



HAL
open science

Cultural and mechanical approaches in the choice of woods in instrument making: the case of early bows

Iris Brémaud, Nelly Poidevin

► **To cite this version:**

Iris Brémaud, Nelly Poidevin. Cultural and mechanical approaches in the choice of woods in instrument making: the case of early bows. M. Castellengo & H. Genevoix. “ La musique et ses instruments / Music and its instruments ”, Editions Delatour France, pp.1-27, 2013, 978-2-7521-0159-4. hal-01085296

HAL Id: hal-01085296

<https://hal.science/hal-01085296>

Submitted on 21 Nov 2014

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.

APPROCHES CULTURELLES ET MECANIQUES DANS LE CHOIX DES BOIS EN FACTURE: CAS DES ARCHETS ANCIENS

Iris Brémaud¹, Nelly Poidevin²

1- Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, CNRS – Univ. Montpellier II (France)
& Faculty of Life and Environmental Science, Kyoto Prefectural Univ. (Japan)

2- Archetière, 18 rue François Luzel F-22100 Dinan (France)

ABSTRACT

CULTURAL AND MECHANICAL APPROACHES IN THE CHOICE OF WOODS
IN INSTRUMENT MAKING : THE CASE OF EARLY BOWS

Background in organology and in the history of instrument bows. As the constitutive material of many musical instruments, woods contribute to their identity (musical, structural, aesthetical) and play a role in their design and/or evolution [1]. Since the introduction of bows in Europe, they underwent successive developments in their shapes and in the chosen wood species, in link with evolutions in performance modalities and in repertoire [2,3], before the adoption of the modern model of bow and of pernambucco wood. But the range in historically used woods is very little known.

Background in mechanics and wood sciences applied to instruments. The different parts/functions of musical instrument involve different categories of physical and mechanical, including vibrational, properties [4]. But the vast majority of studies concern a few archetypal woods for western instrument in their modern configuration. Thereby, in the case of bows, characterizations mostly addressed the mechanical properties of pernambucco [5-10], while the properties of woods that were used before the generalization of its use are virtually unknown.

Aims. The general goal is to better understand the contribution of wood choice to the cultural and musical identity of instruments, depending on regions or epochs. More specifically, this paper aims at exploring the relationships between the evolutions in playing modes that are associated to different models of bows on one hand, and the mechanical properties of the different woods that were used in history.

Main contribution. A survey of woods used in instrument making from different culture has been made. Such uses can be set against a database on mechanical properties of 450 species, which gathers numerous experimental characterizations together with synthesis of existing literature data. A research into historical sources (written and iconographic, surviving bows) has led to an inventory of different species that may have been used in European bows from Middle Age to the XIXth century. Mechanical properties were assessed on woods actually used in the building of reconstructions of bows for the interpretation of early music. The possible relationships between wood properties, shapes of the bows, and possibilities of playing modalities are explored. Woods used in the reconstruction of different historical models show distinct ranges of properties. The comparison, allowed by the database that has been created, of the properties of numerous other species used across centuries suggests progressive transitions in terms of wood choice. Availability of wood resources seems to have played an important role in the evolution of bows, and probably of that of musical possibilities, insofar as baroque and later bows probably could not have been developed without the woods of very high density and rigidity imported from Latin America.

Implications. Presented works allow to better understand the relationships between wood choice (including availability), evolution of the making and structures, and possibilities of musical expression. Some « transitional » epochs are characterized by their variety of experimentations. Notably, the beginnings of the modern bow in pernambucco coexist with quite a few other used species, before the standardization of the XIXth century. Such historical trends in the common evolution or adaptation between the bow structure and materials can provide inspiration sources for future development. Notably, the data collected about the diversity of mechanical properties of woods could, in combination with analyses on the structure per se, [3], open the way to novel adaptations between woods and geometry to overcome the foreseeable difficulties in pernambucco wood availability.

RESUME

Etat de l'art en facture instrumentale et histoire des archets. En tant que matériau constitutif de nombreux instruments de musique, les bois participent à leur identité (musicale, structurelle, esthétique), et interviennent dans la conception et/ou l'évolution de la facture [1]. Depuis l'introduction de l'archet en Europe, des développements dans les formes et dans les espèces de bois choisis se sont succédés, en lien avec des évolutions de mode de jeu et de répertoire musical [2,3], avant l'adoption du modèle moderne et du bois de pernambouc. Mais l'éventail des espèces utilisées dans l'histoire est très peu connu.

Etat de l'art en mécanique et sciences du bois appliquées aux instruments. Les différentes parties d'instruments de musique font appel à différentes catégories de propriétés physiques et mécaniques dont vibratoires [4]. Mais la quasi-totalité des études portent sur quelques bois archétypes pour des instruments occidentaux dans leur configuration moderne. Ainsi, pour les archets, les caractérisations concernent surtout le Pernambouc [5-10], mais les propriétés mécaniques des bois employés avant la généralisation de son usage sont quasiment inconnues.

Objectifs. L'objectif général est de mieux appréhender la contribution des bois dans l'identité culturelle et musicale des instruments, selon les régions ou époques. Cet article vise plus spécifiquement à explorer les relations entre les évolutions de mode de jeu associées aux différents modèles d'archets, et les propriétés mécaniques des différentes espèces employées au cours de l'histoire.

Contribution principale. Les bois employés en facture instrumentale dans différentes cultures ont été recensés. Ces usages peuvent être mis en relation avec une base de données sur les propriétés mécaniques vibratoires de 450 espèces, qui regroupe de nombreuses caractérisations expérimentales ainsi qu'une synthèse de la littérature existante. Une recherche sur les sources historiques (écrite et/ou iconographiques, archets conservés) a permis de relever les différentes espèces ayant pu être employées dans les archets européens du Moyen Âge jusqu'au XIX^e siècle. Les propriétés mécaniques ont été mesurées sur des bois effectivement utilisés dans la reconstitution d'archets pour l'interprétation des musiques anciennes (vièles médiévales, violon Renaissance, baroque, classique). Les relations possibles entre propriétés des bois, formes des archets, et possibilités de modes de jeu pour différentes époques et répertoires musicaux sont explorées. Les bois employés dans la reconstitution de différents modèles historiques présentent des gammes de propriétés bien distinctes. La comparaison, grâce à la base de données qui a été créée, des propriétés de nombreuses autres espèces utilisées au cours des siècles suggère des transitions progressives en termes de choix de bois. La disponibilité des ressources semble avoir joué un rôle important dans l'évolution des archets, et probablement dans celle des possibilités musicales, dans la mesure où les archets baroques et plus tardifs n'auraient vraisemblablement pas pu se développer sans les bois de densité et rigidité très élevées importés d'Amérique Latine.

Retombées. Les travaux effectués permettent de mieux appréhender les relations entre choix de bois (dont disponibilité), évolution de la facture et des structures, et possibilités d'expression musicale. Certaines époques de « transition » se distinguent par leur variété d'expérimentations. Notamment, les débuts de l'archet moderne en pernambouc cohabitent avec d'assez nombreuses autres essences, avant la standardisation du XIX^e siècle. Ces tendances historiques dans l'évolution ou l'adaptation conjointe entre structure et matériau des archets peuvent fournir des sources d'inspiration pour des développements futurs. Notamment, les données collectées sur la diversité des propriétés mécaniques des bois pourraient, en combinaison avec des analyses sur la structure proprement dite [3], permettre de nouvelles adaptations entre bois et géométrie pour pallier aux difficultés prévisibles d'approvisionnement en pernambouc.

1. INTRODUCTION

En tant que matériaux constitutifs de très nombreux instruments de musique, les bois participent à leur identité, que ce soit sur le plan musical (interactions matériau – structure dans la définition du timbre ou bien de la jouabilité) ; structurel (formes, dimensions et assemblages permis par un matériau et stabilité / résistance résultantes) ; ou encore esthétique. Le choix des bois intervient également dans la conception et/ou l'évolution en facture instrumentale [1]. Ce choix peut être modulé par des aspects de culture artisanale, d'évaluation empirique des propriétés, ainsi que de disponibilité de la ressource. Cependant, quelles que soient les raisons initiales de choix d'un bois, ses propriétés physiques et mécaniques joueront un rôle sur le comportement de l'instrument. Ceci s'applique bien sûr quand un bois nouveau est essayé pour une partie d'instrument dont la structure est déjà relativement fixée, mais bien plus encore lorsque et la structure et le choix de bois subissent des modifications conjointes.

Les propriétés physiques et mécaniques des bois « requises » diffèrent bien entendu selon les types d'instruments et leurs différentes parties. Pour ce qui est des propriétés « acoustiques » (que nous préférons appeler vibratoires ou dynamiques), les bois d'épicéas (*Picea abies* et *P. spp*) sélectionnés pour des tables d'harmonie d'instruments à cordes occidentaux contemporains (quatuor, guitare, piano...) sont caractérisés par un très fort module spécifique¹ (E'/ρ) et par un coefficient d'amortissement² ($\tan\delta$) dans la gamme inférieure pour ces types de bois [11,12]. Ils présentent aussi une très forte anisotropie³ qui joue sur le timbre. Différents indices combinant la densité et les propriétés mécaniques ci-dessus ont été proposés comme indicateurs de la « qualité » des bois de tables en lutherie [12-15]. Cependant, à l'intérieur de la gamme des bois « de qualité lutherie » il existe une assez importante variabilité résiduelle [16,17]. Ceci reflète d'une part des préférences sonores individuelles (i.e. subjectives), d'autre part la capacité des luthiers à adapter la structure à des variations modérées de matériau. En facture de guitares, la préférence de certains musiciens pour la « sonorité » associée aux tables en red cedar (*Thuja plicata*) montre aussi la relation entre choix de matériaux et différents critères sonores / musicaux, ce bois ayant un plus faible module spécifique que l'épicéa et une plus faible anisotropie, mais surtout un coefficient d'amortissement exceptionnellement faible pour un résineux [17,18]. L'importance des propriétés des bois pour les touches de percussions à clavier (xylophones) est beaucoup plus tranchée : le principal paramètre relié à la qualification psychosensorielle et/ou au choix des bois est un très faible coefficient d'amortissement du fondamental [19-21].

Dans le cas des archets, la comparaison entre le pernambouc (*Caesalpinia echinata*) qui est le bois archétype pour les archets modernes de haut de gamme, et d'autres espèces employées en archets de moindre qualité, indique que le bois préféré est dans une gamme de densité et de module d'Young⁴ élevée, mais non pas dans la gamme maximale pour les bois [8-10]. Il est en revanche caractérisé par un coefficient d'amortissement exceptionnellement faible [5, 6,22]. Dans le cas des archets, le comportement dynamique est délicat à interpréter. Il a été suggéré qu'un faible amortissement permette que l'énergie fournie par le musicien serve effectivement à mettre en vibration la corde, plutôt que d'être absorbée par l'archet [6], et joue un rôle dans la sonorité et/ou la jouabilité [14]. Des archets finis classés

¹ Le module spécifique détermine la vitesse de propagation du son ainsi que les fréquences de résonance d'une pièce de bois de géométrie donnée.

² Le coefficient d'amortissement détermine la vitesse d'atténuation d'une vibration, causée par l'absorption d'énergie par le matériau.

³ Anisotropie = différences de propriétés selon les directions du bois ; elle joue sur les modes de résonance de plaques, et sur la distribution spectrale du niveau de pression sonore, i.e. sur le timbre

⁴ Le module d'Young représente la relation proportionnelle entre une contrainte mécanique et la déformation élastique résultante. Il détermine la rigidité d'une pièce de bois de géométrie donnée.

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

comme « très bons » présentaient en moyenne un amortissement plus faible que d'autres classés comme « mauvais » [23]. Mais cette question est délicate et manque encore de validations théoriques comme psychoacoustiques.

