



Université de Strasbourg

École doctorale des Humanités

EA 3402 ACCRA

Thèse présentée par

Liang XU

soutenu le 6 janvier en 2012

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : **Musicologie**

L'ÉCOLE DE LUTHERIE FRANÇAISE AU DIX-NEUVIÈME SIÈCLE

Jean-Baptiste Vuillaume : originalité et imitation

du modèle de violon crémonais

THÈSE dirigée par :

M. HASCHER Xavier

Maître de conférences, université de Strasbourg

RAPPORTEURS :

Mme. PENESCO Anne

Professeur, université Lumière Lyon II

M. AUBIGNY Benoît

Maître de conférences, université de Poitiers

AUTRES MEMBRES DU JURY :

M. PAPADOPOULOS Athanase

Directeur de recherche, université de Strasbourg

M. RAMAUT Alban

Professeur, université Jean Monnet Saint-Etienne

**L' école de lutherie française au dix-neuvième siècle, Jean-Baptiste Vuillaume :
originalité et imitation du modèle de violon crémonais**

Résumé

Mon travail est composé de trois parties : l'origine de l'art et analyse de la structure du moule de Stradivarius, la conception du violon chez Jean-Baptiste Vuillaume, la recherche de la structure du violon à partir des fondements acoustiques.

La première partie rappelle des anciens violons italiens du modèle crémonais, surtout ceux de Stradivarius. En alliant les méthodes de Simone Sacconi et celles d'Erice Brooks, j'ai utilisé la géométrie analytique pour calculer exactement la structure du moule G de Stradivarius et j'ai construit le modèle mathématique en 3 dimensions de la structure idéale pour donner une meilleure explication concernant les caractéristiques de la structure du violon de Stradivarius.

En 2006 Sylvette Milliot a publié un ouvrage intitulé *Histoire de la lutherie parisienne, Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille*. En 1999, la Cité de la musique à Paris a publié un catalogue particulier *Violons, Vuillaume (1798-1875)*, *A Great French Violin Makers of the 19th Century* pour une grande exposition des instruments de Vuillaume. Dans ces travaux, les auteurs présentent des documents historiques et révèlent les paramètres des violons de Vuillaume. De ce fait, la deuxième partie de ma thèse sera consacrée à l'analyse structurale des propres modèles du violon de Vuillaume à l'aide d'un logiciel informatique.

Grâce aux compréhensions sur le modèle du violon, j'ai tenté à travers l'acoustique d'analyser le rapport entre la sonorité et la structure du violon à la troisième partie. A l'aide du logiciel *AudioSculpt* de l'Ircam (Institut de Recherche et Coordination Acoustique / Musique), j'ai obtenu les sonagrammes des extraits sonores qui m'ont permis d'analyser les données de chaque note telle que le timbre, l'intensité, la qualité d'harmonie, etc. pour essayer de répondre à la question : quel est l'impact de la vibration et de la structure sur la sonorité? En fait, la sonorité du violon dépend de nombreux éléments tels que la structure, la densité du bois, le vernis, le réglage, etc. A ce jour, personne ne peut expliquer catégoriquement la réaction sonore d'un violon. L'acoustique est uniquement une approche qui peut

nous aider à débarrasser des connotations ésotériques, empiristes et anti-scientifiques dans le secteur de la lutherie.

Résumé en anglais

My thesis is made up of three parts: the origin of the art and analysis of the structure of a Stradivari mould, Jean-Baptiste Vuillaume's design of a violin, the study of the structure of violins from acoustic basis.

The first part deals with the old Italian violins from the cremoise style, mainly the Stradivari ones. Combining Simone F. Sacconi's methods with Eric Brooks's methods I used analytical geometry to calculate the structure of Stradivari's G mould. And so I built a 3D mathematical model of the ideal structure. With the help of analytical geometry and computing I can give a better explanation on the characteristics of the structure of Stradivari's violins.

In 2006 Sylvette Milliot published the books called: *Jean-Baptiste Vuillaume and his family*. In 1999 le muse de la Music in Paris published a special catalogue *Violins, Vuillaume (1798-1875), A Great French Violin Maker of the 19th Century* for an important exhibition of Vuillaume's instruments. In these books the authors show historical documents and reveal the parameters of Vuillaume's violins. Therefore the second part of my thesis will be devoted to analyse the style of Vuillaume's violins.

By understanding about the structure of French violin and Italy violin, I have tried to analyse the connection between the tone and the structure of violins in the third part of my thesis. With help of the software *AudioSculpt* developed by l'Ircam (Institute of Research and Acoustic / Music Coordination), I got the sonograms of the acoustic extracts which allowed me to analyse the information of each note such as the tone, the intensity, the quality of harmony. When comparing the different structures and sonograms of violins I raised the following question: what is the impact of the vibration and the structure on the tone?

In fact the sonority of the violin depends on many elements such as the structure, the density of the wood, the varnish, etc. So far nobody can really explain the sound effect of a violin. The acoustics is just an approach which can help us to get rid of esoteric, empiricist and anti-scientific connotations in the stringed-instrument making sector.

Avant-propos

Je me souviens que, lorsque j'ai eu cinq ans, mon père m'a offert mon premier violon, qui était vraiment petit comme un jouet d'enfant. Mon père est ainsi devenu mon premier professeur de violon. A ce moment-là, ma vie a beaucoup changé. Je n'ai plus pu m'amuser avec d'autres enfants comme avant. J'ai investi beaucoup de temps dans l'apprentissage du violon. Bien sûr, en tant qu'enfant, au début, cette vie était très dure et fade, et j'ai parfois été corrigé quand je jouais mal ou voulais abandonner le violon.

Avec le temps, je me suis aperçu de mon attirance pour le violon. Je l'aimais de plus en plus et vraiment passionnément. Sur le chemin de l'exécution et de l'étude du violon, j'ai rencontré des professeurs compétents, des musiciens sympathiques et des luthiers géniaux tels que monsieur Fabrice Beluze, luthier lyonnais, monsieur Alexandre Snitkovski, luthier russe, monsieur Thierry Ligier, luthier strasbourgeois et monsieur Xue Peng (薛彭), maître de conférences de fabrication d'instruments à archet au Conservatoire national supérieur de Shanghai (CNSS), que ce soit en Chine ou en France. Ils m'ont apporté beaucoup d'aide et donné de l'inspiration.

Quand j'étais étudiant en informatique à l'Université de Jinan, dans la province de Canton, en Chine, je me suis intéressé peu à peu à la sonorité du violon grâce à une expérimentation physique sur les vibrations du son que le professeur nous a montré en images. A ce moment-là, bien que j'eusse l'idée d'étudier le rapport entre la structure et la sonorité du violon, je n'avais pas le temps et les conditions n'étaient pas réunies pour que je puisse entreprendre cette étude.

Aujourd'hui, ayant travaillé pendant quatre ans sur des violons crémonais de Stradivarius et ceux de Jean-Baptiste Vuillaume ainsi que sur l'acoustique du violon, j'ai graduellement compris le principe de la sonorité, le processus de vibration, et la structure du violon. J'ai essayé d'analyser et d'expliquer scientifiquement leur rapport. Je tiens à remercier vivement mon directeur de thèse, monsieur Xavier Hascher, professeur en Musicologie à l'Université de Strasbourg, monsieur René Causse, monsieur Mondher Ayari, maître de conférences dans la même université et

chercheur associé à l'Ircam, monsieur Xue Peng, monsieur Fabrice Beluze, et monsieur Thierry Ligier, car ils ont respectivement éclairé ma recherche dans des domaines différents telles que la musicologie, la méthodologie, l'acoustique, l'esthétique, la philosophie, la fabrication des violons etc.

Enfin, c'est avec une profonde reconnaissance que je voudrais dédier le résultat de cette recherche à mes parents en raison de leur amour, encouragement et soutien. Je remercie également toutes les personnes qui m'ont aidé ainsi que les amateurs de violon.

INTRODUCTION

Lorsque nous évoquons la fabrication du violon, la majorité des gens ne mentionnent que les trois luthiers italiens les plus célèbres dans le monde : Nicolo Amati (3 décembre 1596-12 avril 1684), Antonio Giacomo Stradivari, dit Stradivarius (1644-18 décembre 1737), Bartolomeo Giuseppe Antonio Guarneri c'est-à-dire Guarneri del Gesù (dit Guarnerius, 21 août 1698-7 novembre 1744). Ils sont sans aucun doute les maîtres en la matière et également tous issus de l'école crémonaise. De plus, leurs violons ont beaucoup inspiré leurs successeurs et les luthiers contemporains.

A la fin du XVIII^e siècle, la fabrication du violon était essentiellement centralisée en France, plus particulièrement à Paris où sont apparus plusieurs luthiers talentueux tels que Jacques Bocquay¹, Jean-François Aldric², Louis Guersan³, Jean-Baptiste Deshayes Salomon⁴, etc. Bien qu'ils soient moins connus que Stradivarius et Guarnerius, ils ont pris en compte les méthodes de conception italiennes et ont mis en place, grâce à celle-ci, l'école française de lutherie. Ils y ont ajouté chacun un savoir-faire personnel dans la courbe de la caisse et le choix du bois, etc. Enfin, au XIX^e siècle, Jean-Baptiste Vuillaume est apparu en France ; il a été non seulement un luthier excellent et novateur, mais aussi un copiste de Stradivarius très célèbre. Il a été également un grand praticien de l'acoustique et un commerçant hors pair, ce qui fait qu'aujourd'hui il est considéré comme le « Stradivarius français ».

¹ Jacques BOCQUAY (ca. 1680-1730), fait partie de la première génération de luthiers français construisant des violons. Il est également spécialiste du violoncelle.

² Jean-François ALDRIC, luthier français, né à Mirecourt en 1765 et décédé en 1843. Il produisit des instruments de grande qualité d'après le modèle de Stradivarius, dont la sonorité est des plus chatoyantes.

³ Louis GUERSAN (ca. 1700-1770) C'est le chef de file de l'École dite des « Vieux-Paris ». Il possède le plus important atelier de son époque et son magasin est l'un des mieux achalandés, puisqu'on peut s'y procurer tous les instruments à la mode.

⁴ Jean-Baptiste Deshayes SALOMON (1713-1767), luthier parisien, établit son atelier vers 1746 à Paris ; il fut élève de BOCQUAY, mais sa lutherie ressemble cependant à celle de GUERSAN tout en étant plus lourde.

En portant un regard nouveau sur le travail de Stradivarius et celui de Jean-Baptiste Vuillaume, l'objectif de ma thèse est donc d'analyser et d'expliquer scientifiquement la structure et la sonorité du violon à travers l'expérimentation acoustique et la géométrie analytique. Celle-ci n'est autre qu'une approche dans laquelle les objets sont représentés par des équations et des inéquations ; elle est fondamentale pour l'analyse des figures géométriques et en infographie. Lorsque j'ai analysé le moule du violon à l'aide de la géométrie analytique, le repérage des points importants était indispensable : tous les traits sont donc relatifs à ce repère en fonction de leurs coordonnées. Par conséquent, nous pouvons définir exactement tous les points importants et les courbes permettant de comprendre la structure du violon.

En ce qui concerne ma thèse, elle est composée de trois parties : I. Origine de l'art et analyse de la structure du moule de Stradivarius, II. La conception du violon chez Jean-Baptiste Vuillaume, III. La recherche de la structure du violon à partir des fondements acoustiques ; ces parties sont suivies d'une conclusion.

La première partie rappelle les origines de l'art européen et des violons italiens. J'ai d'abord recherché les origines de l'art et des sciences telles que les mathématiques et la géométrie. Ces origines seraient en rapport direct avec la conception du chiffre dans la philosophie antique avec le théorème de Pythagore, l'arithmétique de Nicomaque de Gérase et le « nombre divin » de Platon. De plus, leurs notions concernent largement l'esthétique, l'architecture, la peinture, la sculpture et l'organologie. A propos de l'étude du violon italien, je suis obligé de mentionner monsieur Simone F. Sacconi qui est considéré comme la « Bible du violon » dans le domaine de sa fabrication. Il publie en 1972 un livre intitulé *Les Secrets de Stradivarius*⁵, qui est le premier ouvrage officiel dans lequel il dévoile sa méthode reposant sur les principes de la section dorée du segment et du triangle d'or, afin d'analyser la structure du violon italien et sa technique de fabrication. Mais, après avoir étudié la géométrie telle que la proportion d'orée et le nombre d'or, j'ai

⁵ Simone Fernando SACCONI, *Les Secrets de Stradivarius*, trad. fr. Evelyne CASTELLI et Bruno BOUR'HIS, Tipografia Padana, Crémone, 1989.

découvert que la théorie de Sacconi s'adapte uniquement au moule G car selon sa méthode je n'ai pas pu reproduire la structure du violon «Betts », un des violons parmi les plus spéculés. Jean-Baptiste Vuillaume, George Hart, et bien d'autres collectionneurs de renom ont pu entrer en sa possession. Il fut fabriqué à partir de 1698 et achevé en 1703⁶. Comme le moule G est apparu en 1700, la majorité de luthiers pensent que le «Betts » était fabriqué selon le moule B créé en 1692. En 2005, Eric L. Brooks et Jean-André Degrotte ont publié un ouvrage intitulé *Le violon et le nombre d'or*⁷ dans lequel ils ont projeté une hypothèse. Ils pensent que les moules du violon, de l'alto et du violoncelle de Stradivarius sont déterminés par le principe du pentagone régulier et du cercle inscrit. Ils en ont ainsi élaboré des figures géométriques⁸. Comme nous le savons, tous les problèmes géométriques doivent être justifiés de manière rationnelle. En alliant les méthodes de Sacconi et celles d'Eric L. Brooks et de Jean-André Degrotte, j'ai utilisé la géométrie analytique pour calculer exactement et comprendre la structure du moule G de Stradivarius. Monsieur XUE Peng m'a donné des dessins techniques des voûtes de la table et du fond élaborés à partir du moule G, ce qui m'a permis de construire le modèle mathématique en 3 dimensions de la structure. Par rapport à l'analyse de Sacconi, d'Eric L. Brooks et de Jean-André Degrotte, le modèle mathématique en 3 dimensions est non seulement plus exact mais également plus solide. En me basant sur la géométrie analytique, je peux donner une meilleure explication concernant les caractéristiques de la structure du violon de Stradivarius. Voici les deux problèmes que je vais tenter de résoudre :

- quelles sont les caractéristiques structurelles qu'a utilisées Stradivarius pour l'élaboration du moule G ?
- est-ce que Stradivarius a utilisé un principe mathématique commun à l'ensemble de ses violons ?

⁶ Henri PIGAILLEM, *Stradivarius, sa vie, ses instruments*, Aug.Zurfluh, Bourg-la-Reine, 2000, p. 155-156.

⁷ Eric L. BROOKS, Jean-André DEGROTTE, *Stradivari, Le Violon et Le Nombre d'or, Étude de la géométrie des anciens Maîtres Luthiers italiens*, Les Amis de la Musique, Spa, 2005.

⁸ Cf. p. 64, Brooks et Degrotte, *op. cit.*, p. 73.

Jusqu'à nos jours, la lutherie italienne a déjà suscité de nombreux ouvrages, la lutherie française, en revanche, demeure moins connue. Afin de combler cette carence, en 1997 et en 2006 Sylvette Milliot a publié respectivement deux ouvrages intitulés : *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960*⁹ ; *Histoire de la lutherie parisienne, Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien*¹⁰. En 1999, le musée de la Musique (Cité de la musique à Paris) a publié l'ouvrage *Violons, Vuillaume (1798-1875) : A Great French Violin Makers of the 19th Century*¹¹. Dans ces travaux, les auteurs présentent des documents historiques, montrent plusieurs photos et révèlent les paramètres des violons de Vuillaume tels que la longueur et la largeur de la table ainsi que celles du fond, etc. Mais ces auteurs n'ont pas analysé la structure des violons de Vuillaume comme Sacconi a lui-même analysé le moule G de Stradivarius. De ce fait, la deuxième partie de ma thèse sera consacrée à l'analyse de la structure des violons de Vuillaume. Après avoir étudié les moments importants de l'histoire de Vuillaume et le cadre social de son époque, je m'intéresserai à ses propres modèles n°2501 «Saint-Jean», n°2502 «Saint-Marc» et n°2434 «Le faisan d'or». Grâce aux enseignements qu'il a tirés de l'étude de la production de Stradivarius, ses modèles tiennent une place importante dans l'école française. J'ai donc analysé ses propres violons à l'aide d'un logiciel informatique professionnel appelé Panneau de géométrie (几何画板). Ce logiciel permet d'utiliser la géométrie analytique pour définir et calculer précisément tous les repères ainsi que les traits, les courbes, les figures géométriques et leurs équations. Cela m'a permis de poser les deux questions suivantes aux quelles je répondrai dans la deuxième partie de la thèse :

- Jean-Baptiste Vuillaume était-il uniquement un copiste de Stradivarius ?

⁹ Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960*, Les Amis de la Musique, Spa, 1997.

¹⁰ Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne, Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien*, Les Amis de la Musique, Spa, 2006.

¹¹ Rény CAMPOS, éditeur de l'exposition chez Jean-Baptiste Vuillaume, *Violons, Vuillaume : A Great French Violin Makers of the 19th Century, 1798-1875*, trad. ang. Marianne de Mazière, Cité de la Musique, Paris, 1999.

– quelles influences ont eu les violons de Stradivarius fabriqué à partir du moule G sur ceux de Vuillaume?

En juin 2007, j'ai pu rendre visite à monsieur René Causé directeur de l'équipe acoustique instrument de l'Ircam (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique) où il m'a présenté son approche de l'acoustique instrumentale. Cette science a pour objet d'étudier le fonctionnement des principales familles d'instruments de musique et d'élaborer des modèles suivant des principes physiques qui eux-mêmes prennent en compte les caractéristiques de production, de structure, de résonance et de rayonnement du son. Les résultats de ces recherches sont appliqués à une synthèse sonore appelé « modélisation physique », et qui aide ensuite à la conception des instruments. Évidemment, l'acoustique du violon est une approche très importante, c'est pourquoi je vais tenter à travers l'acoustique d'analyser le rapport entre la sonorité et la structure du violon.

Par rapport à la recherche sur les violons italiens, l'acoustique du violon est une nouvelle science dont l'étude systématique a eu lieu vers le début des années 1980. En 1983, H. A. Müller et P. Geissler ont publié une étude intitulée *Modal Analysis Applied to Instruments of the Violin Family*¹², dans laquelle ils présentent comment utiliser la technique du laser et de l'interférométrie pour obtenir les figures de la vibration du violon. Je pense qu'il serait intéressant d'analyser davantage leurs résultats. H. O. Saldner, N. E. Molin et E. V. Jansson, ont publié en 1996 une autre étude *Vibration Modes of the Violin Forced via the Bridge and Action of the Soundpost*¹³, dans laquelle ils mettent en lumière la technique de l'interférométrie et de l'holographie TV électronique afin d'observer la vibration du violon. Arthur H. Benade dans son ouvrage intitulé *Horns, Strings, and Harmony*¹⁴, ne fait également qu'une présentation des contraintes de la structure, mais il n'aborde pas la tension et son incidence sur la sonorité du violon. En 1998, Neville H. Fletcher et Thomas D. Rossing ont calculé l'angle sur le sommet du chevalet selon la mécanique et leurs

¹² H. A. MÜLLER, P. GEISSLER, *Modal Analysis Applied to Instruments of the Violin family*, Royal Swedish Academy of Music, Stockholm, 1983.

¹³ H. O. SALDNER, N. E. MOLIN, E. V. JANSSON, *Vibration Modes of the Violin Forced via the Bridge and Action of the Soundpost*, J. Acoust. Soc. Am. 100, 1996, p. 1168-1177.

¹⁴ Arthur H. BENADE, *Horns, Strings, and Harmony*, Dover, New York, 1992.

résultats sont relatés dans un ouvrage intitulé *The Physics of Musical Instruments*¹⁵.

Malheureusement, ces acousticiens ont prêté uniquement attention à la recherche théorique et technique, mais ils ont à mon sens négligé la pratique et l'effet réel du son. Je me suis donc intéressé à la corrélation entre la théorie et la pratique, qui sera développée dans la troisième partie de ma thèse. J'ai pour cela étudié les matériaux d'expérimentations acoustiques avec monsieur Mondher Ayari. En collaboration avec monsieur Xue Peng, j'ai d'autre part créé mes propres expérimentations acoustiques. Au cours de ces deux mois de travail, nous avons tout d'abord étudié la structure du moule G et le modèle du violon de 1733 de Guarnerius. Étant donné que les Stradivarius et les Guarnerius sont vraiment très rares et précieux, nous n'avons emprunté que deux copies d'un modèle de 1716 (moule G) de Stradivarius et d'un modèle de 1733 de Guarnerius¹⁶, fabriqués par monsieur Hua Tianreng (华天初), directeur et responsable de fabrication d'instruments à archet au Conservatoire national supérieur de Shanghai (CNSS), considéré en Chine comme un des meilleurs luthiers et experts du modèle crémonais. De plus, monsieur Hua Tianreng nous a fourni les dessins techniques (à l'échelle 1:1) de ces deux violons qui sont issus du Musée du violon de Crémone en Italie. À l'aide d'un studio d'enregistrement professionnel du CNSS, monsieur Xue Peng et moi-même avons effectué des expérimentations acoustiques et enregistré des extraits sonores. Comme nous le savons, la composition de la sonorité du violon est complexe du fait qu'elle implique de nombreux éléments. En fait, ces éléments sont divisés en deux catégories. La première catégorie concerne le réglage, la structure de la caisse, la qualité du bois, etc., qui sont issus de l'instrument lui-même. La seconde concerne la pression, la vitesse et l'angle de l'archet, etc., qui émane du musicien. Quant à la première

¹⁵ Neville H. FLETCHER, Thomas D. ROSSING, *The Physics of Musical Instruments*, Second Edition, New York, Springer, 1998.

¹⁶ Ces deux copies sont considérées en Chine comme les deux meilleures copies. Mais, comme il n'y a pas deux couleurs identiques dans le monde, il n'existe non plus deux violons complètement pareils. L'objectif de mes expérimentations acoustiques ne vise pas la comparaison entre la copie et l'original, mais la recherche du rapport entre la sonorité et la structure connue.

catégorie, ces deux copies de violons ont toutes deux été fabriquées de la même manière que les originaux à savoir en termes de structure et d'essences de bois utilisées (épicéa et érable ondé). Ce sont donc des copies parfaites. De plus, Xue Peng et moi-même avons fait le même réglage d'âmes et de chevalets sur ces deux violons selon la théorie de Fletcher et de Rossing afin de comparer le rapport entre la sonorité et la structure. En plus du réglage, nous avons contrôlé la température, l'humidité et la surface du studio. En ce qui concerne la deuxième catégorie, nous avons limité la vitesse du morceau¹⁷ (entre 80 et 84 à la noire) pour contrôler la vitesse de l'archet afin de minimiser les éléments émanant du violoniste. De plus, pour cette expérimentation, nous avons décidé de faire appel à un seul violoniste pour exécuter le morceau dans le but d'uniformiser les facteurs humains. À l'aide du logiciel AudioSculpt de l'IRCAM, j'ai obtenu les sonagrammes des extraits sonores qui m'ont permis d'analyser les données de chaque note telle que le timbre, l'intensité, l'harmonie, etc. En comparant les différentes structures et les sonagrammes de ces deux violons, j'ai été amené à me poser la question suivante :

- quel est l'impact de la vibration et de la structure sur la sonorité ?

C'est à cette question que je vais tenter de répondre dans la troisième partie de ma thèse afin de mettre en lumière les différentes caractéristiques de la sonorité des violons crémonais et ceux de Vuillaume.

La sonorité du violon dépend de nombreux éléments tels que la structure, la densité du bois, le vernis, le réglage, etc. À ce jour, personne ne peut expliquer scientifiquement et catégoriquement la réaction sonore d'un violon. L'acoustique est uniquement un élément de recherche qui peut nous aider scientifiquement à comprendre la réaction de la structure. Je souhaite que les expériences abordées dans ma thèse puissent apporter une vision scientifique du rapport entre la structure et la sonorité du violon.

¹⁷ Johann Sébastien BACH, *Allemande*, issue de Partita n°2 en ré mineur, BWV 1004.

Sommaire

Avant-propos	5
Introduction	7
Partie I. Origines de l'art et analyse de la structure du moule de Stradivarius	
<i>1. Quelques aspects des origines de l'art et des mathématiques</i>	<i>18</i>
1.1 De la vénération du chiffre à la philosophie	18
1.2 Aux origines de la géométrie : la proportion des segments.....	24
1.3 Quelques figures géométriques importantes et notions mathématiques.....	26
1.3.1 Le triangle isocèle d'or	30
1.3.2 Le pentagone régulier	31
1.4 Mathématiques appliquées à l'art	32
<i>2. Analyse portant sur la structure de la caisse du violon</i>	<i>36</i>
2.1 Recherches primaires sur la caisse du violon	42
2.2 Recherche approfondie sur la structure de la caisse	46
2.2.1 Les travaux de Sacconi	49
2.2.2 Défauts de la méthode de Sacconi selon ses calculs sur le « Betts » de Stradivarius	53
2.2.3 État de la recherche sur la structure du violon au XXI ^e siècle au moyen des mathématiques : Strobel, Eric L. Brooks et Jean-André Degrotte.....	58
2.2.4 Critique des théories d'Eric L. Brooks et de Jean-André Degrotte du point de vue de la géométrie analytique	66
2.3 Calculs et hypothèse sur l'échancrure du violon	72
2.4 Analyse de la voûte du violon	76
2.4.1 Résultats des recherches de Sacconi et d'A. Mosconi sur la voûte du violon	76
2.4.2 Résultats des recherches de Brooks et Degrotte sur les voûtes	79
2.4.3 Hypothèse sur la structure idéale du moule G	84

Partie II. La conception du violon chez Jean-Baptiste Vuillaume

<i>3. Développement et évolution du violon français</i>	105
3.1 Chronologie du violon français avant le XIX ^e siècle	105
3.2 Brève présentation des lutheries françaises les plus connus au XVIII ^e siècle... 110	
3.3 Les origines de la famille Vuillaume	115
3.4 Ascension de Jean-Baptiste Vuillaume	116
3.4.1 La situation de la lutherie française au XIX ^e siècle	117
3.4.2 La copie des violons célèbre et l'ascension de Jean-Baptiste Vuillaume.118	
3.5 Les violons de Jean-Baptiste Vuillaume	120
3.5.1 L'imitation des modèles italiens	121
3.5.2 La facture de Jean-Baptiste Vuillaume	123
<i>4. Analyse des violons de Jean-Baptiste Vuillaume</i>	135
4.1 Analyse de la Structure du violon n°2434 «Le faisan d'or »..... 139	
4.2 Analyse de la Structure du violon n°2501 «Saint-Jean ».....150	
4.3 Analyse de la Structure du violon n°2502 «Saint-Marc »..... 156	
4.4 Les caractéristiques des violons de Vuillaume par rapport au moule G de Stradivarius	162
4.5 Vuillaume, Savart et l'acoustique	177

Partie III. Recherche sur la structure du violon à partir de l'acoustique

<i>5. Étude de l'acoustique du violon</i>	182
5.1 Brève présentation de l'histoire de l'acoustique du violon	182
5.2 La résonance de Helmholtz et trois modèles d'analyse	183
5.2.1 La résonance de Helmholtz	183
5.2.2 Trois modèles d'analyse	185
5.3 Définition de la qualité du son	186
5.3.1 Le timbre	187
5.3.2 Le rayonnement sonore du violon	189
5.4 La vibration de la caisse du violon	193

5.4.1	La mouvement de la caisse	193
5.4.2	L'interférométrie et l'holographie TV électronique	195
5.4.3	Les tables et fonds différemment assemblés	197
5.5	L'âme et la barre d'harmonie	199
5.6	Chevalet	202
5.7	Analyse des contraintes du violon	205
6.	<i>Analyses des courbures de la caisse du violon à partir des expérimentations acoustiques</i>	207
6.1	Cadre des expérimentations acoustiques sur le violon	207
6.2	Les fonctions d'AudioSculpt et les concepts mathématiques utilisés	211
6.3	Analyses acoustiques	214
6.3.1	Analyse d'enregistrements d'une copie du modèle G de Stradivarius	214
6.3.2	Effet de l'âme sur la sonorité	230
6.3.3	Analyse d'enregistrements d'une copie du modèle «Kreisler» de Guarnerius	243
6.4	Analyses de la structure de la caisse	257
6.4.1	Analyse du modèle «moule G» de Stradivarius	257
6.4.2	Analyse du modèle «Kreisler» de Guarnerius	265
6.5	Recherche entre la sonorité et la structure basée sur l'acoustique et les mathématiques	271
	Conclusion	280
	Annexe	295
	Biographie	315
	Références	324

Partie I

Origines de l'art et analyse de la structure du moule de Stradivarius

1. Origines de l'art et des mathématiques

Avant d'analyser la structure du violon, je n'aurais jamais pensé que mon sujet pouvait être lié à la pensée philosophique. J'ai concentré ma recherche sur les concepts philosophiques et mathématiques qui décrivent le contexte culturel et scientifique dans lequel le violon est apparu, afin de mieux comprendre l'origine du son. Il est également nécessaire de s'interroger sur la manière dont les conceptions du savoir se sont formées, ont été acceptées, gardées et transmises.

Nous ne devons pas nous étonner des nombreuses corrélations existant entre des disciplines telles que l'architecture, la peinture, la sculpture, etc., et la lutherie alors que celles-ci n'ont apparemment pas de points communs avec cette dernière. En réalité, à l'époque de Stradivarius, et depuis la Renaissance, les concepts des luthiers étaient largement communs à tous les arts et métiers.

1.1 De la vénération du chiffre à la philosophie

Dans la pensée antique, la superstition était très présente, du fait qu'elle concernait non seulement le corps humain, la natalité, les chiffres, mais aussi les objets.



Figure 1. Idole en marbre de Paros

Dans *La légende du violon*¹, ouvrage écrit par Yehudi Menuhin, se trouve une image, intitulée « Idole en marbre de Paros », qui révèle que la forme du violon peut être assimilée à un corps humain. C'est, en fait, une petite sculpture qui figure dans une collection du musée national archéologique d'Athènes. Ce corps humain représente de façon étonnante l'anatomie d'un violon. La femme assimilée au corps même du violon tend vers le ciel la ligne pure de son cou. Ceci appelle une autre question : le violon est-il masculin ou féminin ? Je pense que la forme de cette figure a été conçue selon la morphologie féminine car les Anciens vénéraient la natalité et le corps féminin était l'objet d'adoration dans les civilisations antiques. Il est possible que sous l'Antiquité, la forme féminine ait été utilisée pour créer des totems et des objets d'art. De plus, pendant des siècles les archets et les flèches ont été considérés comme des outils masculins. Nous pouvons alors imaginer, lorsque l'archet frotte des cordes sur le corps du violon, que les sons émis manifestent l'union parfaite entre le masculin et le féminin.

C'est de la Grèce antique que nous vient essentiellement la perception des chiffres. Elle a été développée et a été notamment enrichie par Pythagore², Nicomaque de Gêse et Platon. Tout d'abord, nous pouvons résumer la pensée de l'école pythagoricienne en la concentrant dans la paraphrase suivante : « Au commencement étaient l'engouement et la perception des chiffres³ ». Aristote, qui reste l'une de nos sources principales sur l'ancien pythagorisme, se penche sans cesse sur ce sujet : les pythagoriciens pensent que les choses sont des nombres, les nombres se trouvent dans les choses et les nombres sont les causes et les principes

¹ Yehudi MENUHIN, *La légende du violon*, trad. fr. Colette Malandain et François Thomas, Flammarion, Paris, 1996.

² Chaque nom propre souligné dans le texte fait l'objet d'une notice biographique.

³ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTE, *op. cit.*, p. 23.

des choses⁴. L'un des apports de Platon consiste à allier le nombre à la religion, certains « nombres divins » (tels que le chiffre 3 et 5) seront largement repris par les traités mathématiques de la Renaissance et seront au passage directement christianisés. Le nombre est donc le principe créateur de toute chose, nous ne pouvons rien créer sans lui. Les travaux de l'intelligence humaine conduisent à recombinaison des nombres à l'infini dans les objets, ce qui donne ainsi un sens à toute création humaine, singulièrement artistique. Enfin, à partir de la perception de Platon, Nicomaque de Géraze déclare :

Tout ce que la nature a arrangé systématiquement dans l'Univers paraît dans les parties comme dans l'ensemble avoir été déterminé et mis en ordre en accord avec le Nombre, par la prévoyance et la pensée de celui qui créa toutes choses⁵.

De plus, Géraze pense que la création artistique est obligée d'obéir à ces règles, c'est-à-dire d'arranger les choses selon un système et un ordre en accord avec le nombre. Nombre, système, ordre, accord, sont les mots clés de cette philosophie de la création. Cette optique donne naissance à la numération et à l'arithmétique. Puis, la logique et le calcul servent pour l'essentiel au commerce, aux sciences et aux arts appliqués.

Parallèlement, il existait plusieurs écoles de pensée et écoles de philosophie en Chine à l'époque des Royaumes combattants (de 475 à 221 avant J.-C.) : par exemple, l'école de Confucius (孔子), l'école de guerre de Sun-Tzu (孙子, auteur de

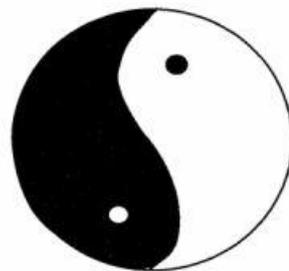
⁴ Aristote, *Méaphysique*, A, 986a, 987a ; M, 1083b, 1090a, etc. dans Jean-François Matté, *Pythagore et les Pythagoriciens*, troisième édition, collection : *Que Sais-je ?*, Presses Universitaires France, Paris, 2002.

⁵ NICOMAQUE DE GÉRAZE, *Theologoumena arithmeticae (La théologie des Nombres)* dans la Bibliothèque de Photius, tome I, trad. fr. René Henry, Les Belles Lettres, Paris, républié en 1959, cité par A. Guillaumont, *Revue de l'histoire des régions*, volume 161, numéro 161-2, 1962, p.259-260.

L'Art de la guerre), l'école taoïste de Lao-Tseu (老子), l'école de la nature, l'école du *yin-yang*, l'école de médecine, etc. Selon l'observation sur la nature, l'école taoïste, l'école de la nature, l'école de médecine et l'école de la guerre ont la superstition du nombre 5, celui-ci étant considéré comme «un chiffre divin ». Aux yeux des taoïstes, le monde est composé de cinq éléments naturels : le métal, le bois, l'eau, le fer et le sol, qui comportent toutes les propriétés de la terre. L'école de médecine croit que le corps humain est composé de cinq organes : le cœur, le foie, la rate, l'estomac et les reins. Le nombre des doigts des mains et des pieds est aussi de cinq. De plus, la tête est également composée de 5 organes : les yeux, le front, la bouche, le nez et les oreilles. Dans le domaine de la musique traditionnelle chinoise, la gamme pentatonique est composée de 5 notes : *do*, *ré*, *mi*, *sol* et *la*. D'ailleurs, l'école de la guerre s'intéresse également au nombre 5, car dans cette école, il est d'usage de faire remarquer que le poing est composé de cinq doigts pliés : il existe ainsi des règlements militaires selon lesquels cinq soldats forment le «petit groupe » ; quant au «grand groupe », il est constitué de 50 soldats. Quant au confucianisme, non seulement il associe une notion de superstition aux nombres 5 et 3, mais vénère également le nombre 9, car les Chinois de l'époque antique pensent que le ciel a 3 étages et que le nombre 9 est le plus grand chiffre unique. A partir de 140 avant J.-C., à l'époque de la dynastie Han (汉), l'empereur LIU Che (刘彻), surnommé «l'empereur vaillant » (汉武帝), exige que tous les citoyens ne croient qu'à la pensée confucéenne. L'empereur est désormais nommé «Noblesse de 9 et de 5» (九五之尊). Devant ses palais et son trône, il fait construire 3 niveaux d'escaliers de bas en haut, et chaque niveau comprend 9 perrons.

Peut-être, doit-on se demander d'où vient l'origine de la superstition des nombres en Chine ? En fait, elle est issue des concepts de l'école taoïste. La méditation taoïste a pour but d'étendre l'espace de la pensée afin de réfléchir le

monde. Ce qui est le ressort de la principale pensée de l'école de Lao-Tseu, c'est *kong* (空, le vide). Selon cette école, nous sommes habités par le vide, remplis d'un vide que l'air, le sang et l'eau peuvent investir, comme l'eau du ciel irrigue les sillons de la terre et gonfle le flot des mers. Sans cavité, sans vallée, sans abîme, pas de ruisseau, pas d'océan, et par conséquent pas de vie sur notre planète. Quant aux nombres, sans vide (zéro), il n'y aurait pas de 1, et par conséquent pas de nombre ultérieur. Le vide donne naissance au nombre 1, le nombre 1 se sépare en deux parties égales (le concept de *yin-yang*), c'est le nombre 2. Puis, le 1 et le 2 créent le nombre 3 ; 2 et 3 mettent le nombre 5 au monde. Désormais, l'on peut organiser tous les nombres selon le schéma suivant : 0, 1, 2, 3 et 5. C'est ainsi que les Chinois sont superstitieux par rapport au nombre 2 (le concept de *yin-yang* 阴阳) et au nombre 5. Par conséquent, le vide est un principe premier, une entité naturelle indispensable à la vie organique, mais aussi spirituelle de l'homme. En effet, qu'est-ce que la pensée si ce n'est l'acte de se laisser inspirer par l'occupation des vides ? C'est ce processus fondamental que les Chinois ont su comprendre et développer dans l'idée des souffles vitaux et qui est à la naissance de l'alternance du *yin* et du *yang*, la représentation habituelle du *yin-yang* montrant un cercle qu'une ligne sinueuse divise en deux parties égales, l'une blanche, l'autre noire.



