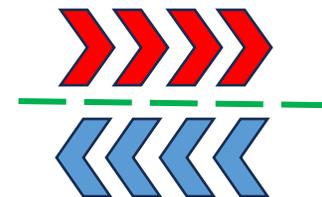
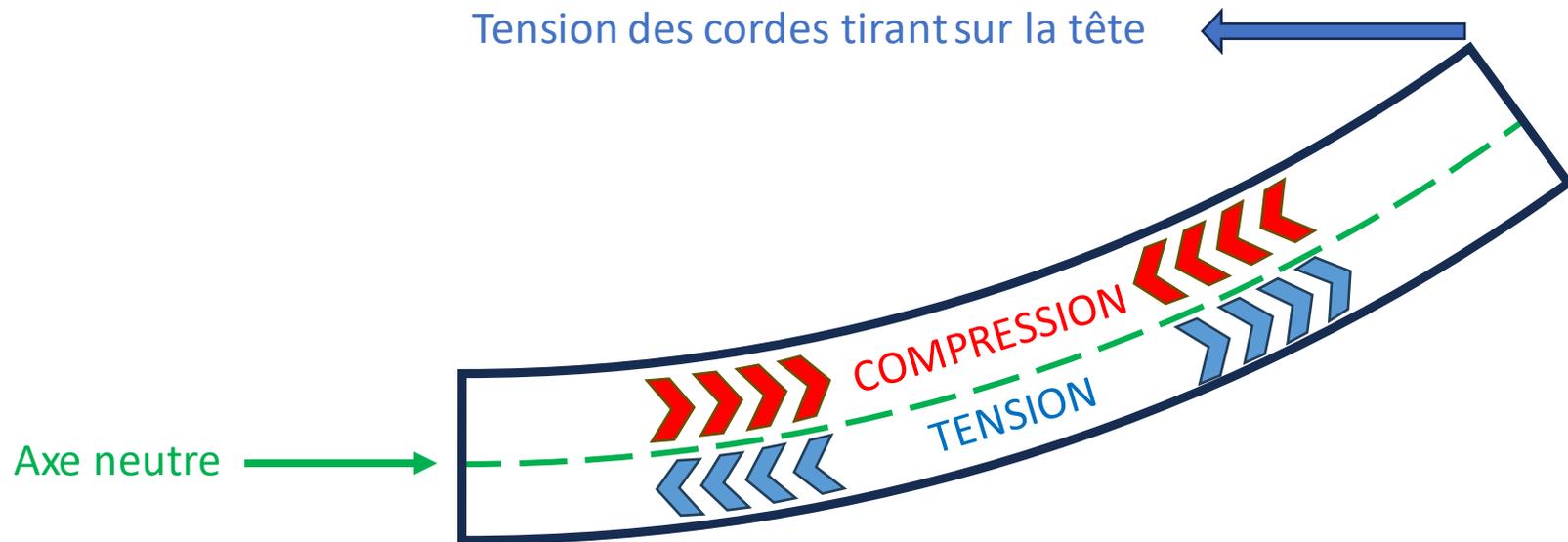
Le manche d'un violon peut être schématiquement comparé à une poutre en porte à faux, c'est-à-dire un élément structural maintenu à l'horizontal fixé à une seule extrémité, l'autre étant libre. La poutre en porte-à-faux est largement utilisée et étudiée en architecture, ce qui en fait un bon modèle de comparaison.

Sur le violon, le talon du manche représente la partie fixe de la poutre, alors que la tête est la partie mobile. Alors que dans le modèle habituel, les forces opèrent en plaçant une charge qui cherche à plier la poutre vers le bas, la tension des cordes du violon cherche plutôt à faire ployer le manche vers le haut.

« La touche contribue à offrir une résistance supplémentaire au manche, limitant la flexion de la poignée du manche (voir diapositive suivante). »

Déflexion d'une poutre en porte-à-faux sous une charge





« Le joint de colle entre la touche et le manche est donc vulnérable aux forces de cisaillement résultant de la flexion du manche. »

Forces de **compression** & de **tension**

La tension des cordes fait plier le manche vers le haut en tirant sur la tête du violon. La déformation résultante (flexion) fait apparaître deux stress différents à l'intérieur du manche : la partie supérieure est comprimée, alors que la partie inférieure se tend. Ces deux forces se font opposition de part et d'autre d'un axe neutre au centre de la pièce.

La résistance à la compression du matériau utilisé pour fabriquer la touche peut donc jouer un rôle important dans la stabilité du manche d'un instrument.