Il faut remarquer que 99% des études concernant les relations entre propriétés physiques-mécaniques des bois et utilisations en instruments n'ont porté que sur des instruments de musique « savante » occidentale dans leurs modalités de fabrication actuelle. Les gammes de propriétés de bois déterminées sont d'alors souvent considérées comme des « standards » potentiellement invariants, auxquelles pourraient être comparées les « qualités » des bois employés dans d'autres cultures géographiques et/ou historiques. Il est cependant plus que probable que des différences de cultures musicales (esthétique en terme de timbre et de mode de jeu), artisanales (techniques de mise en œuvre et de finition des bois), ainsi que les différences de structure des instruments, mais aussi de ressources en bois accessibles, se traduisent par des choix de bois très nettement différents, tant en terme d'espèces botaniques, que de propriétés physiques – mécaniques.

Le cas des archets européens à travers différentes époques, depuis le Moyen-âge jusqu'à l'époque contemporaine, est particulièrement intéressant vis-à-vis de ces questions. Effectivement, les archets ont connu de nombreuses étapes de variations, en lien avec les modifications de répertoire musical, de mode de jeu, et probablement de différences dans les préférences sonores. Durant cette évolution, des développements - souvent conjoints - dans les formes [2] et dans les essences de bois choisies se sont succédés. Les différentes structures successives, associées aux besoins de modes de jeu en constante évolution suivant le répertoire et les conditions d'exécution, demandent à priori différentes propriétés mécaniques des matériaux utilisés. En parallèle, sur cette longue plage historique, les ressources en bois accessibles se sont diversifiées, grâce aux différentes vagues d'importations de bois « exotiques » depuis le Moyen Âge jusqu'au XIX^e siècle. On peut noter que le critère de disponibilité de la ressource pourrait être à nouveau d'actualité, dans la mesure où le commerce international du pernambouc est strictement réglementé depuis son inscription en 2007 à l'annexe II de la CITES⁵.

L'objectif de notre recherche est d'explorer ces relations entre évolution des archets, développements musicaux, et propriétés mécaniques des bois employés. Elle s'appuie sur une étude des sources historiques disponibles quant aux espèces ayant pu être utilisées à différentes époques, ainsi que sur un recensement large de la diversité des propriétés mécaniques des bois. Les résultats sont analysés à deux niveaux : d'une part, par la caractérisation des propriétés de bois actuellement employés dans la reconstitution d'archets destinés à l'interprétation des musiques anciennes ; d'autre part, par la comparaison des propriétés des différentes espèces dont l'usage historique a pu être relevé.

Bien sûr, dans la définition du comportement des archets et de ses répercussions sur les modes de jeu associés aux différents répertoires musicaux, les essences de bois choisies et leurs propriétés sont indissociables des différentes structures d'archets. L'approche « matériau » développée dans cet article est complémentaire d'une approche « structure » qui est développée en parallèle [3].

2. RECENSEMENT DES BOIS DE FACTURE ET DE LEURS PROPRIETES MECANIQUES

Afin d'obtenir une vision globale des relations entre usages de bois en facture instrumentale, et propriétés mécaniques, nous avons créé une base de données relationnelle dédiée à ces questions [24]. Dans la construction de cet outil, l'accent a été porté sur des informations qui sont peu connues et difficiles d'accès. D'une part, les bois employés dans la facture instrumentale de cultures extra-européennes et/ou de différentes époques. D'autre part, les propriétés vibratoires des bois, y compris le coefficient d'amortissement des

⁵ CITES = Convention on International Trade of Endangered Species

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

vibrations, les données sur ce dernier paramètre étant jusqu'alors très dispersées et mal connues. Les données recensées sont organisées en trois modules principaux détaillés ci-dessous.

2.1 Bois de facture dans différentes cultures

Les informations sur les bois utilisés en facture instrumentale de différentes culture ont été collectées d'après des sources écrites relevant de différentes disciplines scientifiques: (ethno-) musicologie, organologie, ethnobotanique, foresterie, sciences du bois, acoustique musicale ; mais aussi de traités techniques ou de catalogues de lutherie, ainsi que d'entretiens personnels avec des facteurs d'instruments. Les informations collectées jusqu'à présent proviennent d'une cinquantaine de sources. Chaque occurrence « usage de bois » est définie par l'espèce utilisée (nom vernaculaire cité, nom botanique associé), l'instrument dans lequel il est utilisé dans une région (et/ou époque) donnée, la partie d'instrument, et, lorsque l'information est disponible, la fréquence d'utilisation (bois « préféré » ou usage occasionnel), les critères de choix éventuels, et des observations diverses à l'usage.

Ce module recense actuellement 300 espèces citées dans 900 associations « espèce de bois – partie d'instrument », dont 700 pour des parties structurelles, couvrant les 4 principales familles organologiques et les 5 continents.

2.2 Propriétés mécaniques vibratoires

Une table recense spécifiquement les données sur les propriétés mécaniques vibratoires, incluant le coefficient d'amortissement (en conditions fixées de température et de fréquences). Ces données proviennent d'une part de nos caractérisations expérimentales, d'autre part par d'une revue de la littérature existante sur le sujet.

2.2.1 Caractérisations expérimentales

Les essais mécaniques ont porté sur 78 espèces (12 résineux, 11 feuillus tempérés et 55 feuillus tropicaux), couvrant 98 types de bois (i.e. bois de cœur et aubier, ou « bois commun » et « qualité lutherie », pour certaines espèces). Le matériel provenait pour partie des stocks bien identifiés du CIRAD⁶. L'autre partie a été fournie par plusieurs facteurs d'instruments à cordes français. L'ensemble de l'échantillonnage couvrait plus de 1700 spécimens de bois.

Tous les bois ont été mesurés après avoir été stabilisés pendant au moins deux semaines dans des conditions de température et d'humidité régulées (20°C et 65% d'humidité relative de l'air). Effectivement, les propriétés vibratoires sont très sensibles à l'humidité.

⁶ CIRAD = Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement. Echantillons fournis par l'unité « Production et valorisation des bois tropicaux et méditerranéens » à Montpellier.

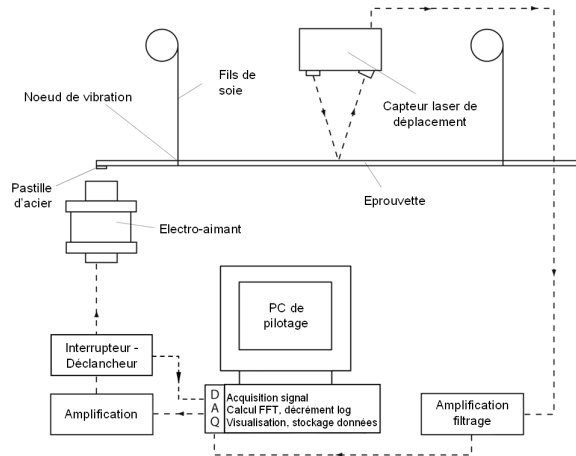


Figure 1. Schéma du dispositif de mesures par vibrations forcées sans contact.

L'ensemble des essais a été réalisé par une méthode par vibrations forcées sans contact de poutres libre-libre très élancées [12,22]. L'éprouvette est mise en vibration par un électro-aimant placé en regard d'une fine pastille d'acier collée en bout d'éprouvette (Figure 1). Un balayage en fréquence permet de mesurer la fréquence de résonance du premier mode et son facteur de qualité Q (largeur de bande à demi-puissance). Puis l'excitation est fixée à la fréquence de résonance, stoppée, et le coefficient d'amortissement ($\tan\delta$) mesuré par le décretement logarithmique de l'amplitude. Les deux mesures doivent être similaires ($\tan\delta = Q^{-1}$). Le module spécifique ($E^*/\rho = \text{module d'Young } E \text{ divisé par la densité } \rho^7$) est calculé à partir de la fréquence de résonance et des dimensions par la formule d'Euler-Bernouilli. La précision moyenne est de 5%. Les essais sont dans la gamme de fréquence 200-700Hz.

2.2.2 Synthèse des données de la littérature

Le module « propriétés vibratoires des bois » recense également la majorité des données existantes dans la littérature, issues de 36 références. Toutes ces données ont été vérifiées quant à la compatibilité de leurs conditions de mesures (hygrothermie, fréquences). L'ensemble des données (littérature + caractérisations expérimentales) couvre 450 espèces de bois, correspondant à plus de 6500 essais.

2.3 Aspects botaniques

Les informations d'ordre botanique sont centralisées dans un seul module pour toutes les espèces de bois recensées soit pour leurs usages en facture instrumentale, soit pour leurs propriétés vibratoires, soit les deux. La classification botanique simple (famille, genre, espèce) est systématiquement vérifiée, et deux modules « satellites » listent les noms vernaculaires et les noms latins invalides qui peuvent être rencontrés dans la littérature. D'autres types d'information peuvent aussi être renseignés, comme la distribution géographique de l'espèce ou son statut de conservation.

Ce module est crucial pour assurer la mise en relation des informations d'ordre culturel, et d'ordre mécanique (Figure 2) ; effectivement, seul un nom botanique unique et valide permet d'assurer la bonne correspondance des données.

⁷ La densité s'exprime sans unité. Ses valeurs correspondent à une masse volumique exprimée en g.cm^{-3} .

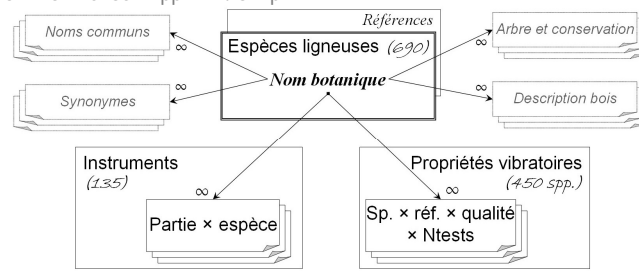


Figure 2. Schéma de l'architecture générale de la base de données « bois - instruments - propriétés vibratoires ».

2.4 Distributions des densités et propriétés mécaniques des bois

Selon les différentes parties d'instruments, et le contexte géoculturel, les bois choisis peuvent appartenir à différentes grandes catégories (par exemple, usage exclusif de résineux pour les tables d'harmonie d'instruments à cordes «classiques occidentaux ; dans d'autre parties et instruments, usages prédominants de feuillus tempérés et/ou tropicaux). Dans l'optique de comparer les propriétés matérielles associées aux différentes ressources disponibles, leurs distributions par grandes catégories sont présentées ci-dessous.

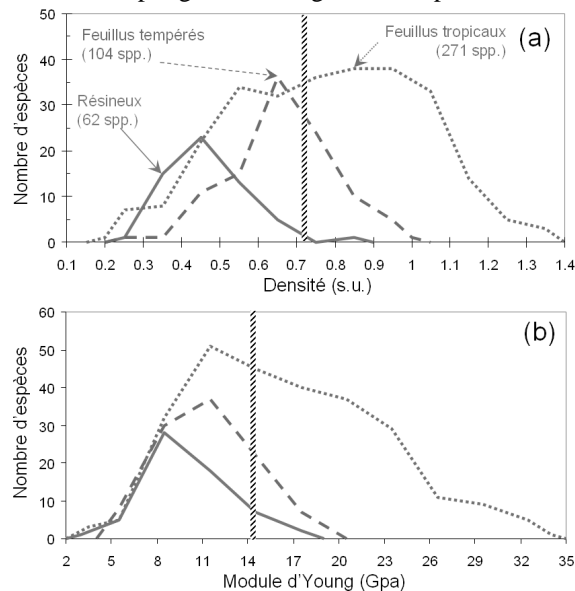


Figure 3. Distribution (en nombre d'espèces) de la densité (a) et du module d'Young (b) par grandes catégories. La ligne verticale représente la moyenne sur toutes les espèces.

En ce qui concerne la densité (Figure 3a), on retrouve dans notre base de données les différences bien connues entre résineux et feuillus, ainsi qu'entre feuillus tempérés et tropicaux. Ces derniers couvrent à la fois les plus faibles densités et les plus élevées. Ils sont surtout les seuls à pouvoir présenter des densités supérieures à 1,0, et ce pour de nombreuses espèces. Ces fortes densités, mais aussi une proportion importante de valeurs de module spécifique supérieures à la moyenne (Figure 5a) font que les fortes valeurs (>20GPa pour les moyennes par espèces) de module d'Young (Figure 3b) ne peuvent être trouvées que sur des feuillus tropicaux.