Dans l'image ci-dessus, le noir représente le *yin* et le blanc représente le *yang*. Comme on peut le constater, le blanc et le noir ne sont pas absolus. En réalité, la partie noire comprend un cercle blanc ; dans la partie blanche, il existe également un

cercle noir. De plus, cette union n'est pas statique, elle tourne éternellement. L'alternance du *yin* et du *yang* est non seulement l'expression de la dualité et celle de la dialectique mais également de la complémentarité présente en toute chose : l'ombre et la lumière, l'aspect féminin et masculin, le spirituel et le matériel, le négatif et le positif, le silence et la mélodie, etc. Dans le *Tao-tö-king*⁶, le vide représente en quelque sorte l'origine, le « vide suprême » dont l'univers est issu. C'est donc l'élément premier et fondateur de la vie. Par ailleurs, Lao-Tseu perçoit le vide qui se compose essentiellement du *yin-yang* comme le rouage principal des objets et des êtres du monde matériel.

Comme on sait, la dynastie Tang (唐) est le plus célèbre empire chinois. À partir du VII^e siècle, l'économie, l'architecture, la sculpture et la musique se développent largement en Chine. De plus, l'organisation de l'orchestre traditionnel chinois s'améliore graduellement. Plusieurs instruments sont créés et viennent se rajouter à l'orchestre.



Figure 2. *Erhu*, surnommé «le violon traditionnel chinois »

La figure ci-dessus montre un instrument traditionnel chinois, l'*erhu* (二胡), surnommé «le violon chinois ». Non seulement sa conception reflète la pensée du

⁶ Code de morale (道德经), écrit par Lao-Tseu.

yin-yang mais elle est également similaire à celle du violon occidental. Cet *erhu* est composé de deux parties : l'archet et le corps. Le corps est composé de la tête, du manche, de la caisse, du chevalet et des cordes. En raison de la superstition portant sur le dualisme (*yin* et *yang*), il ne comporte que deux cordes en rapport de quinte, *ré* et *la*. Comme la corde de *ré* est plus grosse que la corde de *la*, celle-ci est appelée la « corde du *yin* » et celle-là est qualifiée de « corde du *yang* ». Quant au bois, les anciens luthiers chinois préféraient l'ébène, le santal rouge ou le sapin pour fabriquer le corps de l'*erhu* car il n'y a guère d'écussons en Chine. Mais les bois et les vernis chinois, en raison de leur bonne qualité sont également envoyés en Italie, à Milan, par la route maritime de la soie⁷.

Comme on peut le voir, que ce soit dans le monde occidental ou en Chine, le nombre 5 est toujours considéré comme « le nombre divin ». Est-ce une circonstance liée au hasard ? Ces nombres sacrés (tels que le 5 et le 9) portent-ils des significations spéciales ? Dans les paragraphes ci-dessous j'expliquerai, à travers les mathématiques, les secrets de ces « nombres divins ».

1.2 Aux origines de la géométrie : la proportion des segments

A partir de la reconnaissance du nombre établie par l'école de Pythagore, Euclide entreprend une étude sur la géométrie, surtout la proportion des segments, et croit qu'en ce qui concerne la dimension, le rapport est la relation qualitative entre deux grandeurs homogènes. De plus, Géraise considère que « le rapport étant une relation entre deux termes, et la proportion une combinaison d'au moins deux rapports, il faut au moins trois termes pour établir une proportion⁸ ». Platon quant à lui prétend qu'

⁷ Henri PIGAILLEM, *op. cit.*, p. 22-23.

⁸ NICOMACHE DE GÉRAISE, *op. cit.*, cité par Eric L. Brooks et Jean-André Degrotte, *op. cit.*, p. 31.

Il est impossible de bien combiner deux choses sans une troisième : il faut entre elles un lien qui les assemble. Il n'est pas de meilleur lien que celui qui de lui-même et des choses qu'il unit fait un seul et même tout. Or, telle est la nature de la proportion⁹.

Leurs conceptions joignent non seulement le rapport et la conception de l'harmonie, mais elles sont aussi finalement dérivées du rapport d'or des segments, celui-ci étant d'abord utilisé dans le domaine de l'architecture. Désormais, des mathématiciens complètent et perfectionnent continuellement cette conception, et ils découvrent successivement la section dorée, les rectangles d'or et le triangle isocèle d'or, etc.

En 1509, Pacioli, dans son ouvrage *Divine Proportion*, a recherché «rapport doré», et Léonard de Vinci emploie l'expression «Section dorée», termes sous lesquels elle est généralement connue¹⁰. Mais, je n'aurais jamais pensé que la première définition du nombre d'or émanait de l'astronome grec Méton, qui vécut au V^e siècle avant Jésus-Christ (vers 430). Il emploie cette expression pour qualifier le cycle lunaire de 19 ans (235 lunaisons), dont les phases reviennent aux mêmes dates par rapport au mouvement de la terre autour du soleil. Notons que cette définition originale n'a pas de rapport direct avec celle que nous connaissons aujourd'hui ; cependant, nous sommes contraints d'admettre le fait que les sciences existant objectivement dans l'univers nous permettent de découvrir et de développer des domaines tels que le nombre, la géométrie, l'astronomie, l'architecture, la religion, l'esthétisme, l'art, la philosophie, etc.

Pour mieux faire comprendre mon analyse de la structure du violon, j'expliquerai d'abord les proportions particulières des segments et des conceptions spéciales concernant la géométrie.

⁹ Platon, *Timée*, dans *Œuvres Complètes*, éd. Robin, Gallimard, Coll. La Pléiade, Paris, 1950, cité par Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p. 31.

¹⁰ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p. 149.

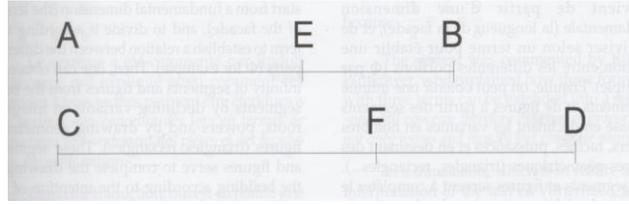


Figure 3. Rapport d'or des segments

En fait, le rapport est l'étape primaire de la proportion, et la proportion est l'équivalence des rapports.

Soit deux segments quelconques AB et CD de longueur in égale (voir figure ci-dessus) que nous divisons selon un même nombre, par exemple 1,618 (le nombre d'or), dont nous verrons la définition plus loin et dont le symbole est la lettre grecque Φ (majuscule) ou ϕ (minuscule). Il semble que ces deux segments aient apparemment des dimensions qui n'ont rien en commun, mais le rapport Φ est leur élément unificateur et caché : $\frac{AB}{AE} = \frac{CD}{CF} = \Phi$.

1.3 Quelques figures géométriques importantes et notions mathématiques

Pendant l'étude sur le rapport et la proportion des segments, des mathématiciens découvrent une section importante et intéressante dans la proportion des segments. Cette section est nommée «Section Dorée».

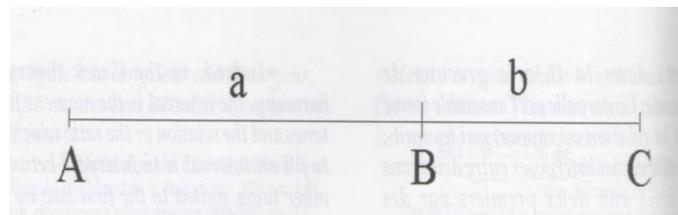


Figure 4. Section dorée

En prolongement du concept de proportion, si nous approfondissons le partage asymétrique le plus simple d'une droite en deux parties, il convient d'introduire un

troisième point sur cette droite. Parmi une infinité de figures possibles, il en est une, connue depuis l'époque antique, et à laquelle nous reconnaissons des vertus esthétiques, liées à ses propriétés mathématiques : il s'agit du «partage d'une droite en moyenne et extrême raison¹¹ ».

Dans la Figure 3, soit a la longueur entre A et B , et b la longueur entre B et C . Cette relation est expliquée par la formule suivante : $\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a}$. Cela signifie que le rapport entre le segment le plus grand a et le plus petit b , est égal au rapport entre le segment résultant de la somme des deux $a + b$, et le plus grand a . De plus, cette formule peut être calculée de la façon suivante :

1. Prenons l'égalité $\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a}$ qui donne $\frac{a}{b} = \frac{a}{a} + \frac{b}{a} \Leftrightarrow \frac{a}{b} = 1 + \frac{b}{a}$,

si $a \neq 0$ et $b \neq 0$, ainsi nous pouvons penser que $\frac{a}{b}$ est un nombre inconnu : x ,

par conséquent, nous obtenons $\frac{a}{b} = 1 + \frac{b}{a} \Leftrightarrow x = 1 + \frac{1}{x}$ (Relation ①).

2. Multiplions par x des deux côtés de la formule :

$$x = 1 + \frac{1}{x} \text{ (Relation ①)} \Leftrightarrow x^2 = x + 1 \Leftrightarrow x^2 - x - 1 = 0 \text{ (Relation ②)}.$$

En comparaison de la formule générale de l'équation du second degré en x :

$$ax^2 + bx + c = 0, \text{ l'on obtient : } a = 1, b = -1, c = -1, \text{ issus de l'équation :}$$

$$x^2 - x - 1 = 0 \text{ (Relation ②)}$$

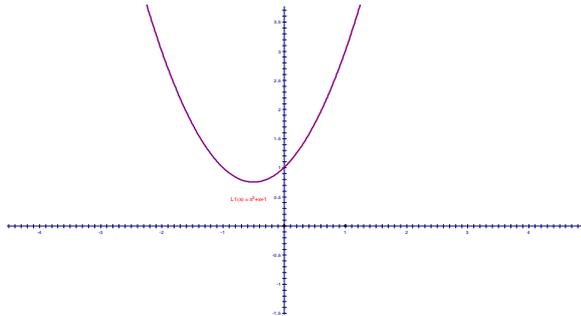
3. Dans l'équation générale du second degré en x : $ax^2 + bx + c = 0$

Le signe mathématique $\Delta = b^2 - 4ac$

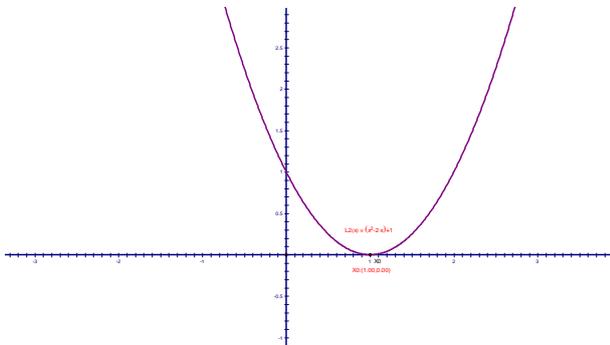
Selon les figures de la géométrie analytique :

¹¹ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p. 39-40.

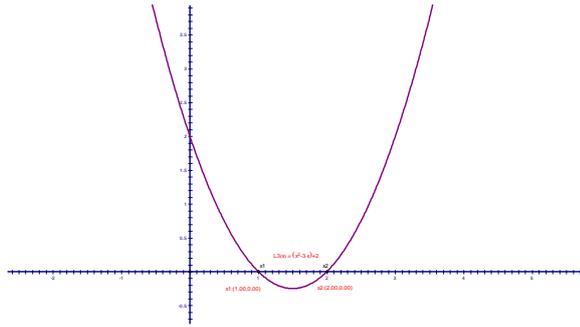
- i. Si $\Delta = b^2 - 4ac < 0$, l'équation du second degré n'a pas de racine : dans le système de coordonnées en axes X et Y , la parabole L_1 pas de point à l'intersection avec l'axe X . Voir l'image ci-dessous.



- ii. Si $\Delta = b^2 - 4ac = 0$, l'équation du second degré a une seule racine : Dans le système de coordonnées en axes X et Y , la Parabole L_2 donne le seul point X_0 à l'intersection avec l'axe X .



- iii. Si $\Delta = b^2 - 4ac > 0$, dans le système de coordonnées en abscisse et ordonnée, La Parabole L_3 donne respectivement le point X_1 et le point X_2 à l'intersection avec l'axe des x .



De ce fait, je calcule Δ de l'équation $x^2 - x - 1 = 0$ (Relation ②).

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-1)^2 - 4 \times 1 \times (-1) = 1 + 4 = 5 > 0$$

4. Selon la formule de racine de l'équation générale du second degré en X :

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Ainsi, dans l'équation : $x^2 - x - 1 = 0$ (Relation ②),

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-1) \pm \sqrt{5}}{2 \times 1}$$

J'obtiens deux racines différentes :

$$x_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \text{ et } x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$$

5. En fait, $x = \frac{a}{b}$, c'est un ratio, ainsi, nous enlevons la racine $x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$, car elle est inférieure à 0. La racine positive est $\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,618$. Si $\frac{a}{b} = \Phi \approx 1,618$ ou si $\frac{a}{a+b} = \frac{b}{a} = \frac{1}{\Phi} = \Phi - 1 = 0,618$, dans la Figure 3¹², le point B est la section d'or, d'ailleurs, d'après la «Relation ①» et la «Relation ②», nous avons deux

¹² Cf. p. 26.

nouvelles relations : $\frac{1}{\phi} = \Phi - 1$ et $\Phi^2 = \Phi + 1$, enfin, l'on définit le signe mathématique $\Phi = 1,618$, c'est-à-dire le nombre d'or.

1.3.1 Le triangle isocèle d'or

Lorsque les mathématiciens commencent à rechercher des figures géométriques, le triangle, la plus simple figure géométrique close qui soit, apparaît comme très important. Dans la famille du triangle, il existe plusieurs catégories particulières telles que le triangle rectangle, le triangle isocèle, le triangle rectangle et isocèle, etc. Le triangle du nombre d'or existe-t-il ?

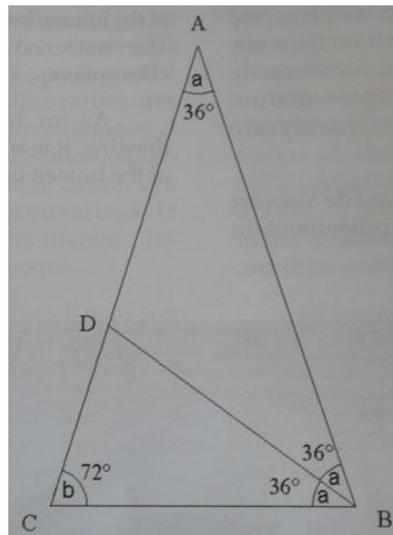


Figure 5. Le triangle isocèle d'or

En fait, le triangle du nombre d'or appartient à la catégorie des triangles isocèles, il est appelé le «triangle isocèle d'or »; c'est un triangle tiré du pentagone, dont l'angle au sommet est de 36° et l'angle à la base de 72° . Les liaisons entre le triangle isocèle d'or et le nombre Φ sont les suivantes : $AD = BD = BC$ et $\frac{AD}{DC} = \frac{BC}{DC} = \frac{AC}{BC} = \Phi$.

1.3.2 Le pentagone régulier

Le pentagone régulier est la représentation graphique du nombre 5 dont nous avons remarqué l'importance dans la pensée pythagoricienne.

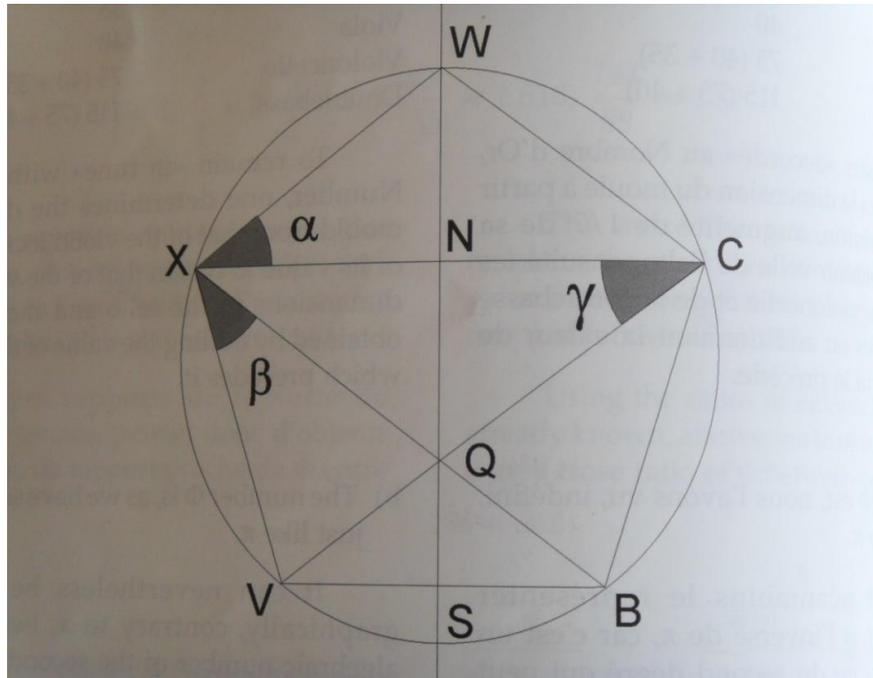


Figure 6. Le pentagone régulier

Visuellement, ce sont les propriétés du nombre 5 et ses liaisons avec $\Phi \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)$ qui font du pentagone l'un des dessins géométriques les plus pertinents par rapport à la notion d'harmonie. Dans le pentagone régulier, le nombre d'or est omniprésent, notamment dans les proportions suivantes : $\frac{XC}{XW} = \frac{XC}{VB} = \frac{WS}{NS} = \Phi$, $NW = NQ$, $\angle \alpha = \angle \beta = \angle \gamma = 36^\circ$. Il existe 5 triangles d'or : le triangle XCV , le triangle BXC , le triangle VWB , le triangle XBW et le triangle WVC . Le triangle isocèle d'or et le pentagone régulier jouent un rôle très important dans le domaine de la géométrie, c'est pourquoi j'y aurai recours dans le second chapitre pour analyser la structure du violon.

1.4 Mathématiques appliquées à l'art

Dans le domaine de l'art, qu'il s'agisse de peinture, sculpture, architecture, etc., la Renaissance, qui est en rupture avec l'art gothique, ne fait que « redécouvrir » des notions qui sont restées assez vivaces au Moyen Âge par l'intermédiaire des artistes et artisans bâtisseurs de cathédrales. Elle y ajoute l'art de la perspective portée pour l'essentiel à un très haut niveau.

Lorsque nous évoquons l'art de la peinture et la géométrie, parmi les artistes peintres les plus célèbres, Leonardo da Vinci (1452-1519) est une référence incontournable. En 1467, il devint apprenti en peinture et sculpture, disciplines qu'il étudiait, en 1472, il fut accepté dans la corporation des peintres de la ville de Florence. A partir de 1482, il commença à s'intéresser à la géométrie et à étudier les ouvrages de Leon Battista Alberti sur l'architecture et celui de Piero della Francesca sur la perspective en peinture. Il a illustré l'ouvrage de Pacioli, *La Divine Proportion*. Puis, Léonard de Vinci se lança dans des recherches sur la géométrie. En ce qui concerne la construction en peinture, il a sans doute profité des perspectives géométriques, par exemple dans :

1. Le tableau *Sainte Anne, la Vierge et l'Enfant*



Figure 7. *Sainte Anne, la Vierge et l'Enfant*, bois, 1,68 × 1,30 m, Paris, le Musée du Louvre

Léonard de Vinci a commencé ce tableau vers 1508. Il espérait peut-être se faire remarquer du roi par ce tableau. Dans une émission télévisée produite par ARTE-France 3, ce tableau se présente ainsi :

Les personnages sont groupés en une gracieuse composition pyramidale, dans laquelle l'entrelacement des bras et des jambes crée un sens dynamique du mouvement. En alignant les trois têtes, Vinci a accentué le lien entre la grand-mère, la mère et l'Enfant Jésus qui tend ses bras vers l'agneau, symbole de sa mort inéluctable¹³.

Le tableau forme un rectangle d'or¹⁴, le jeu des diagonales confirme cette composition.

2. Le croquis, *L'homme de Vitruve*

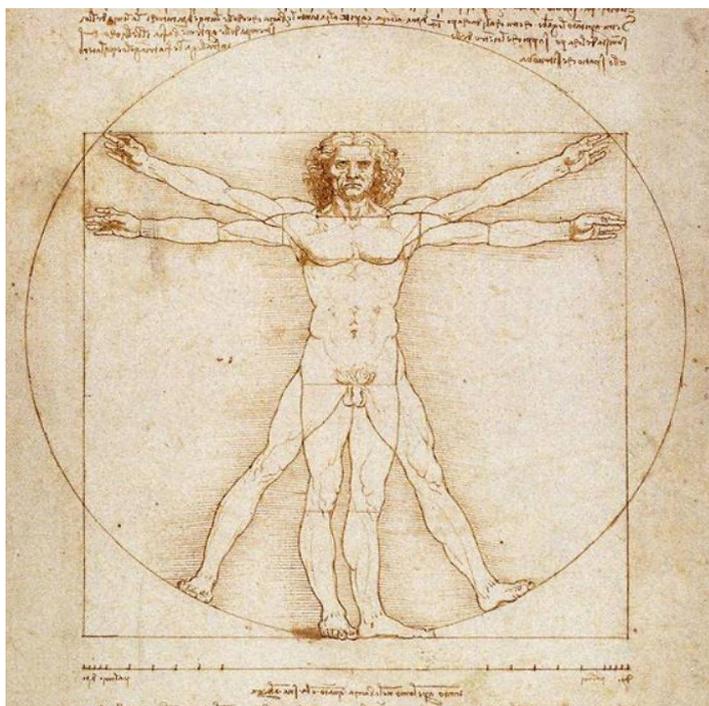


Figure 8. L'homme de Vitruve Venise, Galleria dell'Academia, dimension 34,3 × 25,5 cm

¹³ ARTE- France 3 Delta Image, «Léonard de Vinci - Le sourire et l'entrelacs », *Musée du Louvre*, producteur, Alain Jaubert, <home.scarlet.be/~tpm77885/cahiers%202004/cahier6%202004.html>, 1989.

¹⁴ Cf. l'Annexe, p. 290.

Ce tableau a été réalisé vers 1490 avec plume, encre et crayon sur papier. Il illustre bien la recherche géométrique de Léonard de Vinci sur les proportions du corps humain. Dans ce croquis, Leonard de Vinci corrige l'enseignement antique des proportions de Vitruve par le cercle et le rectangle d'or. Il compare alors le résultat de ses études anthropométriques avec les proportions de Vitruve, seules proportions idéales conservées de l'Antiquité. De plus,

Architecte et ingénieur de l'époque romaine, Vitruve avait décrit, dans son traité d'architecture, les rapports de mesures d'un corps humain parfait. Il avait conclu qu'un homme aux bras et jambes écartés, pouvait être inscrit au même titre dans les figures géométriques parfaites du cercle et du carré. D'après les descriptions de Vitruve, dans le cas des figures entourées par un cercle ou un carré (*homo ad circulum* et *homo ad quadratum*), le centre du corps humain se trouverait dans le nombril¹⁵.

Les indications de Vitruve ont souvent été illustrées à la Renaissance avec les résultats les plus divers. Le dessin le plus connu est celui de Léonard de Vinci. Il corrige les erreurs de Vitruve en se servant des mesures qu'il a prises : le relevé des mesures empiriques de l'être humain, voilà ce qui importe à ses yeux. Les pieds et les mains ont ainsi la taille appropriée.

¹⁵ Helm et Mousmé, «L'homme de Vitruve" ou VITRUVIUS de Léonard de Vinci (1452-1519) », *Le message de Léonard de Vinci*, < equerre.blogspot.com/2011/02/le-message-de-leonard-de-vinci.html >, 2011.

3. Sandro Botticelli, *La Naissance de Vénus*

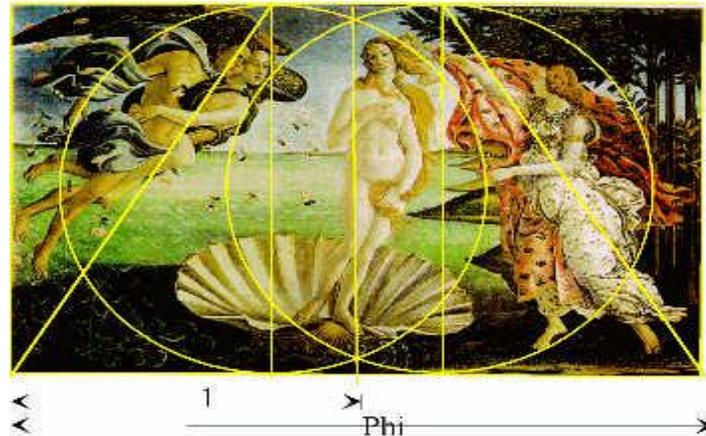


Figure 9. La Naissance de Vénus, peint vers 1485
selon la technique de la tempera et conservé aux Offices de Florence

Dans ce tableau, Sandro Botticelli a eu recours à un format qui renvoie au rectangle d'or :

Le groupe des Vents, à gauche du tableau, le personnage de la Grâce à droite, s'inscrivent dans des rectangles d'or et plus précisément le long des diagonales de ces rectangles d'or. Il est possible également de tracer deux cercles dont les diamètres respectifs correspondent aux côtés de ces rectangles d'or. Le cercle de gauche renferme le groupe des Vents et Vénus, le cercle de droite Vénus et le personnage de la Grâce, le nombre d'or apporte donc une clef à la composition de ce tableau¹⁶.

Comme nous l'avons vu, la géométrie a été utilisée dans le domaine de la peinture à l'époque de la Renaissance ; cependant, a-t-elle été également employée dans d'autres arts tels que la musique ou dans ses instruments ? Cette question sera abordée dans le second chapitre.

¹⁶ Alain Esculier, « Le nombre d'or dans la peinture », < la-dimension4.com/peinture.html >, 2000.

2. Analyse portant sur la structure de la caisse du violon

Les conceptions d'Euclide sont d'une importance majeure, elles constituent des traités généralistes sur la géométrie, il y présente sa théorie selon laquelle tous les problèmes posés peuvent être résolus à l'aide de la règle et du compas, à partir des figures de base constituées par la droite et le cercle. A l'époque de la Renaissance, cette conception de la géométrie avait traversé les âges et devait être particulièrement prisée de tous les maîtres d'œuvre, car elle permettait, de façon simple, de résoudre les problèmes graphiques. Voilà pourquoi ces traités ont été traduits en de nombreux langages, et en particulier par un certain Gérard de Crémone dans la deuxième moitié du XII^e siècle :

Les clercs ont particulièrement œuvré à faire connaître Euclide et ils ont probablement dû élaborer une pédagogie de la géométrie destinée aux bâtisseurs travaillant pour eux. Cette doctrine fut sans doute diffusée auprès d'autres Corporations¹⁷.

En fait, il est possible que Stradivarius ait étudié cette précieuse méthode dans l'atelier de Nicolo Amati créé dans la paroisse Santa Helena depuis l'époque d'Andrea Amati¹⁸. De plus, il était courant que l'église de ville commande des instruments de musique à des luthiers locaux. Le violon était probablement toléré dans les enceintes spirituelles.

Dans le domaine de la fabrication de violons, comment les lutheries ont-elles conçu l'aspect du violon ? En fait, il existe, pour décrire le dessin technique du violon, de nombreuses méthodes telles que celle d'Andrea Amati, celle de Nicolo Amati, celle de Stradivarius, celle de Guarnerius, etc. Par conséquent, j'essaie de les

¹⁷ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p. 29.

¹⁸ Henri PIGAILLEM, *op. cit.*, p.10.

analyser afin de trouver les points majeurs de la structure permettant d'influer sur la qualité de la sonorité

Dans ce texte, je n'ai pas l'intention de mentionner l'origine des instruments à archet qui nécessiterait l'étude de l'histoire de la viole ou ferait remonter à l'organologie de l'ancien instrument à corde. Mon analyse ne remonte qu'au début du XVII^e siècle, époque où le contour du violon a commencé à prendre forme. Avant cette époque, les violes n'avaient pas de structure identique, que ce soit en termes de proportion ou d'aspect, elles pouvaient être vraiment très différentes. De plus, la sonorité des violes n'était pas comparable à celle des violons. Malheureusement, les anciens luthiers ne nous ont laissé que peu de traces de leurs plans techniques et de leurs moules, dont la plupart ont été détruits ou perdus dans le fleuve de l'histoire.

En 2008, selon la description de CHEN Yuanguang (陈元光), luthier chinois, j'ai reproduit, à l'aide d'une règle et d'un compas, le dessin technique d'une viole pour vérifier s'il était possible, pour les luthiers de la Renaissance, de concevoir et d'élaborer le moule des instruments à archet. Il montre les paramètres suivants :

«*AE* correspond à la longueur longitudinale de la viole, 356 millimètres

$AB = BC = CD = DE = \text{un quart de longueur} = 89 \text{ mm}$

FG correspond à la largeur supérieure, $89 \times 2 = 178 \text{ mm}$

$HD = DI = 36 \text{ mm}$

$HJ = IK = 72 \text{ mm}$

JL correspond à la largeur inférieure, $(72 + 36) \times 2 = 216 \text{ mm}$

$LC = CM = 72 \text{ mm}$

LM correspond à la largeur médiane, 114 mm

$NL = OM$, le rayon du cercle exinscrit, 55 mm¹⁹ »

¹⁹ CHEN Yuanguang (陈元光), *Fabrication et Restauration d'instruments à cordes* (提琴的制作与修复), maison d'édition de l'éducation de Shanghai (上海教育出版社), 2004, p. 3.

Par conséquent, j'ai dessiné et obtenu la figure suivante :

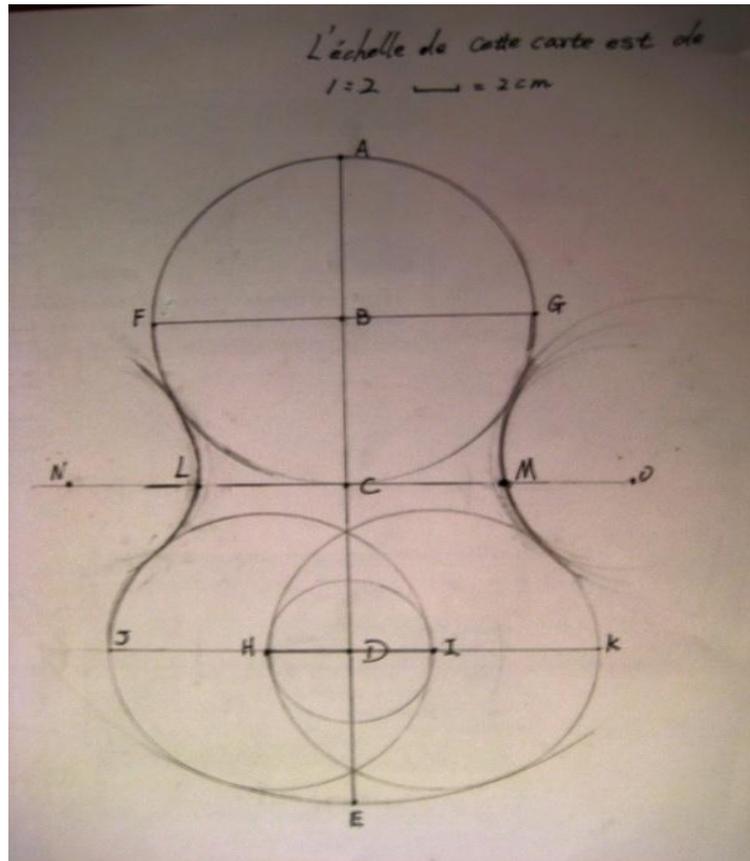


Figure 10. Un dessin de viole au milieu du XVI^e siècle

Mais CHEN Yuanguang n'a pas décrit exactement les points importants (tels que les lettres marquées par moi, A, B, C...) et il n'a non plus indiqué la méthode de fabrication née de cette conception.

Après avoir reproduit ce dessin avec un compas et une règle, j'en ai déduit que probablement, les anciens luthiers avaient des connaissances sur l'esthétique et la géométrie rudimentaire, surtout en ce qui concerne le cercle car de telles conceptions peuvent remonter au milieu de la Renaissance en Italie et y avoir été diffusées. Pour tracer la figure ci-dessus, l'ancien luthier a non seulement utilisé le cercle et le cercle inscrit, mais a aussi profité de la perpendiculaire et de la médiatrice afin de trouver des points importants tels que B, C, D, H, I, etc. Cela nous montre que certains

anciens luthiers ont commencé à travailler avec des outils géométriques pour dessiner leur instrument.

Comme tout le monde le sait, l'école de fabrication de violons de Crémone est aujourd'hui considérée comme la meilleure école, car elle a formé trois luthiers parmi les plus célèbres au monde : Nicolo Amati, Antonio Stradivari et Giuseppe Antonio Guarneri. De plus, la ville de Crémone est connue grâce au premier violon, fabriqué par Andrea Amati (créateur de l'école de Crémone, au milieu du XVI^e siècle), et aux premiers luthiers de la famille des Amati, dont Andrea et ses fils Antonio et Girolamo. Mais, le plus célèbre des Amati est Nicolo, fils de Girolamo. Le maître Andrea Guarneri fut le premier membre connu de cette famille qui a également atteint son apogée avec son petit-fils surnommé Guarneri del Gesù, ou Guarnerius. N'oublions pas non plus, bien sûr, de citer Antonio Stradivari qui est lui aussi l'un des plus grands luthiers italiens de l'école de Crémone, et le plus célèbre.

Nicolo Amati est, en général, considéré comme un professeur génial. Son plus grand succès a consisté à former plusieurs luthiers talentueux tels qu'Andrea Guarneri, Giacomo, Bartolomeo Cristofori, Paolo Grancino (créateur de l'école de Milan), Francesco Ruggieri, Antonio Stradivari, Jacob Stainer, et à créer les modèles « amatisés » tels que « Grand Amati » et « Petit Amati » qui ont été sources d'inspiration pour ses successeurs. Au milieu du XVII^e siècle, la technique de l'interprétation au violon s'est bien développée. Le violon, devenu progressivement un instrument solo, avait donc besoin d'une sonorité plus puissante. Le style « Grand Amati » a bien répondu à ces besoins. Du fait de sa pénétrabilité claire, sa sonorité était assez haute. Par conséquent, les violons ayant pour modèle le « Grand Amati » sont rapidement devenus des instruments populaires.

Giuseppe Antonio Guarneri, fils de Giuseppe Guarneri, était le seul luthier de la famille des Guarneri à pouvoir soutenir la comparaison avec Antonio Stradivari. Son

surnom «Del Gesù» vient des initiales IHS symbolisant la forme de la croix, souvent gravées sur ses violons comme des étiquettes. (En grec, ces initiales forment l'abréviation de Jésus, et ils constituent aussi l'acronyme d'Iesus Hominum Salvator, qui signifie en latin «Jésus le sauveur des hommes»). Bien que son style de fabrication ait été très libre, ses violons figuraient parmi les meilleurs et étaient fort appréciés. Mais il n'attachait pas d'importance à la gravure raffinée traditionnelle. Ainsi la majorité de ses violons était toujours rugueuse, surtout la tête et la surface de la table du violon. En fait, l'on avait pour habitude de recourir à plusieurs violons de Guarneri del Gesù pour l'improvisation. Ses violons étaient connus plutôt pour leur timbre extraordinaire, et non pour leur forme raffinée ni la beauté de leur bois. Quant au bois, Guarneri del Gesù préférait l'érable et l'épicéa pour produire respectivement le fond et la table du violon. C'était la tradition de l'école de Crémone. Selon les recherches de Peter Klein, les violons de del Gesù ont été fabriqués avec du bois jeune séché au vent pendant trois ou quatre ans²⁰. Les violons de Guarneri Del Gesù sont considérés comme un résultat alliant le timbre velouté du Grand Amati à la sonorité éclatante de l'école de Brescia. Chatoiement, rondeur, densité équilibrée, pureté, transparence des aigus, présence de la nuance la plus infime sur tout le spectre... Plus rare et plus cher encore qu'un Stradivarius, le Guarnerius del Gesù, dont subsistent 75 exemplaires dans le monde contre 600 Stradivarius, est bien plus qu'un instrument de musique. Capable de produire une inépuisable succession de grâce, d'élégance et de miracles sonores, son violon est un objet d'art à lui tout seul, une œuvre d'art qui transcende les chefs d'œuvres de la musique.

²⁰ Chris JOHNSON, Roy COURTNALL, *The Art of Violin Making* (小提琴制作艺术), trad. chinois. JIANG Hefan (蒋和璠), JIANG Yun (蒋芸), maison d'édition de la musique populaire (人民音乐出版社), Pékin, 2004, p. 25.