Déterminer la résistance mécanique d'un matériau et la rigidité d'un composant

La rigidité et la masse d'un composant sont les premières considérations à aborder lorsqu'il est question de fabriquer des structures hautement performantes. Bien qu'il soit aisé de se représenter le concept de masse et de la mesurer, produire une valeur fiable pour la résistance mécanique en situation d'atelier n'est définitivement pas aussi trivial. Les termes résistance et rigidité sont souvent interchangeable dans le jargon vernaculaire de l'atelier. En ingénierie, ce sont pourtant deux concepts distincts.

La résistance mécanique d'un matériau se définit par sa capacité à s'opposer à la déformation sous l'action d'une force. Cette propriété est intrinsèque au matériau (indépendant de la géométrie). La résistance s'exprime couramment selon le module de Young ou le **module d'élasticité E** et représente la force nécessaire pour déformer le matériau. Plus la valeur est élevée, plus le matériau est résistant. L'équation simplifiée du module élastique pour une poutre en flexion est:

$$E = \frac{k \cdot PL^3}{yI}$$

E = Module d'élasticité en Pascals (Pa)

k = constante dépendante de la configuration du test: utiliser $\frac{1}{4}$ pour le test en flexion, $\frac{1}{3}$ en porte-à-faux

P = charge exprimée en force (N = kg x 9.81)

L = portée (en mètre)

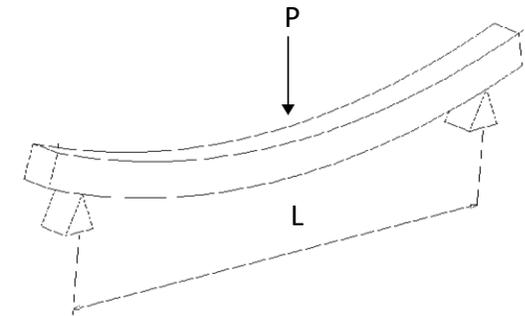
y = déflection (déformation, en mètre)

I = moment d'inertie (lié à la géométrie de la section)

Le module d'élasticité moyen de l'ébène est d'environ 16 GPa, alors que celui de l'érable européen est de 11,7 GPa et l'épicéa est de 10 GPa.

La rigidité représente la capacité d'un objet à s'opposer à une contrainte. Elle est donc à la fois le résultat de la résistance mécanique du matériau (module élastique E) et de la solidité impartie par la géométrie de l'objet (moment d'inertie de la section). Cette notion implique que la géométrie d'un composant peut être précisément ajustée afin de compenser la variation du module élastique des matériaux afin de produire de manière fiable la rigidité souhaitée.

$$S = E \cdot I$$



« Ajuster la rigidité d'un composant, c'est la stratégie de prédilection des luthiers : ils sont formés à choisir consciencieusement leur bois et à façonner précisément les formes et les dimensions de leurs instruments. »

Masse d'un composant vs densité absolue et densité relative d'un matériau

La **masse** d'un composant peut avoir un impact important sur la performance acoustique d'un instrument de musique. Non seulement les instruments lourds sont difficiles à manœuvrer, mais cette masse additionnelle peut atténuer l'efficacité acoustique.

Les instruments à cordes pincées et frottées furent développés par des générations de luthiers qui ont utilisé des bois exotiques pour la fabrication de certains composants comme la touche. Substituer des essences par d'autres matériaux peut modifier le son de l'instrument.

Lorsqu'on cherche à remplacer l'ébène par un substitut, il faut donc s'assurer de rester au plus près des propriétés moyennes de ce bois précieux.

La **densité absolue** (ρ) est une simple mise en relation de la masse pour un volume donné et s'exprime habituellement en kg/m^3 (chez les américains en livre par pied cube - lb/ft^3).

La densité absolue moyenne de l'ébène oscille autour de 1000 kg/m^3 .

La **densité relative** (d) est le ratio entre la densité absolue d'un matériau et celle de l'eau pure à 4°C (1000 kg/l). La densité relative ne possède aucune unité de mesure puisqu'elle est le résultat d'un ratio entre deux grandeurs possédant les mêmes unités de mesure, ce qui est pratique pour éviter les erreurs de conversion entre différents systèmes de mesure.