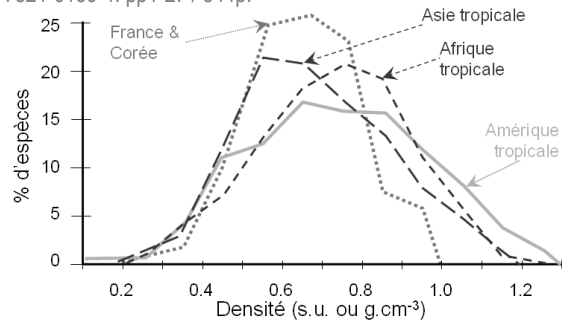
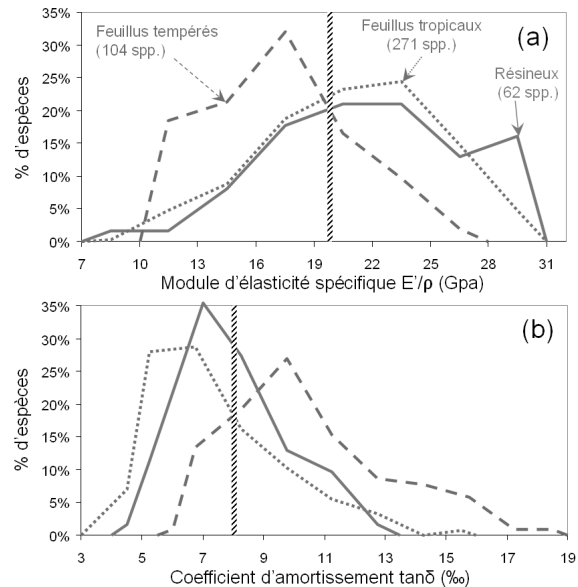


Figure 4. Fréquence de distribution, par régions du Monde, de la densité de 3000 espèces de feuillus. Redessiné d'après [25].

Dans l'optique des ressources en bois disponibles dans différentes régions et/ou à différentes époques, des distributions un peu plus fines au niveau géographique seraient intéressantes. Pour la densité des bois tropicaux, les moyennes par continents ou régions sont peu différentes [25] ; par contre, les distributions diffèrent (Figure 4), avec notamment une plus forte proportion de bois très denses en Amérique tropicale.

Les trois grandes catégories de bois ci-dessus diffèrent également dans leurs propriétés vibratoires, ou « dynamiques » (Figure 5). La différence entre feuillus tempérés et tropicaux est ici flagrante, ces derniers ayant des distributions de propriétés plus proches des résineux. Pour ce qui est du module spécifique (Figure 5a), les résineux se distinguent néanmoins par un « pic » dans les valeurs les plus élevées, qui correspond pour partie à différentes espèces d'épicéa – mais aussi à des espèces d'autres genres dans différentes régions tempérées. Pour ce qui est du coefficient d'amortissement des vibrations (Figure 5b), les résineux sont à peu près centrés autour de la moyenne générale, tandis que les feuillus tempérés ont majoritairement des valeurs d'amortissement plus fortes que la moyenne. Les feuillus tropicaux ont une distribution large mais avec une majorité d'espèces au-dessous de la moyenne. Ce sont aussi les seuls bois à présenter les plus faibles valeurs d'amortissement (19 espèces avec des valeurs moyennes inférieures à 4.5‰ pour un seul résineux dans cette gamme ; 95 espèces < 6‰ pour 7 espèces de résineux dans cette gamme).



Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

Figure 5. Distribution (en fréquence) des propriétés dynamiques : module spécifique (a) et coefficient d'amortissement (b) par grandes catégories. La ligne verticale représente la moyenne sur toutes les espèces.

Ces distributions de propriétés mériteraient certes d'être détaillées sur des catégories de bois plus fines, néanmoins elles permettent d'ores et déjà de mieux appréhender les répercussions en termes de propriétés matérielles qu'ont pu impliquer – dans le cas de l'histoire des archets en Europe – les différentes vagues d'importation de bois « exotiques » au cours des siècles.

La base de données peut également permettre de comparer les différents bois employés pour « une » fonction en instruments, mais dans différentes cultures, par exemple les bois de percussions à clavier (« xylophones ») dans différents continents [21]. Nous nous servons ci-dessous pour comparer différentes espèces ayant pu être employées en archets à différentes époques historiques.

3. LES BOIS D'ARCHETS DANS L'HISTOIRE

Les informations sur les différentes essences de bois qui ont pu être utilisées, ou auraient pu l'être, pour la fabrication des baguettes d'archet sont très parcellaires. Elles sont issues de différentes sources historiques. Les plus faciles à exploiter sont constituées par les collections d'archets originaux. Mais, il n'est pas toujours possible d'identifier les bois. D'autre part, très peu de pièces antérieures au XVIII^e siècle sont encore préservées. Pour pallier cette lacune, on a recours aux témoignages écrits : ce sont différents traités, encyclopédies, méthodes instrumentales et divers documents d'archives (statuts de corporations, correspondances, factures, inventaires). On se heurte alors à l'épineux problème de la reconnaissance d'une espèce à travers sa dénomination ancienne. La recherche s'appuie aussi sur l'abondante iconographie. Mais, s'agissant du bois, les informations qu'elle nous restitue sont assez succinctes : si quelques peintres ont réellement pris la peine de représenter un bois par le détail, les quelques renseignements que l'on peut glaner concernent la couleur et la grosseur des baguettes, ce qui nous donne, éventuellement, des indications sur la densité du matériau et son appartenance à la catégorie des bois exotiques ou des bois européens. Il est évidemment nécessaire d'examiner, pour chaque période, l'état de l'approvisionnement en bois et ses différents circuits commerciaux. Pour finir, il peut aussi être utile de s'intéresser aux essences utilisées pour des usages apparentés.

3.1 Le Moyen Âge

Originaire d'Asie centrale, l'archet est introduit en Europe au début du XI^e siècle. La très riche iconographie médiévale nous le révèle sous des apparences multiples : les baguettes convexes présentent une courbe plus ou moins haute et plus ou moins complexe ; les longueurs sont très contrastées, allant de 30 cm à 120 cm ; l'importance et la répartition des épaisseurs varient aussi beaucoup d'un archet à l'autre. Toute cette diversité implique probablement des qualités de bois différentes. Mais nous avons très peu d'indices pour la reconnaissance des essences utilisées.

Un seul archet nous est parvenu de cette période initiale. Il s'agit d'un fragment d'archet viking datant du XI^e siècle qui a été découvert dans les fondations d'une maison à Dublin [26]. Il était accompagné de chevilles d'instrument à cordes, ce qui permet de l'authentifier comme un archet. Il a été fabriqué dans du cornouiller mâle (*Cornus mas*). C'est un bois dense, homogène, très résistant, qui a été exploité pour ses qualités mécaniques dans de nombreux domaines techniques au Moyen Âge. La densité et l'extrême dureté de ce bois ainsi que la grosseur de la baguette semblent indiquer que l'on recherchait dans ce cas concret un archet très rigide et très lourd. Cela correspond à un instrument à l'émission

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

probablement difficile et à une fonction musicale particulière. Durant les six siècles de l'histoire de la vièle, les modes de jeu ont changé. La facture des instruments a évolué, les discours musicaux se sont diversifiés. La qualité des archets s'est adaptée à ces différentes conditions. En témoigne la variété des tenues révélée par l'iconographie : si, dans les trois premiers siècles, l'archet était empoigné très fermement, la pression s'est progressivement relâchée. Au XIV^e siècle, la main saisit avec délicatesse un archet sans doute plus léger et réactif pour un jeu plus virtuose. On peut supposer que le choix des bois a suivi ces nouvelles exigences.

À défaut d'autres archets originaux, nous sommes amenés, pour avoir une idée des essences employées, à interroger de nouvelles sources. Les témoignages textuels ne sont pas non plus d'un grand recours. Il existe, à cette époque, très peu de traités et de documents d'archives relatifs aux instruments. La consultation des statuts de corporation apporte des indications sur les bois préconisés pour chaque activité. Mais peut-on être sûr que les archets faisaient l'objet d'une production professionnelle ? Les facteurs d'instruments, à l'époque, n'étaient pas regroupés en corporation spécifique, mais étaient affiliés à d'autres communautés, comme celle des tabletiers à Paris. Etienne Boileau, dans le Livre des Métiers qui consigne les règlements sur les arts et métiers de Paris, écrit en 1268 que le tabletier ne devra utiliser avec le buis que des bois chers « à savoir cade, bénus, brésil et cyprès ». Si ces précisions ne doivent pas s'appliquer formellement à la facture des archets, elles révèlent néanmoins qu'on exploitait déjà des arbres qui ne poussaient pas dans nos contrées, en l'occurrence l'ébène (bénus) et le brésil. La première espèce désignée depuis l'Antiquité par le nom d'ébène n'est pas une ébénacée mais une légumineuse, le *Dalbergia melanoxylon* ou grenadille. Mais au Moyen Âge, on connaît aussi l'ébène de l'Inde (*Diospyros ebenum*). Quant au brésil, c'est un terme qui a été donné de manière générique à différents bois servant à la teinture rouge, parmi lesquels on trouvera plus tard le pernambouc. Au Moyen Âge, il désigne un bois venu du sud-est asiatique, le sappan ou *Caesalpinia sappan* (sappan signifie braise en malais). Le sappan est connu depuis l'Antiquité. En France, il est mentionné dès le XI^e siècle sous le nom de *kerka bersil*. Le sappan arrivait du Levant à Venise d'où il était réexpédié en billes entières par mer ou par terre vers le reste de l'Europe. Depuis le IX^e siècle, les Vénitiens négociaient avec les marchands musulmans qui pratiquaient un commerce maritime et caravanier de l'Espagne jusqu'en Chine, en passant par une partie de l'Afrique, l'Inde et l'Insulinde, mais aussi l'Asie centrale le long des routes de la soie. Bien sûr, lors de ces voyages lointains et périlleux, on privilégiait des marchandises de grande valeur sous peu de volume et peu de poids. À priori, on peut supposer que les bois étaient exclus de ces cargaisons. Pourtant, sur la liste des denrées embarquées, à côté de l'or, des perles, des pierres précieuses, des soieries, des épices, on trouve les bois de teinture. Les textiles constituaient l'industrie numéro un à travers le monde et il n'est pas étonnant que les produits tinctoriaux aient fait l'objet d'un commerce international très important [27].

Les recommandations du Livre des Métiers de Boileau concernent la fabrication d'objets de valeur. Les archets n'étaient sans doute pas assez prestigieux pour mériter qu'on leur destinât des bois importés à grands frais. On peut néanmoins en chercher des traces dans l'iconographie. Si l'on rencontre bien des baguettes noires et orangées, on ne peut pas en conclure systématiquement qu'il s'agit d'ébène ou de sappan. Par contre, on voit très distinctement représenté le bambou. Or le bambou est cité comme un article de transactions dans les récits des marchands arabes du haut Moyen Âge. Cependant l'essentiel des miniatures nous donne à voir des baguettes blanches ou marron. On a donc probablement utilisé des bois plus communs.

Pour tenter de les identifier, nous pouvons encore nous inspirer des choix techniques qui ont été faits pour des réalisations apparentées. Tout naturellement la facture des arcs, qui a fait l'objet de plusieurs traités au Moyen Âge, paraît susceptible de nous guider. Les bois

cités dans les manuels d'archerie sont l'if, le frêne, l'orme, le buis, le cytise et l'érable [28]. Cependant les contraintes de fabrication ne sont pas les mêmes que pour les archets : les arcs travaillent dans des conditions extrêmes, à la limite de la rupture; ils nécessitent des pièces de bois assez grandes et droites de fil. Les archets peuvent se contenter de pièces plus petites. D'autre part, les bois comme le frêne ou l'orme présentent, à l'échelle d'un diamètre d'archet, un matériau trop hétérogène avec une proportion importante de bois de printemps plus poreux. La structure du cornouiller évoqué plus haut suggère qu'un bois homogène et dense est mieux adapté à la taille d'un archet. Parmi les bois lourds et homogènes facilement disponibles, on peut citer le hêtre, l'érable, le buis, le charme, le houx, le cytise, l'alisier, le cormier et d'autres fruitiers comme le prunier, l'abricotier, l'amandier. On peut avancer qu'ils ont pu convenir à la facture des archets.