Antonio Stradivari (1644-1737), dit Stradivarius, fit un apprentissage de luthier auprès de Nicolas Amati. Il a décidé par la suite de se séparer de son maître et de perfectionner son art tout seul. Stradivari parvint alors à trouver un équilibre parfait dans les proportions de l'instrument. Par ailleurs, il a utilisé le bois de sapin et un vernis spécial permettant l'amélioration de la qualité sonore de ses violons. Dès 1700, il en a produit une grande quantité qui traverserait les frontières et les siècles. Quelques siècles plus tard, ses violons auront une valeur inestimable. D'ailleurs, Stradivarius était un personnage méticuleux, habile et extrêmement exigeant envers lui-même comme avec les matériaux qu'il employait. Sa longue vie se déroula à la manière d'une quête d'absolu. Il se livrait à une autocritique permanente pour s'approcher de la perfection, à tel point qu'il détruisit de nombreux violons qui ne lui donnaient pas entière satisfaction. Il consacra plusieurs années de sa vie à la recherche du bois idéal et du vernis. Puis il étudia sans relâche la forme, la courbe et l'archet les plus propices à la beauté du son. Enfin, vers l'âge de cinquante ans, il atteignit la plénitude de son art: il avait trouvé l'équilibre parfait des matières, des galbes, du vernis. Jusqu'à maintenant, ses violons restent des merveilles acoustiques qui nous émeuvent encore tant aujourd'hui.

Le premier violon signé «Antonio Stradivari » fut fabriqué en 1667, et le dernier «Swan / Le Cygne » en 1736. Les gens s'accordent à diviser son œuvre en trois périodes :

1. De 1667 à 1690, sous l'influence de Nicolo Amati, il fabriquait de petits modèles dits «Stradivarius amatisés ». Pendant cette période, le violon de Stradivarius conservait le style original de Nicolo Amati. Mais le coin des échancrures et la forme des ouïes étaient respectivement plus courts et plus pointus que dans le style de Nicolo Amati.

2. De 1690 à 1700, il commença à rechercher son propre modèle de violon. Il adopta un modèle de forme allongé, dit «longuet ». Ce nouveau modèle de violon était connu pour son timbre velouté. Sa sonorité était aussi plus puissante que celle du violon de Nicolo Amati. La proportion largeur-longueur était assez harmonieuse. En 1698, Stradivarius s'est mis à la recherche du violon «Grand Amati », mais en vain. Il a donc continué à fabriquer son propre violon «longuet ».

3. A partir de 1700, ce fut la période des chefs-d'œuvre, dite la période d'or, qui vit la fabrication d'instruments devenus historiques. Stradivarius a fabriqué plusieurs violons célèbres, par exemple, le «Betts » (1704), la «Pucelle » (1709), le «Viotti » (1709), le «Greffuhle » (1709), le «Vieuxtemps » (1710), le «Boissier » (1713), le «Dauphin » (1714), l'«Alard » (1715), le «Crénonnes/Joachim » (1715) et le «Messie/Salabue » (1716). Le nombre total des violons authentiques existant est actuellement d'environ 600 violons.

2.1 Recherches primaires sur la caisse du violon

Après l'étude des luthiers crémonais et de leurs relations entre eux²¹, j'ai fait des recherches sur certaines données connues des modèles qu'ils ont laissés, et j'ai établi un tableau pour montrer les paramètres suivants :

Luthier	Année	Violon et son modèle	Longueur de la caisse (en mm)	Largeur supérieure (en mm)	Largeur inférieure (en mm)
Nicolo Amati	1648	Grand Amati	355,6	171	210

²¹ Cf. Annexe, p. 288.

	1658	Grand Amati	355,6	168	206
	1671	Grand Amati	354	162	202
Guarneri del Ges ù	1726	Stretton	356	167	205
	1733	Kreisler	354	168	206
	1737	Joachim	356	168	208
	1742	David	348	168	208
	1742	Canon	354	168	208
	1743	Heifetz	356	170	206
Antonio Stradivari	1690	Tuscan, style de longuet	363,5	164	205
	1704	Betts	356	170	210
	1709	La pucelle	359	170	210
	1709	Greffuble	356	165	203
	1710	Vieuxtemps	356	170	210
	1711	Kreisler	359	170	210
	1713	Boissier	357	168	210
	1714	Dauphin	356	168	210
	1716	Le messie	354	168	210

Évidemment, si nous voulons rechercher exactement et systématiquement la structure de la caisse du violon avec ces données primaires, ce n'est pas suffisant. Parce que non seulement nous ne disposons pas de données plus précises, mais de plus nous ne connaissons pas la méthode scientifique. Mais ces données primaires nous révèlent l'époque de la fabrication des violons, les types des violons. D'après la biographie de Stradivarius, nous savons que la période d'or de Stradivarius se situe à partir de l'année 1700. De ce fait, je me suis concentré sur les violons et leurs moules fabriqués après 1700, surtout le moule G (fabriqué en 1708), le plus fameux, qui est dérivé des violons le «Messie » et le «Cremonese».

Ne pouvons-nous pas vraiment trouver une méthode systématique et pratique pour rechercher et analyser la conception du violon par Stradivarius ? La méthode de Paul Altenburger, luthier français, a été pour moi source d'inspiration : pourquoi ne pas mesurer le violon pour rechercher sa structure ? A la page 18 de son ouvrage intitulé *Manuel de lutherie à l'usage des amateurs, violon, alto, violoncelle*²², il nous a montré une méthode pour analyser la structure du violon «Betts » de Stradivarius, fabriqué en 1704.

²² Paul ALTENBURGER, *Manuel de lutherie à l'usage des amateurs, violon, alto, violoncelle*, Editions H. VIAL, Saint-Etienne, 2005.

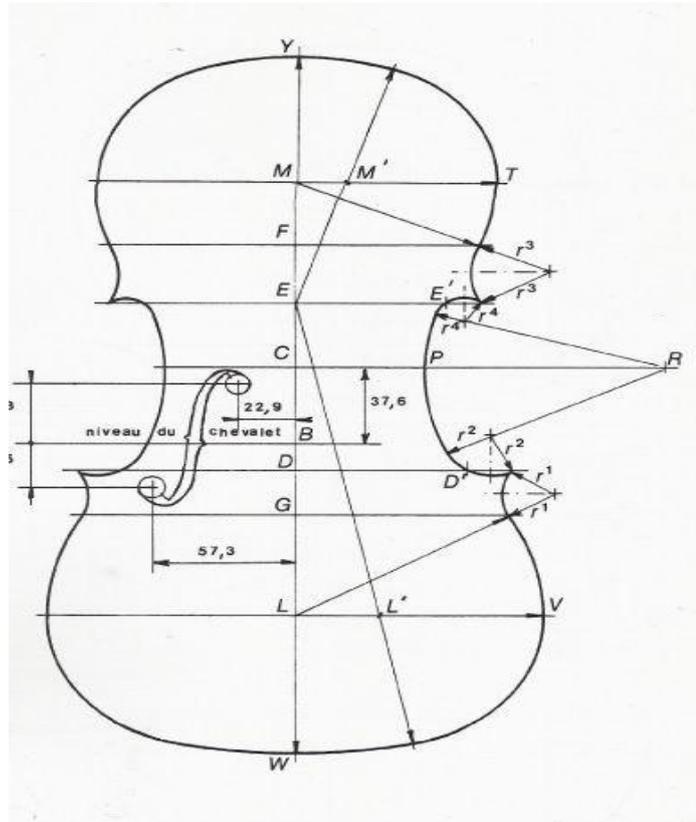


Figure 11. La structure de « Betts »

Dans le dessin, l'on trouve :

$$WL = 68,4 \text{ mm}$$

$$LG = 49,1 \text{ mm}$$

$$GD = 22,0 \text{ mm}$$

$$DC = 51,4 \text{ mm}$$

$$CE = 35,9 \text{ mm}$$

$$EF = 24,9 \text{ mm}$$

$$FM = 31,7 \text{ mm}$$

$$MY = 63,6 \text{ mm}$$

$$YW = 347 \text{ mm} ; \text{ la longueur du corps du violon (longueur enti \grave{e}re).$$

$$PR = 95,3 \text{ mm}$$

$$LL' = 33,3 \text{ mm}$$

$$DD' = 72,6 \text{ mm}$$

$$EE' = 61,6 \text{ mm}$$

$$MM' = 18,9 \text{ mm}$$

YE correspond à la longueur du corps supérieur.

ED correspond à la longueur du corps milieu.

DW correspond à la longueur du corps inférieur.

$MT = 79,5 \text{ mm}$; $MT \times 2 =$ la largeur du corps supérieur.

$CP = 51,4 \text{ mm}$; $CP \times 2 =$ la largeur du corps milieu.

$LV = 98,3 \text{ mm}$; $LV \times 2 =$ la largeur du corps inférieur.

C = le point central

r^1 (22 mm), r^2 (20 mm), r^3 (31 mm), r^4 (12 mm) sont quatre rayons qui sont à l'origine de quatre cercles exinscrits différents, et sur lesquels nous pouvons déterminer les positions de M, F, E, D, G et L .

Mais ces données sont issues des mesures et des expériences de Paul Altenburger, donc, cette analyse est empirique. Existe-il alors une méthode plus scientifique, systématique et logique ?

2.2 Recherche approfondie sur la structure de la caisse

Comme nous le savons, c'est le moule qui détermine la forme du violon. De plus, comme chaque violon est fabriqué avec son propre moule, l'analyse du violon revient en fait à l'étude de la structure du moule. Après avoir travaillé avec Thierry Ligier²³ sur les données de moules de Stradivarius, nous sommes parvenus

²³ Luthier français, d'origine italienne, diplômé de l'École de Crémone, il travaille actuellement sur la fabrication, les copies d'anciens, les modèles italiens et la restauration de violons, 5, rue Grandidier, 67000, Strasbourg.

finalement à fixer certaines années précises et des paramètres primaires qui sont les suivants :

01. Moule B (Buona) 33-37, épaisseur : 13 mm, en 1692
02. Moule B (Buona) 38, épaisseur : 13 mm, en 1692
03. Moule G (Grande) 49-53, épaisseur : 14,5 mm, en 1715
04. Moule PB (Prima) 44-48, épaisseur : 13 mm, en 1705
05. Moule PG (Prima Grande), épaisseur : 14 mm, en 1705
06. Moule P. Prima 6-10, épaisseur : 15 mm, en 1705
07. Moule Q (Quarta) 16-20, épaisseur : 14 mm, pour la taille de 7/8, en 1726
08. Moule S (Seconda) 2-5, épaisseur : 14 mm, en 1703
09. Moule S (Seconda) 39-43, épaisseur : 14 mm, en 1703
10. Moule SL (Seconda Grande) 28-32, épaisseur : 13 mm, en 1691
11. Moule T (Terza) 11-15, épaisseur : 14,5 mm, en 1700
12. Moule Quart 54, épaisseur : 12 mm, pour la taille du quart du violon.

Cependant, bien que Stradivarius soit très connu dans son domaine et qu'il ait eu plusieurs épigones, nous ne disposons d'aucun traité de lutherie décrivant la méthode de construction du violon de Stradivarius ni les principes qui l'ont inspiré et personne n'a, semble-t-il, réussi à retrouver ces méthodes, soit en copiant les modèles anciens, soit extrapolant à l'aveugle à partir de formes dérivées dont le résultat peut-être plus ou moins heureux et l'erreur fréquente.

Aujourd'hui encore, pour réaliser un violon et son plan technique, les luthiers rencontrent des difficultés non surmontées en raison du manque de références professionnelles. La plupart des luthiers font des copies d'après les moules de violons renommés tels que ceux de Stradivarius, Guarnerius ou Amati, afin d'étudier leur structure. Par manque de méthode scientifique, la plupart des luthiers ne peuvent qu'imiter et copier pour concevoir une structure. C'est précisément sur ce point que porteront mes analyses.

La plus ancienne méthode connue de fabrication du violon est celle proposée par Antonio Bagatella (1755-1829), dans un mémoire publié en 1782 intitulé *Règles pour la construction des violons, altos, violoncelles et basses de violes*²⁴. Ayant indiqué que les Amati se servaient de règles fixes pour la construction de leurs violons, aussi bien pour les épaisseurs que pour toutes les autres parties, il élabora un procédé invariable pour construire n'importe quel instrument à archet, violon, alto, violoncelle ou contrebasse. Il divisa la caisse de l'instrument à archet en soixante-douze parties égales et traça sept lignes transversales. Ensuite, à l'aide d'un compas, il décrivit une série de points et d'arcs de cercle qui lui permettaient de définir les dimensions de l'instrument et de dessiner ses contours.

Évidemment, l'avantage de ce procédé invariable est de mettre l'accent sur la notion de proportion et sur la nécessité du calcul et de la géométrie dans la construction des instruments. Dans son ouvrage, Antonio Bagatella dit que «j'en vins à penser que ces fameux luthiers (les Amati), ou bien furent d'excellents calculateurs, ou tout au moins reçurent les conseils de quelques mathématiciens²⁵ ». Mais si ce procédé

²⁴ Antonio BAGATELLA, *Règles pour la Construction des violons, Altos, Violoncelles et Basses de Violes*, Académie royale des Sciences, Genève, 1927.

²⁵ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTE, *op. cit.*, p. 14.

présente un avantage, celui-ci est limité: invariable, il ne rend pas compte du travail des autres luthiers. Antonio Bagatella ajout é que

Jamais les élèves des luthiers en question (les Amati), ne reproduisaient les contours des instruments de leur maître et j'ai pu constater cette même liberté chez Antonio Stradivari, chez Gianuario Ruggier, chez Ruggier dit il Per, chez André Guarneri, etc.²⁶

D'après le récit de Bagatella, nous savons qu'à l'époque des Amati, soit chaque luthier avait sa propre méthode de facture, soit il existait une ou plusieurs procédures plus souples de composition. La procédure de la fabrication n'a pas été unifiée car l'aspect et les dimensions du violon n'avaient pas encore été définis.

2.2.1 Les travaux de Sacconi

En tant que « bible » des luthiers modernes, S.F. Sacconi a publié en 1979 un ouvrage, *Les Secrets de Stradivari*, dans lequel il expose une méthode proche de celle de Bagatella pour analyser le moule du violon de Stradivari. Il divise la ligne centrale longitudinale du violon en plusieurs parties égales et analyse certains points particuliers.

²⁶ *Ibid.*

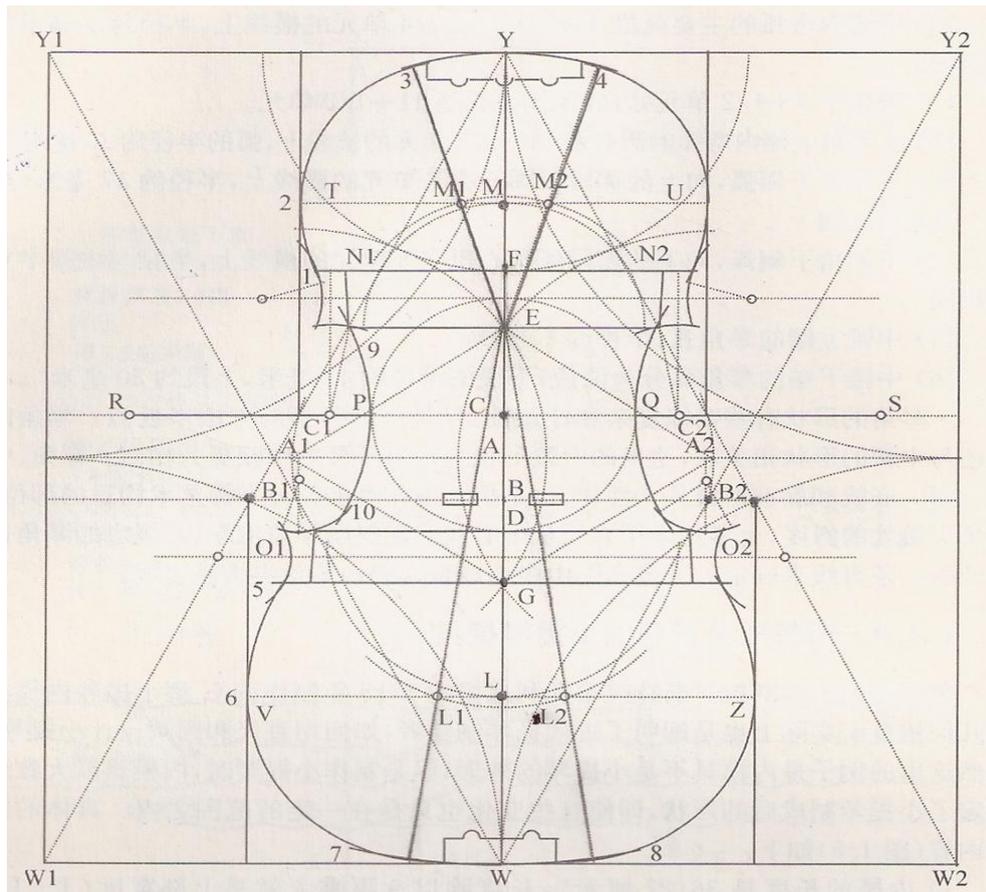


Figure 12. L'analyse de Sacconi sur le Moule G de Stradivarius²⁷

Dans son analyse, Sacconi pense que non seulement la structure géométrique du violon détermine l'effet sonore, mais qu'elle représente aussi l'esthétique de la section dorée. Les points Y , F , E , D , G et W reflètent la théorie de la section dorée. La longueur $Y-F$ multiplié par 1,618 donne la largeur supérieure, et la longueur $G-W$ multiplié par 1,618 marque la largeur inférieure. La longueur $D-E$ multiplié par 1,618 donne la longueur médiane du violon $F-G$. Le point B représente le centre du son. Le corps du violon se sépare en deux parties égales sur B . Le point C fournit la mesure la plus épaisse du fond. Le fond vibre donc à partir de la position de l'âme, point B , et non du point C . Dans la figure ci-dessus, nous trouvons :

1. $W-Y$ = longueur du moule = 362,7 mm.

²⁷ CHEN Yuanguang (陈元光), *op. cit.*, p. 8.

2. En général, les luthiers de l'école crémonaise préfèrent que la longueur soit divisée en 9 parties égales. Chaque partie est donc de 40,3 mm.
3. $T-U$ correspond à la largeur supérieure = 161,2 mm (4 parties = $4 \times 40,3$)
4. $V-Z$ correspond à la largeur inférieure = 201,5 mm (5 parties = $5 \times 40,3$)
5. $P-Q$ est la largeur médiane = 107,4 mm (largeur supérieure $\times 2 \div 3$)
6. $V-Z : T-U = 5 : 4$ (1,25)
7. $YI-Y-W$, $YI-WI-W$, $Y-Y2-W$ et $Y-W-W2$ sont 4 triangles à la section d'or.
8. En prenant la ligne $WI-W$ comme demi - diamètre et WI comme centre du cercle, nous fixons le point $B1$ sur la ligne $WI-Y$; à partir du centre du cercle $W2$, le point $B2$ est fixé sur la ligne $W2-Y$. Ensuite, nous traçons une ligne pour relier ces deux points et croiser la ligne centrale au point B qui indique la position du chevalet.
9. En prenant la ligne $WI-W$ comme rayon et WI comme centre du cercle, nous fixons le point $O1$ sur la ligne $W-YI$. A partir du centre du cercle $W2$, le point $O2$ est fixé sur la ligne $W-Y2$.
10. En prenant la ligne $YI-Y$ comme rayon et YI comme centre de du cercle, nous fixons un point sur la ligne $YI-W$. A partir du centre du cercle $Y2$, un autre point est fixé sur $Y2-W$. Une ligne est tracée pour relier ces deux points et croiser la ligne centrale au point C . Cette ligne croise la ligne $WI-Y$ au point $C1$, et la ligne $W2-Y$ au point $C2$.
11. $YA = AW$, le point A est le point central du violon.
12. En prenant la ligne $A-C1$ comme rayon et le point A comme centre du cercle, nous traçons 4 points : $A1$, $A2$, $B1$ et $B2$ qui sont respectivement sur la ligne $Y-WI$, $Y-W2$, $YI-W$ et $Y2-W$.
13. En prenant la ligne $V-L$ comme rayon et $A1$ comme centre du cercle, nous fixons E et G sur la ligne $Y-W$ et le point $N1$ sur la ligne $WI-Y$. A partir du centre du cercle $A2$, le point $N2$ est fixé sur la ligne $W2-Y$.

14. En prenant la ligne $AI-E$ comme rayon et Y comme centre du cercle, nous fixons le point F sur la ligne YW .
15. En prenant $E-CI$ comme rayon et E comme centre du cercle, nous traçons D sur la ligne $Y-W$.
16. En prenant $E-NI$ comme rayon et E comme centre du cercle, nous traçons M sur la ligne $Y-W$.
17. En prenant $D-OI$ comme rayon et D comme centre du cercle, nous traçons L sur la ligne $Y-W$.
18. En prenant $C-D$ comme rayon et C comme centre du cercle, nous trouvons la largeur médiane du violon et la ligne $P-Q$.
19. $C-F = E-MI = E-M2$,
20. $C-G = D-L1 = D-L2$
21. $F-Y = R-P = Q-S$
22. En prenant $R-P$ comme rayon et R comme centre du cercle, nous traçons une courbe (n°9-n°10). En prenant $S-Q$ comme rayon et S comme centre du cercle, nous traçons une autre courbe d'éclisse.
23. En prenant $M-T$ comme rayon et M comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°1-n°2.
24. En prenant $MI-T$ comme rayon et MI comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°2-n°3.
25. En prenant $E-Y$ comme rayon et E comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°3-n°4.
26. En prenant $L-V$ comme rayon et L comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°5-n°6.
27. En prenant $LI-V$ comme rayon et L comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°6-n°7.

28. En prenant $E-W$ comme rayon et E comme centre du cercle, nous obtenons la courbe n°7-n°8.

Cette méthode prenant pour dimension fondamentale la coudée crémonaise, présente toutefois quelques inconvénients : le violon n'est pas rigoureusement inscriptible dans la coudée crémonaise. En suivant la méthode de l'auteur, il est impossible de terminer le tracé des coins (la forme C, les deux échancrures) avec l'harmonie attendue, ou même de raccorder certaines courbures, notamment celle du tasseau inférieur.

2.2.2 Défauts de la méthode de Sacconi selon mes calculs sur le «Betts»

Bien que beaucoup de luthiers et de chercheurs étudient sans cesse les violons de Stradivarius, il y a encore quelques questions auxquelles nous ne pouvons pas bien répondre : par exemple, pourquoi le violon a-t-il une longueur comprise entre 356 et 365mm ? Je suis sûr que le violon n'est pas le fruit du hasard, ni même celui de la nécessité, et je pense qu'il est conçu à partir de fondements réfléchis et délibérés. Ainsi, je vais combiner la méthode de Paul Altenburger à celle de Sacconi pour recalculer et reproduire la structure du «Betts».

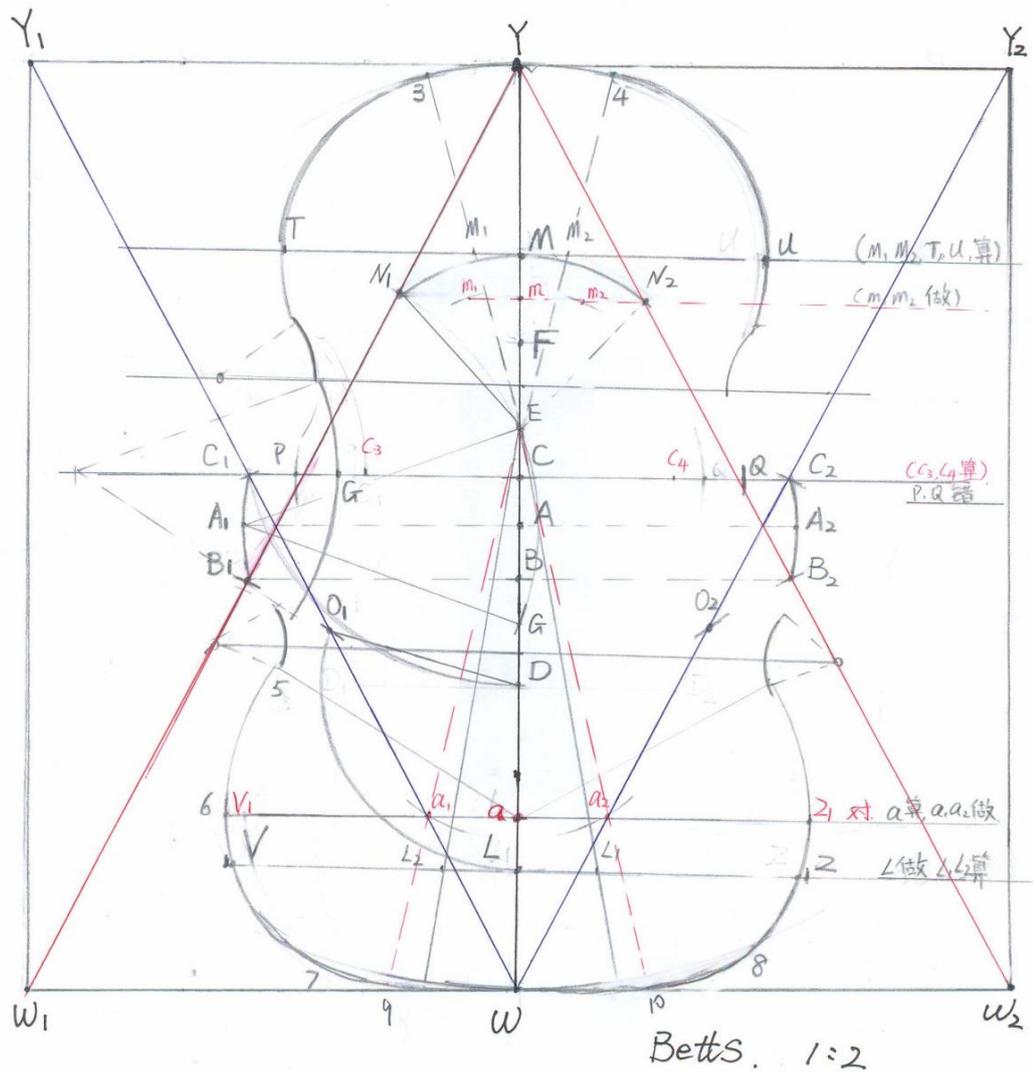


Figure 13. Ma reproduction et mon analyse sur la structure de « Betts »

D'abord, j'ai créé le triangle Y_1-W-Y_2 triangle W_1-Y-W_2 , le rectangle $Y_1-Y_2-W_1-W_2$ selon la méthode de Sacconi. Toutefois, lors de la reproduction, j'ai rencontré une série de problèmes :

1. D'après la méthode de Sacconi, j'ai trouvé les trois points, m , m_1 et m_2 , mais ils ne sont pas sur le tracé de la largeur supérieure (ligne $T-U$), de plus, les points N_1 et N_2 ne sont pas sur le tracé de la largeur supérieure. Ainsi, j'ai recalculé ces points et obtenu le point M : le segment $Y-M$ est justement la médiatrice du tracé $T-U$ qui est la largeur supérieure réelle, et puis, j'ai relié le point 3 au

point E qui fait l'intersection de $T-U$ en M_1 . De la même manière, j'ai relié le point 4 au point E , intersecté de $T-U$ en M_2 . Les positions de N_1 et N_2 doivent se situer respectivement aux positions de M_1 et M_2 ;

2. Bien que P et Q soient sur le tracé C_2-C_1 (la largeur médiane), ils sont à l'extérieur de la table d'harmonie. D'après moi, c'est une erreur. En réalité, nous ne pouvons pas déterminer les arcs des échancrures. Je ne peux que recalculer ces éléments selon mon point de vue et essayer de mesurer le point G qui est la frontière de la largeur médiane ;

3. Selon la théorie de Sacconi, les points L_1 , L_2 et L sont sur la largeur intérieure. Mais, le tracé $V-Z$ n'est pas la largeur intérieure. La largeur intérieure réelle est le tracé V_1-Z_1 . Ainsi, j'ai relié V_1 à Z_1 dont l'intersection avec le tracé $Y-W$ est au point a , à la ligne Y_1-W en a_1 , et à la ligne Y_2-W en a_2 . Et puis, j'ai respectivement relié E à a_1 , et E à a_2 . Ayant prolongé le segment $E-a_1$ et le segment $E-a_2$, j'ai obtenu les points 9 et 10. Par conséquent, le tracé $E-9$ et le tracé $E-10$ déterminent les arcs $9-W$ et $W-10$. Puis, j'ai tracé un arc de cercle à partir du point a_1 avec un rayon égal à a_1-9 pour obtenir l'arc $9-V_1$. De la même manière, j'ai tracé un autre arc de cercle à partir du point a_2 avec un rayon égal à a_2-10 pour obtenir l'arc a_2-10 . Les deux arcs a_2-10 et a_1-9 positionnent les frontières (les points Z_1 et V_1) de la largeur inférieure.

Selon ma reproduction, j'en déduis que, dans l'analyse de Sacconi, les positions des points importants sur le tracé central longitudinal $Y-W$, sont exactes, en particulier les positions F , E , C , A . En ce qui concerne la conception de la médiatrice du violon, je suis d'accord avec Sacconi. Mais je ne partage pas le même avis sur les

positions des points qui déterminent les mesures de largeur supérieure, de largeur médiane et de largeur inférieure, par exemple, les positions de *P*, *Q*, *V* et *Z*.

Étant donné que Sacconi n'a fait que l'analyse du moule « G » de Stradivarius, nous ne savons pas si son analyse concernait tous les moules de Stradivarius. Maintenant nous nous rendons compte, d'après notre calcul, que la méthode de Sacconi ne s'applique qu'au moule G, et qu'elle ne concerne pas les autres moules, y compris le moule du « Betts ». Ainsi, nous pouvons poser deux questions :

- les conceptions des violons de Stradivarius ont-ils été élaborés en communauté?
- Stradivarius utilise-il un principe mathématique commun pour faire les dessins techniques du violon ?

En fait, ce sont deux questions primordiales et complexes, car il s'agit de la transmission du savoir et des sources de Stradivarius.

D'abord, nous voulons savoir comment les concepts (de la science, de la philosophie, de la culture et de l'art) se sont transmises à travers les siècles et étaient enseignés à l'époque de Stradivarius. A partir de l'époque de Pythagore, la transmission du savoir se faisait de bouche à oreille, au terme d'un long processus initiatique. La connaissance des nombres ne s'est donc répandue que de façon secrète et d'initié à initié. D'ailleurs, la transmission écrite était répréhensible et sévèrement châtiée. Plus tard, certaines corporations (telles que celles de tailleur, de charpentier, de tailleur de pierre, etc.) au XVI^e siècle stipulaient même qu'aucun dessin ou projet ne pouvait être diffusé. Il n'est donc pas surprenant pour nous que peu de plans ou de schémas d'exécution des monuments ou des objets de cette époque nous soient parvenus, même après l'apparition de l'imprimerie. Tout se passe comme si la même

obligation s'était appliquée à la corporation des luthiers : les écrits et les documents sont très rares jusqu'au XIX^e siècle.

Heureusement, Luca Pacioli s'est constitué un livret de pratique, largement perpétué. Depuis, des artistes l'ont imité pour faire eux-mêmes des livres officiels dans lequel chacun consignait son savoir et sa compétence. C'est notamment le sens des chefs-d'œuvre réalisés par chaque compagnon. Ces chefs-d'œuvre sont également empreints de nombreux symboles plus ou moins laissés délibérément par l'artiste. Seuls les initiés pouvaient en percevoir la signification et la valeur. De plus, la diffusion du savoir n'était pas seulement freinée par manque de technique, elle l'était également par le mode de transmission choisi.

Le violon est l'un de ces objets dont la technique de fabrication a été transmise de maître à apprenti, chaque élève se devant d'essayer de surpasser son maître, sans qu'aucun traité ait été publié avant la fin du XVIII^e siècle. Conséquence de cette non-divulgation écrite, la connaissance orale s'étant perdue : les non-initiés en sont réduits, à partir de l'œuvre, à reconstituer l'intention et le savoir-faire de l'artiste. C'est également le cheminement méthodologique que nous avons adopté.

A mon avis, l'art de mettre en proportion est le fruit d'un processus conscient. Certains ont prétendu que le tracé du violon était le fruit d'un sens inné du point de vue du dessin. Dans cette conception, Stradivari aurait été un créateur doué d'un sens inné de la proportion et d'une grande sensibilité. Ses dessins étaient assez proches de certaines proportions mathématiques que les gens de son époque ne connaissaient pas. Mais, l'analyse de la structure du violon de Stradivarius montre au contraire qu'il s'agit d'un processus de création conscient dont nous ne connaissons pas l'origine. Nous pouvons cependant avancer quelques hypothèses. Selon les documents historiques concernant la famille de Stradivarius, il est possible qu'il ait pu être inspiré par l'oncle de sa femme Francesca, Alessandro Capra qui était à son époque

architecte et mathématicien de renom²⁸. Cet oncle disposait probablement d'une source de connaissances dans le domaine des mathématiques et de la géométrie utile à Stradivarius. En effet, je pense que la méthode de construction des violons de Stradivarius témoigne d'une grande connaissance des mathématiques et de la géométrie de son temps. Je ne peux pas imaginer que Stradivarius ait pu avoir recours aux proportions dans ses ouvrages sans la connaissance des mathématiques. Je suis en effet d'accord avec l'analyse de Sacconi sur la structure du moule G de Stradivarius, qui est certainement issue des mathématiques, sinon cette structure ne pourrait pas correspondre au triangle d'or, ni à la section d'or; elle n'est donc pas le fruit du hasard. De ce fait, nous en revenons à la question précédente : Existe-il des principes mathématiques communs (un tracé directeur commun) à l'ensemble des violons de Stradivarius ?

2.2.3 État de la recherche sur la structure du violon au XXI^e siècle au moyen des mathématiques : Strobel, Éric L. Brooks et Jean-André Degrotte

En 1992, Henry A. Strobel a publié un ouvrage intitulé *Art and Method of the Violon Makers*, dans lequel il a calculé et dessiné selon la théorie de la section dorée, un modèle théorique de violon où la longueur de caisse est divisée en 21 parties égales ayant 16,95 mm. Pour démontrer sa faisabilité par les mathématiques et la pratique, j'ai fait une reproduction :

²⁸ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p. 109.

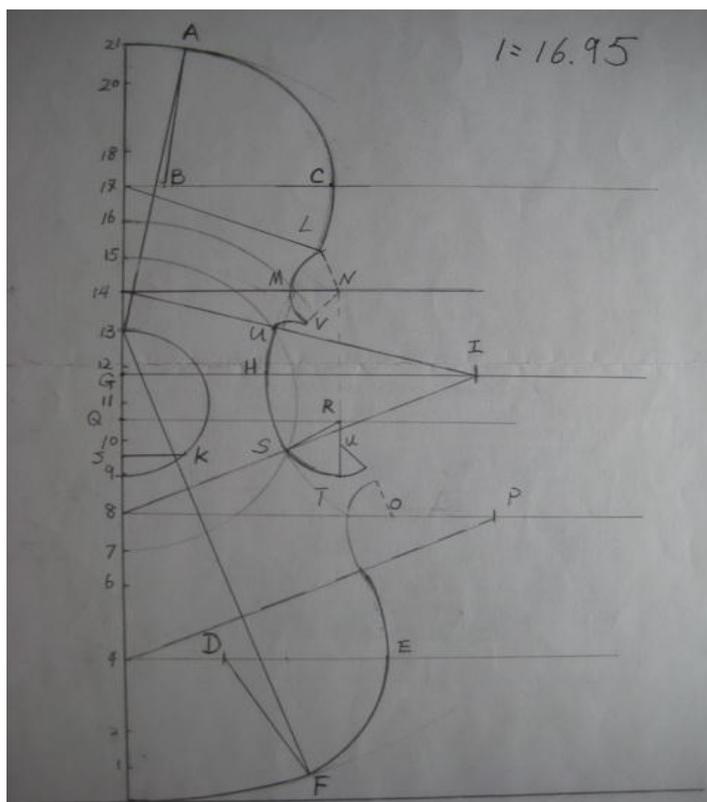


Figure 14. La conception de caisse du violon issu de la section d'or, Strobel

Voici mes calculs :

1. La hauteur du point n°4 est de 67,8 mm ($4 \times 16,95$).
Du point n°4 au point E, se trouve la largeur inférieure mesurant : 101,7 mm.
2. Largeur inférieure divisée par largeur supérieure fait $\frac{5}{4}$. Du point n°17 au point C se trouve la largeur supérieure mesurant : 81,36 mm.
3. De G à H figure la largeur médiane mesurant: 54,24 mm, soit $\frac{2}{3}$ de la largeur supérieure. La hauteur de G est $(11 + \frac{3}{4}) \times 16,952 = 199,186$ mm
4. Le rayon de courbe issu du point n°21 à A est de 135,4 mm ($8 \times 16,952$), le point central est le point n°13.
5. Le rayon de courbe allant du point n°0 à F est de 220,35 mm ($13 \times 16,952$), le point central est le point n°13.

6. Le rayon de courbe AC est $AB = 4/5$ de la largeur supérieure = 65 mm.
La longueur du point n°17 à B est de 16,27 mm.
7. Le rayon de courbe CL est de 81,36 mm, le point central est le point n°17.
8. Le rayon de courbe EF est de 62,85 mm (la largeur inférieure 101,7 divisée par 1,618)
9. Le chevalet est installé sur la ligne horizontale JK . J est situé au n°9,5.
10. La largeur médiane est située sur le tracé horizontal GI , IH est le rayon de courbe de SU . IH est égal à la largeur supérieure (2 fois GH) : 81,36 mm.

Il ne s'agit qu'un modèle mathématique idéal, certaines personnes considérant que cette projection ne sert à rien car elle n'a pas d'effet pratique. Par contre, des luthiers modernes et des chercheurs en acoustique se servent de ce modèle dans leurs expériences pour fabriquer des instruments à archet et pensent que ce modèle est valable et exploitable. Cependant, nous ne connaissons pas encore aujourd'hui quels sont les résultats concernant les violons qui en sont issus, et je n'ai pas trouvé de textes susceptibles d'expliquer ou de décrire la pratique de ce modèle.