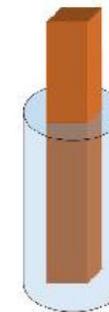
La densité relative moyenne de l'ébène est donc 1.0

Mesurer la densité absolue et la densité relative d'un échantillon de section rectangulaire :

$$\rho = \frac{M}{bld}$$

ρ = densité absolue en kg/m^3
 M = masse en kilogramme
 b, l, d = produit de la largeur, la hauteur et la longueur de la pièce, en mètres

Densité relative d = $\frac{\text{longueur submergée} \times \text{densité du liquide}^*}{\text{longueur totale} \times \text{densité de l'eau}}$



*Dans le cas des bois dont la densité est supérieure à celle de l'eau, on peut augmenter la densité du liquide en y dissolvant des sels, d'où l'expression particulière de la formule

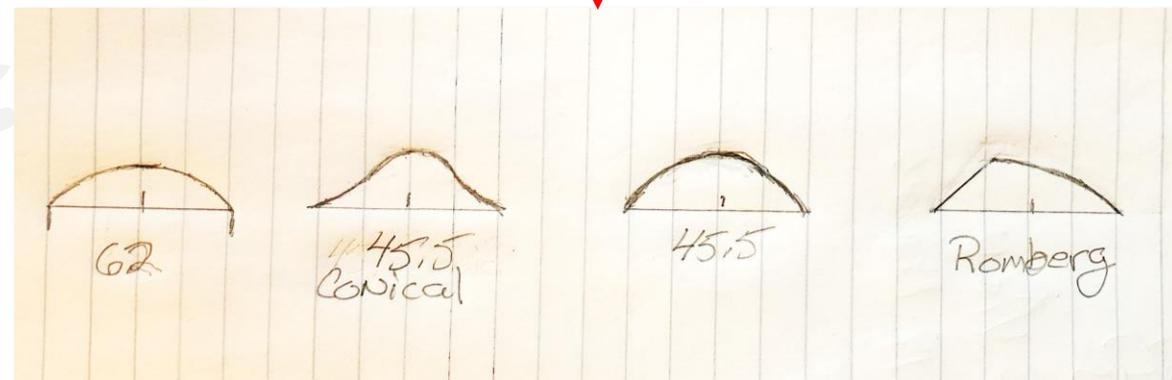
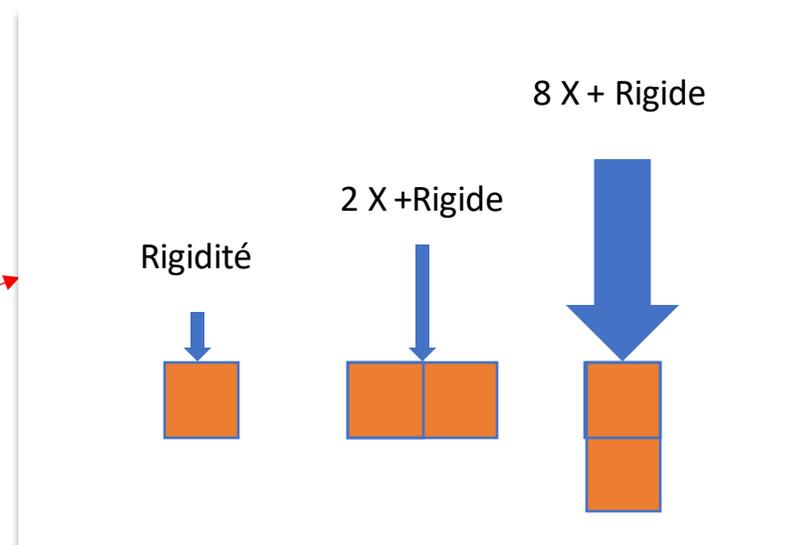
Altérer la rigidité grâce à la forme

Il est possible d'agir sur la rigidité en flexion d'un composant en modifiant la forme de sa section. Pour une même débauche de matière, on peut faire varier le comportement mécanique de la pièce.

Dans le cas de la touche, la forme de sa section influencera donc aussi la rigidité du manche.

Avant d'envisager modifier la forme de la touche, il est aussi important de considérer l'ergonomie de jeux. Les sections parfaitement circulaires ou de forme Romberg peuvent présenter des avantages structuraux, mais ne sont pas nécessairement les solutions les plus confortables pour le jeu du musicien.

Le recours à un logiciel de dessin technique permettant de calculer le moment d'inertie de formes complexes nécessaire au calcul de rigidité peut s'avérer un excellent atout.



Ébène véritable vs « ébènes »

Ce tableau regroupe les propriétés de quelques essences d'ébènes et de bois apparentés. La variation des propriétés moyennes représente bien le défi de la transformation des matières naturelles: les conditions de pousse de même que la génétique des peuplements influenceront la qualité de la fibre ainsi que son aspect.