3.2 La Renaissance

La connaissance des bois utilisés à la Renaissance n'est pas beaucoup plus documentée. Les archets originaux préservés sont à peine plus nombreux qu'au Moyen Âge. Le plus ancien remonte au milieu du XV^e siècle. Il fait partie des reliques de Sainte Catherine de Vigri conservées à Bologne [29]. Son bois n'a pas été identifié. Il est en de même pour celui des archets de la cathédrale de Freiberg qui datent de la fin du XVI^e siècle [30]. On a pu néanmoins déceler sous leur dorure un bois de fruitier léger (l'archet de ténor pèse 22 grammes, celui de petite basse 32 grammes). Le musée de Vienne présente des archets datés du XVI^e siècle [31]. Beaucoup sont sûrement postérieurs car leur forme ne se retrouve jamais dans l'iconographie avant le XVII^e siècle. Mais au moins quatre parmi eux peuvent remonter au XVI^e siècle. L'un d'eux est entièrement doré, un autre a été fabriqué dans un bois issu de feuillu, sans plus de précision. Mais les deux derniers ont la particularité d'être en bois de palmier. Il semble que ces archets soient les seuls spécimens qui nous soient parvenus de la Renaissance.

Les témoignages écrits sont à peine plus informatifs. Aucun des nombreux traités sur les instruments imprimés au XVI^e siècle ne fait allusion à la fabrication des archets. En outre, une nouvelle source de renseignements sur la facture instrumentale nous est désormais fournie par les inventaires après décès de facteurs ou de joueurs d'instruments mais les archets ne sont pas souvent cités. On leur accorde sans doute très peu de valeur car on signale plus facilement les étuis qui accompagnent les instruments que les archets. Parmi les inventaires du XVI^e siècle, le seul qui mentionne le matériau des archets répertoriés est celui d'un orchestre de Vérone [32]. Il a été établi en 1562 et précise que les baguettes sont en « canne d'Inde ». Le sens de cette dénomination m'a été révélé dans des ouvrages plus tardifs, des XVII^e et XVIII^e siècles [33] [34]. Il s'agit du bambou.

La peinture de la Renaissance, plus descriptive que les enluminures du Moyen Âge, nous apporte des confirmations de l'utilisation de certains matériaux comme le bambou et l'ébène. Par ailleurs cohabitent toujours des baguettes de couleur orange mais surtout beiges ou marron. Quels bois ces images sont-elles censées figurer ? Les modèles d'archets que la peinture nous restitue sont généralement courts et robustes pour le violon auquel on demande des qualités de scansion et de vivacité pour l'exécution de la musique de danse. Les archets de viole peuvent être plus longs mais ils gardent une forte section. Les archets de rebec sont plutôt courts et fins et la laxité de la tenue suggère un jeu éthéré. Toutes ces baguettes ont pu s'accommoder d'un bois léger dont on a éventuellement compensé la flexibilité en grossissant le diamètre. Par contre, les archets de lira da braccio sont tous longs et fins. Le jeu polyphonique associé à cet instrument requiert de la souplesse. Mais certaines baguettes ne se bombent pas sous la tension des crins, elles restent droites, parallèles à la mèche. Elles devaient être exécutées dans un bois très résistant pour garder cette rectitude. Pouvait-on obtenir une telle fermeté avec un bois indigène ou bien profitait-on déjà de la dureté et de la densité des bois exotiques ?

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

Les réseaux commerciaux s'étaient étoffés grâce à la découverte de l'Amérique et au développement des routes maritimes que les Portugais avaient ouvertes le long de la côte ouest de l'Afrique, dans l'Océan Indien et vers les pays du sud-est asiatique. Les progrès de la construction navale permettaient aux bateaux de transporter des charges plus lourdes et l'on ne se privait pas de rapporter du bois des nouveaux territoires exploités. Mais au XVI^e siècle c'étaient encore l'ébène et les bois de teinture qui alimentaient le gros du trafic. Ce n'est qu'à la fin du XVI^e siècle que l'on a commencé à voir arriver de nouveaux bois.

3.3 Le dix-septième siècle

Pour savoir si l'archèterie a profité de ce nouvel apport de matières premières, il convient d'examiner à nouveau les sources. Encore une fois, les collections des musées ne sont pas très parlantes. Les archets du XVII^e siècle sont très peu représentés et c'est encore le musée de Vienne qui propose le plus de spécimens de cette époque. Mais les bois sont toujours aussi mal identifiés. On peut simplement noter que, sur la dizaine d'archets présentés, trois sont fabriqués dans des espèces indigènes, aussi bien des feuillus (noisetier, prunier) que des résineux (mélèze). Les autres pièces sont faites dans des essences exotiques indéterminées, à l'exception de l'amourette (*Brosimum guianense*) pour l'une et du grenadille (*Dalbergia melanoxydon*) pour une deuxième.

On trouve pour la première fois en 1640 une allusion aux bois d'archets dans un ouvrage théorique. Il s'agit du « Traité des Instruments de Musique » de Pierre Trichet « *J'ai voulu encore ajouter un mot touchant la fabrique des archets, lesquels étant faits de bois de Brésil, d'ébène, ou d'autre bois solide, sont meilleurs et plus estimés.* » Ces propos rappellent étonnamment les recommandations du Livre des Métiers d'Étienne Boileau, à la différence que le terme Brésil désigne maintenant aussi le pernambouc (*Caesalpinia echinata*) qu'on a commencé à exploiter de manière intensive très peu de temps après la découverte du pays auquel il a donné son nom. Cependant, au XVII^e, tout comme plus tard au XVIII^e siècle, le nom de Brésil s'applique encore au sappan dont on a continué à recevoir d'énormes cargaisons apportées par la Compagnie des Indes Orientales qui a eu le monopole du commerce avec l'Asie jusqu'en 1790. Le bois de Brésil désigne aussi le bois de Sainte Marthe, *Haematoxylum brasiletto*, appelé aussi brésillet, bois rouge ou bois sang, qui vient d'Amérique centrale. La description de Pierre Trichet est corroborée par deux inventaires après décès, celui du maître joueur de guitare Clemente Marini en 1611 : « *deux bassecontres de violon...garnyes de quatre archets dont trois de Brésil et l'autre d'ebeyne* » [35] et celui du luthier Paul Bellamy en 1612 : « *une douzaine d'archetz tant neufs que vielz, dix autres archetz de brezil.* » [36] D'autre part l'inventaire du luthier Robert Despont en 1624 mentionne le cormier : « *cinq douzaines d'autres archetz à violon de boys de cormier* » [37]. Le cormier (*Sorbus domestica*) avec sa forte densité, est peut-être l'un des rares bois européens à pouvoir figurer, auprès des bois exotiques, parmi les « autres bois solides ». L'ébène, le Brésil et le cormier sont donc les seuls matériaux répertoriés pour les archets, malgré l'abondance d'essences inventoriées dans les ateliers des luthiers : l'if, le cèdre, le genévrier, l'érable, le tilleul, le merisier, le hêtre, le Brésil, le bois violet, le bois de la Chine, le bois moucheté, la canne d'Inde, pour la facture des luths, l'ébène, le bois de la Chine, le bois violet, la canne d'Inde et des bois communs pour la fabrication de pochettes [36] [38] [39].

Le dernier quart du XVII^e siècle semble marquer un tournant : dans deux lettres de 1678, Jacob Stainer fait référence au bois d'Inde [40]. Bois d'Inde est l'ancienne appellation du bois de campêche (*Haematoxylum campechianum*). Il croît naturellement au Mexique dans la baie de Campêche et a été très tôt introduit aux Antilles et en Jamaïque. On en a beaucoup importé depuis le XVI^e et surtout au XVII^e et au XVIII^e siècles pour la teinture en bleu, violet ou noir. C'est un bois rouge orangé d'une densité tournant autour de 1. Puis, en 1687, Danoville dans « l'Art de toucher le dessus et la basse de viole »

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

recommande le bois de la Chine pour les archets [41]. Les noms de bois de la Chine, bois de lettre, bois moucheté désignent l'amourette (*Brosimum guianense*). Ça n'est donc qu'à la fin du XVII^e siècle que cette essence est adoptée. Elle a en effet toujours été rare et précieuse. Son exploitation n'était pas facile car elle pousse loin des côtes et de manière sporadique. En Guyane, elle servait même d'unité monétaire.

L'iconographie confirme cette apparition tardive. L'amourette est très fidèlement représentée pour l'archet d'un jeune violiste, membre d'une famille hollandaise très aisée dont Abraham van den Tempel a peint le portrait en 1671. Pour le reste, la peinture du XVII^e siècle nous montre une cohabitation d'archets faits de bois clairs, sans doute des bois de pays et de baguettes souvent plus fines, probablement plus denses et peut-être en bois exotiques, marron, noires ou orange. L'iconographie nous fait assister à une évolution constante de l'archet qui gagne régulièrement en hauteur de tête et en longueur. Ces changements autorisent plus d'inflexion dans le jeu de violon, une grande expressivité et la possibilité de réaliser des coups d'archet plus longs et complexes. Ils permettent aux violistes l'exécution de la magnifique musique en accords que l'acquisition de la septième corde grave engendre. Ces transformations nécessitent sans doute progressivement la densité et le ressort des bois exotiques.

3.4 Les trois premiers quarts du XVIII^e siècle

Au XVIII^e siècle, l'amourette semble avoir pris une place de choix. C'est du moins ce que suggère la composition des diverses collections. Les archets issus de cette époque sont beaucoup plus nombreux dans les musées que leurs prédécesseurs. Pour l'essentiel ils sont réalisés en amourette, au moins ceux qui remontent aux trois premiers quarts du siècle. On trouve sporadiquement quelques archets en hêtre, en mélèze ou en fruitiers cités sans autres précisions dans les catalogues des musées. Cette répartition entre les bois européens et la précieuse amourette reflète-t-elle l'ensemble de la production ? Si ces archets nous sont parvenus, c'est qu'ils ont été jugés dignes d'être conservés et assez prestigieux pour intégrer une collection.

Or il semble, d'après les inventaires des luthiers parisiens, qu'il y ait eu différents niveaux de qualité de fabrication [42]. Les archets recensés sont décrits selon leur facture : ils sont communs (à hausse coincée), à crémaillère ou à vis (à partir de 1747), « unis » (ronds) ou cannelés (à partir de 1747). Les bois ne sont spécifiés que pour les archets les plus ordinaires : archets de bois blanc commun chez Nicolas Bertrand, petits archets noirs sans vis chez Louis Guersan, archets de bois peints et archets de bois de ronce chez François Lejeune. Ces archets sont jusqu'à six fois moins chers que les plus onéreux. Et ils représentent près de la moitié de la production.

Les inventaires italiens sont, quant à eux, plus précis et explicites. En 1700, parmi les instruments de Ferdinand de Medici, on rencontre plusieurs archets en amourette, mais aussi en sorbier, en érable, en grenadille et en ébène. Dans un inventaire de 1765, on cite des archets de violon en acajou (*Swietenia mahagoni*), des archets d'alto et de dessus de viole en ébène verte ou ipé (*Tabebuia heptaphylla* et *T. spp*) et des archets de violoncelle et de basse de viole en pernambouc [43]. Des factures du luthier Giorgio Serafin, à Venise dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle, concernent des archets en pernambouc (pernambuco), en sappan (verzino) mais aussi en noyer (legno da re), en amourette (serpentino) et en caroubier (carober) [44].