En 2005, Éric L. Brooks et Jean-André Degrotte ont publié un ouvrage technique, intitulé *Le violon et le nombre d'or*, dans lequel ils ont considéré pour la première fois au monde, qu'il existait un rapport entre les dimensions du violon de Stradivari et le nombre d'or. En réalité, derrière le nombre d'or, sous cette appellation mystérieuse, voire ésotérique, se cache une géométrie parfaitement décrite et connue de mathématiciens célèbres tels que Jacob Bernoulli. Après avoir étudié la géométrie, les figures du nombre d'or peuvent être simplement tracées à la règle et au compas par la proportion. Bien que la règle graduée (la règle en centimètres) ait été inventée aux environs du XIX^e siècle et que toutes les règles n'aient pas d'équivalent exact aux XVII^e et XVIII^e siècles, Brooks et Degrotte

démontrant que ces outils mathématiques simples ont pu être utilisés par les luthiers pour concevoir les dessins techniques de la structure du violon.

Quant au violon, ils ont essentiellement choisi comme objet le moule G (Grand) car celui-ci, le « Cremonese », est une pure merveille. Ils ont mis le moule dans un cercle, puis utilisé le pentagone régulier pour analyser les tracés directeurs afin de trouver les points importants. Après avoir mené ces expériences, ils ont mis tous les moules de Stradivarius dans les différents cercles et les ont analysés avec le pentagone régulier. Ce qui est remarquable, c'est qu'ils ont découvert que presque tous les moules répondaient à leur méthode d'analyse (le pentagone régulier), ils ont non seulement trouvé les points importants mais ont déterminé aussi les autres données et les autres proportions. Par exemple, ils ont extrapolé la longueur de corde (317 mm) et la longueur de manche (121,08) selon la section dorée.

Je vais maintenant vérifier leur algorithme car celui-ci étant complexe, je ne peux pas l'accepter sans le recalculer. Mais je pense que, par rapport à la méthode de la section dorée et du rectangle d'or, leur méthode (le pentagone régulier) aurait été plus admissible au XVIII^e siècle. Du fait que le pentagone régulier n'est pas créé par des calculs exacts d'après le nombre d'or, toutes les sections d'or sont dessinées grâce au principe de la proportion. La faisabilité existait à l'époque de Stradivarius. Par exemple, nous traçons un cercle avec un compas, puis, nous divisons son périmètre en 5 arcs égaux, et nous relierons successivement le sommet de chaque arc ; ainsi, nous obtenons un pentagone régulier inscrit. Enfin, après avoir relié ces 5 points, nous obtenons un pentagone comportant 5 triangles d'or. Avec ce procédé il n'y a aucun calcul, toutes les figures géométriques telles que la section dorée, le triangle d'or et le pentagone régulier sont formées selon les lois de la proportion. De plus, la section d'or est $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$, c'est-à-dire non seulement un nombre irrationnel mais

également un ratio entre deux segments ($\frac{\text{Le segment } AC}{\text{Le Segment } CB} = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$). On ne peut pas la positionner exactement à travers la mesure et le calcul. Je pense donc qu'il est possible que Stradivarius ait utilisé des proportions géométriques rigoureuses pour réaliser sa conception de violon.

Dans leur traité sur *Le violon et le nombre d'or*, Brooks et Degrotte fournissent un schéma qui utilise un cercle et un pentagone inscrit pour analyser la structure des moules de Stradivarius, surtout du moule G.

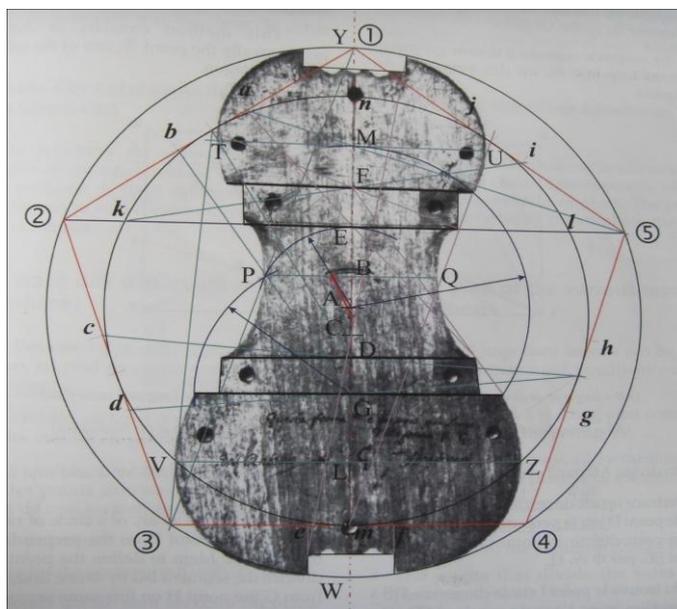


Figure 15. L'analyse du moule G à travers le cercle et le pentagone²⁹

En fait, ils tirent des éléments importants des observations et des calculs faits sur les différents moules de Stradivarius :

1. Il existe bien un tracé directeur commun à tous les moules : le pentagone.
2. Avec 24 points au maximum, ils décrivent tous les points cardinaux nécessaires aux tracés de tous les instruments. Ces points sont :

²⁹ Eric L. BROOKS et Jean-André DEGROTTE, *op. cit.*, p.73.

- i . Les angles du pentagone (①-②-③-④-⑤).
- ii . Les points qui divisent les côtés du pentagone par moitié
- iii. Les côtés du pentagone divisés par Φ ($a, b, c, d, e, f, g, h, i, j$).
- iv . Le point K qui se trouve à l'intersection du cercle inscrit dans le pentagone et du segment reliant les sommets ② et ⑤ du pentagone.
- v . Le point m , à l'intersection de l'axe de symétrie du moule et du cercle inscrit.

Ces 24 points ne sont pas tous utilisés systématiquement. Pour composer un moule donné il suffit d'avoir un nombre plus faible et variable pour chaque moule. Le moule G est à cet égard remarquable : il est le plus simple au niveau de la lecture.

3. On trouve des constantes dans le tracé de chaque moule :

- i . Le point commun à tous les moules est le point E , qui définit le bord des coins supérieurs. On peut le qualifier de point «Phare» tel qu'il est défini dans le fameux quatrain du document de la *Bauhütten*³⁰. Il n'existe que deux moules où le point E n'est pas exactement à la place attendue. C'est un changement volontaire et délibéré de la part de Stradivarius.
- ii . Dans grand nombre de moules, le segment qui relie ③ au milieu de (a, b) ou milieu du côté ①-②, du pentagone, détermine la plus grande largeur inférieure du moule au point d'intersection avec le cercle inscrit dans le pentagone (V).
- iii. Dans la majorité des moules, les points e et f définissent la largeur du tasseau inférieur.

³⁰ «Un point dans le Cercle et qui se place dans le Carré et le Triangle, Connais-tu le point ? Tout est pour le mieux, Ne le connais-tu pas ? », cité par BROOKS et DEGROTTE, *op. cit.*, p.76.

4. En fait, la somme du diapason CB (195,92) et la longueur du manche AC (121,08) est égale à la longueur de la corde AB (317).
5. La méthode consiste à définir géométriquement le point ⑤, l'un des sommets du pentagone.
6. On divise AB par 2 et l'on trouve le point F .
7. On trace un arc de cercle de rayon AF pour définir le point D sur la perpendiculaire au point A . Idem pour définir le point G . On divise le segment BG par Φ en H .
8. On trouve le point I sur la diagonale DB à l'intersection avec l'arc de cercle AFD . On projette la perpendiculaire à II sur l'axe AB qui détermine le point ①, départ du pentagone et du moule. De plus, la longueur entre ① et $C =$ l'épaisseur éclisse + débord de caisse.
9. Compas sur B de rayon BC , l'on trouve le point E sur BD . $\frac{DB}{\sqrt{3}} = DE$
10. On relie ① à H qui intersecte BD en M
 - On trace un arc de cercle à partir de E avec un rayon égal à IM
 - On trace un arc de cercle à partir de H avec un rayon égal à CM
 - On trouve le point ⑤ à l'intersection de ces deux arcs de cercle.
 - ① et ⑤ sont les points de départ du pentagone adapté à la longueur de corde choisie.

Ainsi, l'on trouve les paramètres concrets d' AB (longueur de corde), AC (longueur du manche), CB (Diapason), DB (Longueur caisse finie).

Quant à la proportion des deux ouës du moule G , je suis d'accord avec eux.

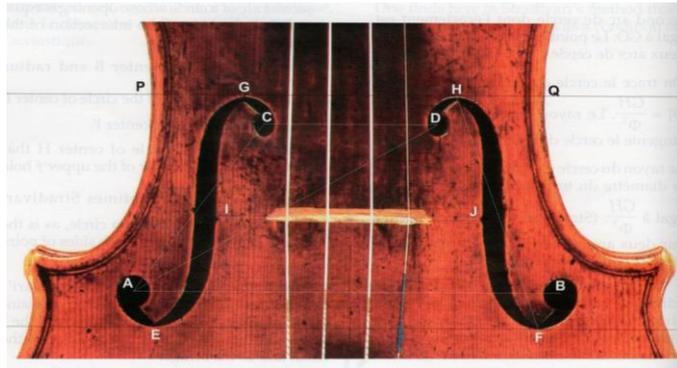


Figure 17. La proportion des ouïes du Moule G³²

Dans ce tableau, l'on trouve : $\frac{AB}{IJ} = \Phi$, $\frac{CB}{GH} = \Phi$.

2.2.4 Critique des théories d'Éric L. Brooks et Jean André Degrotte du point de vue de la géométrie analytique

Dans *Le violon et le nombre d'or*, Brooks et Degrotte présentent à la page 84 un tableau pour analyser le rapport entre les deux ouïes et les deux échancrures. Ils profitent d'une conception originale du moule G de Stradivarius où ils effacent certains tracés originaux de Stradivarius et ajoutent leurs analyses avec des lignes rouges tracées par ordinateur afin d'en faciliter la lecture.

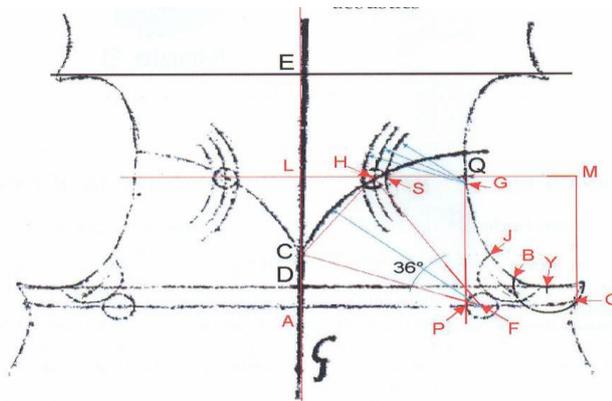


Figure 18. Le rapport entre les ouïes et les échancrures d'après Brooks et Degrotte

³² BROOKS et DEGROTTE, *op. cit.*, p.86.

Mais je ne partage pas sur l'analyse de Brooks et Degrotte parce que celle-ci impose aux tracés de Stradivarius de s'adapter au nombre d'or, tels que $Y = \frac{LQ}{\Phi^4}$, $DJ = \frac{GH}{\Phi^2}$, $\frac{AO}{OM} = \Phi$, $\frac{LM}{LQ} = \Phi$, $\frac{FC}{CH} = \Phi$, les points F , H , G , Q sont tous calculés et positionnés afin de bien correspondre à leur théorie. De plus, je pense également que Stradivarius ne connaissait pas les théories mathématiques complexes telles que Φ^2 et Φ^4 , car le concept de la «Section d'or» ne s'est propagé largement au public qu'en 1952 grâce à J. Kiefer, mathématicien américain. Avant cette époque, cette notion ne servait qu'à l'architecture ainsi qu'aux recherches mathématiques et n'était utilisée exclusivement par l'Église³³.

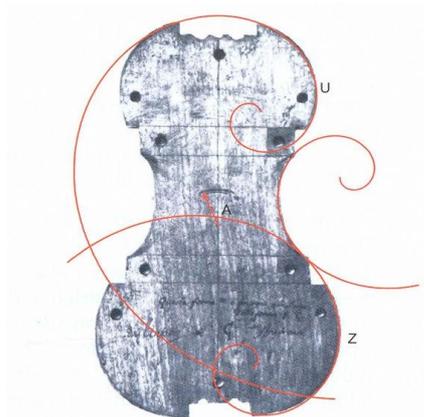


Figure 19. Les contours du moule G à l'aide de la spirale dorée d'après Brooks et Degrotte³⁴

D'ailleurs, Brooks et Degrotte fournissent le dessin ci-dessus, où ils projettent une analyse pour expliquer les contours du moule G à l'aide de la spirale dorée³⁵. Je ne suis pas d'accord avec eux car la spirale dorée est une courbe dessinée avec des

³³ Le département mathématique de l'Académie des Sciences de Chine (中国科学院数学系), «le mathématicien, HUA luogeng (走出书斋的数学家华罗庚)», *le musée mathématique* (数学博览馆), <amuseum.cdstm.cn/AMuseum/math/8/81/8_81_1005.htm>, éditeur le musée scientifique numérique de Chine (中国数字科技馆), Pékin, 2000.

³⁴ BROOKS et DEGROTTE, *op. cit.*, p. 82.

³⁵ Cf. Annexe, p. 290-293.

outils mathématiques précis. De plus, à l'époque de Renaissance, cette science ne servait la plupart du temps qu'à la religion dans des domaines tels que l'architecture, la peinture et la sculpture, etc. On n'a pas encore trouvé des documentations réelles indiquant qu'au XVII^e siècle les luthiers connaissaient et utilisaient la spirale dorée pour concevoir l'aspect du violon. D'ailleurs, à l'époque de Stradivarius, avec un compas simple et une règle rudimentaire, on ne sait pas si les luthiers arrivaient à dessiner la raison exacte du nombre d'or dans un segment et à produire le rectangle d'or et la spirale dorée, bien que les mathématiciens grecs sachent comment les dessiner. Par conséquent, je ne puis accepter l'hypothèse de Brooks et Degrotte dans la figure ci-dessus.

De plus, d'après la théorie de Sacconi³⁶, les courbes supérieures de la table du violon sont au nombre de deux : la courbe $Y-3$ et la courbe $3-2$, de plus, le point F et le point E sont respectivement le centre de ces deux courbes, et le point F se situe sur la ligne horizontale N_1-N_2 qui marque la frontière entre la première pièce³⁷ et la deuxième pièce du moule. Le point E se trouve sur la ligne horizontale qui marque la frontière entre la deuxième pièce et la troisième pièce du moule. De même, la courbe $W-7$, la courbe $7-6$, et les points L , G , D , ont le même problème sur la structure inférieure de la caisse. Dès que l'on profite de la spirale dorée pour dessiner la structure du moule, il nous est impossible de déterminer une série de points importants constituant la médiatrice du moule, la ligne $Y-W$, si bien que l'on ne peut pas dessiner et analyser la structure du moule.

Par conséquent, à mon avis, les analyses de Brooks et Degrotte sont juste une méthode ou un essai permettant de perfectionner la structure du moule et le contour

³⁶ Cf. p. 50-52.

³⁷ Cf. Figure 12, p. 50. En général, le moule du modèle crémonais est composé en 5 pièces. Dans la figure 12, YF est la première pièce, FE la deuxième, ED la troisième, DG la quatrième et GW la cinquième.

du violon en se basant sur l'esthétique et la géométrie, mais leur méthode ne peut pas déterminer et préciser tous les points importants non plus que la structure du violon de Stradivarius.

En ce qui concerne l'analyse de la structure du violon, je préfère celle de Sacconi à celle de Brooks et Degrotte, les points importants étant les clés du contour du violon. Mais la théorie de Sacconi ne peut pas s'appliquer à tous les moules, car elle ignore leurs caractéristiques communes. Le positionnement des points importants dépend de chaque moule. Cependant, la méthode du nombre d'or me donne des suggestions sur l'analyse géométrique. La méthode géométrique de Brooks et Degrotte ne dessine de l'extérieur vers l'intérieur que le contour du moule, elle ne peut pas bien positionner exactement les points importants du violon. Malheureusement, qu'il s'agisse de Sacconi, Brooks ou Degrotte, ceux-ci n'ont pas résolu tous les problèmes concernant le contour des échancrures du moule. Bien que les luthiers déterminent la forme des quatre coins du violon et qu'ils les fabriquent d'après leurs propres méthodes et expériences, l'aspect des lombes du violon dépend essentiellement du contour des échancrures du moule.

Par conséquent, j'ai eu pour projet d'utiliser une méthode de géométrie analytique s'inspirant de Descartes³⁸, pour analyser la forme des échancrures du moule. Il nous faut d'abord savoir ce qu'est la géométrie analytique. La géométrie analytique est une approche de la géométrie dans laquelle les objets sont représentés par des repères, des équations ou des inéquations. Elle est fondamentale pour la physique et l'infographie. En géométrie analytique, le choix d'un repère est indispensable. Tous les objets seront décrits relativement à ce repère, à l'aide de leurs

³⁸ René Descartes, mathématicien, physicien et philosophe français, est considéré comme l'un des fondateurs de la philosophie moderne. En particulier, jointe à ses travaux en géométrie algébrique où il jointe à ses travaux en géométrie algébrique, elle servira de base avec les ouvrages de Galilée et Kepler aux travaux de Newton.

coordonnés. Ensuite, Descartes propose de résoudre les problèmes de géométrie par le recours systématique au calcul algébrique. Selon ce principe,

il s'agit de représenter les grandeurs connues et inconnues par des lettres, et de trouver autant de relations entre grandeurs connues et inconnues qu'il y a d'inconnues au problème. On reconnaît bien là une démarche analytique, conduisant à des systèmes d'équations qu'il s'agit de réduire à une seule équation. Descartes donne des interprétations des cas sur- ou sous-déterminés. Ses manipulations, cependant, se limitent aux équations algébriques, qu'il classe par degré et ne peuvent être appliquées aux courbes qu'il qualifie de mécaniques (aujourd'hui dites transcendentes). Enfin, dans les notations de Descartes, les constantes sont continuellement notées a, b, c, d, \dots et les variables x, y, z . Elles s'opposent à la tradition de l'époque contemporaine, mais un lecteur d'aujourd'hui s'en trouve moins dérouté³⁹.

Ayant allié la méthode de Sacconi à celle de Brooks et Degrotte, j'ai recalculé et dessiné la structure du moule G de Stradivarius

³⁹ J'ai résumé le texte «Géométrie analytique», issu de Wikipédia l'encyclopédie libre, <fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9om%C3%A9trie_analytique>, le 11 juin 2011.

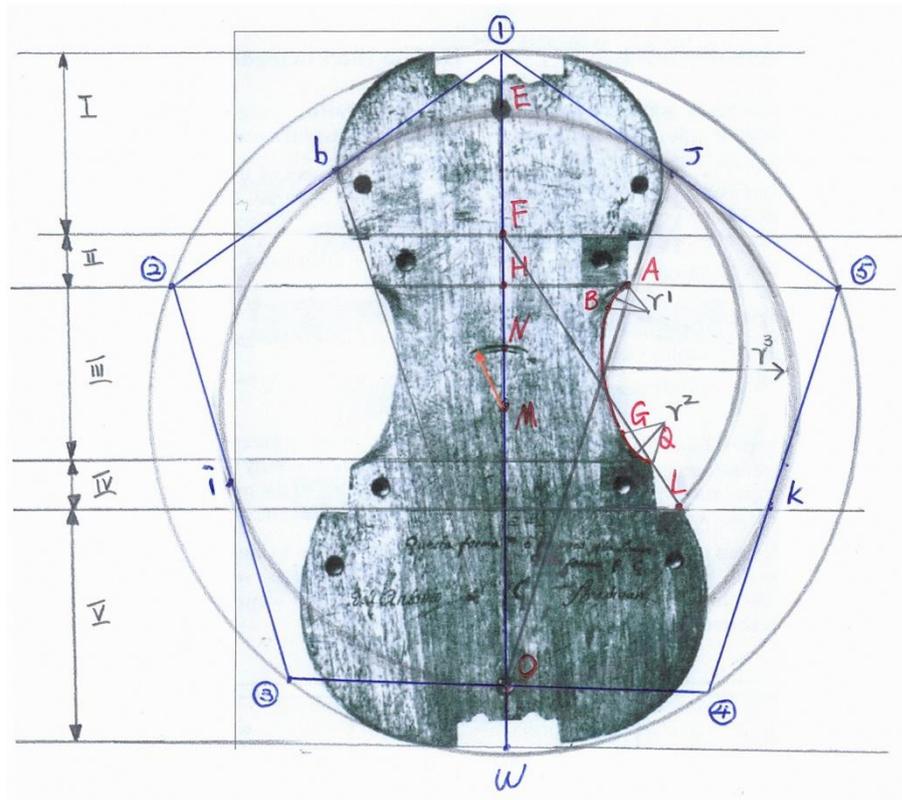


Figure 20. Mon analyse du moule G

Dans la figure ci-dessus, j'ai établi que :

1. Les pièces I, II, III, IV, V, sont les 5 composants du moule G. On relie le point ① et le point W, le tracé ①-W est la médiatrice du moule dont le centre est le point M, l'on trouve le cercle circonscrit de rayon M-①.
2. La frontière entre la pièce II et la pièce III est en effet le tracé YA. La ligne prolongé du tracé YA fait l'intersection avec le cercle au point ② et au point ⑤.
3. On relie respectivement ① à ②, ① à ⑤. On mesure la courbe ①-② avec le compas, ainsi, l'on trouve le pentagone régulier (①-②-③-④-⑤)
4. L'on trouve le point O qui se situe à l'intersection avec le tracé ③-④ et la médiatrice ①-W. Le point b et le point j sont respectivement le centre du tracé ①-② et celui du tracé ①-⑤.

5. On trace le cercle inscrit de rayon ME , dont M est le centre. Le point H est sur le tracé ②-⑤ qui croise la médiatrice ①- W en H . On trouve le point N qui est le centre du segment HM .
6. On relie le point O au point j , le tracé ②-⑤ est intersecté avec le tracé $j-O$ au point A .
7. On trouve le point F sur la médiatrice ①- W à l'intersection avec la frontière entre la partie I et la partie II du moule. On relie le point F au point L .

2.3 Calculs et hypothèse sur l'échancrure du violon

Une question reste à poser : comment pourra-t-on déterminer et dessiner scientifiquement les courbes AB , BG , GA et leurs centres r^1 , r^3 , r^2 , ainsi que leurs rayons ? Sacconi, Brooks et Degrott ne pourraient pas répondre exactement à cette question. La méthode de Sacconi en effet ne s'adapte qu'au moule G de Stradivarius, tandis que la méthode de Brooks et Degrott est basée sur le dessin géométrique, et tous les points importants dessinés sont issus d'une proportion sans détermination précise. De plus, il existe de petites erreurs sur certains positionnements des points importants à cause du dessin manuel de Stradivarius. En fait, cette question peut se transformer en une question de géométrie analytique. Ainsi, j'ai créé la figure ci-dessous.

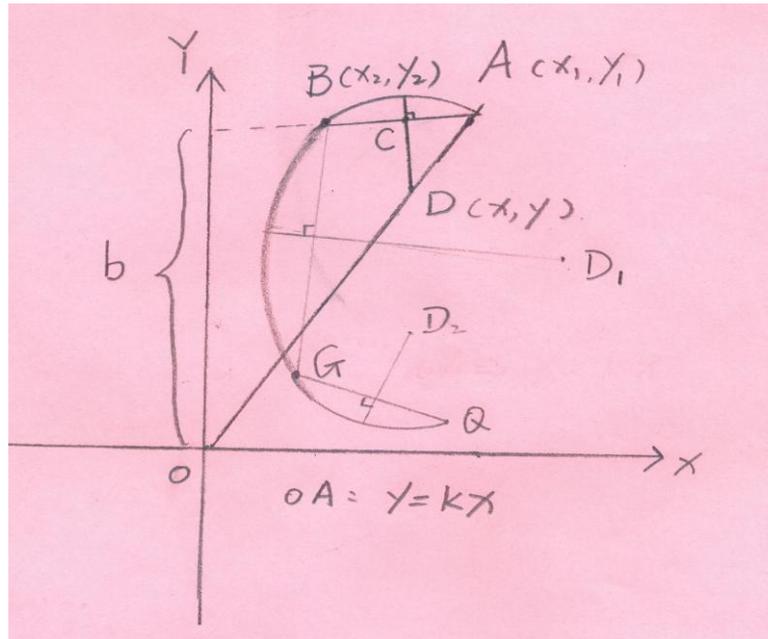


Figure 21. Calcul de géométrie analytique sur la forme C

J'ai fait quatre démarches pour déterminer la courbe AB. Je voulais calculer et déterminer si la longueur du segment AD est égale au rayon r^1 et si le tracé CD et le tracé OA se croisent au point D.

1. J'analyse le tracé AB dans le système de coordonnées rectangulaires.

Soit la coordonnée du point A (x_1, y_1) et la coordonnée du point B (x_2, y_2)

Soit l'expression d'analyse du tracé AB : $y = hx + b$ ($h \neq 0$) dont

h est l'obliquité de coefficient angulaire du tracé

b est la distance sur l'axe Y

Ainsi, j'obtiens la paire d'équations y_1 et y_2 .

$$\begin{cases} y_1 = hx_1 + b & \textcircled{1} \\ y_2 = hx_2 + b & \textcircled{2} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \Rightarrow y_1 - y_2 = h(x_1 - x_2)$$

$$\Rightarrow h = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$$

Ainsi, dans (①), $y_1 = h x_1 + b \Leftrightarrow y_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x_1 + b$

$$\begin{aligned} \Rightarrow b &= y_1 - \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x_1 = \frac{y_1(x_1 - x_2)}{x_1 - x_2} - \frac{x_1(y_1 - y_2)}{x_1 - x_2} \\ &= \frac{y_1 x_1 - y_1 x_2 - x_1 y_1 + x_1 y_2}{x_1 - x_2} \\ &= \frac{x_1 y_2 - y_1 x_2}{x_1 - x_2} \end{aligned}$$

Enfin, j'obtiens l'expression d'analyse du tracé AB :

$$y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x + \frac{x_1 y_2 - y_1 x_2}{x_1 - x_2}$$

2. Je résous la coordonnée du point C qui est également le centre du tracé AB ; et donne l'expression d'analyse du tracé CD .

Car $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2)$

Ainsi, la coordonnée du point C est $(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2})$

En effet le tracé CD est perpendiculaire au tracé AB , c'est-à-dire que $CD \perp AB$

Ainsi, K' (l'obliquité de coefficient angulaire du tracé CD) est multiplié par h

(l'obliquité de coefficient angulaire du tracé AB) fait -1 , c'est-à-dire, $k'h = -1$.

Car $h = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$ ainsi $k' = -\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}$

Ainsi, l'expression d'analyse du tracé CD est $Y = -\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} x + b'$ ③

Je dispose des coordonnées du point C $(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2})$ dans l'équation (③)

J'obtiens : $\frac{y_1 + y_2}{2} = -\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \cdot \frac{x_1 + x_2}{2} + b'$

$$\Rightarrow b' = \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}$$

Ainsi, l'expression d'analyse du tracé CD est

$$y = -\frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} x + \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}$$

3. Solution de la coordonnée du point D :

Car le point D est à l'intersection des tracés CD et OA ,

Soit, l'expression d'analyse du tracé OA : $y = kx$

$$\text{De plus, } y = -\frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot x + \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}$$

$$\Rightarrow kx = -\frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot x + \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}$$

$$\Rightarrow \left(k + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2}\right) x = \frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}$$

$$\Rightarrow x = \frac{\frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}}{k + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2}} \quad \textcircled{4}$$

$$\Rightarrow y = kx = k \cdot \frac{\frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}}{k + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2}} \quad \textcircled{5}$$

4. Mesurer et vérifier si la distance du segment AD est égale au rayon r^1

$$AD = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}}{k + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2}} - x_1\right)^2 + \left(k \cdot \frac{\frac{y_1+y_2}{2} + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2} \cdot \frac{x_1+x_2}{2}}{k + \frac{x_1-x_2}{y_1-y_2}} - y_1\right)^2} \quad \textcircled{6}$$

Même si le centre D de la courbe AB n'est pas sur le tracé OA , l'on peut également déterminer exactement la coordonnée du point D selon ④, ⑤ et ⑥. Bien sûr, l'on peut aussi trouver les coordonnées des r^1, r^3, r^2 pour déterminer la forme de la courbe AB , celle de BG et celle de GQ .

Par conséquent, ma méthode peut non seulement permettre de trouver exactement les points importants et les courbes, mais aussi de les positionner en fonction des besoins. Ainsi, je profiterai des possibilités de cette méthode pour analyser la structure des violons de Jean-Baptiste Vuillaume dans la seconde partie. Qui plus est, dans la quatrième partie, je l'utiliserai pour créer une structure de violon (je positionnerai les coordonnées de tous les points) basée sur l'esthétique, la tradition, l'acoustique et l'expérience des luthiers.

2.4 Analyse de la voûte du violon

En dehors des proportions du violon, la voûte de caisse est également un élément important influant sur l'effet sonore du violon. En 1979, Sacconi donne un résultat obtenu sur les gabarits en bois du violon «Cremones» (moule G) de Stradivarius.

2.4.1 Résultats des recherches de Sacconi et d'A. Mosconi sur la voûte du violon

Comme nous le savons, à l'époque de Stradivarius les voûtes des instruments sont creusées à l'aide de gabarits en bois, que l'on pose perpendiculairement à l'axe

longitudinal de l'instrument. Quant à la fabrication de la voûte, il existe depuis 1704 deux séries de gabarits de voûtes complètes, internes et externes, pour les violons de Stradivarius, selon la définition du moule G. Toutefois, contrairement à ce qui s'est produit pour certaines parties de ses instruments, aucun dessin ne nous est resté de la main même de Stradivarius. Nous ne trouvons que les gabarits complets de voûtes de Stradivarius au musée de Crémone.

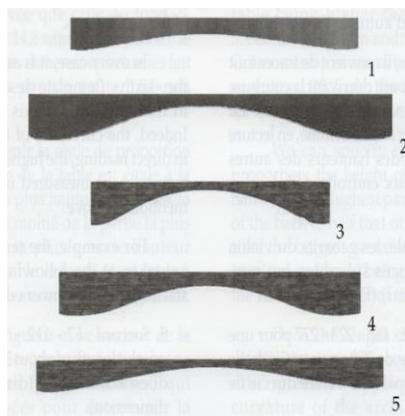


Figure 22. Gabarits de voûte⁴⁰

J'ai analysé les gabarits de voûte du fond du « Cremones » (moule G), à partir du relevé réalisé par le professeur A. Mosconi et des dimensions indiquées par Sacconi. Les gabarits de voûte, au nombre de 5, sont positionnés perpendiculairement à l'axe de symétrie de l'instrument aux points suivants : la plus grande largeur des « épaules », les coins du haut, le centre des « C », les coins du bas, la plus grande largeur des « hanches ». Leurs fronti ères sont vraiment différentes par rapport à celles du moule de la caisse.

⁴⁰ BROOKS et DEGROTTE, *op. cit.*, p. 105.

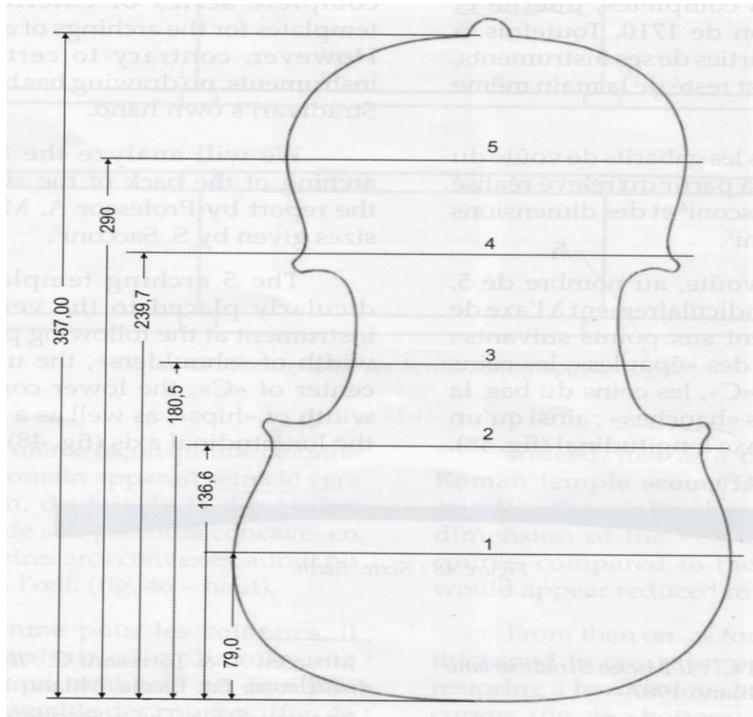


Figure 23. Les frontières des gabarits « Quint »⁴¹

Le calcul de la longueur des gabarits ne pose pas de problème particulier dans la mesure où elle égale soit la largeur, soit la longueur, augmentée respectivement de l'épaisseur des éclisses et des débords de l'instrument. Pour les gabarits de voûte, l'on ne trace qu'une moitié de l'instrument, le même gabarit servant pour le façonnage de part et d'autre de l'axe médian.

Dans tous les cas, Sacconi a créé un gabarit «sixte», d'après la courbure dans l'axe longitudinal de l'instrument, pour compléter la courbe de la table sur les gabarits du violon.

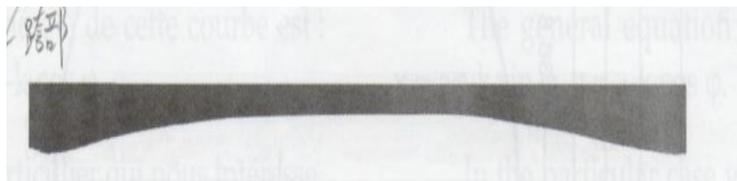


Figure 24. Le gabarit de voûte «Sixte», Sacconi

⁴¹ *Ibid.*, p. 106.

En effet, la courbure de cet axe détermine, en lecture directe, les plus importantes hauteurs des autres gabarits, mesurées aux endroits définis plus haut.

Selon Sacconi, les gabarits du violon sont pris aux distances suivantes (en mm, depuis le bord inférieur, figure 23) :

I. Sacconi : 67 – 112 – 168 – 223 – 227 pour une longueur de « sixte » de 350 environ (l'échelle réduite ne permet pas une lecture directe de la dimension.)

II. A.Mosconi (le « Cremonese ») : 79 – 136,50 – 180,50 – 239,50 – 290 pour une longueur de l'instrument de 357.

En ce qui concerne les hauteurs des gabarits de voûte, celles que nous donnons sont égales ici à la distance entre la face externe de la table et la face interne.

Dans le cas du violon, cette hauteur est voisine de 15 mm, la hauteur des voûtes de la table étant plus élevée que celle du fond. Sacconi : 15,5 mm et 14,8 mm en moyenne ; le « Cremonese », dans ses dimensions actuelles, fait exception : 15,4 mm pour la voûte, 16,1 mm pour le fond.

On pourra retenir la règle de proportion suivante : la hauteur de la table est égale à la moitié de la partie la plus haute des éclisses, la hauteur du fond à la moitié de la partie la plus basse des éclisses, la plus grande hauteur cumulée des deux (table et fond) étant égale à la hauteur des éclisses au centre de l'instrument.

2.4.2 Résultats des recherches de Brooks et Degrotte sur les voûtes

Une fois la longueur et la hauteur de la « Sixte » déterminées, Eric L.Brooks et Jean-André Degrotte indiquèrent plusieurs méthodes qui pourraient être utilisées pour déterminer la courbure des voûtes, l'une rigoureuse et les deux autres plus empiriques.

La première méthode consiste à définir et à tracer les courbes par le calcul. Les quintes de voûte ont un profil qui s'apparente aux courbes dites « trochoïdes », décrites par un point P situé sur le rayon d'un cercle lorsque le cercle roule, sans glisser, sur une droite (Figure 25).

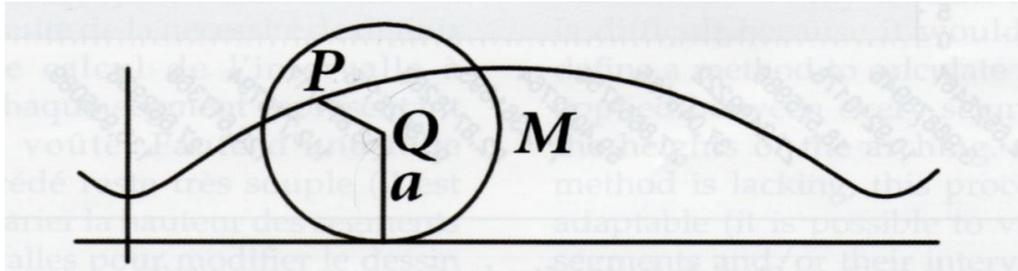


Figure 25. Courbe trochoïde⁴²

L'équation générale de cette courbe est :

$$\begin{cases} X = \alpha \varphi - k \sin \varphi \\ Y = \alpha - k \cos \varphi \end{cases}$$

Dans le cas particulier qui nous intéresse, où le point P est situé à l'intérieur du cercle, l'équation est :

$$\begin{cases} X = \alpha (\varphi - k \sin \varphi) \\ Y = \alpha (1 - k \cos \varphi) \end{cases}$$

Brooks et Degrotte ont essayé avec ces équations, de décrire et de reconstituer les quintes de voûte du fond du « Cremonese », en prenant pour période la distance estimée entre les points les plus bas des gorges et pour hauteur celle des voûtes.