En botanique, on distingue habituellement l'ébène véritable (*Diospyros spp.*) des autres espèces de familles apparentées, mais cette distinction n'est pas systématique dans le langage courant.

Essences de bois	Densité (kg/m ³)	Résistance en compression (MPa)	Module de rupture (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Indice de dureté Janka (N/mm ²)
Ébène du Ceylan <i>Diospyros ebenum</i>	915	63,5	128,6	14,07	10,79
Ébène de Macassar <i>Diospyros celebica</i>	1121	80,2	157,2	17,35	14,14
Ébène du Texas <i>Ebenopsis ebano</i>	965	74,1	152,3	16,54	12,56
Ébène brun (Guayacan) <i>Libidibia paraguariensis</i>	1160	81,3	158,0	18,70	15,97
Ébène du Gabon <i>Diospyros crassiflora</i>	955	76,3	158,1	16,89	13,70

Source : [The Wood Database](#)

Bois de forêt tempérée vs ébène

Il est difficile de trouver un équivalent à l'ébène dans les bois de forêts tempérées. Le caryer est probablement l'essence qui s'éloigne le moins des propriétés de l'ébène.

Essence de bois	Densité relative	Résistance en compression (Mpa)	Module de rupture (Mpa)	Module d'élasticité (Gpa)	Indice de dureté Jan (N/mm ²)
Ébène spp.	1.00	73.3	148.0	16.1	12.9
Aulne rouge	0.41	40.1	68.0	9.5	2.6
Frêne spp.	0.56	48.1	95.0	11.0	5.3
Tremble spp.	0.39	32.9	60.5	9.0	1.6
Tilleul américain	0.37	32.6	60.0	10.1	1.8
Hêtre américain	0.64	50.3	103.0	11.9	5.8
Bouleau jaune	0.62	56.3	114.0	13.9	5.6
Noyer cendré	0.38	36.2	56.0	8.1	2.2
Cerisier tardif	0.50	49.0	85.0	10.3	4.2
Chataîgnier	0.43	36.7	59.0	8.5	2.4
Orme spp.	0.53	43.9	90.0	10.3	3.8
Caryer spp.	0.72	62.3	135.5	15.0	8.6
Ostryer de Virginie	0.79	53.5	97.2	11.7	8.3
Charme de Caroline	0.79	44.8	112.4	11.7	7.9
Chêne rouge spp.	0.63	47.0	99.0	12.5	5.7
Chêne blanc spp.	0.67	48.6	94.0	11.6	6.0
Tulipier de Virginie	0.42	38.2	70.0	10.9	2.4
Sassafras	0.46	32.8	62.0	7.7	-
Érable spp.	0.51	43.1	83.0	10.6	4.0
Érable à sucre	0.63	54.0	109.0	12.6	6.4
Copalme d'Amérique	0.52	43.6	86.0	11.3	3.8
Platane d'Amérique	0.49	37.1	69.0	9.8	3.4
Noyer noir	0.55	52.3	101.0	11.6	4.5

Sources :

[The Wood Database](#)

[Wood handbook: Wood as an engineering material](#)



L'alternative des matériaux d'ingénierie

Les changements climatiques, la croissance de la demande pour des instruments de musique de qualité et la recherche de matériaux aux propriétés constantes font des matériaux composites une alternative intéressante pour développer des solutions de remplacement pour l'ébène dans la lutherie contemporaine, notamment pour la touche et les accessoires.



Solutions de remplacement pour les touches

Au cours de la dernière décennie, les solutions offertes au luthier se sont multipliées. Cette tendance s'accroîtra avec la pression grandissante sur l'approvisionnement en bois traditionnels, jusqu'à devenir une option compétitive et économique.

Nom	Matériau	Résine	Procédé	Pratique durable
Flaxwood	Fibres de sapin	« Matériau liant acoustique »	Moulage par injection	Approvisionnement en bois durable
<u>Corene</u>	Bois	Phenol-Formaldehyde	Usinage	Information manquante
<u>Ebonprex</u>	Laminage de placages de hêtre densifiés	Oui, non-divulguée	Usinage	Certification PEFC
<u>Sonowood</u>	Hêtre, érable et épicéa densifiés	Sans résine	Usinage	Certification durable Suisse
<u>Gaiatone</u>	Papier recyclé post-consommation	Sans petroleum résine	Usinage	Certification FSC
<u>Sound Composites</u>	Fibre de carbone, érable	Oui, non-divulguée	Non-divulguée	NA
<u>Obsidian Ebony</u>	Bois densifié et stabilisé (impregnation sous vide d'un polymère spécialement développé).	Styrène	Outils manuels et machine-outils	Approvisionnement en Amérique du Nord



Sonowood

- Sonowood est fait à partir d'essences de bois de forêts tempérées qui a été compressé jusqu'à atteindre la densité de l'ébène. L'épicéa, l'érable et le hêtre sont les essences qui offrent actuellement les meilleurs résultats. L'opération confère des propriétés proches de celles de l'ébène tout en étant moins compressible, plus stable et plus homogène.
- Il s'agit de la première solution basée à 100% sur la fibre naturelle du bois.