Par contre les bois inventoriés dans les ateliers parisiens sont tous spécifiques à la facture des instruments et non des archets, à part l'amourette, qui est d'ailleurs très chère, la baguette brute valant environ le quart du prix d'un archet fini. Elle est mentionnée dans six inventaires sur vingt-deux et jamais après 1756. Ce qui tendrait à prouver que les archets n'étaient pas fabriqués par les luthiers mais par d'autres artisans, par les ébénistes sans doute ou déjà par des ouvriers spécialisés, ce que suggère le « Dictionnaire portatif

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

des Arts et Métiers » en 1766 dans son article sur le luthier ou facteur de violons : « *L'archet doit être proprement travaillé en bois d'Inde garni de crins blancs... Tout ce travail regarde les garçons et apprentis de l'artiste ; il y a même à Paris des personnes qui ne font que ces petits ouvrages accessoires.* »

3.5 La fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle

Cette hypothèse permet d'expliquer en partie pourquoi, à la fin du XVIII^e siècle, la facture des archets s'est enrichie de toute une nouvelle palette de bois : les ateliers d'ébénistes foisonnaient de tous les « bois des Isles » tant en vogue à l'époque. En parallèle à cette diversification des essences, on a vu se développer avec rapidité une multitude de nouveaux modèles. Les archetiers étaient en cela poussés par les violonistes qui voulaient doter leur jeu d'un son ample et soutenu avec une force égale d'un bout à l'autre de la baguette. Les facteurs ont donc compensé la faiblesse à la pointe de l'archet baroque en augmentant la hauteur de la tête. Ils ont allongé puis cambré les baguettes pour les stabiliser. Ils ont testé les bois les plus fermes pour des attaques franches et pleines. C'est alors qu'ils ont expérimenté ces bois denses et foncés que l'on rassemble par commodité sous la dénomination de bois de fer avant de, finalement, adopter le pernambouc, plus léger et tout aussi dynamique. Ils réglaient ainsi le problème d'équilibre impliqué par les changements structurels de l'archet.

On peut aisément suivre ce cheminement en examinant les collections de musées. Le pernambouc y apparaît dans la seconde moitié du XVIII^e, mais il ne devient majoritaire qu'à la fin du siècle. Il côtoie les différents bois de fer parmi lesquels on peut reconnaître en premier lieu le *Swarzia panacoco* (et d'autres espèces de *Swartzia spp*), qu'on appelait ferréol ou bois de perdrix en France. Le nom de bois de perdrix était aussi donné au *Zollernia paraensis* (pao santo), au *Zollernia illicifolia* (moçutaiba) et au *Caesalpinia paipai* (cochenille, peut-être aussi *C. granadillo*). Ces bois tranchés sous un certain angle offrent l'apparence du plumage de l'oiseau, tout comme le *Bocoa prouacensis* (boco). Tous semblent être présents dans les collections d'archets. On rencontre aussi souvent le *Manilkara bidentata* (balata rouge, connu des archetiers sous le nom de bois d'abeille) et le *Brosimum rubescens* (satiné) et parfois le *Swietenia mahagoni* (acajou). On retrouve l'amourette, généralement non mouchetée, le grenadille et le cormier. Les archets du XIX^e siècle exposés dans les musées sont presque exclusivement fabriqués en pernambouc. Il est à noter que les seuls archets en bois de pays sont tous des archets de contrebasse. Ils sont faits en prunier, en érable, en hêtre ou en chêne. Le musée des instruments de Munich, toutefois, expose des archets de violon en hêtre et en fruitiers indéfinis.

Les archets du début du XIX^e siècle sont maintenant très prisés et préservés avec grand soin. Mais, encore une fois, les collections ne reflètent pas forcément la réalité de la production. On a coutume de penser que, une fois mis au point le modèle de l'archet moderne dans son matériau idéal à la fin du XVIII^e siècle, on n'a plus employé que le pernambouc. Or même François-Xavier Tourte a continué à travailler d'autres bois. Il a testé, dans ses années d'apprentissage, des essences de toutes qualités, y compris des espèces européennes. Il tenait en haute estime le ferréol et a aussi adopté le boco et l'amourette pour ses archets de transition. Plus tard dans sa carrière, il a persisté à utiliser des bois divers. La preuve nous en est donnée par une facture datée de 1825 où il précise avoir livré au baron de Trémont des archets « *en bois de Brésil... en bois de Corail ... en bois de la Chine* » [45]. On s'interroge sur la signification du nom corail. Il désigne sans doute une espèce de *Pterocarpus*, probablement le Padouk d'Afrique (*Pterocarpus soyauxii*) qui était importé depuis le XVIII^e en Hollande et était utilisé au début du XIX^e en quantités industrielles pour les teintures. Il pourrait peut-être aussi s'agir d'autres espèces d'Asie (*Pterocarpus dalbergioides*, *P. indicus*) mais ce dernier était bien connu

Brémaud, I. & N. Poidevin (2013). Approches culturelles et mécaniques dans le choix des bois en facture: cas des archets anciens. In « La musique et ses instruments / Music and its instruments », M. Castellengo & H. Genevoix, eds. (contributions sélectionnées de CIM09, Paris). Editions Delatour France. Collection Pensée Musicale. ISBN 978-2-7521-0159-4. pp1-27 / 544p.

sous le nom de caliatour. Les baguettes originales ne sont plus là pour nous renseigner. S'il nous reste aussi peu de vestiges de ses archets tardifs aux bois plus ordinaires, c'est sans doute parce qu'ils n'ont pas fait l'objet des mêmes attentions que leurs équivalents en pernambouc.

Le caractère lacunaire des informations que nous détenons sur les bois des archets anciens ne nous permet pas toujours de déterminer les facteurs qui ont présidé à leur sélection à toutes les étapes de l'histoire musicale. Quel critère a eu la préséance : l'évolution du style instrumental, les propriétés mécaniques du matériau, sa facilité d'approvisionnement, ou plus simplement des questions de mode et de prestige ? La demande impérieuse des musiciens a-t-elle précédé les changements ou bien l'écriture musicale s'est-elle emparée des possibilités nouvelles de l'outil ? Les archetiers ont-ils adapté leurs modèles au matériau disponible ou bien ont-ils prospecté le bois le plus apte à garantir les qualités dynamiques et sonores souhaitées ? Nous nous contenterons de constater la concomitance de certains tournants.

4. GAMMES DE PROPRIETES MECANQUES DE DIFFERENTS BOIS D'ARCHETS

Afin de mieux appréhender les variations historiques dans le choix des bois en archèterie, ces informations sont mises en relation ci-dessous avec les propriétés mécaniques des essences de bois relevées. Cette analyse comprend deux niveaux : d'une part, caractérisation mécanique de bois employés dans la reconstitution contemporaine d'archets pour l'interprétation des musiques anciennes. D'autre part, comparaison des propriétés moyennes de différentes essences utilisées – ou ayant pu l'être – au cours des siècles.

4.1 Matériel étudié

L'étude des propriétés mécaniques de bois effectivement employés dans la réalisation d'archets a porté sur des essences (Table 1) représentatives de la production actuelle d'archets anciens (et modernes).

Compte tenu de la variabilité importante du matériau bois, entre espèces et entre arbres, mais aussi à l'intérieur d'un même arbre, il est important d'effectuer les essais sur des éprouvettes de bois aussi proches que possible des baguettes d'archets effectivement réalisées (puis jouées). Dans cette optique, nous avons préparé les spécimens pour les caractérisations mécaniques à partir de chutes, immédiatement adjacentes aux baguettes réalisées.

<i>Nom botanique</i> Nom commun	N stocks	N échs.
<i>Bocoa prouacensis</i> Aubl. / Boco	2	27
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber / Amourette	9	41
<i>Caesalpinia echinata</i> Lam / Pernambouc	7	50
<i>Carpinus betulus</i> L. / Charme	2	9
<i>Cupressus sempervirens</i> L. / Cyprés	2	7
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik / Cytise faux-ébénier	3	12
<i>Sorbus domestica</i> L. / Cormier	5	24
<i>Swartzia panacoco</i> Cowan. /Férreol	3	47
<i>Taxus baccata</i> L. / If	5	25
Total	38	242

Table 1. Récapitulatif des échantillons de bois testés, provenant de matériel effectivement employé dans la réalisation d'archets.

Les caractérisations ont portées sur 9 espèces (Table 1), dont 5 européennes (3 feuillus et 2 résineux) qui présentent une certaine vraisemblance d'utilisation historique, et qui ont été utilisées dans la reconstitution d'archets de vièles médiévales et d'archets de violon Renaissance, et 4 espèces tropicales (provenant toutes d'Amérique Latine : Nord du Brésil et région des Guyanes). Ces dernières comprennent bien sur les bois bien connus de pernambouc (matériel / chûtes d'archets fournis par Paul Borie, archetier « moderne » à Paris) et d'amourette (archets baroques), ainsi que du ferréol et du boco (archets classiques / de transition).

L'échantillonnage testé comportait au total 242 éprouvettes. Tous les essais mécaniques ont été effectués selon la méthode décrite précédemment, un des avantages étant que les dimensions des éprouvettes employées sont du même ordre de grandeur que le diamètre des baguettes d'archets.

Des essais mécaniques ont également été réalisés sur d'autres espèces de bois qui ont pu être employées de façon significative au cours de l'histoire de l'archèterie, mais les échantillons n'étaient pas appariés avec des baguettes d'archets effectivement fabriqués puis joués.

Par ailleurs, pour certaines espèces dont l'usage historique a pu être important, nous n'avons à ce jour pas encore réussi à obtenir de pièces de bois de dimensions suffisantes – et de débit et « qualité » appropriés – pour réaliser à la fois des reconstitutions de baguettes d'archets, et des éprouvettes pour les essais mécaniques. Effectivement, certains bois qui faisaient jusqu'à la fin du XIXème siècle l'objet d'importations à grande échelle vers l'Europe ne sont aujourd'hui plus dans les réseaux de commerce de bois massif, c'est notamment le cas pour la plupart des bois tinctoriaux.

Cependant, la base de données que nous avons créée, en combinaison avec d'autres bases telle celle du CIRAD, permettent d'obtenir un premier ordre de grandeur des propriétés de ces essences. Ces informations seront examinées séparément dans la mesure où elles correspondent à des valeurs générales par espèce, et non aux propriétés d'échantillons effectivement sélectionnés pour la réalisation d'archets.

4.2 Propriétés de bois employés dans la réalisation / reconstitution d'archets

Les gammes de densité et de module d'Young (E) mesurées sur les bois employés dans la

réalisation / reconstitution de différents modèles d'archets sont comparées sur la Figure 6a. En première observation, on peut constater que, si l'on considère l'ensemble des bois et des modèles étudiés, on couvre une très large gamme de propriétés, tant de densité que de module. Par contre, les différents modèles historiques sont associés à des ensembles « bois - propriétés » nettement plus restreints (compte tenu de la variabilité inhérente à ces matériaux), et assez clairement dissociés entre différents modèles. On retrouve, dans une moindre mesure, ces observations dans le cas des propriétés dynamiques (Figure 6b), c'est-à-dire du coefficient d'amortissement et du module spécifique. L'implication des propriétés dynamiques dans le fonctionnement de l'archet étant un sujet délicat, nous n'en discuteront que succinctement dans la suite.

En détaillant un peu plus par « époque », on peut constater que les bois employés en reconstitutions d'archets de vièles sont les plus variables en termes de densité et de module d'Young. Ceci peut être relié au fait que le Moyen Âge a vu cohabiter une grande variété de formes et de tailles d'archets [2]. Les plus longs (et les plus gros) semblent associés à l'accompagnement de la voix avec un jeu de bourdon en doubles ou triples cordes, requérant une grande longueur de mèche et du poids, qui correspondrait bien aux fortes densités et module du cormier (ou du cornouiller). Des archets plus courts, plus fins et plus véloces apparaissent au XIV^e siècle, probablement en lien avec un jeu plus spécifiquement instrumental, pour lesquels les bois ci-dessus peuvent être adaptés, mais aussi d'autres essences un peu plus légères mais conservant une bonne rigidité pour leur densité (charme, cyprès). Par ailleurs, on a coutume d'associer l'if à la reconstitution d'archets de vièles en raison de sa renommée comme bois d'arcs, cependant il ne présente pas les qualités mécaniques les mieux adaptées pour un archet.