^{42 42} *Ibid.*, p. 107.

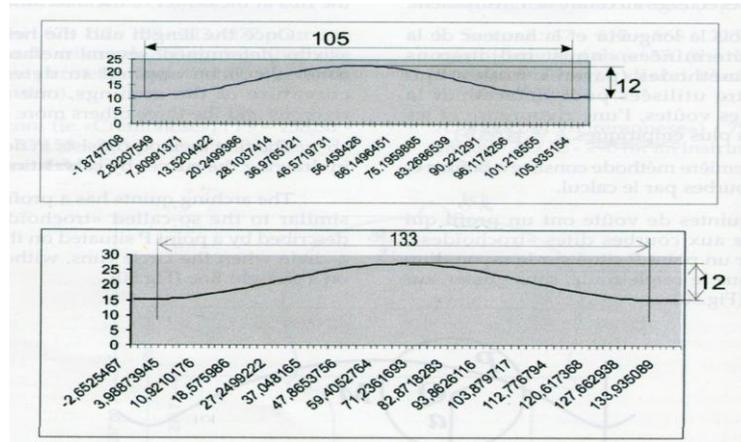


Figure 26. Gabarits de voûtes du « Cremonese », reconstitués par Brooks et Degrotte⁴³

De ce fait, Brooks et Degrotte ont comparé dans la figure ci-dessus, par superposition, les courbes issues du calcul avec celles relevées sur le fond du « Cremonese ». Ils constatent que les équations décrivant ces courbes donnent une image approchée de la réalité. Il existe cependant quelques différences importantes pour certaines courbes, notamment la courbe de gabarit n°3. Ceci tendrait à démontrer qu'une équation unique ne peut décrire une courbe des quintes de voûte, ou que ces courbes ont été ensuite modifiées.

Les différences constatées peuvent avoir d'autres origines. On sait, notamment, que Stradivari ne donnait pas la même courbure à la « sixte », selon qu'il s'agissait de la partie voisine de la gorge du haut ou du bas du violon ; que le sommet de la voûte est aplani et que les gorges sont creusées après la fermeture de l'instrument. Toutes ces interventions manuelles sont de nature à modifier le tracé théorique d'une courbe, dont le calcul est par ailleurs connu à l'époque.

Pour le choix de la courbe, l'on pourrait penser que Stradivarius a peut-être retenu la parabole, mieux adaptée à la répartition des forces. Or, il n'en est rien. On

⁴³ *Ibid.*, p. 108.

peut donc voir dans le choix effectué une nouvelle preuve de la prédominance de l'esthétique dans le choix des formes et non de la technique pure.

Brooks et Degrotte montrent enfin deux méthodes empiriques pour le tracé des voûtes :

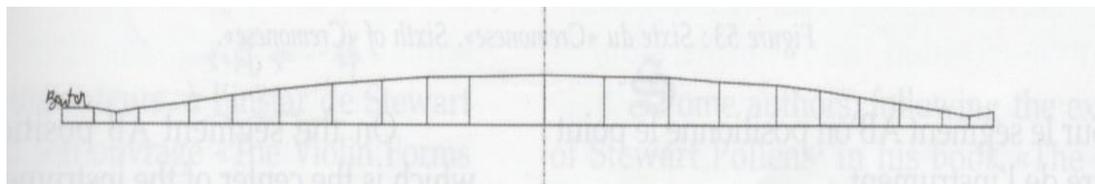


Figure 27. La courbure de sixte selon Sacconi⁴⁴

La première est dérivée sans a priori de la technique de relevé appliquée par Sacconi (Figure 27) ; les cinq voûtes horizontales de la table, celles-ci se trouvant respectivement aux cinq frontières⁴⁵ du moule « Quint », sont pratiquement toutes dans une proportion Φ ou $\sqrt{\Phi}$. On gardera bien entendu ce principe pour déterminer la valeur des hauteurs retenues.

Ensuite, les segments représentant les hauteurs seront reportés sur la droite figurant la base de la table ou du fond. La difficulté de cette technique résulte de la nécessité de définir une méthode de calcul de l'intervalle à appliquer entre chaque segment représentant les hauteurs de voûte. Faute d'une telle méthode, ce procédé reste très souple (il est possible de faire varier la hauteur des segments et leurs intervalles pour modifier le dessin des voûtes), mais non rigoureux.

En tout état de cause, ces segments devront être positionnés de manière à être reliés par une courbe « dorée » : les quintes de voûte, relevées par Sacconi et par le professeur Mosconi pour le « Cremonese », présentent cette constante de pouvoir être toutes fort bien tracées à l'aide de cette courbe.

⁴⁴ *Ibid.*, p. 109.

⁴⁵ Cf. référence en note, p. 68.

Pour les quintes de voûte de la table du violon et pour les autres types de moules, Eric L. Brooks et Jean-André Degrotte se reportent aux dimensions données par Sacconi, auxquelles ils appliquent cette règle de proportion.

Ils proposent enfin une méthode simple, dérivée de celle profilée, probablement, par Stradivarius pour le tracé des coulisses (Figure 27).

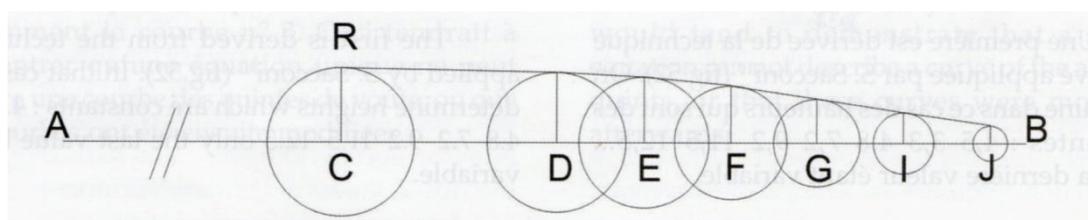


Figure 28. sixte du « Cremonese »⁴⁶

1. Sur le segment AB , l'on positionne le point C , centre de l'instrument. A partir de ce point C , l'on trace un cercle de rayon CR égal à la plus grande hauteur de voûte.
2. À 5 cm de ce point C , l'on positionne un point D et les points E, F, G, H, I, J , par intervalles réguliers de 2 cm. Pour les quintes de voûte, l'on prend un espace régulier de 1,5 cm.
3. Les rayons sont respectivement de 16 ; 15 ; 13 ; 10 ; 7 et 4 mm. Ainsi, l'on obtient 7 cercles.
4. Chaque cercle, comme dans le dessin de la coulisse, est ensuite relié par une tangente au moyen d'une spirale logarithmique « dorée ». La gorge est dessinée en inversant la spirale entre le premier et le second cercle.

Nous retrouvons ici le schéma ci-dessus en symétrie inverse de la coulisse, où les tangentes des cercles sont incurvées vers l'intérieur. Mais le principe de

⁴⁶ BROOKS et DEGROTTE, *op. cit.*, p. 111.

composition est similaire jusque dans le replat du sommet de la voûte que l'on peut comparer au plat du côté de la tête. C'est la raison pour laquelle nous avons privilégié cette méthode consistant à faire des tracés pour les quintes de voûte dans la mesure où elle nous paraît la plus proche, dans l'esprit, de celle de Stradivarius.

2.4.3 Hypothèse sur la structure idéale du moule G

Évidemment, que ce soit Sacconi, Brooks ou Degrotte, ils n'ont recherché que la courbe longitudinale de la table, et ont omis l'analyse de la voûte horizontale de celle-ci. De ce fait, j'ai contacté M. Xue Peng, professeur de Fabrication des instruments à archet du conservatoire national supérieur de Shanghai, qui m'a permis de me reporter aux données des voûtes du moule G de Stradivarius. En fait, ces données sont issues de l'analyse de Sacconi.

Comme nous le savons, la vibration est l'essence du timbre et de la sonorité du violon. La vibration du violon se divise principalement en deux manières : la vibration de la table et celle du fond. Celles-ci conduisent à la vibration du volume de la caisse. Par l'intermédiaire du chevalet, des ondes de la vibration sont diffusées sur les voûtes horizontales et de la médiatrice longitudinale. De ce fait, les voûtes horizontales et la médiatrice longitudinale jouent un rôle important pour établir une tension superficielle de la table, et celle-ci produit directement un effet sur la sonorité

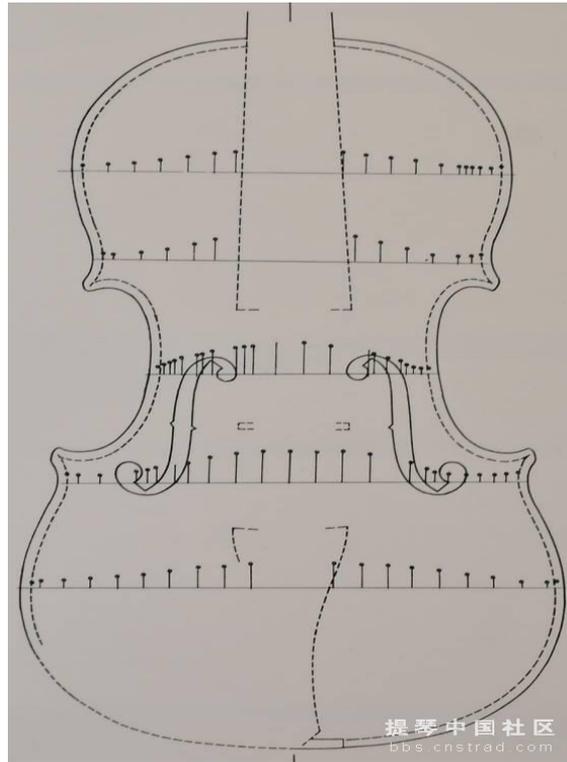


Figure 29. Les voûtes horizontales de la table du moule G

Dans la figure ci-dessus, nous pouvons trouver les formes des voûtes horizontales de la table. En fait, lorsque le luthier conçoit et fabrique la voûte horizontale, il se base essentiellement sur ses propres expériences, c'est-à-dire que la forme des voûtes correspond à une technique empirique. Mais j'ai remarqué que les formes de ces voûtes sont plus proches des modèles mathématiques⁴⁷ créés par Brooks et Degrotte, cependant leurs modèles mathématiques concernant la médiatrice longitudinale de la table ont été définis par la courbe de Φ et $\sqrt{\Phi}$. A mon avis, il n'était pas possible de réaliser et fabriquer ces courbes à l'époque de Stradivarius, car Φ et $\sqrt{\Phi}$ étant proportionnelles au nombre irrationnel, l'on était incapable de les mesurer et fabriquer exactement. De plus, bien qu'à cette époque, des mathématiciens et des artisans aient connu l'application du nombre d'or dans le

⁴⁷ Cf. Figure 26, p. 81.

domaine de l'art, ils ne maîtrisaient pas la fabrication de la structure géométrique portant le chiffre Φ .

Pour établir la structure entière en 3 dimensions du violon du moule G, tout d'abord j'ai produit le dessin technique en 2 dimensions avec un logiciel informatique, *Pro/Engineer*, au département mécanique de l'INSA de Strasbourg. *Pro/Engineer* est développé par la société Parametric Technology Corporation. Il s'agit d'un logiciel de CAO intégré, c'est-à-dire comportant des modules de conception pure tout en permettant d'effectuer des calculs de dimensionnement, des animations cinématiques, d'intégrer des circuits hydrauliques ou électriques, de concevoir la partie fabrication.

D'après la figure 23⁴⁸, nous savons les positions des 5 voûtes horizontales, et que la médiatrice longitudinale correspond à 357 mm. Cependant, la mesure de 357 mm correspond à la longueur du gabarit et non à celle de la caisse réelle. En général, dans le domaine de la lutherie, l'on considère que la longueur de la caisse d'un violon du moule G est entre 356 et 365 mm. Par conséquent, sur la base de la proportion, je calcule les positions réelles des 5 voûtes horizontales :

$$\frac{357}{290} = \frac{365}{M} \Rightarrow M = 296,499 \approx 296,5 \text{ mm (la hauteur de la première voûte$$

horizontale)

$$\frac{357}{239,7} = \frac{365}{F} \Rightarrow F = 245,07 \approx 245 \text{ mm (la hauteur de la seconde voûte$$

horizontale)

⁴⁸ Cf. p. 78.

$$\frac{357}{180,5} = \frac{365}{C} \Rightarrow C = 184,54 \approx 185 \text{ mm (la hauteur de la troisième voûte$$

horizontale)

$$\frac{357}{136,6} = \frac{365}{G} \Rightarrow G = 139,66 \approx 139,7 \text{ mm (la hauteur de la quatrième voûte$$

horizontale)

$$\frac{357}{79} = \frac{365}{L} \Rightarrow L = 80,77 \approx 81 \text{ mm (la hauteur de la cinquième voûte$$

horizontale)

Pour un violon du moule G, nous pensons généralement que la première voûte horizontale correspond à la largeur la plus grande de la caisse supérieure (≈ 160 mm) ; la deuxième voûte horizontale représente la largeur la plus petite de la caisse supérieure (≈ 156 mm) ; la troisième voûte horizontale correspond à la largeur la plus petite du violon (≈ 102 mm) ; la quatrième voûte correspond à la largeur la plus petite de la caisse inférieure (≈ 164 mm) ; la cinquième voûte représente la largeur la plus grande de la caisse inférieure (≈ 200 mm).

Dans la figure 12⁴⁹, j'ai recalculé les données et obtenu les relations mathématiques suivantes : $\frac{FE}{EC} = \frac{2}{5}$, $\frac{RP}{RC} = \frac{30}{47}$, $CE = CB$, $\angle 3E4 = 30^\circ$, $\angle 7E8 = 18^\circ$.

Dans mon dessin technique⁵⁰ :

$$TU = 160 \text{ mm}$$

$$N_1N_2 = 156 \text{ mm}$$

⁴⁹ Cf. p. 50.

⁵⁰ Pour la comparaison, les appellations de tous les points sont identiques à celles des points de la figure 12.

$$PQ = 102 \text{ mm}$$

$$G_1 G G_2 = 164 \text{ mm}$$

$$VZ = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Car } \frac{FE}{EC} = \frac{2}{5} \text{ et } CF = WF (245 \text{ mm}) - CW (184 \text{ mm}) = 61 \text{ mm}$$

$$\text{Ainsi, } FE = 61 \div 7 \times 2 \approx 17,4 \text{ mm}$$

$$EC = 61 - 17,4 = 43,6 \text{ mm}$$

$$YE = YW (365 \text{ mm}) - EW = YW - EC - CW (184 \text{ mm})$$

$$= 365 - 43,6 - 184 = 137,4 \text{ mm}$$

$$\text{Car } \frac{RP}{RC} = \frac{30}{47} \text{ et } PC = \frac{1}{2} PQ = \frac{1}{2} \times 102 = 51 \text{ mm}$$

$$\text{Ainsi, } RP = 30 \times 51 \div 47 = 90 \text{ mm.}$$

De ce fait, j'ai tracé le dessin technique en deux dimensions selon les démarches suivantes :

1. En prenant le segment $E-Y$ comme demi - diamètre et E comme centre du cercle, je trace la courbe 3-4.
2. En prenant le point 3 et le point 2 comme les deux extrémités de la courbe, je trace le centre de cercle MI qui se trouve sur le tracé TU .
3. En prenant le segment $M-T$ comme demi - diamètre et M comme centre du cercle, je trace la courbe 1-2.
4. En prenant le segment $M-T$ comme demi - diamètre et M comme centre du cercle, je trace la courbe 1-2.
5. En prenant le segment $R-P$ comme rayon et R comme centre du cercle, je trace la courbe 9-10.

Ensuite, dans la figure 29⁵¹, nous connaissons les formes des voûtes de la table, mais n'avions pas pu obtenir leurs paramètres exacts par l'observation. Heureusement, monsieur Xue Peng m'a apporté un dessin technique des voûtes horizontales de la table du moule G, qui est issu de l'école de fabrication de Crémone.

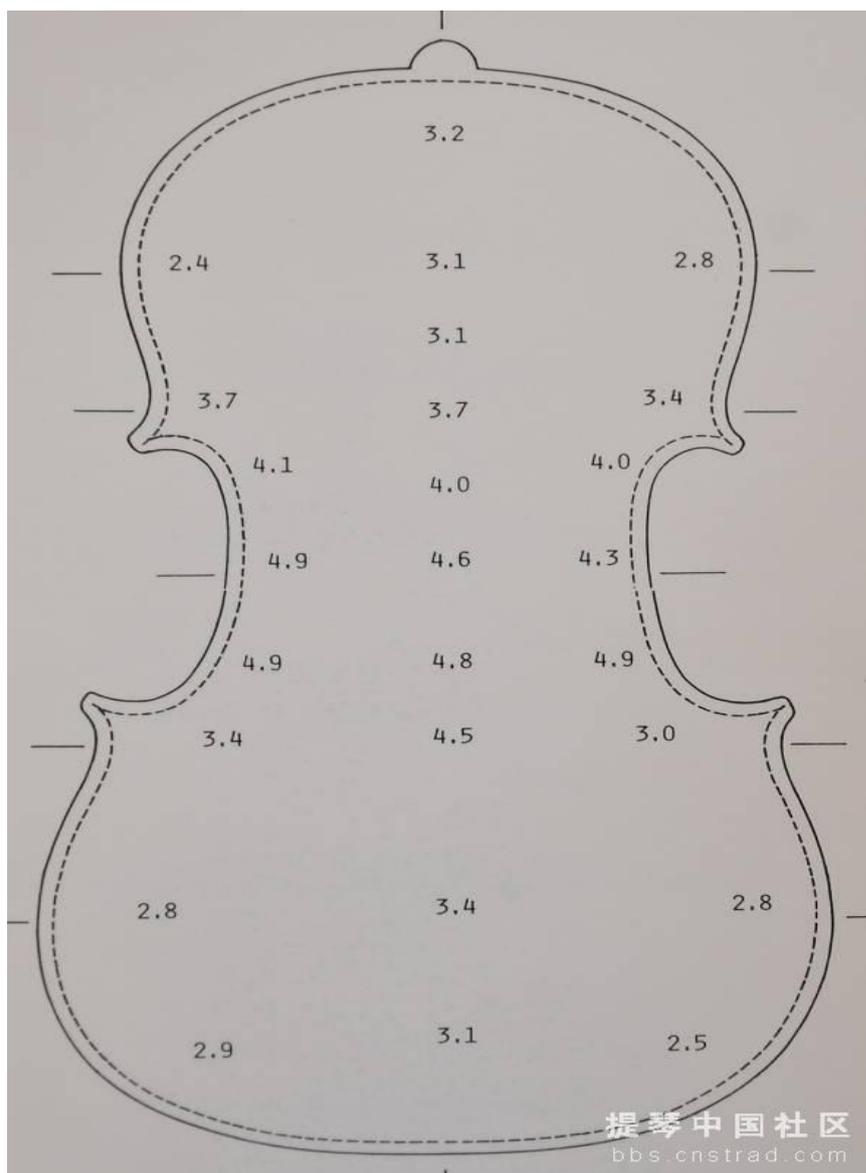


Figure 31. Les voûtes horizontales de la table du moule G

⁵¹ Cf. p. 85.

Après avoir étudié les points de la figure ci-dessus, je constate que leur position n'est toujours pas symétrique, ce qui est le résultat des marges de tolérance dues à l'utilisation d'une technique manuelle. Les voûtes idéales doivent être symétriques et linéaires, c'est-à-dire que les points d'une voûte horizontale doivent être sur une parabole. Étant donné que nous connaissons les largeurs des cinq voûtes horizontales (160 mm, 156 mm, 102 mm, 164 mm, 200 mm), je vais choisir et ajuster scientifiquement les points de la figure ci-dessus pour établir des voûtes horizontales idéales.

Pour la première voûte (la largeur la plus grande de la caisse supérieure), sa largeur correspond à 160 mm, la hauteur du sommet est de 3,1 mm. Étant donné que cette voûte se trouve sur une parabole, leurs coordonnées s'adaptent à l'équation de la parabole : $y = ax^2 + C$ ⁵². De ce fait, je définis les repères de 3 points : A (-80, 2,4), O (0, 3,1), C (80, 2,4) et j'établis le système d'équations:

$$\begin{cases} y = ax^2 + C & \textcircled{1} \\ y = ax^2 + C & \textcircled{2} \\ y = ax^2 + C & \textcircled{3} \end{cases}$$

J'ai cherché les coordonnées de ces trois points qui correspondent respectivement à l'équation ①, ② et ③, ainsi j'ai obtenu le système d'équations suivant :

$$\Rightarrow \begin{cases} a(-80)^2 + C = 2,4 \\ a(0)^2 + C = 3,1 \\ a(80)^2 + C = 2,4 \end{cases}$$

⁵² La formule générale de l'équation du second degré en x correspond à: $y = ax^2 + bx + c$. Étant donné que la parabole est une figure symétrique concernant l'axe Y dans le système coordonné son équation n'a pas le paramètre b . Ainsi, l'équation générale de la parabole est la forme : $y = ax^2 + c$.

$$= \begin{cases} a6400 + C = 2,4 \\ C = 3,1 \\ a6400 + C = 2,4 \end{cases} = \begin{cases} \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{6} \end{cases}$$

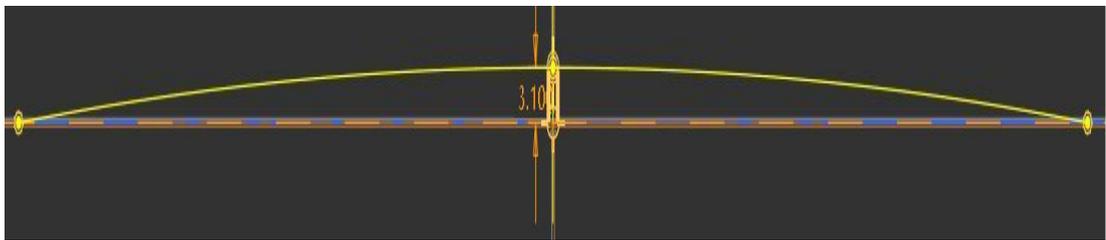
Ainsi, l'équation $\textcircled{4}$ = L'équation $\textcircled{6}$ = $a 6400 + C = 2,4$

Selon l'équation $\textcircled{5}$, nous avons obtenu $C = 3,1$

Ainsi, l'équation $\textcircled{6}$: $a 6400 + 3,1 = 2,4 \Rightarrow a = \frac{2,4 - 3,1}{6400} = -0,000109 \approx -0,0001$

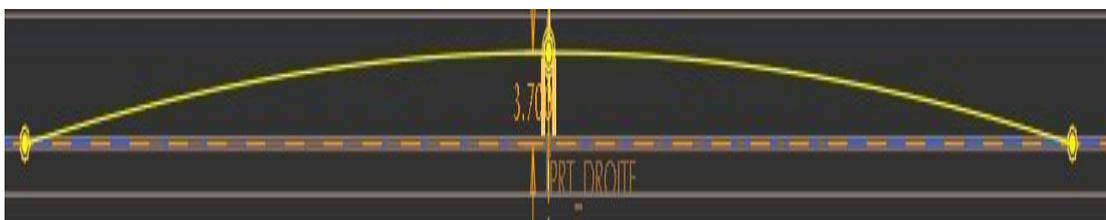
Ainsi, j'ai obtenu l'équation de la parabole de la voûte idéale :

$$f(x) = -0,0001 x^2 + 3,1 \quad (-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm})$$



Selon la méthode ci-dessus et les données de la figure 31⁵³, j'ai défini les coordonnées de la deuxième voûte horizontale (la largeur la plus petite de la caisse supérieure) : $A (-78, 3,4)$, $O (0, 3,7)$, $C (78, 3,4)$ et j'ai obtenu son équation de la parabole :

$$g(x) = -0,00005 x^2 + 3,7 \quad (-78 \text{ mm} \leq x \leq 78 \text{ mm})$$



⁵³ Cf. p. 90.

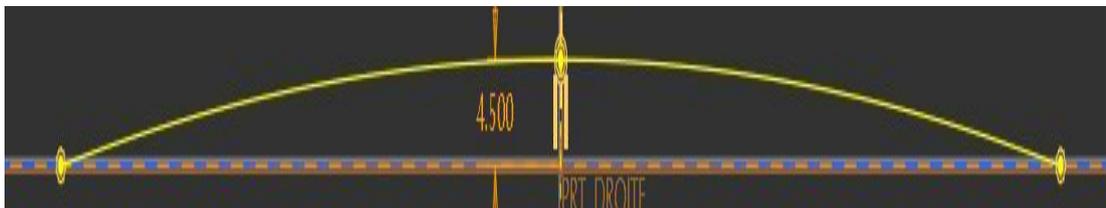
La troisième voûte horizontale correspond à la largeur la plus petite du violon, je repère les coordonnées : $A (-51, 4,3)$, $O (0, 4,9)$, $C (51, 4,3)$ et calcule l'équation de sa parabole :

$$h(x) = -0,00023 x^2 + 4,9 \quad (-51 \text{ mm} \leq x \leq 51 \text{ mm})$$



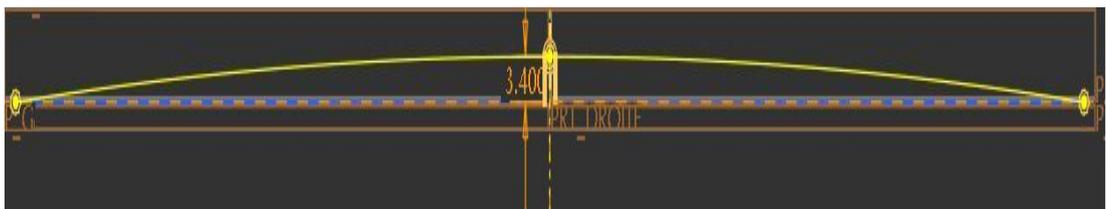
La quatrième voûte horizontale correspond à la largeur la moins grande de la caisse inférieure, je définis les coordonnées : $A (-82, 3,4)$, $O (0, 4,5)$, $C (82, 3,4)$ et obtiens l'équation de sa parabole :

$$j(x) = -0,00016 x^2 + 4,5 \quad (-82 \text{ mm} \leq x \leq 82 \text{ mm})$$

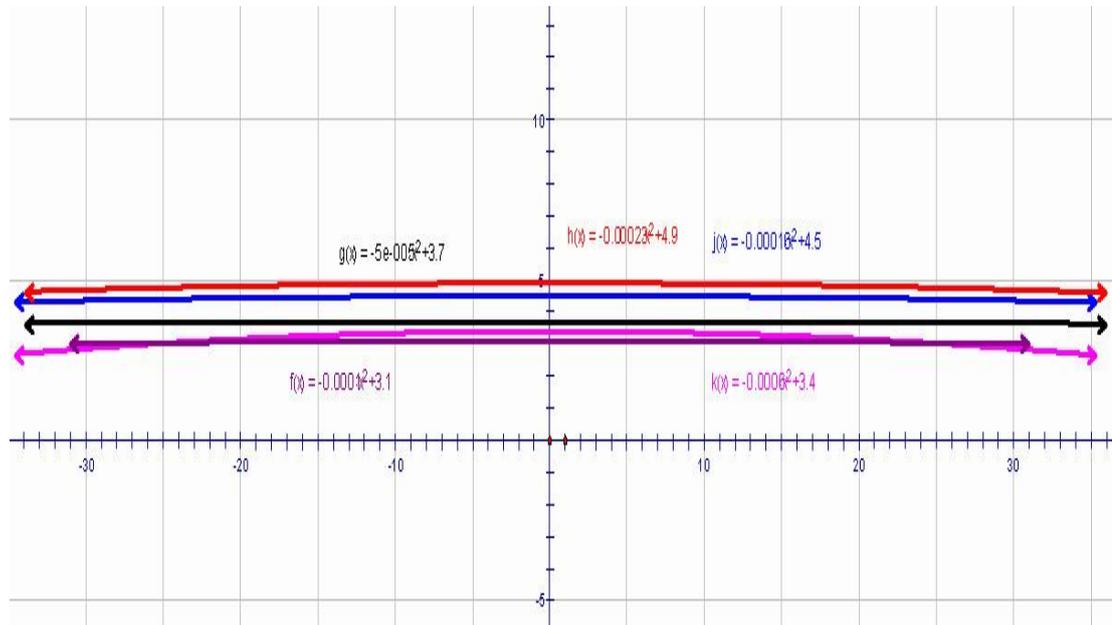


La cinquième voûte horizontale correspond à la largeur la plus grande de la caisse inférieure qui est également la largeur la plus grande du violon, soit 200 mm. De ce fait, je repère les coordonnées : $A (-100, 2,8)$, $O (0, 3,4)$, $C (100, 2,8)$ et j'obtiens l'équation de sa parabole :

$$k(x) = -0,00006 x^2 + 3,4 \quad (-100 \text{ mm} \leq x \leq 100 \text{ mm})$$



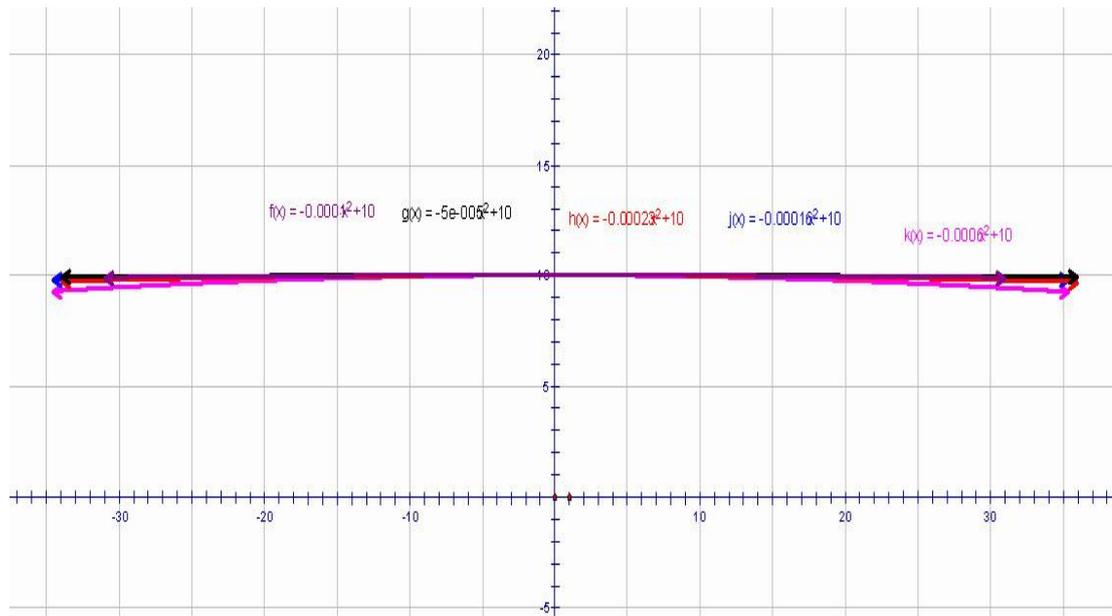
Pour l'analyse systématique de ces cinq voûtes horizontales de la table, je mets ces 5 paraboles dans la figure ci-dessous.



En fait, le paramètre C de l'équation correspond à la valeur du sommet de la voûte. De la première parabole $f(x)$ à la troisième parabole $h(x)$, le sommet augmente progressivement. De la troisième parabole $h(x)$ à la cinquième parabole $k(x)$, le sommet diminue graduellement. Après observation, j'ai constaté que la forme de ces cinq voûtes est très analogue. Cependant, il nous a été difficile de comparer et d'étudier la courbure de ces cinq paraboles du fait qu'elles ont des sommets différents. Par conséquent, j'ai déplacé les sommets de toutes les paraboles au repère $(0, 10)$ afin de rechercher leur courbure. Ainsi, ces cinq paraboles correspondent respectivement aux équations suivantes :

1. $f(x) = -0,0001 x^2 + 10$ ($-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm}$)
2. $g(x) = -0,00005 x^2 + 10$ ($-78 \text{ mm} \leq x \leq 78 \text{ mm}$)
3. $h(x) = -0,00023 x^2 + 10$ ($-51 \text{ mm} \leq x \leq 51 \text{ mm}$)
4. $j(x) = -0,00016 x^2 + 10$ ($-82 \text{ mm} \leq x \leq 82 \text{ mm}$)
5. $k(x) = -0,00006 x^2 + 10$ ($-100 \text{ mm} \leq x \leq 100 \text{ mm}$)

De plus, j'ai obtenu les formes dans la figure ci-dessous,

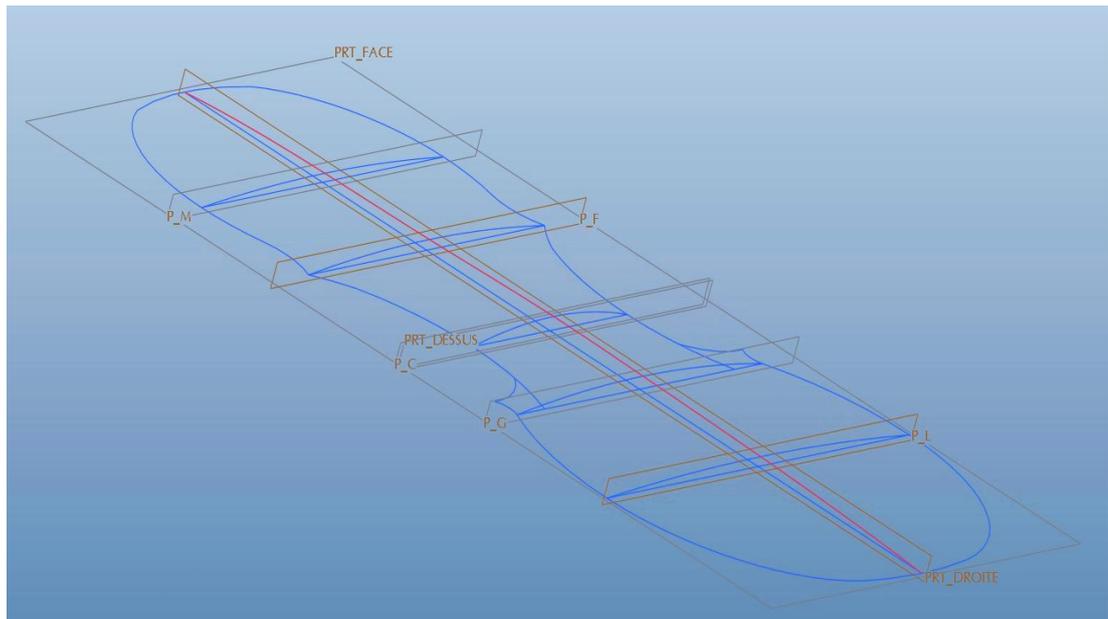


Dans la figure ci-dessus, les courbes de $f(x)$, de $g(x)$ et $j(x)$ coïncident presque. Bien que $h(x)$ possède le sommet le plus haut de ces 5 voûtes, sa courbure est inférieure à la courbure de $k(x)$. En fait, dans l'équation générale de la parabole ($y = ax^2 + c$), la valeur du paramètre a définit la courbure de la voûte. Dans ces cinq équations, la valeur a correspond respectivement à: $-0,0001$, $-0,00005$, $-0,00023$, $-0,00016$ et $-0,00006$. Ainsi, nous savons que $-0,001 \leq a \leq -0,00006$. Étant donné que $k(x)$ possède la courbure la plus grande de ces cinq paraboles, nous savons que le paramètre a de l'équation est plus grand, la courbure est plus convexe et la tension superficielle de la table est plus forte.

D'après les cinq équations originales⁵⁴ et le dessin industriel⁵⁵, j'ai tracé le module de la table idéale en 3 dimensions.

⁵⁴ $f(x) = -0,0001x^2 + 3,1$ ($-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm}$); $g(x) = -0,00005x^2 + 3,7$ ($-78 \text{ mm} \leq x \leq 78 \text{ mm}$); $h(x) = -0,00023x^2 + 4,9$ ($-51 \text{ mm} \leq x \leq 51 \text{ mm}$); $j(x) = -0,00016x^2 + 4,5$ ($-82 \text{ mm} \leq x \leq 82 \text{ mm}$); $k(x) = -0,00006x^2 + 3,4$ ($-100 \text{ mm} \leq x \leq 100 \text{ mm}$).

⁵⁵ Cf. figure 30, p. 89.



Ayant relié les sommets de ces cinq voûtes horizontales, j'ai obtenu et tracé la médiatrice longitudinale de la table (la courbe rouge dans la figure ci-dessus). Sa forme semble être la courbe que Sacconi analyse⁵⁶. Mais je ne partage pas son opinion qui s'appuie sur la courbe de dérivée et la courbe logarithmique pour décrire et expliquer la médiatrice longitudinale de la table du moule G. Nous avons l'habitude de considérer que la dérivée et le calcul infinitésimal ont été créés par Newton. Bien que Newton ait été un contemporain de Stradivarius, aux XVII^e et XVIII^e siècles, les dérivées étaient les connaissances les plus à la pointe du progrès. De plus, en tant qu'artisan, Stradivarius n'a presque jamais suivi de formation scientifique. Sa formation s'est limitée pour l'essentiel à l'enseignement empirique de Nicolo Amati. De ce fait, je pense que, lorsque Stradivarius conçut la médiatrice longitudinale du violon, il ne tint pas compte de la courbe de dérivée. En fait, lorsque je relie les sommets de ces 5 voûtes, la médiatrice longitudinale est automatiquement formée. Par conséquent, je considère que la médiatrice longitudinale du moule G

⁵⁶ Cf. Figure 27, p. 82 ; Figure 28, p. 83.

dépend probablement de l'esthétique et de la position des sommets des voûtes horizontales et non pas de la courbe de dérivée ou de la courbe logarithmique.