Les limites du matériau Sonowood



- Coût élevé : peu compétitif par rapport aux composites ou aux matériaux traditionnels.
- Limité aux petits instruments : la méthode par compression exige un grand volume de bois pour obtenir les propriétés proches de l'ébène, ce qui rend la production de grosses pièces (violoncelle, contrebasse) très dispendieuse.
- Coloration : il est à présent difficile d'obtenir une coloration noire dans toute la masse de la touche, ce qui est moins recherché par le client qui cherche à conserver une esthétique traditionnelle pour son instrument.

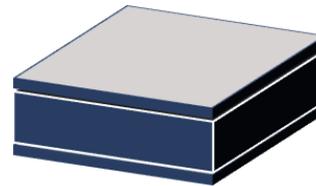
Matériaux composites

Les composites offrent de nombreux avantages au luthier. Le matériau est uniforme, ses propriétés constantes et surpassent souvent l'ébène en termes de dureté de solidité et de longévité.

Bien que leur façonnage appelle des techniques nouvelles ou davantage de travail, la grande durabilité nécessite moins de soin et représente un gain pour le client qui réduira la fréquence et les coûts d'entretien.

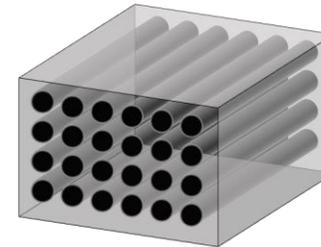
Types de composites

Composite laminé



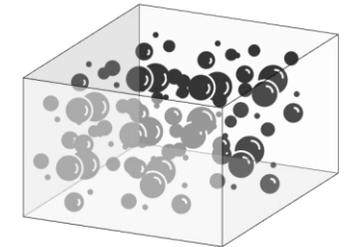
Consiste à superposer deux couches de matériaux ou plus et de les coller ou de les fusionner.

Composite renforcé par des fibres



Composites comportant des fibres courtes ou pleine longueur, liées par une résine.

Renforcé par des particules

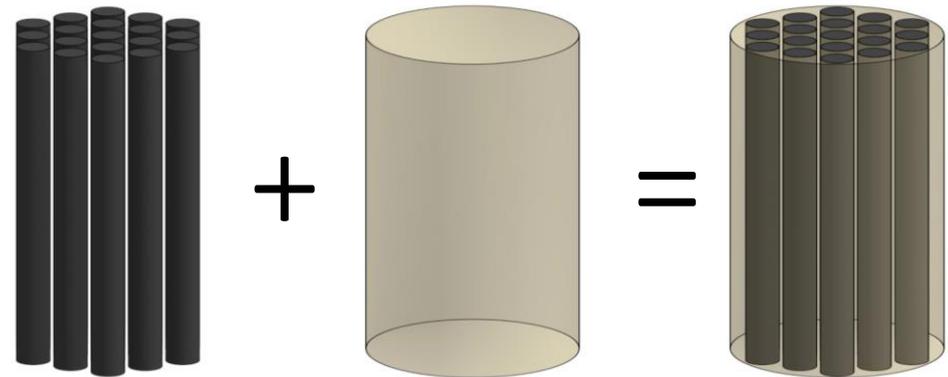


Composites composé de particules, liées par une résine.

L'archet en fibre de carbone est probablement l'instrument le plus emblématique de l'apparition des composites en facture instrumentale. De nouveaux composites basés sur le papier, la fibre de bois, la fibre de lin ou le bois densifié font désormais leur apparition pour les touches. Les résines phénoliques, formaldéhydes ou les bio résines constituent les matriciels les plus courants.

MATÉRIAUX COMPOSITES RENFORCÉS DE FIBRES

FIBRES
(carbone, fibre de verre, végétales)
+
MATÉRIAU MATRICIEL
=
Matériau composite renforcé de fibres



Exemples de composites commercialisés :



Ranprex – Laminage de placages de hêtre densifié, certification PEFC

GaiaTone – Papier recyclé post-consummation et sans pétrole et résine, certification FSC

Corene – pulpe de papier et résine phénolique

Sound Composites – Fibre de carbone, érable, résine synthétique.