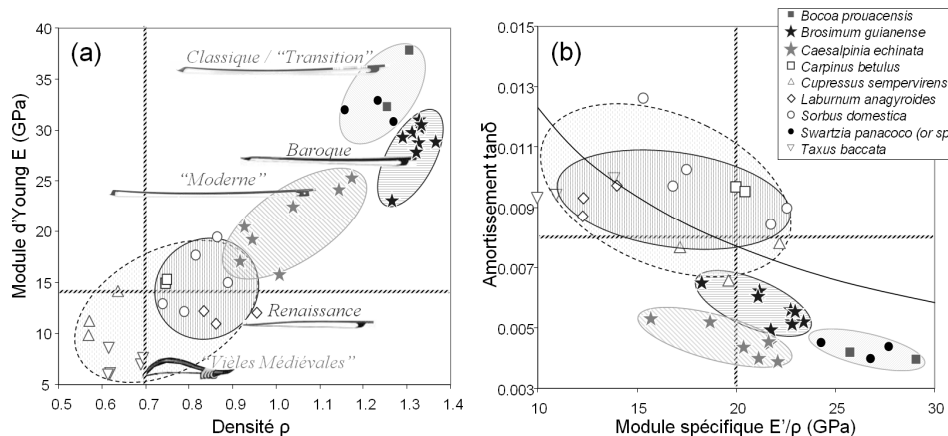


Figure 6. Densité et propriétés mécaniques des différents bois testés ayant servi à la réalisation d'archets. Chaque point représente la moyenne d'un « stock », les ellipses représentent différents bois associés à une époque d'archèterie. Les droites hachurées indiquent la moyenne de chaque propriété sur 450 espèces de bois, et la courbe pleine (graphique b) représente la relation « standard » [11] entre coefficient d'amortissement ($\tan\delta$) et module d'élasticité spécifique (E'/ρ).

Les bois employés en reconstitutions d'archets de violon Renaissance, s'ils présentent de relativement faibles densités et modules en comparaison des bois tropicaux utilisés plus tardivement, se situent en fait tous dans la gamme supérieure pour les bois européens, et atteignent les valeurs maximales de module (le cormier notamment peut atteindre 20GPa) parmi celles recensées sur une centaine de feuillus tempérés. Ces bois sont employés pour la fabrication d'archets relativement courts (de l'ordre de 50cm) et robustes, dont la structure, associée à un matériau dont la rigidité est dans la gamme supérieure des bois couramment disponibles à l'époque, est adaptée aux besoins de la musique de danse (scansion, vivacité, ornementation) à laquelle était dévolu le violon à la Renaissance. La

grande majorité des archets Baroques fabriqués à l'heure actuelle emploient le bois d'amourette. Celui-ci se distingue par sa densité extrême, autour de 1.35 (c'est l'une des très rares espèces proche de la limite physiquement possible pour les bois, c'est-à-dire 1.45), assortie d'un très fort module d'Young (de l'ordre de 30 GPa). Ce bois est associé à des archets beaucoup plus longs (de l'ordre de 60 – 70cm) que précédemment et avec une élévation de la tête, correspondant au développement du répertoire instrumental et de modes de jeu plus variés et virtuoses. De telles modifications structurelles demandaient des bois beaucoup plus rigides et denses afin de conserver une stabilité aux archets ainsi allongés et affinés. Il est probable que les modèles d'archets baroques, notamment les plus tardifs, n'auraient pas pu être développés sans l'introduction des bois denses, mais surtout très rigides, provenant d'Amérique Latine. Cependant, la transition, en termes de propriétés des bois, apparaît extrêmement brusque entre les reconstitutions d'archets Renaissance puis baroques ; il est envisageable, d'après les données historiques collectées, qu'elle ait été plus progressive, avec peut-être des essais de bois de propriétés « intermédiaires », dont nous parlerons brièvement au chapitre suivant.

Les « bois de fer » (ferréol, boco) employés pour des archets classiques ou « de transition » présentent des modules d'Young dans la gamme supérieure de l'amourette, voire encore plus élevés (jusqu'à 38GPa pour le boco), atteignant les valeurs maximales relevées pour tous les bois. Ils sont aussi très denses, quoique un peu moins que l'Amourette. Ils sont employés pour des archets qui sont encore un peu plus allongés et avec une tête plus haute et carrée que précédemment, afin de permettre un jeu plus puissant et plus égal d'un bout à l'autre de la baguette. Ces bois de rigidité très élevée permettent de garder une stabilité à ces archets très élancés, en revanche, leur densité toujours élevée pose des problèmes d'équilibre en raison de la masse de la tête. Ceci dit, cette période Classique a connu un grand nombre de variations et d'expérimentations en archèterie, tant en termes de structure, que de matériaux. Les propriétés de quelques autres espèces ayant été utilisées à cette époque sont présentées au chapitre suivant.

Par comparaison, le pernambouc adopté pour l'archet moderne est moins dense que les bois d'archets classiques et baroques, quoique dans sa gamme supérieure de densité (jusqu'à 1.2) il se rapproche du ferréol. Cette densité un peu moindre a permis de s'affranchir du problème de déséquilibre de la tête. Le pernambouc présente généralement un module d'Young plus faible (de 16 à 26 GPa pour les échantillons d'archèterie que nous avons testés) que les principaux bois d'archets classiques et baroques. Il est aussi caractérisé par une importante variabilité de ces deux propriétés. Cependant, la gamme de densité et module que nous avons mesurée correspond bien aux plages de variations trouvées par d'autres auteurs sur des fournitures d'archèterie : densité de 0.9 à 1.2 et module d'Young de 15 à 32GPa⁸ [5, 6,8-10]. Les « meilleures » qualités à l'usage sont souvent – mais pas toujours – caractérisées par de plus fortes valeurs de densité et de module (moyennes pour des bois qualifiés comme « bons » de l'ordre de 1.05 et 24-25GPa). En termes de propriétés élémentaires, le Pernambuco est donc caractérisé premièrement par une densité plus modérée et un module d'Young plus faible que l'amourette et les « bois de fer » employés précédemment. Cependant, dans la comparaison entre archets modernes et classiques, l'on peut se permettre d'appliquer des « indices de performance matériau », c'est-à-dire des combinaisons de propriétés qui reflètent la contribution propre du matériau à la rigidité de la structure, en admettant la géométrie (cambre, longueur, diamètre) relativement comparable. En l'occurrence, l'indice de rigidité en flexion due au matériau, à longueur et masse comparable, s'écrit [46]:

$$I_{Rbois} = \sqrt{E} / \rho \quad (1)$$

⁸ Des valeurs de module d'Young nettement plus élevées sont parfois citées, mais elles ne semblent pas représentatives.

Cet indice est du même ordre de grandeur pour le pernambouc et pour les « bois de fer » des archets classiques. C'est-à-dire que, malgré son module d'Young plus faible, il permet d'obtenir la même rigidité moyennant une légère augmentation de diamètre. Bien sur, cette méthode de comparaison représente encore une approximation assez forte entre les archets classiques et modernes, mais elle est cependant applicable, tandis qu'il est exclu de comparer les bois employés en archets renaissance ou baroque selon ces indices.

Par ailleurs, la caractéristique mécanique la plus flagrante du pernambouc, par rapport à d'autres espèces de densité et module comparables, est son coefficient d'amortissement exceptionnellement faible (figure 6b). Cependant, le rôle de l'amortissement du bois de la baguette d'archet dans le son et/ou la jouabilité est loin d'avoir été clairement identifié. Il avait été observé que des archets finis classés comme « très bons » avaient un plus faible amortissement en moyenne que ceux classés comme « mauvais » [23]. Il a été suggéré que l'amortissement pourrait influencer sur la jouabilité et sur la sonorité [6, 14,46], mais ceci nécessitera encore d'être étudié plus finement. Quoiqu'il en soit, les bois d'archets classiques ont des valeurs de ce paramètre comparables au pernambouc, l'amourette des valeurs un peu supérieures, mais tous ces bois absorbent bien moins l'énergie vibratoire que la moyenne. Par contre, les bois employés pour des reconstructions d'archets médiévaux et renaissance ont des coefficients d'amortissement plus forts que la moyenne.

Pour finir, nous avons comparé ici les bois employés dans différents modèles d'archets, principalement sur la base de leur densité et de leur module d'élasticité, tout en présentant à titre indicatif leurs propriétés dynamiques. Cependant, il est probable que d'autres caractéristiques mécaniques aient pu également être prises en compte lors de l'essai et du choix de nouvelles essences. Notamment, l'aptitude des bois au cintrage à chaud a pu être plus prise en compte pour les modèles d'archets où le réglage du cambre est particulièrement important. On peut également penser que l'évolution de la tête vers une forme plus « carrée », moins en continuité avec la baguette, aie pu privilégier des bois résistants à la rupture en cisaillement (cette résistance est corrélée d'une part à la densité des bois, d'autre part est influencé par le contrefil, une caractéristique de nombreux bois tropicaux, dont le pernambouc). Il s'agit certes de paramètres technologiques, mais qui ont pu participer aux évolutions conjointes entre matériau et structure de l'archet, qui elles-mêmes sont associées à des développements de répertoire musical et de mode de jeu...

4.3 Aperçu des propriétés de différents bois ayant pu être employés en archets anciens

Les résultats présentés ci-dessus concernent des bois qui sont les plus souvent employés à l'heure actuelle dans la reconstitution d'archets pour interpréter les musiques anciennes. Cependant, on l'a vu plus haut, il existe des informations historiques sur l'utilisation de bien plus nombreuses espèces. Selon les époques et le type de sources disponibles, on peut n'avoir que des pistes quant aux espèces qui auraient pu être utilisées, tandis que l'usage de certaines espèces est clairement avéré dans certains cas, notamment bien sur pour les périodes plus tardives. Nous comparons ci-dessous les différentes espèces citées au §3 sur la base de leurs valeurs moyennes de densité et de module d'Young (Figure 7), issues de notre base de données et/ou de caractérisations expérimentales. (Il convient de remarquer que les valeurs moyennes par espèces de densité et de module sont généralement inférieures aux moyennes obtenues seulement sur des échantillons sélectionnés pour la réalisation d'archets).

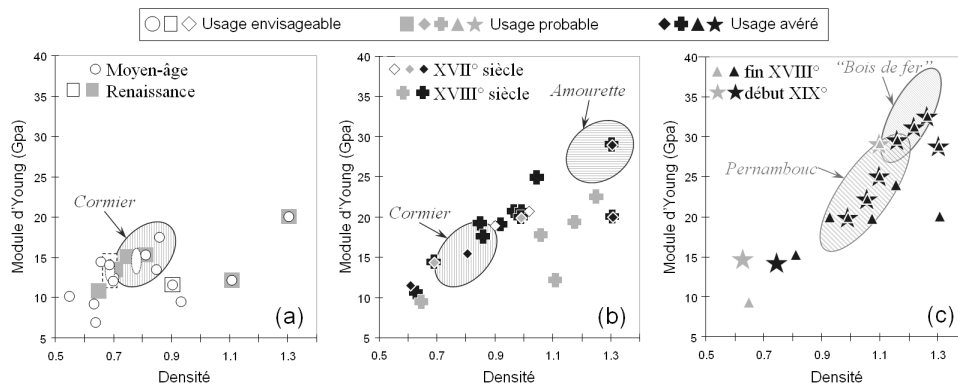


Figure 7. Densité et module d'Young moyens de diverses espèces de bois ayant pu être employés en archèterie à différentes époques. Chaque point représente la moyenne d'une espèce. Les ellipses représentent les gammes de variation à l'intérieur de quelques essences représentatives.