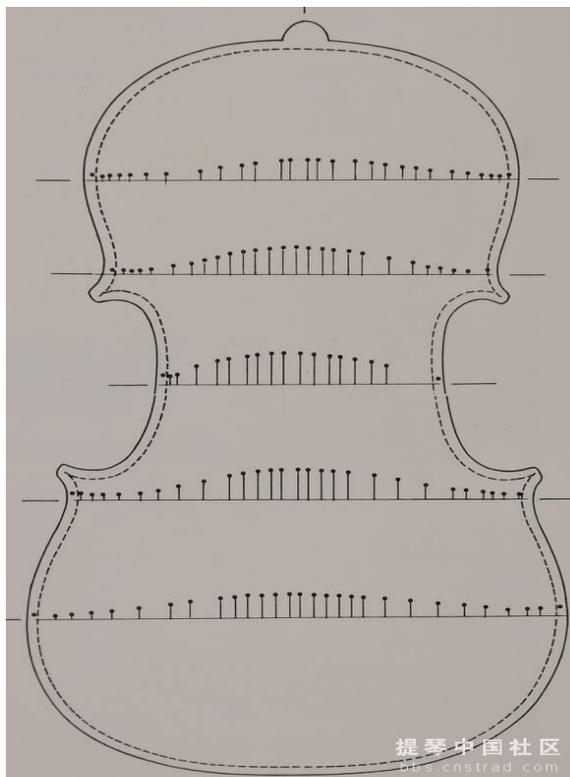


Figure 32. Les voûtes horizontales du fond d'un violon issu du moule G

La figure ci-dessus est issue du département de Fabrication des instruments à archet du CNSS. Elle ne nous donne que la forme des voûtes et ne nous indique pas les paramètres exacts des voûtes horizontales du fond, ce qui est regrettable. En fait, la voûte horizontale du fond est comme celle de la table, les luthiers les localisent et fabriquent d'après une technique manuelle et leurs expériences. Comme l'impact du fond est inférieur à celui de la table sur la vibration du violon, la plupart des luthiers veillent davantage à la conception et la fabrication de la table, non à celles du fond.

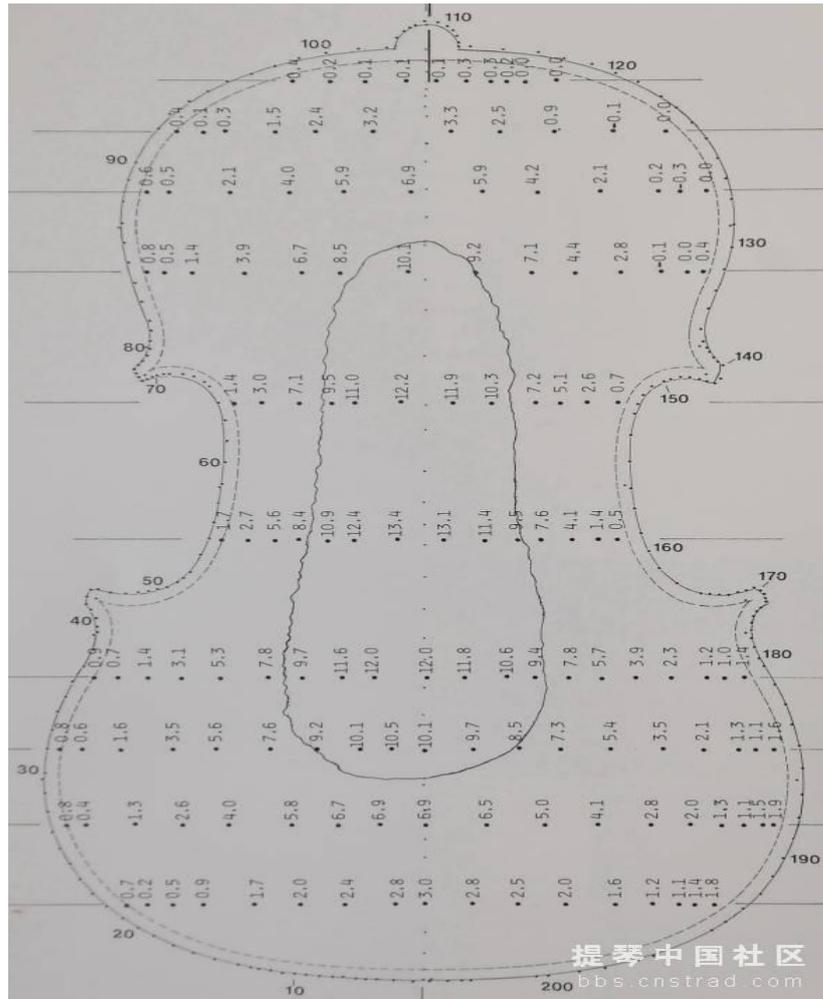
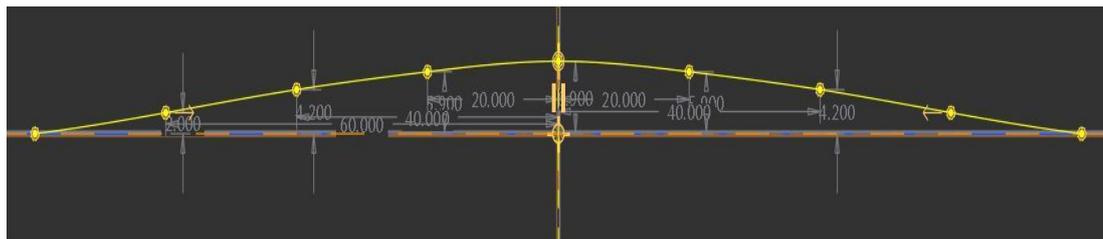


Figure 33. Les voûtes horizontales intérieures du fond

Selon ma méthode de calcul⁵⁷ et les données de la figure 33, j'ai repéré les points : $A(-60, 2,1)$, $B(-40, 4,2)$, $O(0, 6,9)$, $C(40, 4,2)$, $D(60, 2,1)$, pour la troisième voûte horizontale du fond (la largeur la plus grande de la caisse supérieure). De plus, j'ai obtenu l'équation de sa parabole :

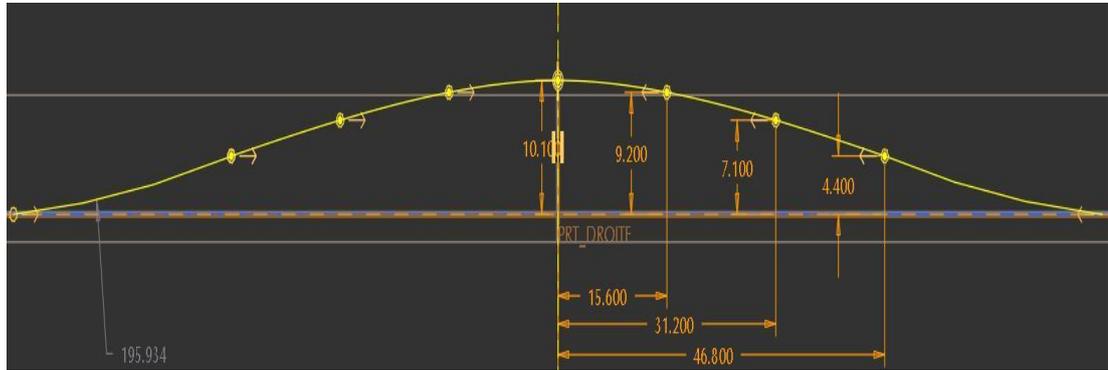
$$M(x) = -0,0013x^2 + 6,9 \quad (-60 \text{ mm} \leq x \leq 60 \text{ mm})$$



⁵⁷ Cf. p. 91-92.

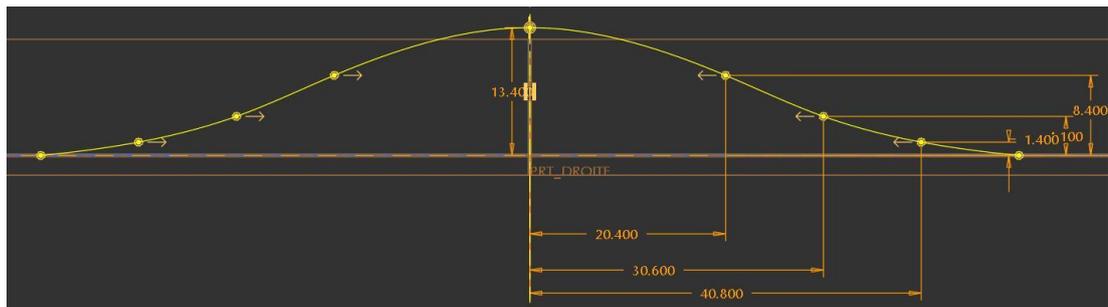
Pour la quatrième voûte horizontale (la largeur la moins grande de la caisse supérieure), j'ai repéré les points : $A (-46,8, 4,4)$, $B (-31,2, 7,4)$, $C (-15,6, 9,2)$, $O (0, 10,1)$, $D (15,6, 9,2)$, $E (31,2, 7,4)$, $F (46,8, 4,4)$. Ainsi, j'ai obtenu l'équation :

$$F(x) = -0,0026 x^2 + 10,1 \quad (-46,8 \text{ mm} \leq x \leq 46,8 \text{ mm})$$



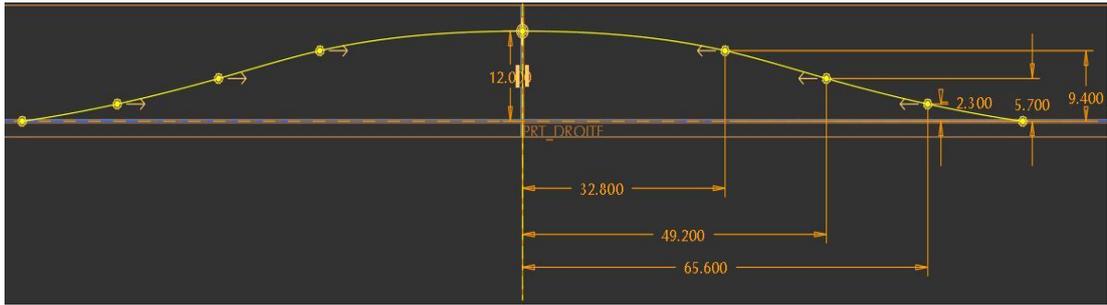
Pour la sixième voûte horizontale (la largeur la moins grande du violon), j'ai repéré les points : $A (-40,8, 1,4)$, $B (-30,6, 4,1)$, $C (-20,4, 8,4)$, $O (0, 13,4)$, $D (20,4, 8,4)$, $E (30,6, 7,1)$, $F (40,8, 1,4)$. Ainsi, j'ai obtenu l'équation :

$$C(x) = -0,0072 x^2 + 13,4 \quad (-40,8 \text{ mm} \leq x \leq 40,8 \text{ mm})$$



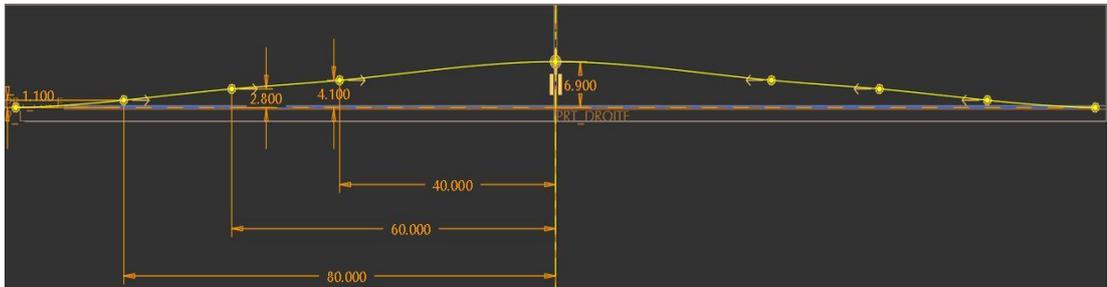
Pour la septième voûte horizontale (la largeur la moins grande de la caisse inférieure), j'ai repéré les points : $A (-65,6, 2,3)$, $B (-49,2, 5,7)$, $C (-32,8, 9,4)$, $O (0, 12)$, $E (32,8, 9,4)$, $F (49,2, 5,7)$, $G (65,6, 2,3)$. Ainsi, j'ai obtenu l'équation :

$$G(x) = -0,0025 x^2 + 12 \quad (-65,6 \text{ mm} \leq x \leq 65,6 \text{ mm})$$

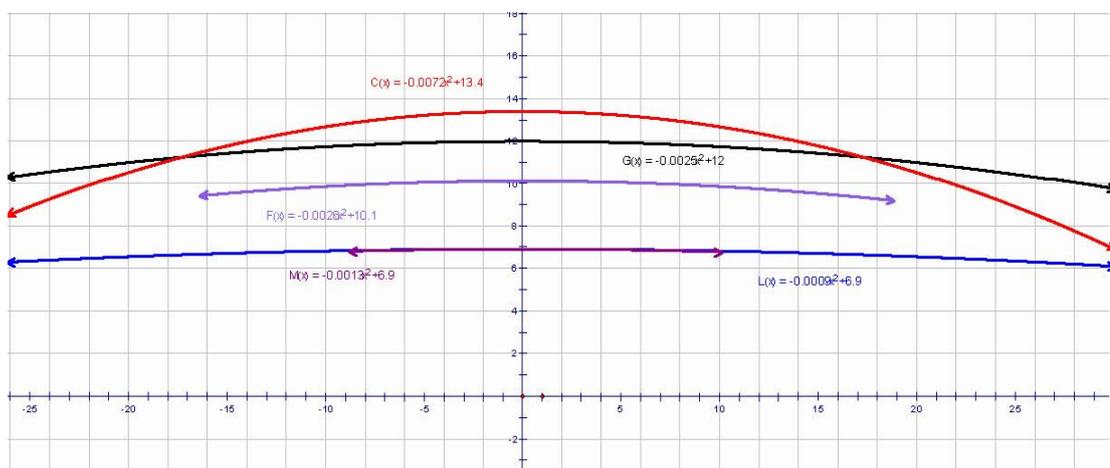


Pour la neuvième voûte horizontale (la largeur la plus grande de la caisse inférieure), j'ai repéré les points : A (-80, 1,1), B (-60, 2,8), C (-40, 4,1), O (0, 6,9), E (40, 4,1), F (60, 2,8), G (80, 1,1). Ainsi, j'ai obtenu l'équation :

$$L(x) = -0,0009 x^2 + 6,9 \quad (-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm})$$



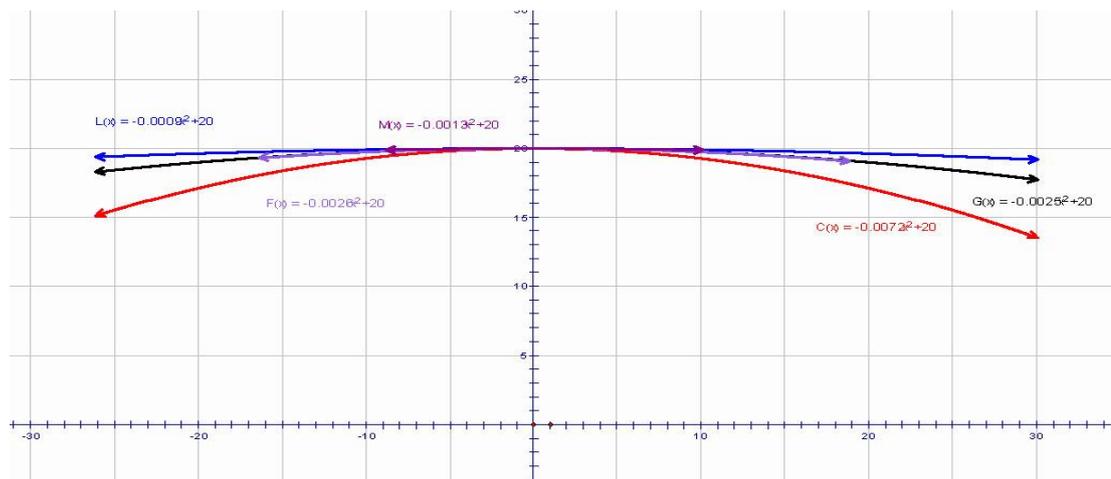
Pour l'analyse systématique de ces cinq voûtes horizontales du fond, j'ai placé ces 5 paraboles dans la figure ci-dessous.



Evidemment, parmi ces 5 paraboles, la parabole de $C(x)$ est la plus convexe. Les 4 autres voûtes ne sont en fait pas beaucoup incurvées. De plus, la parabole de $M(x)$ et celle de $L(x)$ sont presque coïncidentes à cause de leur sommet identique et de la valeur a très proche. La valeur a de l'équation $F(x)$ est deux fois plus grande que celle de l'équation $M(x)$, c'est-à-dire que la courbure de ces deux paraboles est proportionnelle. La valeur a de l'équation $F(x)$ et celle de l'équation $G(x)$ sont très proches, leur différence n'est que de 0,0001. De plus, la valeur a de l'équation $C(x)$ est six fois plus grande que celle de l'équation $L(x)$. Pour comparer la courbure de ces 5 voûtes, j'ai déplacé les sommets de toutes les paraboles au repère $(0, 20)$. Ainsi, ces cinq paraboles correspondent respectivement aux équations suivantes :

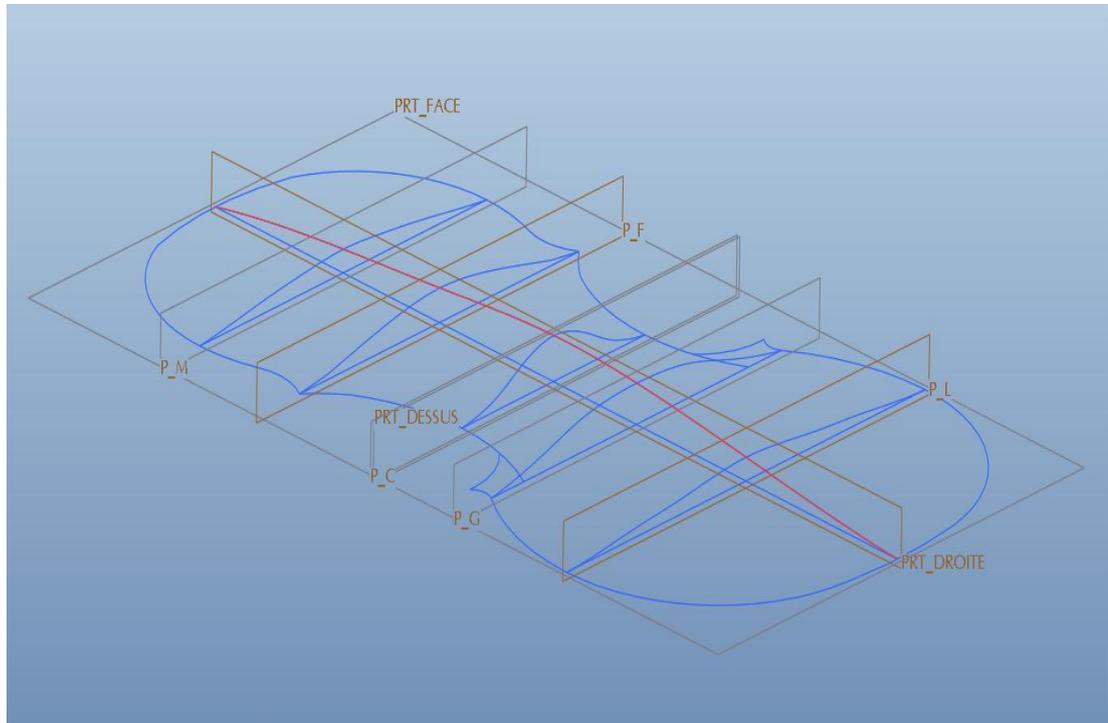
1. $M(x) = -0,0013x^2 + 20$ ($-60 \text{ mm} \leq x \leq 60 \text{ mm}$)
2. $F(x) = -0,0026x^2 + 20$ ($-46,8 \text{ mm} \leq x \leq 46,8 \text{ mm}$)
3. $C(x) = -0,0072x^2 + 20$ ($-40,8 \text{ mm} \leq x \leq 40,8 \text{ mm}$)
4. $G(x) = -0,0025x^2 + 20$ ($-65,6 \text{ mm} \leq x \leq 65,6 \text{ mm}$)
5. $L(x) = -0,0009x^2 + 20$ ($-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm}$)

De plus, j'ai obtenu les formes présentes dans la figure ci-dessous :



Selon la figure ci-dessus, nous savons que la courbure la plus convexe est la parabole $C(x)$, puis $F(x)$, $G(x)$, $M(x)$ et $L(x)$. Par conséquent, j'ai utilisé le dessin

industriel en 2 dimensions⁵⁸ et les équations originales de ces 5 voûtes horizontales⁵⁹ pour établir un module en 3 dimensions du fond idéal d'un violon du moule G.



Par rapport au module de table idéale en 3 dimensions⁶⁰, les voûtes horizontales du fond sont plus convexes que celles de la table. De plus, nous savons que le moule G se compose de 5 pièces, ainsi, la première, la seconde, la quatrième et la cinquième voûte de la table et celles du fond sont symétriques de haut en bas. Cependant, la troisième voûte horizontale de la table et celle du fond ne sont pas placées sur la médiatrice horizontale du violon ni symétriques de haut en bas. En général, la troisième voûte horizontale de la table est un peu plus en arrière que celle du fond.

⁵⁸ Cf. Figure 30, p. 89.

⁵⁹ $M(x) = -0,0013x^2 + 6,9$ ($-60 \text{ mm} \leq x \leq 60 \text{ mm}$); $F(x) = -0,0026x^2 + 10,1$ ($-46,8 \text{ mm} \leq x \leq 46,8 \text{ mm}$); $C(x) = -0,0072x^2 + 13,4$ ($-40,8 \text{ mm} \leq x \leq 40,8 \text{ mm}$); $G(x) = -0,0025x^2 + 12$ ($-65,6 \text{ mm} \leq x \leq 65,6 \text{ mm}$); $L(x) = -0,0009x^2 + 6,9$ ($-80 \text{ mm} \leq x \leq 80 \text{ mm}$).

⁶⁰ Cf. p. 96.

A la fin, j'ai tracé à partir du logiciel informatique *Pro/Engineer* la structure idéale en 3 dimensions d'un violon issu du moule G.

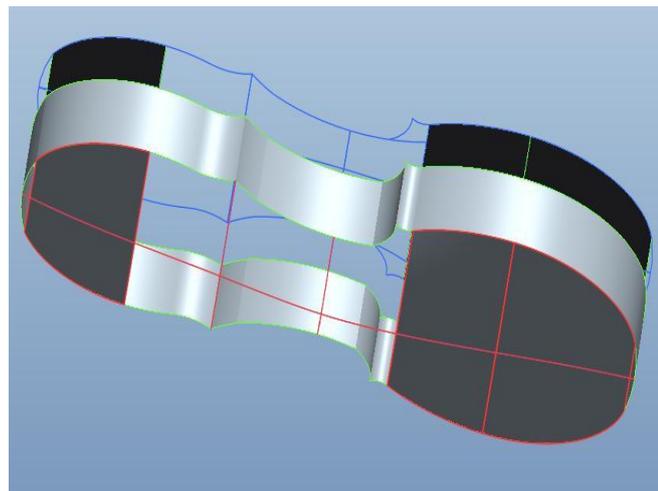
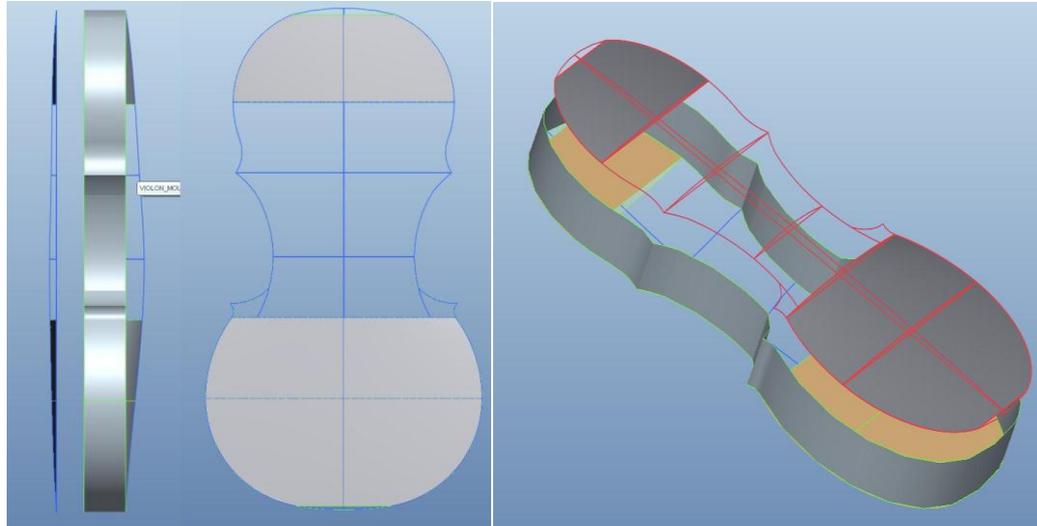


Figure 34. La structure idéale en 3 dimensions d'un violon issu du moule G

Par rapport au moule traditionnel, la structure en 3 dimensions est plus précise. Grâce à la géométrie analytique, nous pouvons comparer et vérifier si les théories des chercheurs sont exactes. Par exemple, dans la figure 12⁶¹, Sacconi pense que l'angle $3E4$ est égal à 35° . De plus, le point MI considéré comme le milieu de la courbe 23

⁶¹ Cf. p. 50.

se situe sur le tracé TU . Mais lorsqu'on recalcule l'aspect du moule G , on remarque que si l'angle $3E4$ est égal à 35° , MI n'est pas sur le tracé TU ; si MI est sur ce tracé le tracé $M1-2$ est inférieur au rayon réel. De ce fait, en examinant l'angle $3E4$ par *Pro/Engineer*, on constate que lorsque l'angle $3E4$ est égal à 30° , MI correspondant au milieu de la courbe 23 se situe sur le tracé TU et que le tracé $M1-2$ est égale au rayon réel. A part l'exactitude du positionnement, la structure en 3 dimensions nous permet aussi de réaliser les hypothèses des chercheurs. Par exemple, selon Brooks et Degrotte, la médiatrice longitudinale de la table correspond à une courbe trochoïde⁶². Ne partageant pas le même avis qu'eux, je peux la reproduire avec la technique 3D pour constater et analyser l'effet. La structure idéale en 3 dimensions que j'ai créée a peut-être des défauts mais je pense que ma méthode est raisonnable. Les luthiers n'utiliseront plus la règle et le compas pour concevoir leurs instruments à l'avenir. La technique en 3D montre une nouvelle voie qui nous permet de mieux connaître la structure des instruments.

Aujourd'hui, de nombreux luthiers savent seulement reproduire les violons des modèles célèbres existants. Ils n'auraient jamais pensé ou remarqué que nous pouvions perfectionner davantage la structure du violon. Pour chercher la clef du développement de ce domaine, j'ai étudié au début de la thèse les concepts philosophiques et les notions géométriques. Ceux-ci sont les outils dont nous disposons et ils nous aident à débarrasser les connotations archaïques, ésotériques, empiristes et anti-scientifiques dans le secteur de la lutherie.

⁶² Cf. Figure 25, p. 80

Partie II

La conception du violon chez Jean-Baptiste Vuillaume

3. Développement et évolution du violon français

Après l'époque de la Renaissance italienne, beaucoup d'artisans commencent à émigrer à Paris, qui est une ville politiquement et économiquement puissante grâce aux règnes de Louis XIII et de Louis XIV¹, qui furent deux périodes d'épanouissement de l'art. Les artisans français évoluèrent également beaucoup dans chaque domaine artistique, tels que la sculpture, le dessin, l'architecture, la confection, la taille de pierre, la décoration, sans oublier, bien sûr, la lutherie : l'âme de la fabrication des instruments à archet². Les deux familles instrumentales, le violon et la viole de gambe, sont utilisés tant dans l'orchestre qu'en solo. Cependant, à partir de 1660, Jean-Baptiste Lully, musicien, compositeur de chambre et surintendant de la musique royal du Louis XIV, donne une impulsion considérable à la composition de l'orchestre. Grâce à Louis XIV, il est engagé dans «la Grande Bande des Violons » du Roi, composé de 24 instruments. Rapidement, il obtient la direction d'un nouvel ensemble, «La Bande des Petits Violons », qui prête plus d'attention à la qualité du son. De ce fait, les lutheries françaises à cette époque commencent à mettre en valeur le violon pour s'accorder avec les demandes de la cour. Pour faire connaître les caractéristiques des violons de Jean-Baptiste Vuillaume, voici d'abord une brève présentation du développement du violon français.

3.1 Chronologie du violon français avant le XIX^e siècle

Dans cette partie, je présente les caractéristiques des violons français d'après leur aspect, leur tessiture et leur matière. En réalité l'évolution du violon français avant le XIX^e siècle se divise en trois périodes³ :

¹ Josiane BRAN-RICCI, «L'Organologie des Principaux Instruments à Archet aux XVII^e et XVIII^e Siècles », cité par Anne PENESCO, *Du baroque à l'époque contemporaine : aspects des instruments à archet*, Librairie Honoré Champion, Paris, 1993, p. 11.

² Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960*, tome II : *Les luthiers du XVIII^e siècle*, Les Amis de la musique, Spa, 1997, p. 19.

³ Josiane BRAN-RICCI, *op. cit.*, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 10.

I. Première période 1581-1620

A partir du début de XVII^e siècle, la Renaissance italienne se termine, c'est l'époque où l'art baroque triomphe. A cette période, l'aspect des violons et la formation de luthier sont, en France, largement influencés par la Renaissance italienne sur le plan technique et pour la conception des instruments.

Dès le milieu du XVI^e siècle, en Italie, le violon est mis au point de manière aboutie grâce à l'apport d'Andrea Amati, grand-père de Nicolo Amati. Il a non seulement conçu une forme du violon selon l'esthétique mais également créé une méthode de la fabrication la technique du moule intérieur. De plus, «plusieurs instruments de la famille des violons, dispersés dans le monde, tous de facture crémonaise et certainement d'Andrea Amati, portent les armes du roi Charles IX⁴ ». Ainsi, nous savons que depuis l'Italie, le modèle du violon, sa technique de fabrication et l'apprentissage de la lutherie se propagent en Europe, jusqu'à la cour de France. Bien qu'il soit connu que des lutheries parisiennes existent dès le XVI^e siècle, il est indéniable qu'aucun témoignage n'en est parvenu jusqu'à nous, parce que les violons français de cette époque n'ont jamais été retrouvés. Grâce aux documents gravés, imprimés et représentés dans des œuvres picturales, nous pouvons le caractériser au moins de l'extérieur :

Contours en huit, étranglement médian du corps, voûtes, trois ou quatre cordes. Le premier document connu à présenter ces traits est une fresque due à Gaudenzio Ferrari ornant une coupole à Saronno (Italie), peinte sous le nom de *Concert Angélique* vers 1535 dans l'église Santa Maria dei Miracoli, Saronno⁵.

Mais le violon, dans les aspects précis que nous lui connaissons désormais, ainsi que dans ses différentes tessitures, son accord, provient de Praetorius, planche XXI de son *Traité* : en plus des caractères énoncés, remarquons l'implantation des chevilles, les coins pointus et relevés, les ouïes en forme d'*f*, la volute ionique sur la basse, le cordier

⁴ Laurence C. WITTEN, «The Surviving Instruments of Andrea Amati », *Early Music*, volume 10, Issue 4, 1982, p. 487, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 13.

⁵ Sylvette MILLOT, «Le Violon », dans *Les Instruments de l'Orchestre*, Ed. de l'Illustration, Paris, 1983, p. 82, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 14-15.

tenu au bas de la caisse par une cordelette, un filet autour de la table⁶.

Par conséquent, nous pouvons au moins penser que l'ancien violon conçu au XVI^e siècle possède la structure de la caisse, des ouïes et le cordier des instruments ultérieurs. Malheureusement, les compositions des voûtes n'ont pas été mentionnées. Par rapport au violon du XIX^e siècle,

les différences commencent avec la longueur de la touche, celle-ci, plus courte, n'atteignant pas l'aplomb des coins supérieurs ; le manche est à la fois plus court et plus épais ; elles continuent avec la place du chevalet, situé ici de façon variable par rapport au cran d'*f*, en fonction de la longueur vibrante à choisir⁷.

D'après cette description, je remarque que le violon du XVI^e siècle est plus petit que celui du XIX^e siècle. En fait, au XVI^e siècle la corde était fabriqué avec des boyaux qui ne pouvaient pas supporter une la pression forte. De plus, la hauteur de la touche du violon de cette époque est plus petit, et la longueur assez courte. Quant à la longueur de la caisse, existe-t-il des spécimens ou des définitions de cette époque ? D'ailleurs, il y a quelques beaux instruments de l'école de Brescia de celle de Venise, un violon attribué à Ventura Libarolo, 1581, conservé à Vienne, des violons d'Amati, mais sont-ils près de leur état d'origine ? Ces deux questions délicates ont fait l'objet d'un article de Laurence Libin, « Early violon : problems and issues⁸ »

En fait, l'Ashmolean Museum d'Oxford conserve un violon d'Andrea Amati, Crémone, 1564, dont la caisse est d'une rare beauté, si son montage n'est pas d'origine. Sa longueur de corps est de 342 mm⁹.

En général, dans le domaine de la lutherie nous pensons que :

⁶ Josiane BRAN-RICCI, *op. cit.*, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 15.

⁷ *Ibid.*

⁸ Laurence LIBIN, « Early violon : problems and issues » dans *Early Music*, Volume 19, Issue 1, Oxford Journals, 1991, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 17.

⁹ *Ibid.*

- La longueur de corps du violon proprement dit est de 350 mm ;
- La longueur de corps du petit violon est de 268 mm ;
- Le violon d'Amati considéré comme le modèle «Grand » à son époque peut mesurer environs 355 mm ;
- Le violon d'Amati considéré comme le modèle «Petit » peut mesurer près de 340 mm¹⁰.

Par conséquent, nous pouvons considérer qu'au XVI^e siècle «le violon se caractérise par les formes définies ci-dessus, les cordes par quintes ; à l'intérieur, une barre d'harmonie sur le verso de la table d'harmonie ; une âme qui transmet les vibrations de la table au fond ; un chevalet amovible de diverses formes¹¹ ». Jusqu'à aujourd'hui, le volume et les proportions de la caisse, la hauteur des voûtes et l'épaisseur de la table et du fond, tous ces éléments sont déterminés pour la plupart par l'expérience du luthier. «Le choix et le traitement des matériaux vont contribuer à définir la "personnalité" d'un instrument, même s'il est modifié par la suite dans certaines de ses composantes¹² »(Par exemple : les cordes en boyau, les cordes filées, la hauteur de la touche et du renversement...).

II. Deuxième Période 1620-1720

C'est une période épanouie et bouillonnante qui couvre en France les règnes de Louis XIII et de Louis XIV¹³. Les deux familles instrumentales (le violon et la viole de gambe) sont employées, tant à l'orchestre qu'en solo. A partir de 1660, Lully donne une impulsion considérable à l'orchestre, dont il exige une qualité que toute l'Europe voudra imiter, surtout l'effet du violon dans l'orchestre et en solo.

En ce qui concerne l'évolution du violon, la grande innovation qui va produire

¹⁰ Josiane BRAN-RICCI, *op. cit.*, cité par Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 16.

¹¹ *Ibid.*, p. 18.

¹² *Ibid.*

¹³ *Ibid.*, p. 11.

dans la musique des influences considérables, est l'apparition en Italie,

vers 1640, d'un instrument dont il n'existait jusqu'alors aucun équivalent, le *violoncino*, appelé ensuite *violoncello*, ce qui donnera en France *violoncelle*, *violon de Chelles*... ou, tout simplement, basse, terme couramment employé de nos jours par les luthiers. C'est vers la fin du XVII^e siècle qu'il apparaît en français ; son rôle est d'assurer la basse continue, comme la basse de viole le fait, mais aussi les solos¹⁴.

Grâce à Lully, le violon entre dans le domaine de l'expression et quitte peu à peu celui du simple divertissement de la cour. Il rend compte du répertoire du violon par des suites de danse qui font pressentir le futur concerto. De plus, en 1656, il organise l'orchestre à cordes de la « Bande des Petits Violons ». Bien que Lully vienne d'Italie, c'est en France qu'il joue un grand rôle pour la propagation du violon.

III. Troisième Période 1720-1810

Le XVIII^e siècle voit le prolongement en France, malgré les profonds bouleversements en politique qui se sont produits, d'un savoir-faire artisanal. Après les derniers ouvriers de talent va débiter l'ère industrielle, qui permet à quelques maîtres de prendre la tête, au détriment des compagnons, réduits à devenir de simples exécutants. Au siècle des Lumières, la technique de la fabrication du violon tend à s'épurer, se rationaliser davantage.

Les violons fabriqués se rapprochent des dimensions du violon actuel pour les tessitures, les accords, mais en revanche nous découvrons la naissance d'une organisation du travail en petites industries ou plutôt manufactures. D'où, en France en particulier, l'adoption de techniques de fabrication demandant moins de temps dans les diverses étapes et notamment des vernis d'un aspect séduisant, mais de moindre résistance et dont la sécheresse peut, dans une certaine mesure, influencer sur le caractère du timbre¹⁵.

¹⁴ *Ibid.*, p. 20.

¹⁵ *Ibid.*, p. 22.