Avantages des composites

La majorité des composites ont une dureté supérieure ou égale à l'ébène.

Bois/Composite	Nom botanique	Dureté Janka [1]	Dureté Brinell
Sonowood	<i>Acer spp./Picea spp./Fagus spp.</i>	-	115.0[4]
Blackwood	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	16.3	112.0[2]
Ziricote	<i>Cordia dodecandra</i>	-	70.0[2]
Contreplaqué de bouleau	<i>Betula spp.</i>	-	59.4[3],[5]
Ranprex (Ebonprex)*	<i>Fagus spp.</i>	-	59.0[5]
Ébène	<i>Diospyros spp.</i>	12.9	58.0[2]
HDF		-	48.9[3]
Palissandre Indien	<i>Dalbergia latifolia</i>	10.9	43.0[2]
Obsidian ebony	<i>Acer saccharum Marsh</i>	8.5	-[4]
Robinier faux-acacia	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	7.6	37.0[3]
Merbau (kohu)	<i>Intsia bijuga (Colebr.) Kuntze</i>	7.6	33.2[3]
Érable à sucre	<i>Acer saccharum Marsh</i>	6.5	31.0[3]
Hêtre commun	<i>Fagus sylvatica L</i>	5.8	26.7[3]
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur L</i>	5.0	26.2[3]
Iroko	<i>Milicia excelsa (Welw.) CC Berg</i>	5.3	19.5[3]
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris L.</i>	2.4	13.0[3]

Stabilité hygroscopique accrue.



Sources

[1] [Wood Database](#)

[2] [R. Sproßmann, M. Zauer, A. Wagenführ](#)

[3] [M. Sydor, G. Pinkowski and A. Jasińska](#)

[4] Values provided by the supplier

[5] [Ranca srl Hi-tech laminated wood](#)

DAO – Modélisation numérique des composants

La grande uniformité des matériaux composites les rend particulièrement propice à la production technologique basée sur le moulage par injection ou l'usinage par commande numérique, ce que la variabilité et la nature du matériau bois ne permet pas aussi facilement.

Le recours au DAO permet de livrer des produits finis sur mesure au plus près des paramètres exigés par le luthier, ce qui lui permet de réduire son temps de production à l'atelier.

Tous les paramètres de surface (concavité de la touche, largeurs, épaisseurs des bords, etc.) peuvent être personnalisés grâce à l'usinage assisté par ordinateur.



BIO Résine VS Phénol-Formaldéhyde : éviter des problèmes environnementaux

Résine époxy thermo durcissante	BIO	PETROLEUM
Matière première	La lignine et la vanilline sont les plus populaires, mais d'autres options incluent les sucroses, les huiles végétales et les oléorésines.	Phénol, habituellement issu de l'industrie pétrochimique, additionné de formaldéhyde, un gaz réactif dérivé du méthane.
Usages	Enduits de finition, adhésifs, matériau matriciel, emballage.	
Dérivés du pétrole	Aucun	Oui
Considérations environnementales	Production de gaz à effet de serre associée à l'approvisionnement, à la transformation et au transport.	Les phenols présente un faible risque de toxicité par absorption de la peau ou par inhalation. Toute portion résiduelle de formaldéhyde non transformé peut causer de l'irritation et des réactions allergiques.
Restrictions	Aucune	La "International Agency for Research on Cancer (IARC)" a identifié le formaldéhyde comme cancérigène chez l'humain.
Biodégradabilité	Sujet au pourrissement (champignon lignivore)	Non

Comparaison des propriétés de l'ébène et de composites

Material	Density kg/m ³	Modulus of Elasticity GPa	Compression Strength MPa	Bending Strength (Modulus of Rupture) Mpa	Sound Velocity m/s
Ébène spp.	1 000 (+/- 8%)	16.1 (+/- 8%)	73.3 (+/- 9%)	148 73.3 (+/- 9%)	4 012 (+/- 3%)
Gaiatone	z axis	1 400	-	312.5	-
	x axis	-	11.9	160.0	167.8
	y axis	-	11.4	155.6	147.6
Sonowood	Spruce	1 240	38.2	129.0	223.0
	Maple	1 360	24.7	113.0	219.0
	Beech	1 360	27.2	113.0	228.0
RanPrex	ML15EL	1 250 (+/-4%)	16.0	145.0	190.0
	ET	1 250 (+/-4%)	16.0	130.0	170.0

Valeurs moyennes (variation)



Nouveaux matériaux, nouvel outillage

Bien que des matériaux plus durs comme le Corène ou le Gaiatone s'usent moins rapidement (moins de redressage de touche nécessaires), l'outil traditionnel s'use beaucoup plus rapidement lors du façonnage, ce qui exige des aiguisages plus fréquents et des aciers spéciaux.