Pour le Moyen-âge, on l'a vu, on ne dispose pas vraiment d'information définitive sur les espèces ayant été effectivement employées, il s'agit plutôt de déductions basées sur la disponibilité des bois, leur structure et leurs autres usages connus. Quoiqu'il en soit, les différents bois tempérés dont l'usage en archets de vièles médiévales est envisageable couvrent une gamme de densité et de module (Figure 7a) comparable à celle que nous trouvons pour les 5 espèces effectivement employées en reconstitutions, les valeurs les plus basses correspondant, on s'y attend, généralement aux résineux, et les modules les plus élevés au cormier. Cette gamme de propriétés assez variée semble cohérente avec la grande variété de structures d'archets relevable d'après l'iconographie. Il n'est pas non plus à exclure que les bois tropicaux qui étaient importés – et utilisés dans d'autres métiers – au Moyen-âge aient pu être employés en archets. Cependant, le sappan a une densité de l'ordre de 0.7, soit dans la moyenne des feuillus tempérés (probablement aussi pour son module d'Young). Les « ébènes », malgré leur forte densité, ont un module soit faible (ébène « vrai » de l'Inde, $E \leq 15\text{GPa}$ en moyenne), soit du même ordre que les bois européens les plus rigides (« ébène du Mozambique », grenadille, l'un des rares bois avec l'amourette a avoir une densité de l'ordre de 1.3 ; module moyen de 20GPa, variant entre 15 et 25GPa). Il semble donc que les bois ayant pu être utilisés dans les archets médiévaux n'aient guère dépassé des valeurs de module de l'ordre de 20GPa.

Les mêmes observations peuvent s'appliquer aux bois d'archets à la Renaissance, quoique certaines indications iconographiques étayent un peu plus les probabilités d'usages de certains bois. Le bambou notamment semble avoir été utilisé. Ce matériau a des propriétés extrêmement variables dans l'épaisseur des parois ; cependant, les dimensions des baguettes supposent que sensiblement toute l'épaisseur soit utilisée. Ceci correspondrait à des valeurs moyennes de densité de l'ordre de 0.7 et de module d'Young de l'ordre de 19GPa (moyenne sur 3 espèces), c'est-à-dire, dans la gamme maximale des bois envisageables à cette époque, mais avec une densité réduite.

On a remarqué plus haut la transition très brusque – en termes de densité et module d'Young – entre les bois employés pour la reconstitution d'archets Renaissance, et le principal bois actuellement employé en archets baroques, l'amourette. En fait, au XVIIème siècle (Figure 7b), les archets conservés comme les sources écrites indiquent encore plusieurs bois tempérés (dont explicitement le cormier) en même temps que le « brésil » et l'« ébène » (vraisemblablement le grenadille). A cette époque, le terme « brésil » peut encore désigner le sappan (cf. ci-dessus) mais aussi le brésillet et le pernambouc. L'usage de campêche est très probable à la fin du siècle, où l'amourette est aussi de plus en plus présente. On a déjà parlé des propriétés des « ébènes ». Le brésillet et le campêche ont une

densité proche du pernambouc (0.9-1.1) mais n'ont – à notre connaissance – pas été caractérisés mécaniquement. Néanmoins leur proximité botanique et chimique [47] avec le pernambouc suggère qu'ils puissent avoir des propriétés mécaniques du même ordre de grandeur. On peut ainsi penser à un passage progressif, ou du moins à une « cohabitation », entre : des bois de module ≤ 20 GPa ; l'amourette qui prédomine au XVIII^{ème} siècle avec son très fort module d'Young (≈ 30 GPa) ; et des bois tropicaux de rigidité intermédiaire, comme le campêche ou l'ipé (densité ≈ 1 , module entre 20 et 25 GPa). Cette « cohabitation » peut aussi avoir concerné différentes qualités d'archets et semble d'ailleurs avoir perduré jusqu'au début du XIX^{ème} siècle, par exemple avec l'utilisation souvent citée du cormier. Ce bois est susceptible, pour ses valeurs maximales de densité et module, de se recouper avec la gamme inférieure du pernambouc (par contre, il aura toujours un amortissement beaucoup plus fort).

Pour ce qui est des bois employés en archets classiques ou de transition (Figure 7c), les bois principalement utilisés en reconstitutions se caractérisent par un module d'Young extrême, encore supérieur à l'amourette des archets baroques, mais avec une densité un peu plus modérée. Parmi les autres espèces dont l'usage est avéré ou très probable, certaines se recouper avec les propriétés des « bois de fer » (*Swartzia panacoco* et *Bocoa pouacensis*) que nous avons testés. Il s'agit surtout d'autres espèces du genre *Swartzia*. Les autres espèces qui ont été utilisées à cette époque se recouper avec la gamme de propriétés du pernambouc (pour *Zollernia paraensis*, *Z. ilicifolia*, *Brosimum rubescens* et *Manilkara bidentata*, par ordre décroissant de module). Les seules espèces atypiques par rapport à ce schéma sont le grenadille et le cormier, dont nous avons déjà parlé en termes de propriétés. Mais surtout l'acajou (supposé *Swietenia mahagoni*) avec une densité de 0.65 et un module d'Young inférieur à 10 GPa. On peut s'interroger sur l'utilisation effective de ce bois dans les archets de cette époque. Peut-être que sa quasi-disparition au XX^{ème} siècle pu faire que les matériels testés à l'orée du XXI^{ème} ne correspondent plus aux bois disponibles 2 siècles auparavant ? Deux autres hypothèses sont plus probables : d'une part, ce bois était très en vogue en ébénisterie, et il a pu être testé simplement par un effet « de mode ». D'autre part, concernant les sources écrites, le terme « acajou » est, encore à l'heure actuelle, facilement donné de façon générique à bon nombre de bois « exotiques ». Quoiqu'il en soit, cette exception mise à part, les bois employés reflètent bien cette période d'expérimentation et de transition, tant dans les matériaux et structures d'archets, que dans le répertoire musical, les modes et conditions de jeu. Néanmoins, contrairement à la grande diversité de propriétés de bois relevables entre la renaissance et le baroque tardif, la plupart des bois restent dans les gammes de densité et module d'Young soit des « bois de fer » soit du pernambouc. Plusieurs des espèces employées à cette époque sont d'ailleurs à nouveau testées, pour la réalisation d'archets modernes, comme bois « alternatifs » au pernambouc [48].

Les observations ci-dessus peuvent également s'appliquer au début du XIX^{ème} siècle, quoique le nombre d'essences citées se restreigne. Les seules « exceptions » en termes de densité et module d'Young concernent les bois de *Pterocarpus* (« bois de corail »). On peut cependant noter que ces bois sont extrêmement variables du fait qu'ils présentent généralement d'importantes déviations de fil, leurs propriétés moyennes ne sont donc pas très représentatives. Certains échantillons peuvent atteindre une densité de 0.9 et un module de 19 GPa, soit les bornes inférieures du pernambouc. Ceci mis à part, il est évident que le choix de bois s'achemine vers la standardisation caractéristique du XIX^{ème} siècle.

Cette uniformisation des matériaux est encore plus flagrante en termes de propriétés dynamiques (Figure 8c), notamment de coefficient d'amortissement : tous les bois dont l'usage est cité au début du XIX^{ème} siècle ont des valeurs moyennes de ce paramètre inférieures à 5.5%, soit dans la gamme minimale pour tous les bois. Il pourrait ne s'agir que d'une co - incidence (l'amortissement est généralement relié négativement au module

spécifique d'une part, d'autre part les bois les plus denses peuvent contenir des composés chimiques additionnels susceptibles de diminuer l'amortissement). Cependant, parmi 77 espèces dans la même gamme de module d'Young et densité recensées dans notre base de données, seulement un tiers s'approche de ces très faibles valeurs d'amortissement. On peut supposer que cette caractéristique ait pu avoir une influence sur la dynamique, la jouabilité et/ou la sonorité, mais ceci demanderait à être vérifié par des méthodes acoustiques et/ou psychoacoustiques. En tout cas, d'un point de vue du matériau proprement dit, l'homogénéité des coefficients d'amortissement des bois choisis à la fin du XVIIIème et au début du XIXème siècle est flagrante en comparaison des bois ayant pu être utilisés au moyen-âge et à la Renaissance (Figure 8a) et au baroque précoce (Figure 8b). En revanche, il semble que cette tendance vers des bois faiblement amortissants aie été amorcée dans les archets baroques tardifs, non seulement avec l'amourette dont le $\tan\delta$ est déjà nettement plus faible que la moyenne, mais aussi pour la majorité des bois dont l'usage est avéré au XVIII° siècle, tandis qu'ils présentent généralement des modules et densités plus faibles que l'amourette.

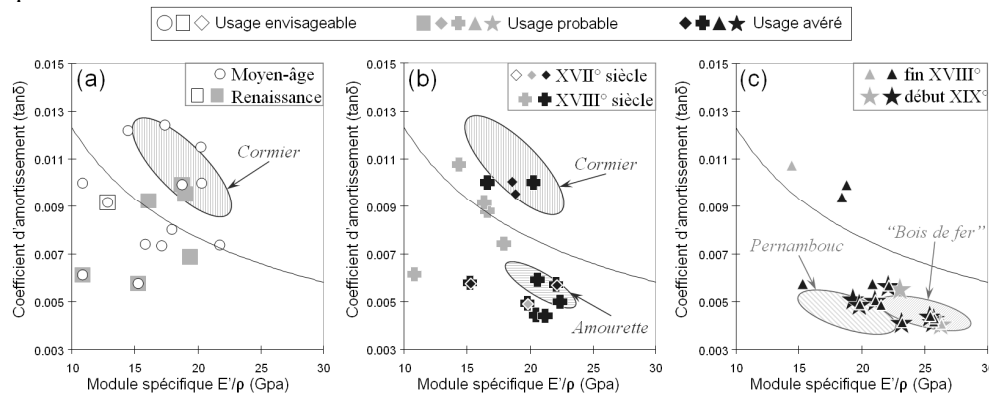


Figure 7. Propriétés dynamiques moyennes de diverses espèces de bois ayant pu être employées en archèterie à différentes époques. Chaque point représente la moyenne d'une espèce. Les ellipses représentent les gammes de variation à l'intérieur de quelques essences représentatives. La courbe représente la relation « standard » [11] entre $\tan\delta$ et E'/ρ .

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les recherches présentées ont comme objectif général de mieux appréhender les relations entre la diversité des propriétés mécaniques des bois, et leur choix en facture instrumentale dans différentes cultures. Plus spécifiquement, cet article se proposait d'explorer les liens entre évolution des archets, tendances musicales, et bois employés - en regard de leurs propriétés mais aussi de leur disponibilité à différentes époques. Il ressort des résultats obtenus que :

- de nombreuses essences de bois peuvent être employées pour « une » fonction dans différents contextes, et couvrir une large gamme de propriétés. Mais seuls les bois de feuillus originaires des zones tropicales peuvent présenter des densités >1 , des modules d'Young $>20\text{GPa}$, et les plus faibles amortissements.
- malgré le caractère lacunaire des sources d'information pour les périodes les plus anciennes, des groupes de bois dont l'usage historique est vraisemblable se dessinent. Des périodes de « transition », comme le passage de la Renaissance au Baroque ou la fin du XVIII°, se distinguent par le grand nombre d'essences testées en archèterie.
- l'étude des bois dans des reconstitutions actuelles d'archets pour les musiques anciennes permet de mieux comprendre les relations matériau - structure - jouabilité pour différents répertoires :

- variations dans la gamme des bois tempérés pour les archets de vièles médiévale en lien avec leur grande diversité de formes et modes de jeu ;
- choix de bois resserré sur les feuillus disponibles les plus denses et rigides pour les archets de violon Renaissance destinés aux musiques de danse ;
- explorations des nouvelles possibilités offertes par les bois très denses d'Amérique Latine coïncidant avec l'élongation, l'élancement et la réduction du cambre des archets pour la musique Baroque ;
- variété d'expérimentations à l'époque Classique, pour encore allonger et rehausser la baguette en tablant sur les bois les plus rigides existants ;
- puis adoption progressive de la forme moderne de l'archet qui permet de contrebalancer la rigidité plus modérée du pernambouc, qui en retour permet de s'affranchir des problèmes de déséquilibre de l'archet.

L'étude de ces relations devra bien sur être approfondie en jumelant les résultats « bois » obtenus avec l'analyse mécanique des différentes structures [3], puis par des essais en conditions de jeu.