C'est durant cette période que les violes de gambe disparaissent peu à peu. En même temps, pour les violons commencent à se faire une évolution lente et progressive, les caractéristiques de leur aspect ayant été fixées dès l'origine.

Les manches s'allongent et s'affinent, les touches s'avancent au-dessus de la table jusqu'à, vers la fin du siècle, des proportions voisines de celles des instruments actuels¹⁶.

Pour la lutherie, nous arrivons à la période de Stradivarius. Sa réputation est considérable en Italie dès qu'il crée ses propres modèles. Les grands violonistes de son époque et les personnages importants lui passent commande. Son activité embrasse toute la première moitié du XVIII^e siècle, c'est également l'âge d'or de Stradivarius. En France,

il faut les bouleversements de l'esthétique et la structure du violon pour que les luthiers abandonnent les modèles qu'ils avaient suivis jusqu'alors, la famille des Amati, voire Jacobus Stainer¹⁷ (vers 1617-1683), et s'efforcent de donner aux musiciens ce que leur procurait Stradivarius : plénitude, finesse, pureté dans l'aigu, chaleur dans le grave, capacité de réponse immédiate, faculté de nuances¹⁸.

Par exemple, Nicolas Lupot (Stuttgart, 1758-Paris, 1824), luthier le plus connu au XVIII^e siècle en France, qui a notamment exercé pour Louis XVIII durant la Première Restauration, ses violons sont toujours exceptionnels et très fortement inspirés de ceux de Stradivarius. Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, les luthiers français se mettent à rechercher leur propre modèle pour la structure du violon, à partir de Léopold Renaudin (1749-1795), puis Jean-Baptiste Vuillaume (1798-1875).

¹⁶ *Ibid.*, p. 23.

¹⁷ Jacobus Stainer, maître de la lutherie austro-hongroise, Ses instruments étaient les plus connus et demandés au XVIII^e siècle et coûtaient avant 1800 le double d'un bon instrument italien. Son modèle est essentiellement influencé par la famille des Amati.

¹⁸ Anne PENESCO, *op. cit.*, p. 24.

3.2 Brève présentation des lutheries françaises connues au XVIII^e siècle

Au début du XVIII^e siècle, trois grands noms dominent : Nicolas Bertrand (? -1725), Claude Pierray (?-1729), Jacques Boquay (?-1730). Ce sont des hommes placés à la charnière de deux siècles, au moment où vont s'affronter les familles des violons et des violes, ce qui explique que leur production se limite à ces seuls instruments. Ils jouent également un rôle très important dans l'histoire de la lutherie française car, tout en étant très influencés par la famille des Amati, ils ont su garder leur personnalité et créer un style original.

Le milieu du XVIII^e siècle est la période où fleurissent les maîtres les plus représentatifs de l'esthétique des « Vieux-Paris ». Trois personnalités s'imposent à l'attention : Louis Guersan (1700-1770), Jean-Baptiste Deshayes Salomon (1713-1767), et André Castagneri (1696-1747). Certes, celui-ci disparaît dès 1751, près de vingt ans avant ses deux rivaux ; mais sa période d'activité comme luthier correspond bien à cette époque.

Nous sommes arrivés au dernier tiers du XVIII^e siècle. Au cours des périodes précédentes, le nombre des facteurs n'a fait que croître. La communauté s'est enrichie de personnalités aussi diverses qu'intéressantes, tout en gardant une grande homogénéité dans son inspiration. Or, à partir de 1770, cette unité va se rompre, et ce, pour plusieurs raisons, par exemple la politique, l'économie, etc. Les disciples de Guersan en particulier, restent fidèles à l'enseignement de leurs maîtres tels qu'Antoine Saint-Paul, Gabriel Kolliker, Benoist Fleury ou François Lejeune. D'autres s'adaptent aux exigences de clients plus modestes et se font remarquer pour leur habileté à transformer des instruments démodés. Joseph Bassot (1750-1808) et Léopold Renaudin (1749-1795) prennent ce parti. Pourtant leurs curiosités, leur sens de l'adaptation se retrouvent aussi dans leurs propres créations qui sont issues d'expériences de leurs prédécesseurs.

En fait, lorsqu'on évoque la fabrication du violon, la majorité des gens ne mentionne que les luthiers italiens les plus célèbres dans le monde : Nicolo Amati, Antonio Stradivari et la famille de Guarneri. Ils sont sans aucun doute maîtres de la fabrication du violon aux XVII^e et XVIII^e siècles, et leurs violons ont beaucoup

inspiré les luthiers contemporains. En France, Gaspard Duiffoprugcar (1531- après 1596) de Lyon, est considéré comme à l'origine de la lutherie car il est l'un des inventeurs présumés du violon. À sa suite viennent Claude, Bocquay, Salomon, Guersan, Lupot, Aldric, Vuillaume, etc. Bien que les luthiers français soient moins connus que les maîtres célèbres italiens comme la famille des Amati, Stradivarius et Guarnerius, ils ont pris en compte la méthode de construction du violon italien et ont mis en place, grâce à celle-ci, l'école française de la fabrication du violon. Ils y ont ajouté chacun un savoir-faire personnel dans la courbe de la caisse et le choix du bois, etc.

D'ailleurs, je m'intéresse également à la relation entre le violon chinois et le violon français. Probablement, très peu de gens savent que le violon chinois a été influencé par le violon français. Il y a quelques luthiers chinois célèbres dans le monde, dont Dai Hongxiang¹⁹ (戴洪祥) et Zheng Quan²⁰ (郑荃). De plus, ils sont aujourd'hui considérés comme les représentants de la fabrication du violon chinois contemporain. Une fois diplômé de l'École internationale de luthier de Crémone et après avoir obtenu le premier prix de fabrication de violon en Italie en 1987, Zheng Quan a remporté le titre de « Grand Maître » en Chine. À partir de 1997, il habite à Paris comme *visiting scholar*, où il travaille sous la direction d'Etienne Vatelot²¹ sur la restauration et l'identification des anciens violons. Pendant deux ans, il a étudié la différence entre le modèle du violon italien et celui du violon français. Par conséquent, depuis son retour en Chine, ses violons contiennent de nombreux

¹⁹ Dai Hongxiang (1951-2003), luthier chinois, premier prix de « la qualité du son » du concours international de fabrication de violon Louis-Spohr en Allemagne, en 1983 ; luthier le plus connu en Chine dans les années 1980.

²⁰ Zheng Quang, né à Shanghai en 1950, diplômé de l'École internationale de lutherie de Crémone, sous la direction de Monsieur Vincenzo Bissolotti et Monsieur Gio Batta Morassi, premier prix, en 1987, de la fabrication du violon du concours international en Italie, considéré comme le meilleur luthier chinois après Dai Hongxiang.

²¹ Etienne VATELOT (1925-), luthier français connu, très renommé pour la restauration des anciens violons, surtout les Stradivarius, inspiré par l'ancien violon français et italiens, connu pour sa science du réglage sur le violon et suivi par des clients prestigieux comme Ginette Neveu, Isaac Stern, Yehudi Menuhin, Anne-Sophie Mutter, etc.

éléments du violon français comme le modèle d'Etienne Vatelot montrent bien des caractéristiques des violons français²².

En général, nous pensons que la conception du violon français se sépare de la famille des violes au début du XVIII^e siècle ; de plus, elle s'améliore graduellement au cours du siècle. Selon les différentes périodes, trois écoles de fabrication de violon sont successivement apparues en France : l'école de Claude Pierray et Jacques Boquay (âge d'or : 1700-1740), l'école de Louis Guersan et Jean-Baptiste Salomon (âge d'or : 1740-1770) et l'école de Joseph Bassot et Léopold Renaudin (âge d'or : 1770-1800).

D'abord, les violons de Claude Pierray et Jacques Boquay semblent très marqués par l'influence italienne, surtout celle de Nicolo Amati :

Leurs violons aux tables voûtées se terminant par des coins allongés et les ouïes bien ouvertes, légèrement penchées trahissent, avec la couleur rouge sombre ou brune de leur vernis. [...] De même, il y a parfois une certaine dissymétrie entre les deux côtés des instruments. Les coins peuvent s'affiner, s'allonger, ou parfois rester très courts²³.

En fait, Jacques Boquay a souvent une facture moins soignée : bords épais et roulés, coins gros et l'ouïe plus large, l'épicéa à larges pores pour la table d'harmonie ainsi que le vernis sec et cassant. Le son du violon est en général beau et velouté mais il n'est pas très ample. Leurs violons s'adaptent bien au concert ou au quatuor à cordes. La deuxième génération de l'école française s'est formée au contact de Claude Pierray et de Jacques Boquay, mais elle subit aussi des influences plus variées. A celle des Amati s'ajoute celle de Jacobus Stainer.

Ensuite, des personnalités aussi marquantes que Louis Guersan et Jean-Baptiste Salomon ne pouvaient que créer à leur tour :

il en résulte un modèle plus féminin, élégant, raffiné. Leurs bois sont de meilleure

²² Zheng Quan, «La fabrication, le concours et l'école de fabrication des instruments à archet »(提琴制作, 提琴制作比赛, 提琴制作学校), dans *L'information chinoise et étrangère des instruments* (中外乐器信息), 2010, <www.cnstrad.com/html/tiqinzhuozuo/xiaotiqin/2010/0403/364.html>, le 3 avril 2010.

²³ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 179.

qualité: épicéa à pores serrés, érable à larges ondes, parfois maillé. Les coins deviennent fins et courts ; la carrure est moins épaulée; les ouïes s'amincissent et se rapprochent ; leurs pattes larges, la cambrure des voûtes, plus prononcée que chez les prédécesseurs, s'inspirent fortement de l'art de Stainer. Les tables ont un méplat plus ou moins large près des bords. Ceux-ci restent minces, bordés par un filet au tracé très sûr ; mais la couleur change : le noir devient gris²⁴.

Mais, à la fin, le style de Guersan est proche de celui de Stradivarius. Les caractères n'affectent pas que l'aspect extérieur des instruments. La courbe évidente de table, les ouïes petites et souvent rapprochées, la volute très dégagée à la base, le dos très creusé et la texture du vernis leur donnent aussi une sonorité claire, brillante, avec de bonnes résonances, mais plus grêle et plus sèche que celle de leurs prédécesseurs. Pourtant, les autres luthiers de cette école, tels que Joseph Gaffino (ca 1725-1786), Jean-Nicolas Lambert (1708-1759), Andrea Castagneri (1696-1747), n'ont pas dépassé les succès de Guersan et de Salomon. Leurs travaux soignés sont restés jusqu'à présent trop méconnus.

Salomon disparaît en 1767, et Guersan, trois ans plus tard, en 1770. Au terme de la troisième école, nous identifions d'abord deux courants : celui des disciples et celui des novateurs. Guersan a laissé son empreinte. François Lejeune (ca 1720-1785), Benoist Fleury (1719-1792) suivent avec talent le style de leur pédagogue. Par contre, d'autres personnalités apparaissent; un nouveau courant se dessine avec Joseph Bassot (1750-1808), Léopold Renaudin (1749-1795), François-Louis Pique (1758-1820) et Jean-François Aldric (1765-1843). Quant à Bassot et à Renaudin, ils présentent une facture assez semblable qui renouvelle la lutherie française. Leur modèle a changé²⁵. Jusqu'à présent, Amati et Stainer avaient été les maîtres reconnus. Stradivarius prend le relais. Cependant, à la fin du XVIII^e siècle, Stradivarius n'est plus le seul à être apprécié. Guarnerius commence à se faire

²⁴ *Ibid.*

²⁵ *Ibid.*, p. 180.

connaître auprès des Parisiens vers 1773²⁶. Les violons de Bassot et de Renaudin montrent fréquemment des voûtes moins élevées, plus larges dans leur partie centrale, des ouïes fines et droites au cran médian à peine indiquées

Ayant étudié des anciens luthiers français, je remarque que les violons français du XVIII^e siècle possèdent toujours les coins gros ou allongés, les ouïes ouvertes, les bords épais, la table d'harmonie large, les voûtes moins élevées par rapport au violon italien. En fait, ce sont justement les caractéristiques originales du violon français. Mais, à cette période, où que ce soit en France ou en Italie, tous les luthiers fabriquaient des violons d'après leurs expériences personnelles. Devenus tous les deux luthiers et influencés par la situation sociale ou par le concept de la révolution bourgeoise, Renaudin et Bassot ont essayé de faire des innovations sur la conception du violon à la fin du XVIII^e siècle à cause de la demande accrue par clientèle et de la variété de mesure de la caisse. Malheureusement, aucun des deux luthiers n'a réussi. En conséquence, au début du XIX^e siècle, certains luthiers étaient obligés de reprendre les expériences de Guersan ou celles de Salomon. Parce que c'est bien pendant la période de Guersan et Salomon que la forme du violon français s'est créée et parce que ces luthiers possédaient leur propre théorie sur la structure et la fabrication du violon. Aujourd'hui, nous considérons que le violon français trouve son origine dans cette école. Quant à l'école de Pierray et Boquay, elle est vraiment loin de nous.

Cependant, que ce soit Boquay, Guersan, Salomon ou Renaudin, la réputation de leurs violons ne peut pas toujours être comparée avec celle des violons de Stradivarius, celui-ci étant considéré comme l'apogée de la fabrication du violon, que ce soit au niveau de la technique manuelle, de l'expérience de la fabrication, ou de la conception de la structure. Ce qui signifie qu'aucun luthier français n'a acquis la renommée de Stradivarius au XVIII^e siècle. Ce n'est qu'au XIX^e siècle que le génie de Jean-Baptiste Vuillaume se dessine dans le domaine de la fabrication de l'instrument à archet et le commerce ; il y a finalement, en France, un luthier français

²⁶ Abbé [Antoine] SIBIRE, *La chironomie ou le parfait luthier*, Paris, 1806, réimprimé par Minkoff, Genève, 1984, p. 97.

qui peut soutenir la comparaison avec Stradivarius. De ce fait, il est considéré comme le «Stradivarius français». En fait, Nicolas Lupot est le premier luthier surnommé le «Stradivarius français» avant Vuillaume. Par conséquent, certaines personnes pensent que, selon la période, Lupot est le premier «Stradivarius français», et Vuillaume le deuxième. En plus du succès de ses copies de Stradivarius, Vuillaume est aussi novateur sur le plan technique du violon. Après avoir tiré profit des expériences des anciens luthiers français et de celles de Stradivarius, il crée son propre modèle qui va inspirer ses successeurs et les luthiers français au XX^e siècle. Ses mesures et ses proportions ne sont plus proches du modèle baroque mais du violon contemporain, par exemple, la touche plus longue et plus élevée, la manche légère, la table peu épaisse, etc.

3.3 Les origines de la famille Vuillaume

En effet, lors de la création de la rue Vuillaume à Mirecourt en 1891, les conseillers municipaux déclarèrent que, en donnant ce nouveau nom aux rues des Tanneries et de la Fontaine, ils entendaient rendre hommage «à Vuillaume l'ancien né à Mattaincourt, qui rapporta d'Italie l'art de fabriquer des violons, et le fonda à Mirecourt en 1662²⁷».

Au XX^e siècle, Albert Jacquot et Roger Millant essayèrent d'établir un arbre généalogique de la famille Vuillaume dont Charles-François, Jean-Baptiste, Nicolas, Sébastien, etc. Mais Jean Vuillaume n'y figurait plus à cause de son éloignement temporel. En fait, Vuillaume est un nom fréquent en Lorraine et, de surcroît, porté par de nombreux luthiers. Ce fait a été mis au jour par Evelyne Bonétat dans son article «Histoire de la famille Vuillaume²⁸»; elle a exploré avec beaucoup de méthode les archives de Mirecourt et d'Épinal. Nous pouvons remonter jusqu'à la fin

²⁷ Registre des délibérations du conseil municipal, archives communales, mairie de Mirecourt, dans Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960*, tome III : *Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien*, Live 1 : *Vies et Œuvres*, Les Amis de la musique, Spa, 2006, p. 31.

²⁸ Evelyne BONÉTAT, «Histoire de la famille Vuillaume», dans *Catalogue de l'exposition Jean-Baptiste Vuillaume, un luthier français*, Mirecourt, 1998.

du XVII^e siècle où vivait bien ce fameux Jean Vuillaume. Il n'était pas luthier mais meunier. Vers 1680, nous le trouvons établi près de Rénoville, «au Moulin Bouton » qu'il exploitait pour le compte du marquis de Bassompierre. «Cette ancienne et puissante lignée était originaire de ce village et a laissé un nom dans l'histoire de France²⁹ ». Après Jean, dans la famille Vuillaume apparaissent plusieurs luthiers, par exemple : Claude-Nicolas-François (1715-1785), Charles-François (1751-1780), Claude-François (1772-1834), Jean-Baptiste (1798-1875), Nicolas (1800-1872), Nicolas-François (1802-1876), Claude-François (1807-1853) et Sébastien (1835-1875), etc. Jean-Baptiste Vuillaume est le plus célèbre : de ce fait, je vais m'intéresser essentiellement à lui.

3.4 Ascension de Jean-Baptiste Vuillaume

Nous considérons généralement que l'ascension de Jean-Baptiste Vuillaume se déroule de 1828 à 1848. Mais, c'est à partir de 1848 et jusqu'en 1858 qu'il arrive graduellement à l'apogée de son art. Pour cela je voudrais aborder certains éléments économiques et sociaux de cette époque.

3.4.1 Situation de la lutherie française au XIX^e siècle

Au XIX^e siècle, «les métiers de la musique tenait une place importante dans cette effervescence commerciale grâce à la présence dans le quartier de deux institutions célèbres : le Théâtre italien et l'Opéra comique³⁰ ». De plus, les luthiers et les archetiers parisiens voulaient ouvrir leur boutique dans le même quartier (rue des Vieux-Augustins, rue Sébastien-Bernardel), voire dans la même rue, où l'on trouve Jean-Baptiste Vuillaume, Jean-Laurent Clément (voisin de Vuillaume), René Lacote, Georges Chanot, etc. Cette tradition existe jusqu'à nos jours, car dans la rue de Rome à Paris, plusieurs magasins de partition, librairies musicales, magasins d'instruments, lutheries et archetiers, se concentrent afin de créer un quartier spécialisé

Jean-Baptiste Vuillaume fut apprenti puis assistant de Lupot dont il épouse la

²⁹ *Ibid.*

³⁰ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 72.

filles adoptives. Au début de 1827, Jacques-Pierre Thibout (1777-1856) fit paraître, dans son *Almanach du commerce de Paris*, une annonce rédigée en ces termes :

luthier de l'Académie royale de musique et de l'opéra, auteur de violons altos et basses perfectionnés d'après des procédés approuvés par l'Académie des Beaux-Arts et par de célèbres artistes ³¹.

Par conséquent, nous savons que l'aspect global du violon s'est séparé entièrement de la famille de la viole à cette époque et que certains académiciens ont commencé à faire des recherches sur son organologie.

Après s'installer à son compte dans la rue Croix-des-Petits-Champs, Jean-Baptiste Vuillaume conquiert et fidélise les musiciens d'orchestre, les élèves du Conservatoire, les amateurs en raison de la qualité exceptionnelle de ses instruments. Pour montrer que sa compétence est supérieure à celle des autres luthiers de Paris. Vuillaume crée une excellente formation mirecourtienne et fabrique ses imitations d'instruments italiens. D'ailleurs, il exerce son métier artisanal avec une rare largeur de vues.

En fait, à l'époque de J.B. Vuillaume, il y a trois phénomènes économiques qui expliquent et favorisent l'activité de lutherie :

Tout d'abord, le développement des expositions. Les grandes manifestations ont lieu tous les cinq ans. Les prochaines sont prévues à Londres en 1862, à Paris en 1867. Il en existe aussi de plus modestes qui s'organisent en province, à Bordeaux, à Dijon. Deuxième phénomène, à partir de 1860, L'Empereur décide d'adopter le système du libre échange qui diminue les taxes et droits d'entrée sur les marchandises. Cela favorise l'importation en France des instruments allemands qui pratiquent depuis longtemps une politique de prix compétitifs. Le troisième phénomène est lié à la guerre de Sécession aux Etats-Unis. Ceux-ci réduisent leurs commandes, d'autant plus que quelques luthiers européens sont venus s'installer comme Georg Gemünder à Boston ou

³¹ Jacques-Pierre THIBOUT (1777-1856), *Almanach du commerce de Paris*, Sébastien Bottin, Paris, 1827, cité par Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 72.

Claude Miremont à New York ³².

La compétition devient donc très vive du point de vue l'équilibre commercial en France. Comme les modèles du violon italien tels que les modèles « amatisé », de Stradivarius et de Guarnerius très réputés possèdent des avantages substantiels, de nombreux luthiers français imitent leur modèle ou copient les violons italiens renommés. Ainsi, l'ascension de la carrière de Vuillaume commence à partir de la reproduction, et il devient le meilleur copiste du modèle de Stradivarius.

3.4.2 Copies des violons célèbres et ascension de Jean-Baptiste Vuillaume

Lorsque nous parlons des violons de Jean-Baptiste Vuillaume, nous sommes obligés de mentionner Luigi Tarisio (ca. 1790-1854). Non seulement celui-ci était un marchand itinérant en Europe, mais il fut également le collectionneur le plus excentrique que le monde du violon ait jamais connu. Ce sont les voyages d'affaire de Tarisio qui ont offert l'occasion aux violons italiens et à l'expérience de leurs facteurs de se propager dans toute l'Europe, surtout en France et en Allemagne. Les luthiers français ont ainsi pu apprendre les techniques et la conception de la fabrication du violon par l'observation d'objets concrets, principalement les violons de Stradivarius, au lieu d'une simple description orale.

En fait, les contacts de Jean-Baptiste Vuillaume avec Tarisio n'eurent pas lieu avant 1827 ou 1828 ; pour Vuillaume, c'était une aubaine. Il acquit à prix avantageux des lots d'instrument authentique de la péninsule mais en mauvais état. Bien restaurés, il pouvait les revendre à des artistes, à des collectionneurs, bref à une clientèle jusqu'alors inaccessible. Mais surtout, il avait tout le loisir de les étudier longuement pour mieux les reproduire. Après Simon L'é (associé de Jean-Baptiste Vuillaume, dont il était d'abord l'employeur à la Société de L'é) qui lui avait montré la voie à suivre, Tarisio lui en donnait les moyens. Aussi abandonne-t-il assez vite les imitations des violons de Tieffenbrücher. Certes, leur style rustique, original, avait remporté un succès immédiat auprès des amateurs. Il avait même suscité des

³² *Ibid.*, p. 181.

reproductions en série à Mirecourt. Mais il y avait mieux à faire : imiter les maîtres italiens était bien plus difficile et valorisant. Sa production devint alors plus variée. Stradivarius, Guarnerius, restent ses modèles favoris, il y ajoute volontiers quelques caractéristiques du modèle des Amati et des Maggini³³, selon les demandes de la clientèle. Pendant une dizaine d'années, au fil des copies, le facteur étudie, tente de reproduire les lignes, les volumes, l'aspect ancien de ses modèles. Au début, Vuillaume traite les bois comme le font ses collègues, par la chaleur ou par l'acide. Les instruments prennent alors une patine qui donne l'illusion de l'ancien. Mais il perçoit vite les limites de ces procédés qui abîment le bois et ne favorisent guère la qualité sonore. Il lui faut trouver des matériaux de qualité

Il effectue à plusieurs reprises des voyages en France, puis à l'étranger, pour sélectionner de beaux épicéas, de beaux érables. Il les fera longtemps sécher dans une réserve aérée. Il n'a pas négligé non plus les bois anciens déjà transformés en meubles, en planches ou en parquets³⁴.

En même temps, il entreprend des recherches sur les vernis. Les copies progressent, deviennent des répliques de plus en plus fidèles. Pour jouer le jeu jusqu'au bout, il pose les étiquettes de ses modèles. Il les prêle sur des violons trop abîmés pour être restaurés. Sa collaboration avec Félix Savart (1791-1841), acousticien, inventeur du sonomètre et physicien français,

lui permet de franchir une nouvelle étape entre 1836 et 1839, pendant laquelle ils font non seulement de véritables répliques visuelles et sonores de modèles italiens, mais examinent également, à travers les analyses acoustiques, la sonorité et la structure des violons italiens tels que les Stradivarius et Guarnerius³⁵.

³³ Giovanni Paolo MAGGINI (né à Brescia en 1581, mort dans la même ville en 1632), il fut luthier italien de l'école de Brescia et l'élève de Gasparo de Salo.

³⁴ Emmanuel JAEGER, « Woods », dans *Violon, Vuillaume : A Great French Violin Maker of the 19th Century*, trad. ang. Marianne de Mazières, Cité de la musique, Paris, 1999, p. 24 -26.

³⁵ Thierry MANIGUET, « Savart and Vuillaume », dans *Violon, Vuillaume, op. cit.*, p. 60-65.

Entant que chef d'entreprise, Vuillaume transforme profondément les méthodes habituelles de gestion en adoptant de nouvelles techniques : modernisation de l'outillage à l'atelier, spécialisation de son personnel, sous-traitance à Mirecourt chez son frère Nicolas. Il participe à toutes les expositions universelles et obtient les plus hautes récompenses : médaille d'argent en 1834, médailles d'or en 1839 et 1844. Enfin, il touche une clientèle très large en vendant des produits variés depuis les instruments de collection jusqu'aux modèles les plus simples destinés aux bourses modeste : Sainte-Cécile et Stentor. Puis, il crée ses propres modèles de violon tels que le « Faisan d'or », le « Saint-Jean », le « Saint-Marc », etc. Grâce au succès du commerce, sa réussite se matérialise par l'acquisition d'une propriété aux Ternes.

Bien que Jean-Baptiste Vuillaume remporte du succès dans plusieurs domaines tels que le commerce des instruments à archet, l'imitation et la copie des violons italiens, l'industrialisation de l'atelier, la rénovation de la colophane et de l'archet, l'investissement dans des propriétés, etc., je ne m'intéresse qu'à sa technique de la fabrication du violon et à ses propres modèles.

3.5 Les violons de Jean-Baptiste Vuillaume

C'est en 1823 que Jean-Baptiste Vuillaume commença à fabriquer des violons. Lorsque la mort vient le surprendre en 1875, Vuillaume aura passé cinquante-deux années dans son atelier. Pendant ce demi-siècle, son art, sa technique se sont forcément transformés ; et c'est cette évolution que nous allons maintenant essayer de définir et d'expliquer.

Nous distinguons en général quatre périodes dans son œuvre : la première va de 1823 à 1832 ; le jeune luthier cherche sa voie entre les théories scientifiques de François Chanot³⁶ et la découverte des grands maîtres italiens. Cette dernière est déterminante puisqu'elle va marquer toute la seconde période : de 1832 à 1845. La troisième, de 1845 à 1865, est la plus importante. En pleine possession de ses moyens, il signe de très beaux instruments et invente quelques modèles nouveaux.

³⁶ François Chanot (1788-1825), il fut luthier mircourtienne. Lorsque Vuillaume se rendit à Paris, il travailla pour lui.

Vient enfin la quatrième période, 1865-1875, dix dernières années de maturité de facture personnelle. Mais on ne peut pas oublier que le début de tout son succès est dû à la copie des violons italiens les plus réputés.

3.5.1 Imitations des modèles italiens

Avant le XIX^e siècle, il existe divers modèles parmi lesquels le modèle «Grand Amati » et les modèles de Stradivarius sont assez connus en Europe, mais certains modèles ne durent qu'un moment.

Au début du XIX^e siècle, il est vrai que Jean-Baptiste Vuillaume s'était fixé un but autrement ambitieux après avoir reçu son diplôme d'apprentissage de luthier : exécuter des imitations de plus en plus fines des grands modèles crémonais. Depuis 1827, Tarisio se rendait régulièrement en voyage deux fois par an à Paris, rapportant certains des meilleurs spécimens de l'école italienne. Influencé et conseillé par Tarisio, Vuillaume décida d'exécuter des imitations de plus en plus fidèles³⁷. Ses artisans appliquaient une méthode déjà bien au point.

La première opération consistait en un examen très détaillé du modèle. Il prenait toutes les mensurations, relevait le dessin des contours, la progression des voûtes, la forme des C, des ouës, de la tête et notait le moindre signe particulier³⁸.

La première difficulté surgissait avec le choix des bois. Mais le vernissage était bien plus délicat encore, car il fallait donner au violon un aspect antique. Les anciens instruments ont acquis naturellement à la fois leur séduisante patine et leurs traces d'usure ou d'accident. Ces dernières sont assez faciles à reproduire ; la patine, beaucoup moins. «Elle provient d'un long séchage à l'air libre et à l'abri du soleil, alors que les instruments sont encore à l'état de bois blanc ; ils y gagnent une teinte légèrement dorée qui embellit celle du vernis posée en suite³⁹ ». Pourtant, le copiste du XIX^e siècle ne pouvait attendre. Pour vendre ses instruments,

³⁷ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 295

³⁸ *Ibid.*

³⁹ *Ibid.*

il était obligé d'accélérer le séchage de leur bois fraîchement coupé. Il avait le choix entre deux solutions : rechercher du bois ancien ayant déjà servi, ce qui entraînait des déplacements, des essais, donc des frais ; ou vieillir artificiellement le bois frais, solution la plus rapide que beaucoup de luthiers avaient adoptée depuis le début du siècle⁴⁰.

Quant à la qualité du bois, il fallait utiliser du sapin et de l'érable, mûrs, vieux, séchés naturellement et non artificiellement, dépouillés uniquement par le temps, parce que l'excès de sève rend les sons aigus et criards.

En ce qui concerne le vernis du violon, c'est un problème complexe mettant en jeu par exemple leurs recettes diverses, leur influence sur la vibration du bois, l'état de séchage du bois, la température et l'hygrométrie, etc. On utilisait dès le début du siècle des procédés tenant compte de ces constatations ci-dessus. Le premier consistait à mettre au four, très brièvement et à température très douce, l'instrument terminé en blanc afin de lui donner un aspect légèrement hâlé ; le second, à passer, avant le vernissage, une première couche contenant un produit acide ; ou encore, à humidifier le bois avec de la vapeur d'eau additionnée d'un peu d'ammoniac.

Après avoir résolu le problème de la qualité et de la provenance du bois ainsi que celui du vernis, Jean-Baptiste Vuillaume entreprit une recherche sur les modèles de violons italiens et leurs techniques de fabrication. Il approfondit d'abord les violons de Stradivarius en raison de sa réputation et de la perspective de bénéfices rapides. Lorsque Vuillaume était un jeune luthier, son violon coûtait 300 francs ; un violon de Lupot se vendait de 800 à 1000 francs, et un Stradivarius 3 000 francs. Mais une copie parfaite d'un Stradivarius coûtait de 600 à 800 francs, deux ou trois fois plus cher qu'un violon du jeune Vuillaume sur le marché européen. Par conséquent, Vuillaume choisit de préférence des modèles de la période d'or de Stradivarius comme la Pucelle (1709), le violon d'Allard (1715, moule G), et surtout, à partir de 1855, le modèle du violon «le Messie» (1716, moule G). Quant à la recherche sur les violons de Guarnerius, il l'entreprit après avoir réparé le violon

⁴⁰ *Ibid.*

« Canonne » et avoir rencontré Paganini ; de plus, il étudia un peu les modèles de Maggini et Nicolo Amati.

3.5.2 La facture de Jean- Baptiste Vuillaume

De 1845 à 1865, c'est l'époque d'or de la fabrication de Vuillaume. Il recueille le fruit de ses expériences sur la technique et la fabrication. Accaparé par la marche commerciale de son magasin, il met au point un modèle et le fait exécuter en partie par une remarquable équipe de collaborateurs qu'il a formés et surveille toujours étroitement. Il se réserve le vernissage, les dernières vérifications, les ultimes retouches. Lui-même exécute les pièces les plus délicates et il faisait des instruments d'un modèle plus personnel. Aussi peut-on définir les principales caractéristiques de son art : choix des bois, travail au moule et vernis.

I. Les bois

Dès le XIX^e siècle, il était difficile de trouver des bois vieux, Vuillaume était donc obligé d'avoir recours aux bois neufs ayant une excellente qualité. Il préférait les planches de 3 ou 4 cm d'épaisseur qu'il laissait sécher pendant une douzaine d'années dans un endroit sec et aéré⁴¹. Nous avons dit que son épicéa venait de Roumanie, d'Autriche ou des Dolomites ; parfois aussi de moins loin : Suisse, Savoie ou Vosges⁴². Les tables de ses instruments étaient d'une ou, plus souvent, de deux pièces, avec un grain serré au centre, plus large sur les côtés. L'érable, en général pas trop dur, provenait souvent d'Europe centrale. Lorsque Vuillaume rencontrait les bois qui lui donnaient les meilleurs résultats, ils devenaient son type invariable. Vuillaume choisissait de préférence un érable à ondes claires et régulières. Lorsque le fond de ses instruments était en deux parties, il portait le plus grand soin aux dessins ascendants ou descendants qu'elles forment, du joint vers les bords. Les éclisses et la tête pouvaient être d'un érable différent mais présentaient un aspect assez semblable.

⁴¹ Antoine VIDAL, *Les instrument à archet*, tome I, Holland Press, Londres, 1961, p. 260.

⁴² Emmanuel JAEGER, « Woods », *op .cit.*, p. 24 -26.

II. Les moules

Pour dessiner la table et le fond, Vuillaume employait plusieurs moules comme ceux qu'il donna lui-même, à la fin de sa vie, au musée des Arts et Métiers où ils sont toujours conservés. Il avait un moule intérieur traditionnel, avec ses six trous comme celui de Stradivarius, quatre tasseaux, deux blocs et les éclisses. Il est facilité par un tracé symétrique des contours. Ensuite, il créa un nouveau moule intérieur ; par rapport au moule intérieur traditionnel⁴³, le nouveau moule intérieur est ciselé il est plus facile de fixer des tasseaux afin de déterminer les contours du violon.



Figure 35. Le nouveau moule intérieur de Jean- Baptiste Vuillaume⁴⁴

Par ailleurs, Vuillaume avait inventé un moule extérieur, sans doute établi d'après un instrument qu'il avait particulièrement apprécié. En serrant les éclisses, il donnait plus de liberté au maniement des outils et permettait d'exécuter rapidement une copie très fidèle.

⁴³ Cf. Figure 20, p. 71.

⁴⁴ Emmanuel JAEGER, « Internal form », *op.cit.*, p. 217.



Figure 36. Le moule extérieur de Jean-Baptiste Vuillaume⁴⁵

Enfin, pour fabriquer plus rapidement des violons et se dégager de la technique manuelle traditionnelle, Vuillaume essaya d'étudier et de construire un nouveau type de moule pour le mécanisme. Ce nouveau moule se compose de deux parties, moule du fond et moule de la table ; il est mis en place pour l'exposition universelle de 1839, ce qui permet de faire remonter à cette période l'emploi de cette machine. En raison de cette technique mécanique, non seulement l'aspect et l'épaisseur de la table et du fond sont formés, mais les voûtes de la table et du fond sont également précisées et régulières. Ces procédés lui ont ainsi permis de recopier rapidement les violons des grands maîtres avec une scrupuleuse exactitude. Bien entendu, l'emploi de cette machine était réservé aux instruments courants. Mais, pour un modèle plus délicat, c'est-à-dire, pour un violon plus raffiné et la copie élégante, les luthiers français préférèrent quand même la technique traditionnelle crémonaise, la méthode du moule intérieur.

⁴⁵ Emmanuel JAEGER, « External form », *op. cit.*, p. 218.



Figure 37. Le moule mécanique⁴⁶

III. Le vernis

C'est là un domaine particulièrement difficile à explorer, car chaque luthier manipule et garde jalousement le secret sur ses recettes, et Vuillaume plus que tout autre. En France, au XVIII^e siècle, vers 1740, les luthiers employaient un vernis très sec à l'alcool, qui enserrait l'instrument dans une véritable carapace. L'arrivée des violons italiens à la charnière du XIX^e siècle, avec leur vernis tendre, allait peu à peu transformer cette conception. Les traités de cette période recommandent l'emploi de résines plus souples comme le mastic en larmes⁴⁷, le benjoin⁴⁸, la sandaraque⁴⁹ ou le copal⁵⁰. Un seul ouvrage aborde la question quelque vingt-cinq ans plus tard : il s'agit

⁴⁶ Emmanuel JAEGER, «Mechanically worked violin trop, Mechanically worked violon back », *op. cit.*, p. 219.

⁴⁷ Le mastic est une matière issue de la sève du lentisque. La résine est utilisée pour la confection de médiums de vernis.

⁴⁸ Le benjoin est le baume, ou la résine, de diverses plantes du genre styrax (storax).

⁴⁹ La sandaraque est une résine végétale extraite du cyprès. Elle se présente sous forme de larmes ou de grains. Elle s'utilise fréquemment dans la composition de vernis à alcool dont elle assure la transparence.

⁵⁰ Le copal est une résine semi-fossile. Proche de l'ambre mais généralement plus clair, il est utilisé comme gemme pour la confection de bijoux et aussi utilisé en ébénisterie additionné de diverses substances (élémi, camphre, benjoin), dilué dans de l'alcool et passé au pinceau pour obtenir une brillance similaire au vernis.

du *Traité théorique et pratique sur l'art de faire les vernis*⁵¹, écrit par Pierre-François Tingry. Mais il conseille encore des formules proches de celles du XVIII^e siècle, tout en y adjoignant un peu d'huile.