Tout comme pour les bois très minéraux, il convient de repenser son outillage en fonction de ces nouvelles contraintes. Des aciers comme le [PM-V11](#) offrent une tenue de tranchant supérieure, mais l'aiguisage plus laborieux peut convaincre le luthier de s'équiper de pierres au diamant.



Transition vers les machines-outils

Les matériaux composites appliqués en couches ou agglomérés se comportent différemment sous l'outil manuel comparativement au bois.

Les outils rotatifs tranchants (fraiseuse) ou abrasifs (tambours à poncer, ponceuse oscillante fixe ou à main comme le Dremel^{MD}) peuvent s'avérer utiles pour enlever rapidement la matière. Le bon dosage de pression et de vitesse de passe permet de produire des surfaces régulières.

L'opération produit une poussière fine plutôt que des copeaux, ce qui implique de se munir d'un bon système de collecte des poussières et d'un masque respiratoire conséquent.

Façonnage manuel des chants

Des fraises à sculpter ainsi que des polissoirs à lamelles facilitent l'usinage manuel des côtés de la touche.

La fraise à sculpter enlève rapidement et grossièrement la matière.

Les polissoirs à lamelles présentent diverses granulométries (80, 120, 220) et diamètres selon les tâches à accomplir et la quantité de matériau à retirer.