- Si les bois employés dans des reconstitutions de modèles de différentes époques ont des gammes de propriétés bien différenciées, la comparaison des propriétés mécaniques d'autres espèces historiquement utilisées suggère des transitions progressives en termes de choix de bois.
- Les débuts de l'archet moderne en pernambouc cohabitent avec une grande variété d'expérimentations de divers bois avant la « standardisation » du XIX^e siècle. Une bonne partie des essences alors testées ont cependant des propriétés qui se recoupent avec celles du pernambouc. Certaines sont d'ailleurs à nouveau expérimentées à l'heure actuelle, en tant qu'essences alternatives.

Par ailleurs, les évolutions conjointes, notamment les plus tardives, entre la structure de l'archet et les bois employés, en fonction des évolutions musicales et des ressources disponibles, peuvent ainsi fournir des pistes d'inspiration pour le futur. Les données mécaniques sur la diversité des bois que nous avons récoltées, en combinaison avec des analyses portant sur la structure elle-même [3] pourraient ainsi ouvrir la voie à une diversification des bois utilisables, en regard des difficultés prévisibles d'approvisionnement en pernambouc.

Il ressort également de cette étude que les bois associés à différents modèles d'archets ont certes des propriétés physiques-mécaniques très différentes, cependant, ils sont tous adaptés, dans la mesure où structure, choix de matériaux et mode de jeu se sont développés conjointement. Ceci implique qu'on ne puisse pas parler de bois « idéal » en termes mécaniques, la sélection de matériau n'impliquant pas une maximisation de paramètres, mais une adaptation à un contexte musical, technologique et de ressource.

6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier : Dominique Cardon, DR CNRS au CIHAM, Lyon, pour ses précisions historiques sur l'importation de bois tinctoriaux ; Pierre Détienne au CIRAD à Montpellier pour l'identification de certains bois rares ; ainsi que Jacques Beauchêne, CR CIRAD, UMR ECOFOG, Kourou, pour l'actualisation de la taxonomie de certaines espèces présentes en Guyane.

7. REFERENCES

- [1] Brémaud, I. and N. Poidevin. "Wood selection and processing in the evolution of musical instrument's design and realization". *Proceedings of IASS Symposium Shell and Spatial Structures from Models to Realization*, Montpellier, France, 2004.
- [2] Poidevin, N. "Les premiers archets à travers l'iconographie." *A paraître dans Musique et*

Technique.

- [3] Ablitzer, F., N. Dauchez, J.-P. Dalmont and N. Poidevin. "Mécanique de l'archet de violon: lien entre évolution et répertoire musical." *5th Conference on Interdisciplinary Musicology*, Paris, France, 2009.
- [4] Bucur, V., *Acoustics of wood*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [5] Sugiyama, M., M. Matsunaga, K. Minato and M. Norimoto. "Physical and mechanical properties of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng) used for violin bows." *Mokuzai gakkaiishi* 40(9), 905-910, 1994.
- [6] Matsunaga, M., M. Sugiyama, K. Minato and M. Norimoto. "Physical and mechanical properties required for violin bow materials." *Holzforschung* 50, 511-517, 1996.
- [7] Matsunaga, M. and K. Minato. "Physical and mechanical properties required for violin bow materials II: Comparison of the processing properties and durability between Pernambuco and substitutable wood species." *Journal of Wood Science* 44, 142-146, 1998.
- [8] Holz, D. "Tropical hardwoods used in musical instruments - can we substitute them by temperate zone species?" *Holzforschung* 50(2), 121-129, 1996.
- [9] Alves, E. S., E. L. Longui and E. Amano. "Pernambuco wood (*Caesalpinia echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments." *IWA Journal* 29(3), 323-335, 2008.
- [10] Schimleck, L. R., C. Espey, C. R. Mora, R. Evans, A. Taylor and G. Muniz. "Characterization of the wood quality of pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam) by measurements of density, extractives content, microfibril angle, stiffness, color, and NIR spectroscopy." *Holzforschung* 63, 455-463, 2009.
- [11] Ono, T. and M. Norimoto. "Study on Young's modulus and internal friction of wood in relation to the evaluation of wood for musical instruments." *Japanese journal of Applied physics* 22(4), 611-614, 1983.
- [12] Obataya, E., T. Ono and M. Norimoto. "Vibrational properties of wood along the grain." *Journal of Materials Science* 35, 2993-3001, 2000.
- [13] Barlow, C.. "Materials selection for musical instruments." *Proceedings of the Institute of Acoustics* 19, 69-78, 1997.
- [14] Wegst, U. G. K.. "Wood for sound." *American Journal of Botany* 93(10), 1439-1448, 2006.
- [15] Yoshikawa, S. "Acoustical classification of woods for string instruments." *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.122, Issue1, 568-573, 2007.
- [16] Yano, H., K. Oonishi and J. Mukudai. "Acoustic Properties of Wood for the Top Plate of Guitar." *Journal of the Society of Materials Science, Japan* 39(444), 1207-1212, 1990.
- [17] Buksnowitz, C., A. Teischinger, U. Müller, A. Pahler and R. Evans. "Resonance wood [*Picea abies* (L.) Karst.] – evaluation and prediction of violin makers' quality-grading." *Journal of the Acoustical Society of America* 121(4), 2384–2395, 2007.
- [18] Douau, D. "Evaluation des propriétés acoustiques, mécaniques et structurelles des bois de tables d'harmonie de guitare; leur influence sur le timbre de l'instrument". *Doctorat en Acoustique. Université du Maine*. France, 1987.
- [19] Hase, N. "A comparison between acoustic physical factors of Honduras rosewood for marimbas and xylophones and a sensory evaluation of these instruments." *Mokuzai Gakkaishi* 33(10), 762-768, 1987.
- [20] Aramaki, M., H. Baillères, L. Brancheriau, R. Kronland-Martinet and S. Ystad. "Sound quality assessment of wood for xylophone bars." *Journal of the Acoustical Society of America* 121(4), 2407-2421, 2007.
- [21] Brémaud, I., P. Cabrolhier, K. Minato, J. Gérard and B. Thibaut. "Vibrational properties of tropical woods with historical uses in musical instruments". *Proceedings of the ESWM Conference Wood science for the preservation of Cultural Heritage*, Braga, Portugal, 2008.
- [22] Brémaud, I. "Diversité des bois utilisés ou utilisables en facture d'instruments de musique." *Doctorat en Mécanique des Matériaux. Université Montpellier II*. France, 2006.
- [23] Askenfelt, A. "Observations on the dynamic properties of violin bows." *STL-QPSR* 33(4), 43-49, 1992.
- [24] Brémaud, I., B. Thibaut and K. Minato. "A database linking woody species, vibrational properties, and uses in musical instruments of the world". *Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics*. Barcelona, Spain, 2007.
- [25] Détienne, P. and B. Chanson. "L'éventail de la densité du bois des feuillus. Comparaison entre différentes régions du Monde." *Bois et Forêts des Tropiques* 250(4), 19-30, 1996.

- [26] Homo-Lechner, C. *Sons et instruments de musique au Moyen Age, Archéologie musicale dans l'Europe du VII^e au XIV^e siècles*, Ed. Errance, Paris, 1996.
- [27] Cardon, D., *Natural Dyes: Sources, Tradition, Technology and Science*. Archétype Books. London, UK, 2007.
- [28] Hardy R., *Le grand arc, Histoire militaire et sociale des archers*, Edita S.A., Lausanne, 1977.
- [29] Tiella M., « The Violeta of S. Caterina de' Vigri », *The Galpin society journal*, n°28, 1975.
- [30] Fontana E., Heller V., Lieberwirth S., *Wenn engels musizieren, Musikinstrumente von 1594 im Freiburger Dom*, Verlag Janos Stekovics, Döbel, 2008.
- [31] Hopfner, R., *Streichbogen*, Sammlung alter Musikinstrumente und Sammlungen der Gesellschaft der Musikfreunde in Wien, Verlag Hans Schneider, Tutzing, 1998.
- [32] Marcuse, S., *Musical instruments : a comprehensive dictionary*, Country life, London, 1966.
- [33] Mersenne, Marin / Lesure, F. *Harmonie universelle contenant la théorie et la pratique de la musique : (Paris, 1636)*, Ed. du Centre national de la recherche scientifique, Paris, 1986.
- [34] Savary des Bruslons, J., *Dictionnaire universel du commerce*, J. Estienne, Paris, 1723-1730.
- [35] Lesure, F. « Les débuts de la lutherie lorraine. Du mythe à la réalité », *Musique, images, instruments*, n°2, Ed. Klincksieck, Paris, 1996.
- [36] Jurgens, M. Documents du minutier central concernant l'histoire de la musique (1600-1650), La documentation française, Paris 1974.
- [37] Samoyault-Verlet, C. Les facteurs de clavecins parisiens. Notices biographiques et documents. 1550-1793, Société française de musicologie, Ed. Heugel, 1966.
- [38] Lesure, F. « La facture instrumentale à Paris au seizième siècle », *The Galpin society journal*, n°7, 1954.
- [39] Massip, C. « Facteurs d'instruments et maîtres à danser parisiens au XVII^e siècle », *Instrumentistes et luthiers parisiens, XVII^e-XIX^e siècles*, Délégation à l'action artistique de la ville de Paris, 1988.
- [40] Senn, W. & Roy, K. Jakob Stainer, 1617-1683. Lebenswerk und Lebensgeschichte des Tiroler Meisters, die Tiroler Schule, Francfort/Main, 1986.
- [41] Danoville, Mr, L'art de toucher le dessus et la basse de violle, Paris, 1687, Ed. Minkoff, Genève, 1972.
- [42] Millot, S. Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960. Tome II : les luthiers dui XVIII^e siècle, Ed. Les Amis de la Musique, 1997.
- [43] Informa musica, novembre 2000.
- [44] Giron, C. « Une collection perdue : les instruments de l'ospedale des Mendicanti, à Venise », *Musique, images, instruments*, n°8, CNRS Éditions, Paris, 2006.
- [45] Millant, B., Raffin, J-F., *L'archet*, L'archet Éditions, Paris, 2000.
- [46] Wegst, U. G. K., S. Oberhoff, M. Weller and M. F. Ashby. "Materials for violin bows." *International Journal of Materials Research* 98(12), 1230-1237, 2007.
- [47] Minato, K., K. Sakai, M. Matsunaga and F. Nakatsubo (1997). "The vibrational properties of wood impregnated with extractives of some species of Leguminosae." *Mokuzai gakkaiishi* 43(12), 1035-1037, 1997.
- [48] Angyalossy, V., E. Amano and E. Segala Alves. "Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: Aspectos anatômicos." *Acta Botanica Brasilica* 19(4), 819-834, 2005.

Iris Brémaud

Statut	Post-Doctorante au Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS – Univ. Montpellier II.
Domaines et champs de recherche	Propriétés mécaniques et acoustiques des bois : origines microstructurelles et chimiques de la variabilité, relation avec la diversité d'usages et de choix des bois dans les instruments de musique
Qualifications	Post-Doctorat au Laboratoire d'Etudes des Ressources Forêt-Bois (LERFoB), INRA – ENGREF, Nancy. Post-Doctorat au Laboratory of Forest Products Circulatory Systems, Kyoto Prefectural Univ. (Japan) Doctorat Mécanique, Laboratoire de Mécanique & Génie Civil, U. Montpellier II, & CIRAD : « Diversité des bois utilisés ou utilisables en facture instrumentale » DEA Sciences du bois, Nancy, après maîtrise Biologie Végétale, Montpellier
Publications / créations	Apprentissage de la facture de guitares et luths 6 articles publiés dans des revues scientifiques internationales, 30 communications dans des congrès internationaux ou nationaux, 20 séminaires et opérations de vulgarisation, dans les domaines indiqués ci-dessus.
Contact	iris_bremaud@hotmail.com

Nelly Poidevin

Statut	Archetière, spécialisée dans la reconstitution d'archets anciens, du Moyen Age à l'époque classique
Domaines et champs de recherche	
Qualifications	Prix de la Facture Instrumentale, Musicora 2008
Publications / créations	Membre de l'Union Nationale de la Facture Instrumentale (UNFI)
Contact	nelly.poidevin@wanadoo.fr http://www.archets-poidevin.com