Démonstrations vidéo de l'usinage manuel



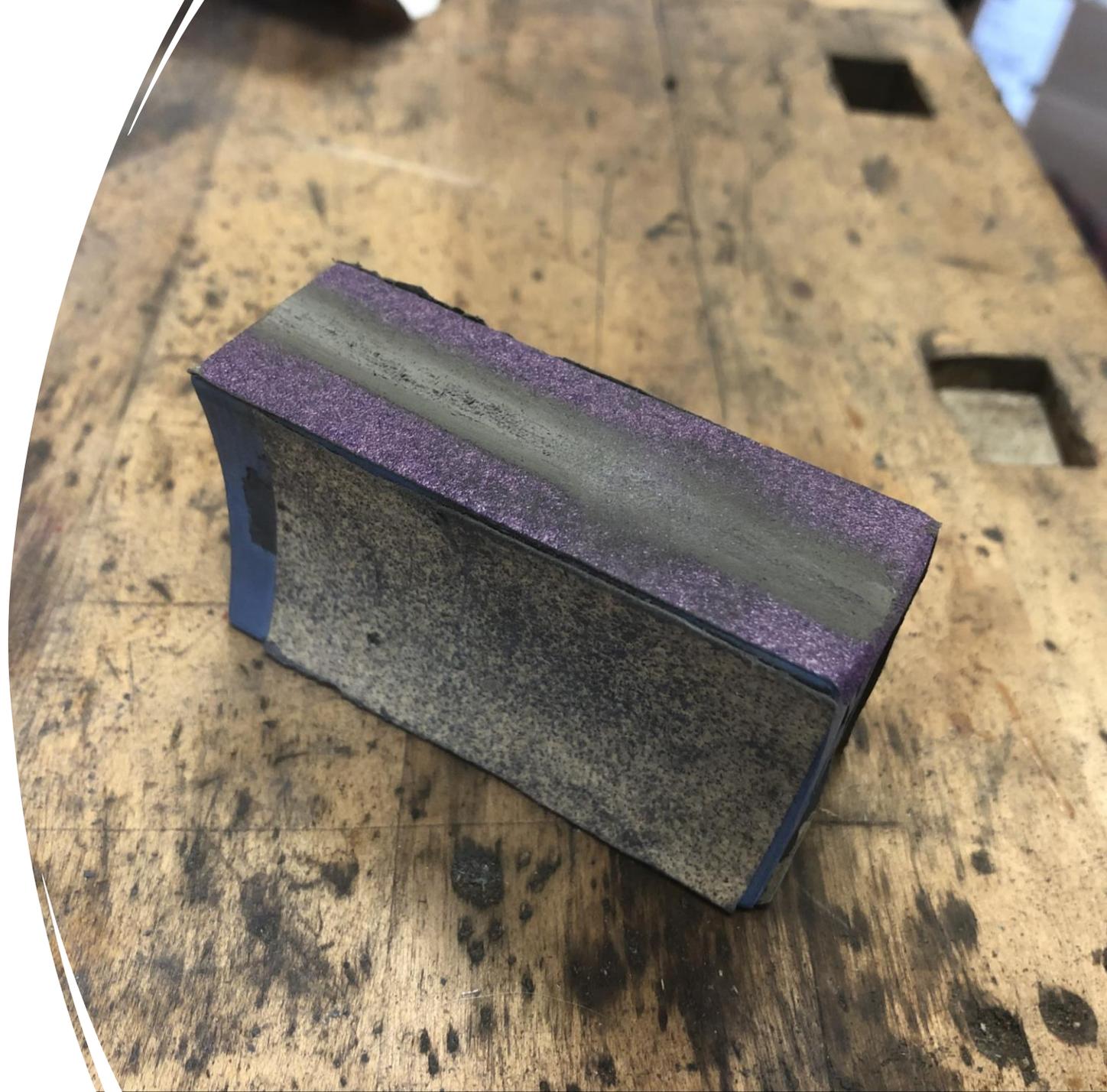
Cales à poncer

La cale à poncer demeure un outil de prédilection pour raffiner et polir les surfaces des touches.

En préparant une série de cales offrant différentes granulométries, le façonnage manuel final des composites est facilité.

Le choix d'un abrasif approprié à grain ouvert est très important (ex.: [Norton A275](#) ou [Norton M920](#)).

N'hésitez pas à vous informer auprès de votre fournisseur spécialisé.



Limes et râpes

Les limes et râpes sont pratiques pour ajuster la largeur de la touche à la poignée du manche de même que pour finir les extrémités des sillons ou de la touche.

Souvent mieux trempé que l'acier des lames de rabots, certaines marques de limes offrent une dureté HRC supérieure à 70, ce qui assure une bonne longévité de l'outil même dans les matériaux les plus exigeants. Leur prix est proportionnel à leur qualité et des marques comme [Grobet](#), [Vallorbe](#) ou [CORINOX^{MD}](#) offrent des lignes de produits supérieures qui surpasseront en performance les autres marques courantes.

À explorer : certaines limes sont spécifiquement développées pour les [résines et matériaux composites](#) ou pour [l'entretien des skis](#).



Limer les chants de la touche



Adhésifs

Certains composites requièrent une colle différente de la traditionnelle colle animale. Pour conserver l'utilisation de la colle animal avec des composites à base de fibre de carbone, il faut coller préalablement sous la touche une semelle en bois à l'aide de colles adaptées aux résines composant le matériau matriciel (époxy, polyuréthane, etc.).

Corene offre un adhésif spécialement conçu pour remplacer la colle animale tout en conservant ses avantages de réversibilité. Les composites à base de papier ou de bois densifiés fonctionnent habituellement bien avec la colle animale.



Le renforcement du manche comme alternative aux touches moins performantes



D'autres bois ont été employés pour la fabrication des touches avant l'introduction de l'ébène en Europe. Il s'avère que ces essences possèdent des propriétés mécaniques inférieures à l'ébène, ce qui peut engendrer des problèmes de déformation prématurée du manche, surtout pour les grands instruments comme le violoncelle et la contrebasse.

Plusieurs luthiers ont désormais adopté une méthode de renforcement du manche à l'aide de tige de carbone pour contrer ce problème (même avec l'ébène et les composites).

[Photo : gracieuseté de Thomas Coleman, luthier.](#)

Remerciements

Ce document a été produit grâce au support et à la contribution des personnes suivantes.

Comité Éducation : Kathy Reilly, chair

Valerie Beausert, Lycée Jean-Baptiste Vuillaume - École nationale de lutherie de Mirecourt (France)

Brianna Goldberg, Alliance International (USA)

Alex Grant, Alex Grant Violins (Austalia)

Boris Haug, Wilhelm Geigenbau (Switzerland)

Simeone Morassi (Italie)

Rémi Rouleau, École nationale de lutherie (Canada)

Elisa Scrollavezza, École de lutherie Renato Scrollavezza (Italie)

Stephanie Voss, Voss Violins (USA)

Autres contributeurs :

Bob Lennon, Thermalwood (Canada)

Boris Haug, Wilhelm Geigenbau (Suisse)

Kathy Reilly, Marcus Bretto, Ceile Kronick, Marit Danielson, Paige Henson & Claire Rowan chez Vermont Violins (USA)

John-Eric Traelnes, Corene (Suisse)

Annie Perkins, Sustainable Forestry Initiative (USA)

Daniel J. Weisshaar, Alliance International (USA)



ALLIANCE