Toute sa vie, Vuillaume a tenté d'imiter le magnifique vernis éclatant et moelleux des Crémonais. Ses recherches l'ont donc amené à évoluer. Il respecte cependant certains principes de base : proscrire un mélange trop alcoolisé employer un fond pour préparer les bois, enfin tenir compte de leurs réactions différentes. Dans l'érable, le vernis ne pénètre pas, alors qu'il est vite absorbé dans l'érable qui est plus poreux. Il traite donc diversement les tables, d'une part, les dos, les éclisses et les têtes de l'autre. Vers 1845, il pose une première couche brun-foncé et utilise un vernis assez épais, surtout au centre de la table, d'une tonalité orange-brun. Bientôt il l'allège et l'éclaircit, optant pour le jaune-orangé ou le brun clair. Mais, le vernis semble encore insuffisant et manquer de richesse et de brillant. La découverte du «Messie» qui n'a jamais été joué lui révèle alors ce que pouvait être le vernis d'un Stradivarius dans son état d'origine. A partir de ce moment, on le voit utiliser un fond doré et une pâte plus légère. Le coloris varie aussi avec l'apparition de la gamme des rouges.

En fait, le vernis a été créé entre XV^e et XVI^e siècle, il s'applique généralement aux peintures sur bois, mais rare est celui qui fait nommément référence aux instruments de musique. Il en va de même au XVIII^e siècle en France. Il faut attendre la parution en 1772 d'un ouvrage, *L'art de faire et d'employer le vernis*⁵², écrit par Jean-Félix WATIN pour découvrir un tout petit chapitre consacré aux violons. Trente ans plus tard, Pierre-François Tingry reprend le sujet dans son *Traité théorique et pratique sur l'art de faire et d'appliquer les vernis*⁵³. Il avait donc au XVIII^e siècle

⁵¹ Pierre-François TINGRY, *Traité théorique et pratique sur l'art de faire les vernis*, Manget, Genève, 1803.

⁵² Jean-Félix WATIN, *L'art de faire et d'employer le vernis*, Quillau, imprimeur-libraire, Paris, 1772.

⁵³ Il s'agit des différents genres de peinture par impression et en décoration, ainsi que des couleurs simples et composés. Accompagné de nouvelles observations sur le Copal; de notes historiques sur la nature des matières et sur les procédés mis en usage par les compositeurs de couleurs et de vernis et par les peintres vernisseurs et décorateurs.

quelques renseignements précieux sur les produits employés par les luthiers français. Pour les instruments à cordes, quant à la recette du vernis, Tingry a donné les composants principaux employés par des luthiers français du XVIII^e siècle, dans lesquels la fabrication, le séchage et le polissage ont été bien réfléchis.

Sandaraque.....	4 onces soit 122,28 grammes
Résine de gomme laque en grains.....	2 onces soit 61,14 grammes
Mastic en larmes.....	1 once soit 30,57 grammes
Benjoin en larmes.....	1 once soit 30,57 grammes
Térébenthine de Venise.....	2 onces soit 61,14 grammes
Alcool pur ou vin.....	32 onces soit 978,29 grammes

Dans cette recette⁵⁴ de Tingry, des luthiers français rajoutent généralement quatre onces de verre pilé soit 122,28 grammes pour éviter que les gommes n'épaississent et ne durcissent. La gomme laque et la sandaraque rendent ce vernis solide, et le luthier peut le colorer s'il le veut avec un peu de safran ou de sandaraque, à la manière des violons de Jacques Boquay, de Jean Nicolas Lambert, ou de Benoist Fleury, etc.

L'abbé Pierre Jaubert résume bien la situation des luthiers français et de leur vernis, lorsqu'il écrit en 1773, dans son *Dictionnaire raisonné et universel des arts et métiers* :

Il serait à souhaiter qu'on fit encore en France usage du vernis à l'huile, ainsi que les fameux facteurs de violon Boquay et Pierray l'ont fait jadis, et comme le font encore tous les habiles luthiers d'Italie, au lieu du vernis à l'esprit de vin qu'on emploie aujourd'hui, parce qu'il est plus aisé à sécher⁵⁵.

⁵⁴ Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIIIe siècle à 1960*, Tome II : *Les luthiers du XVIIIe siècle*, Les Amis de la musique, Spa, 1997, p. 176.

⁵⁵ Abbé Pierre JAUBERT, *Dictionnaire raisonné et universel des arts et métiers*, cité par Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 177.

Nous savons donc que des luthiers français au début du XVIII^e siècle ont utilisé le vernis à l'huile comme dans la tradition italienne. Mais à partir du milieu du siècle, les luthiers français préféraient de plus en plus l'huile à l'alcool.

En général, les anciens luthiers italiens comme Stradivarius aimaient utiliser le vernis à l'huile pour leurs violons. De plus, il existe plusieurs recettes de vernis italien à base de propolis (produit sécrété par les abeilles⁵⁶) et utilisés probablement par l'école de Crémone et l'école de Brescia. Le vernis à l'huile séchant moins vite, il peut s'imprégner dans le bois au point que le bois devient plus dur, mais plus fragile. Ainsi, cette sorte de vernis permet une sonorité ample mais pas très veloutée.

À partir du XIX^e siècle, les luthiers français ont préféré le vernis à l'alcool au vernis à l'huile ; de plus, ils firent beaucoup de recherches sur la recette du vernis à l'alcool. Les violons ayant une couche de vernis à l'alcool étaient non seulement brillants, mais leur timbre était aussi velouté. Étant donné que cette sorte de vernis ne peut pas bien s'imprégner dans le bois et qu'il ne permet pas de changer sa densité, le luthier peut faire une courbe plus convexe sur la table d'harmonie afin de produire un son plus velouté. Mais il faut faire maintes applications pour fixer le vernis.

Il est vrai que le vernis de Stradivarius est magnifique pour la sonorité, mais il est également assez compliqué. En France, Jean-Baptiste Vuillaume a également fait beaucoup d'essais sur la recette du vernis, dont le vernis à l'huile et le vernis à l'alcool. Sauf pour les copies des anciens violons italiens, il préférait le vernis à l'alcool pour ses propres violons. Malheureusement, ces deux maîtres ne nous ont pas transmis leur recette de vernis, ils n'ont laissé à notre grand regret que des pages blanches.

Cependant, jusqu'à aujourd'hui, nous ne pouvons pas encore expliquer précisément l'influence du vernis sur la qualité du son, à savoir le timbre, l'intensité sonore, le rayonnement sonore, l'harmonie etc. Bien que nous connaissions quelques composants du vernis à l'huile et ceux du vernis à l'alcool, nous ne savons que les trois effets importants du vernis : la protection du bois, la dureté du bois, et la

⁵⁶ Paul ALTENBURGER, *Manuel de lutherie à l'usage des amateurs, Violon, Alto, Violoncelle*, Editions H.VIAL, Saint-Etienne, 2005, p. 114.

couleur brillante. En conséquence, je ne vais pas tenir compte de l'influence du vernis sur la qualité du son, je ne m'intéresserai qu'au rapport entre la structure et la vibration du violon.

3.6 Les jugements de Vuillaume sur les grands luthiers italiens

À part les violons normaux, Vuillaume a fabriqué plusieurs instruments décorés et des archets décorés, mais à mon avis ces nouvelles créations ne sont pas satisfaisantes parce que pour les violons décorés l'on est obligé d'augmenter l'épaisseur du fond afin d'incruster et dessiner des décorations au point que leur son est plus sourd. En conséquence, je n'étudierai que les violons traditionnels, sans décoration, de Vuillaume.

En ce qui concerne le jugement de Vuillaume sur les grands luthiers italiens, aujourd'hui une conclusion s'impose dans le domaine de lutherie : les violons de Vuillaume sont en fait un long hommage rendu à la lutherie italienne des XVII^e et XVIII^e siècles à travers quelques-uns de ses plus grands maîtres, dont Stradivarius est le plus important. Cela suppose admiration, familiarité parfaite connaissance des moindres détails de cette facture. Tout ceci s'exprime peu dans la profession, et de manière orale seulement. Pourtant, Vuillaume a tenu à faire mettre par écrit ses jugements grâce à la plume de Fétis, dans un livre qu'il s'est fait un devoir d'éditer : *Stradivarius*⁵⁷. Curieusement, en 1806, l'abbé Sibire avait effectué le même travail avec Lupot en rédigeant *la Chelonomie ou le parfait luthier*⁵⁸. Aussi est-il intéressant de comparer les opinions des deux plus grands facteurs français du XIX^e siècle.

Les différences entre les deux ouvrages sont importantes. Celui de Sibire présente des lacunes notables. Par exemple, il ne mentionne pas l'école de Brescia, ni Gasparo de Salo, ni Maggini, alors que Vuillaume apprécie cette personnalité un peu en marge. Il note la grandeur de ses instruments, les éclisses un peu élevées, les

⁵⁷ François-Joseph Fétis, *Antonio Stradivarius*, Paris, 1856.

< www.luthiers-mirecourt.com/fetis_1856.htm >

⁵⁸ L'abbé SIBIRE, *la Chelonomie ou le parfait luthier*, A. Looseldt, Librairie, Bruxelles, 1885.

< www.luthiers-mirecourt.com/sibire_la_chelonomie.htm >

tables assez fortes par rapport aux fonds souvent peu épais, la finesse, la qualité d'un vernis jaune-brun clair et conclut : «Les dimensions en étendue et la combinaison des voûtes avec celle des épaisseurs donnent un son grandiose, grave et mélancolique⁵⁹ ».

Sur la famille des Amati, Sibire n'exprime que quelques opinions générales et succinctes. Au contraire, Vuillaume distingue parfaitement l'art de chacun de ses membres. Les violons d'Andrea Amati au vernis brun clair et d'une bonne solidité possèdent des tables de bonne qualité aux voûtes très marquées au centre. « Leur sonorité est douce et moelleuse, mais leur intensité reste limitée, conformément aux désirs des musiciens de son temps⁶⁰ ». Les instruments de ses fils, Antoine et Jérôme, restent petits, mais le luthier loue le travail, le choix des bois : «les voûtes, élevées au centre, aux gorges très évidées, jointes à la combinaison des épaisseurs, leur donnent un son fin, délicat et suave d'un charme inimitable⁶¹ ». Il émet cependant quelques réserves :

Si les deux cordes supérieures sont bonnes, le troisième est un peu sourd, et la quatrième trop faible. Quant à la production de Jérôme, si elle a quelquefois approché celle de son frère, elle lui est en somme inférieure⁶².

Les jugements sont fort différents, on s'en doute pour Nicolo Amati, le plus célèbre des artistes de ce nom. Grâce à Nicolas Lupot, Vuillaume manifeste une admiration sans réserve, mais il comprend mieux la place qu'il tient parmi ses prédécesseurs :

Il changea peu de choses aux formes et aux proportions adoptées par sa famille ; mais il mit plus de fini dans les détails, plus de perfection dans le dessin des courbes et eut un vernis plus souple, plus moelleux et d'un plus bel aspect. Les combinaisons des voûtes et des épaisseurs sont mieux calculées. [...] De là vient qu'en conservant la

⁵⁹ François-Joseph Fétis, *op. cit.*, p. 52, cité par Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960*, tome III, *Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien*, Live 2 : *Facture instrumentale*, Les Amis de la musique, Spa, 2006, p. 313.

⁶⁰ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 313.

⁶¹ *Ibid.*

⁶² *Ibid.*

suavité du son qui les distingue, (ses instruments) ont plus de puissance et d'éclat, certains modèles sont même de véritables chefs d'œuvre de la lutherie. Cependant la petitesse des patrons explique que leur qualité reste supérieure à leur puissance⁶³.

Quant à Guarnerius, dont Vuillaume ne mentionne jamais le surnom, «del Gesù», il s'avoue très intrigué par ses violons qui montrent à la fois de graves défauts et des qualités exceptionnelles. Visiblement en contact avec les seuls modèles de la première époque, il est déconcerté par la petitesse des patrons et l'épaisseur importante des voûtes. Il reconnaît pourtant que leur progression est très fondue et que le rapport des proportions n'est pas mauvais. Il remarque aussi la sonorité brillante des deux cordes aiguës, la rondeur de la troisième, mais reproche à la quatrième une certaine sècheresse. Par contre, il loue sans réserve le vernis, aussi beau que celui de Stradivarius. Le commentaire sur le succès que commence à connaître le Crémonais est intéressant :

Malgré ses défauts de construction, il a ses partisans et même ses fanatiques enthousiastes. C'est affaire de goût. Depuis un certain temps, ses violons ont pris de la faveur. On voit des musiciens les élever au dessus même de Stradivarius⁶⁴.

Quant à Joseph del Gesù, il a eu l'occasion de voir ses violons de petit patron, semblables à celui que Lupot a reproduits. Il les analyse dans les mêmes termes et exprime les mêmes réserves. Par contre, il a aussi entendu, réparé, reproduit les violons d'Oles Bull et de Paganini ; il a rencontré d'autres exemples de la période des chefs-d'œuvre. Il apprécie leur taille plus importante, combinée avec de meilleures épaisseurs, leur bois excellent, leur vernis remarquable. Le tout donne une sonorité brillante dans les aigus, ronde et profonde dans les graves qui est très captivante. Féis dit d'eux que « [leur] mérite égale celui des plus beaux produits d'Antonie Stradivarius⁶⁵ ».

⁶³ *Ibid.*

⁶⁴ *Ibid.*

⁶⁵ *Ibid.*

Sur ce dernier enfin, les deux Français ne tarissent pas d'éloges : mensurations optimales, dosage subtil de la progression des épaisseurs, perfection de la courbe des voûtes, détermination exacte du poids de l'air à l'intérieur de la caisse, somptuosité du vernis. Il en résulte une sonorité jamais égalée.

A un demi-siècle d'intervalle, ils éprouvent donc la même vénération, mais elle est mieux expliquée chez Vuillaume qui a eu la chance d'étudier un plus grand nombre d'instruments des maîtres luthiers italiens, surtout Stradivarius. Pour la première fois on voit apparaître chez lui la distinction entre les trois périodes de sa création, une notion devenue familière de nos jours. Il ne s'attarde pas sur la dernière qu'il situe entre 1725 et 1730 : Il insiste beaucoup par contre sur les années qui s'écoulaient de 1700 à 1725. Ici, tout est harmonieux. Les modèles ont acquis ampleur et dimensions définitives. Les bois sont choisis avec beaucoup de soin et de discernement, les voûtes sont régulières, d'une précision rationnelle, les ouïes très bien coupées, le vernis superbe, avec ses tons chauds, sa pâte fine « d'une grande souplesse ». Il passe ensuite à la construction interne très pensée, calculée par expérience. Enfin cette admiration s'étend aux altos et aux violoncelles dont les lois acoustiques respectent des proportions différentes⁶⁶.

Au terme de cette étude, la comparaison des ouvrages de Sibire et de Fétis se révèle donc très riche d'enseignements :

Elle montre d'abord la rapidité avec laquelle la connaissance de la lutherie italienne progresse pendant la première moitié du XIX^e siècle. Limitée chez Lupot qui est loin de connaître tous les facteurs et n'a pu voir que quelques exemples de leur production, elle devient très complète et très précise chez Vuillaume⁶⁷.

Ses jugements restent encore valables pour les chercheurs de notre temps. Cette analyse nous informe également sur les réactions des artisans de notre pays. Contraint par l'engouement de certains de ses clients, Lupot est obligé d'effectuer des répliques de temps en temps. Les copies de toutes sortes prolifèrent, bonne ou

⁶⁶ *Ibid.*

⁶⁷ *Ibid.*, p. 314.

mauvaises, c'est-à-dire approfondies ou superficielles. La lutherie française va-t-elle y perdre son âme ? Vuillaume nous prouve le contraire :

Il établit une description très détaillée, très méthodique de l'art de chaque maître. Mais il n'en reste pas à un savoir théorique, il en tire des principes qu'il applique très vite à ses propres instruments. D'autre part, cette imitation l'oblige à prendre des initiatives pour résoudre par lui-même certains problèmes insolubles, celui du vernis par exemple. Dans ce domaine, les instruments témoignent mais ne livrent pas leur secret. Ce travail est donc pour lui un véritable enrichissement⁶⁸.

La période de 1865 à 1875 couvre les dix dernières années du luthier ; dix années de maturité pendant lesquelles il reste encore très actif puisque plus de quatre cents instruments de qualité sortiront de son atelier. Sans cesser d'affirmer sa préférence pour les luthiers italiens, sa facture marque cependant une plus grande indépendance à leur égard. Comme Sylvette Milliot a écrit,

Jean-Baptiste Vuillaume a fait encore quelques copies, mais en nombre plus limité, en choisissant ses auteurs et modèles préférés : le Messie, le Cannone⁶⁹. Les reproductions de quelques grands patrons de Nicolas Amati sont beaucoup plus rares ; celles de Maggini, exceptionnelles. Pour ses instruments personnels, il prend certaines libertés dans les mensurations et les rapports des proportions. De même, les bords sont moins ronds, légèrement aiguisés au-dessous, et il revient plus souvent aux filets d'ébène. Enfin, rompant avec les traces d'usure, il emploie généralement un beau vernis plein à pâte souple dont nous avons vu plus haut qu'il a longtemps cherché la formule⁷⁰.

Ayant étudié l'expérience de Jean-Baptiste Vuillaume et sa technique de fabrication, je me suis intéressé à ses violons pour essayer de trouver le secret de sa structure et de sa sonorité

⁶⁸ *Ibid.*

⁶⁹ Ernest DORING, «Tableau des instruments de Jean-Baptiste Vuillaume », dans la revue, *Violins and Violinists*, 1961, cité par Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 312.

⁷⁰ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 312..

4. Analyse des violons de Jean-Baptiste Vuillaume

Au XIX^e siècle, pour bien les identifier, les compter et participer à l'exposition universelle, les instruments de Jean-Baptiste Vuillaume sont numérotés d'après quatre périodes :

1. Première période (1823-1832), jusqu'à l'arrêt de la numérotation, environ 275 Instruments ;
2. Deuxième période (1832-1845) environ : interruption de la numérotation des instruments, en 1832 n°275 – en 1842 n°1496, dont reprise de la numérotation de 1842 à 1845, numéros 1496 à 1654 : 158 instruments ;
3. Troisième période (1845-1865) : du numéro 1655 au numéro 2589 ; 934 instruments, période la plus brillante et la plus fiévreuse ;
4. Quatrième période (1865-1875) : du numéro 2589 au numéro 3001 : 412 instruments ; période de maturité

En conséquence, j'ai résumé les données des violons de Vuillaume que j'ai pu trouver dans les ouvrages⁷¹ :

Année	Numéro	Modèle	Longueur de corps en mm	Largeur en mm	Hauteur d'éclisses en mm
1823	n°3	Stradivarius	358	168 115 208	

⁷¹ Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e à 1960*, tome 2, Les amis de la musique, Spa, 1997 ; Sylvette MILLIOT, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e à 1960*, tome 3, *Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien*, livre 2 : *Facture instrumentale*, Les amis de la musique, Spa, 2006 ; Rény CAMPOS, éditeur de l'exposition chez Jean-Baptiste Vuillaume, *Violons, Vuillaume : A Great French Violin Makers of the 19th Century, 1798-1875*, trad. ang. Marianne de Mazière, Cité de la Musique, Paris, 1999.

1826	n °37	Maggini	360	173 117 208	27
1827	n °53	Stradivarius	360	168 110 209	30
1827	n °61	Maggini	359	174 116 212	
1830	n °222		358	168 113 210	
1834		Guarnerius de 1737	355	170 113 207	30
1835		Guarnerius de 1733	359	166 112 208	30
1841	n °1489	La «Pucelle »de Stradivarius de 1709	356	167 113 207	
1843	n °1510		350	170 120 210	
1844	n °1611	Stradivarius	358	170 113 208	31
1848	n °1826	Guarnerius, violon décoré	358	171 116	30

				209	
1856	n °2014	Nicolo Amati	356	170 112 211	
1858	n °2278	Le «Kouvheliove » Mod èle de Vuillaume, inspir épar le mod èle de violon d écor éde Stradivarius	356	167 112 206	31
1859	n °2293	Le mod èle baroque de Guarnerius	355	175 113 21	31
1860		Mod èle de Vuillaume inspir épar le «Delphin Allard »de Guarnerius	355	170 115 209	31
1861	n °2347	Mod èle de Vuillaume inspir épar «Allard »de Stradivarius	375	169 115 209	30
1862	n °2434	Le «Faisan dor é», mod èle de Vuillaume, inspir épar le mod èle du Stradivarius	356	167 112 205	30
1863	n °2491	Guarnerius	357	170 113 209	
1863	n °2501	Le «Saint-Jean », mod èle de Vuillaume, 1 ^e violon du quatuor des Quatre Evang élistes	356	168 114 208	31

1863	n °2052	Le « Saint-Marc », modèle de Vuillaume, 2 ^e violon du quatuor des Quatre Evangélistes.	356	167 112 207	31
1864	n °2558	Nicolo Amati L'ex-« Jacques Thibaud »	355	168 113 207	
1865	n °2604	Inspiré par le Modèle « G » de Stradivarius, Violon décoré l'ex-comte Basil de Cheremetoff	356	167 113 207	
1867	n °2694	Copie du « Cannone » de Guarnerius	357	170 117 209	
1868		Inspiré par le modèle du « Messie » de Stradivarius	357	168 112 208	
1871	n °2834	Maggini	358	169 117 209	
1871	n °2864	Guarnerius	357	170 117 209	32
1872	n °2879	Stradivarius	357	169 115 209	31
1873	n °2936	Copie du « Messie », modèle de Stradivarius	356	168 112 208	

1837		Inspiré par le modèle du «Delphin Allard » de Stradivarius (1715)	357	166 111 205	
------	--	---	-----	-------------------	--

Après avoir lu les données essentielles des violons, nous savons maintenant que plusieurs modèles de Vuillaume sont dus à l'inspiration des anciens luthiers italiens, surtout ceux de Stradivarius et de Guarnerius. En même temps, je constate que Vuillaume a également créé ses propres modèles, tel que le violon n°2501 «Saint-Jean », le violon n°2502 «Saint-Marc » et le violon n° 2434 «Le Faisan d'or », etc. Comme le moule G de Stradivarius a été analysé dans la première partie de la thèse, je vise à analyser sa propre vision du violon afin de trouver ses caractéristiques par rapport au moule G.

4.1 Analyse de la structure du violon n°2434 «Le Faisan d'or »

D'après les données du «Faisan d'or », nous connaissons les mesures suivantes :

- Longueur de la caisse = 35mm
- Largeur supérieure = 167mm
- Largeur médiane = 112 mm
- Largeur inférieure = 205 mm

Par conséquent, j'ai recherché sa structure :

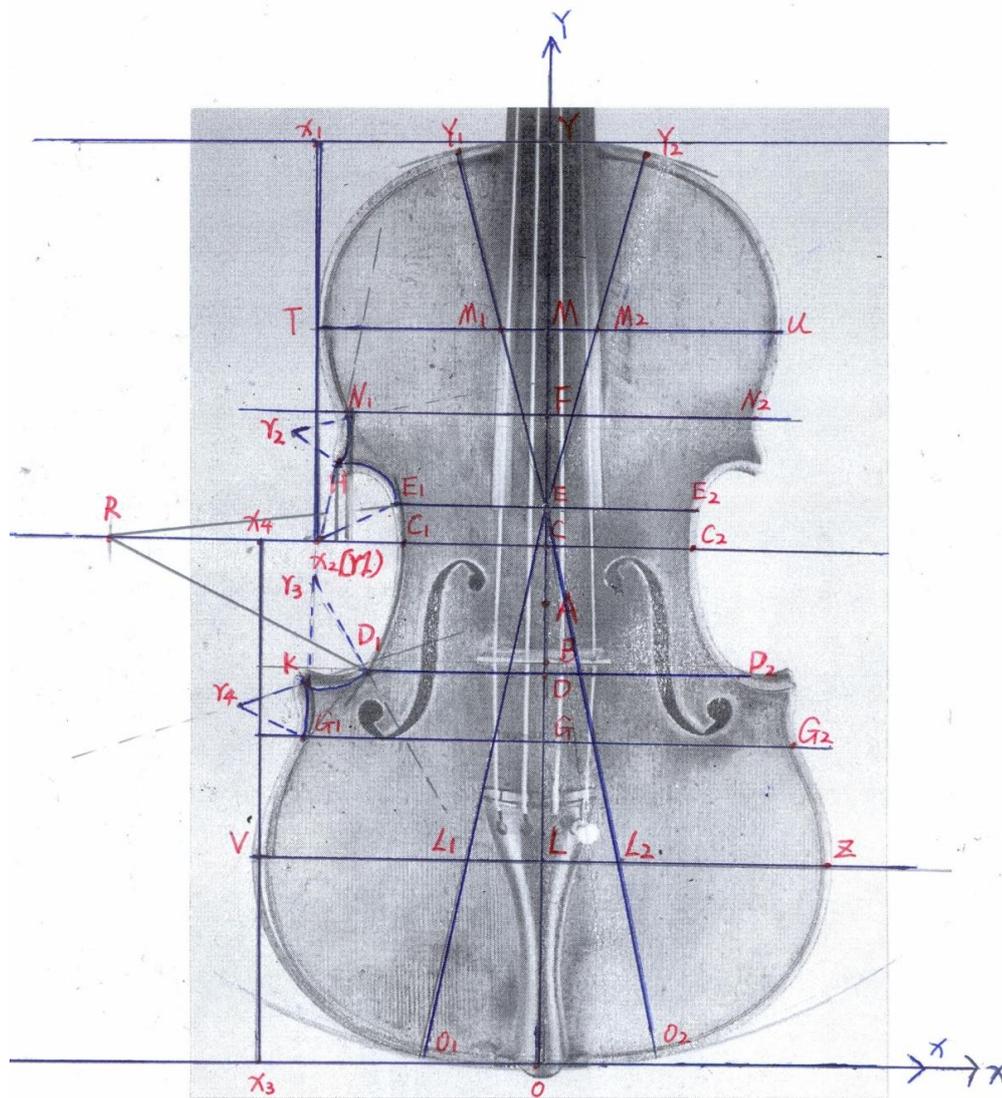


Figure 38. Analyse de la structure du «Faisan d'or »

Dans la figure 38, j'ai créé une méthode d'analyse pour rechercher la structure :

1. J'ai créé le système de coordonnées $Y-O-X$;
2. Le tracé OY correspond à la longueur de la caisse ;
3. Je trouve le point A qui est le centre du tracé OY , ainsi $AO = AY$;
4. Le point B est la position du chevalet, ainsi je trouve le segment AB ;
5. Longueur du segment $AB =$ longueur du segment AC , ainsi je trouve le point C sur OY ;
6. En traversant le point C , le tracé C_1-C_2 est perpendiculaire à OY . Le segment

- C_1-C_2 correspond à la largeur médiane de la caisse ;
7. En prenant le point Y comme centre, j'exécute un tracé parallèle du segment C_1-C_2 ;
 8. Je trouve le point X_1 , le tracé X_1-T est tangent à la courbe YT ;
 9. Le tracé TU est perpendiculaire au tracé OY ;
De plus, TU nous donne le point M à l'intersection avec le tracé OY ;
Le tracé TU correspond à la largeur supérieure de la caisse ;
 10. En prenant le point O comme centre, je trace $O-X$ parallèlement au segment C_1-C_2 ;
 11. Je trouve le point X_3 , le tracé X_3-V est tangent à la courbe OV ;
 12. Le tracé VZ est perpendiculaire au tracé OY ;
De plus, VZ nous donne le point L à l'intersection avec le tracé OY ;
Le tracé VZ est largeur inférieure de la caisse ;
 13. Je trouve le point E car YE correspond à la longueur de la touche sur la caisse ;
 14. En croisant le point E avec le tracé OY , le tracé E_1-E_2 est également perpendiculaire au tracé OY ;
 15. En prenant le tracé MT comme rayon et M comme centre de cercle, je trouve le point N_1 sur la courbe $T-N_1$;
 16. Le tracé N_1-N_2 est perpendiculaire au tracé OY , de plus, N_1-N_2 donne le point F à l'intersection avec le tracé OY ;
 17. En prenant le tracé EY comme rayon et E comme centre de cercle, je trouve le point Y_1 et le point Y_2 ;
 18. Je relie E à Y_1 qui croise TU en M_1 , de plus, je relie E à Y_2 qui croise TU en M_2 ;
 19. En prenant le tracé M_1-T comme rayon et M_1 comme centre de cercle, je trace la courbe Y_1-T ;
 20. En prenant le tracé LV comme rayon et L comme centre de cercle, je trace la courbe $V-G_1$;
 21. Le tracé G_1-G_2 est perpendiculaire au tracé OY , de plus, G_1-G_2 donne le point G à l'intersection avec le tracé OY ;
 22. En prenant le tracé EO comme rayon et E comme centre de cercle, je trouve le

point O_1 et le point O_2 ;

23. Je relie E à O_1 qui croise VZ en L_1 , de plus, je relie E à O_2 qui croise VZ en L_2 ;
24. En prenant le tracé L_1-V comme rayon et L_1 comme centre de cercle, je trace la courbe O_1-V ;
25. Je trace le point R sur la ligne prolongée de C_2-C_1 car la longueur d' YF est égale à celle de C_1-R ;
26. En prenant le tracé $R-C_1$ comme rayon et R comme centre de cercle, je trace la courbe E_1-D_1 ;
27. En ce qui concerne les positions de quatre coins, j'émetts une hypothèse pour définir leur position (H, K, r_1, r_2, r_3 et r_4) sur la figure 38 car les positions de quatre coins sont vraiment personnelles et diverses.

Aujourd'hui, les violons de Vuillaume sont très précieux. Sans démonter la caisse, nous ne pouvons que calculer à travers la proportion les données réelles de toutes les parties du «Faisans d'or » telles que le segment $E-Y_1$, le segment O_1-E , le tracé $T-L_1$, le tracé L_2-Z , etc.

Sur la Figure 38, je calcule que :

Longueur de $YO = 158$ mm

Largeur supérieure de $TU = 74$ mm

Largeur inférieure de $VZ = 91$ mm

Ainsi, je calcule :

$$\frac{\text{longueur réelle}}{\text{longueur de } YO} = \frac{356}{158} \approx 2,253$$

$$\frac{\text{largeur supérieure réelle}}{\text{largeur de } TU} = \frac{167}{74} \approx 2,256$$

$$\frac{\text{largeur inférieure réelle}}{\text{largeur de de } VZ} = \frac{205}{91} \approx 2,252$$

Comme le troisième nombre après la virgule n'influe presque pas sur les résultats du calcul et qu'un luthier n'arrive pas à fabriquer rigoureusement un violon au dixième de millimètre, j'ai choisi la valeur 2,25 comme le coefficient de proportion qui me permet de calculer les données réelles du «Faisan d'or » :

$$YA = 7,9 \times 2,25 = 17,775 \text{ cm} = 177,75 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OA = 7,9 \times 2,25 = 17,775 \text{ mm} = 177,75 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OY = OA + AY = 178 + 178 = 356 \text{ mm}$$

$$OL = 3,5 \times 2,25 = 7,875 \text{ cm} = 78,75 \text{ mm} \approx 79 \text{ mm}$$

$$OG = 5,5 \times 2,25 = 12,375 \text{ mm} = 123,75 \text{ mm} \approx 124 \text{ mm}$$

$$OD = 6,65 \times 2,25 = 14,9625 \text{ mm} = 149,625 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

$$OB = 6,85 \times 2,25 = 15,4125 \text{ cm} = 154,125 \text{ mm} \approx 154 \text{ mm}$$

$$AB = OA - OB = 178 - 154 = 24 \text{ mm}$$

$$AB = AC$$

$$OC = OA + AB = OA + AC = 178 + 24 = 202 \text{ mm}$$

$$OE = 9,5 \times 2,25 = 21,375 \text{ cm} = 213,75 \text{ mm} \approx 214 \text{ mm}$$

$$YE = OY - OE = 356 - 214 = 142 \text{ mm}$$

$$OF = 11,1 \times 2,25 = 24,975 \text{ cm} = 249,975 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

$$YF = OY - OF = 356 - 250 = 106 \text{ mm}$$

$$YF = R-C_1$$

$$R-C_1 = 106 \text{ mm}$$

$$OM = 12,5 \times 2,25 = 28,125 \text{ mm} = 281,25 \text{ mm} \approx 281 \text{ mm}$$

$$YM = OY - OM = 356 - 281 = 75 \text{ mm}$$

$$N_1-N_2 = 6,6 \times 2,25 = 14,85 \text{ cm} = 148,5 \text{ mm} \approx 149 \text{ mm}$$

$$G_1-G_2 = 8 \times 2,25 = 18 \text{ cm} = 180 \text{ mm}$$

$$TU = 74 \text{ mm}$$

$$MT = \frac{1}{2} TU = 37 \text{ mm}$$

$$Y-X_1 = \frac{1}{2} TU = 37 \text{ mm}$$

$$VZ = 91 \text{ mm}$$

$$LV = \frac{1}{2} VZ = 45,5 \text{ mm}$$

$$O-X_3 = \frac{1}{2} VZ = 45,5 \text{ mm}$$

Afin de vérifier la réalité de mon calcul et de rectifier les marges de tolérance dues au travail manuel, j'ai utilisé un logiciel informatique de géométrie appelé Panneau de la Géométrie (几何画板). Celui-ci nous permet de définir précisément et calculer (à l'échelle 1:1) les repères de tous les points, les traits et des courbes, par lesquels je reproduis exactement la structure du « Faisan d'or ».

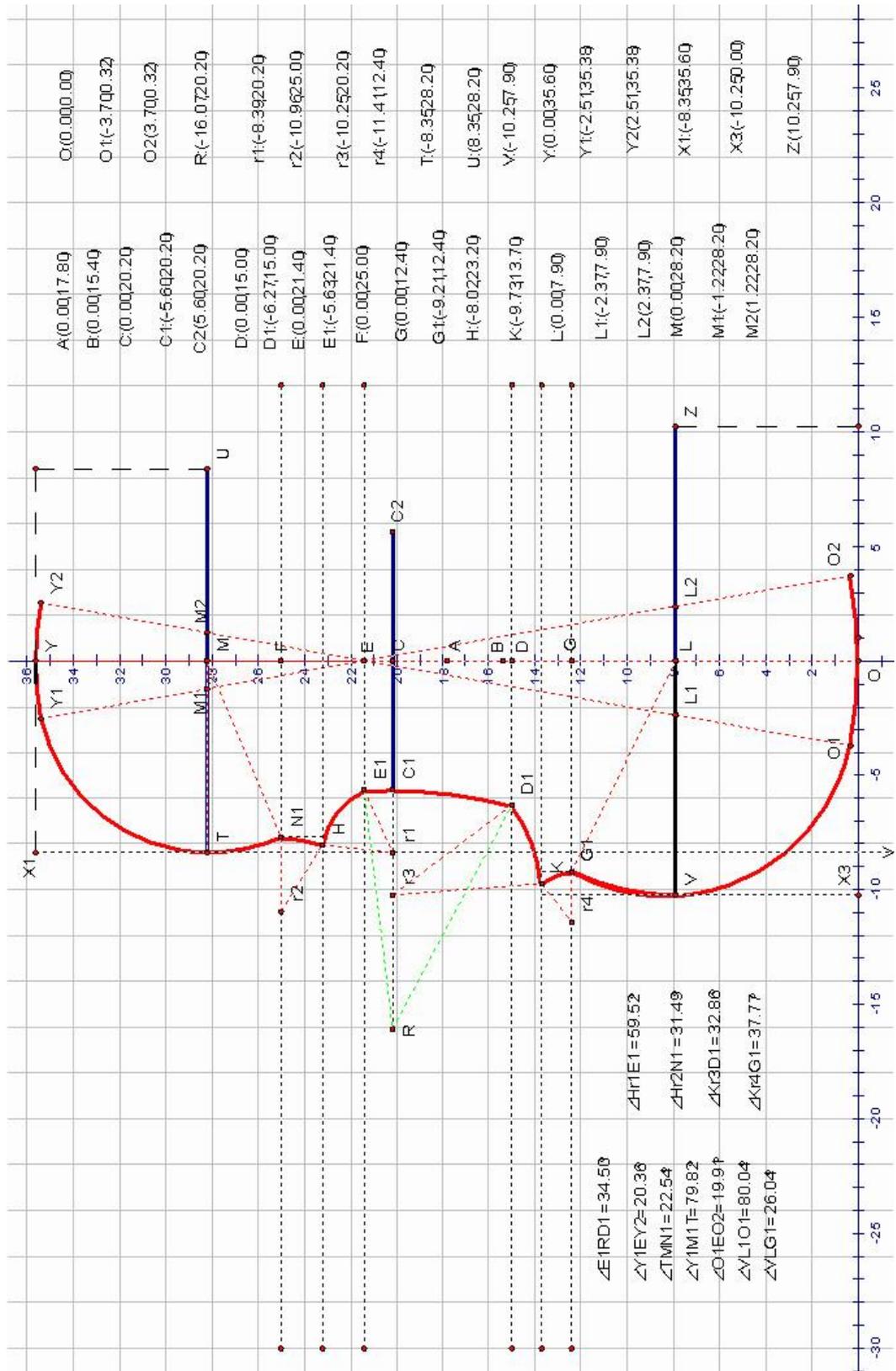


Figure 39. Reproduction de la structure du « Faisan d'or » selon la géométrie analytique

Dans la figure ci-dessus, j'ai d'abord créé un système de coordonnées $Y-O-X$, d'après les 27 démarches⁷² de ma méthode, puis je définis et trouve les repères de tous les points importants:

$O (0, 0)$ $Y (0, 35,6)$

$A (0, 17,8)$

$B (0, 15,4)$

$C (0, 20,2)$ $C_1 (-5,6, 20,2)$ $C_2 (5,6, 20,2)$

$D (0, 15)$ $D_1 (-6,27, 15)$

$E (0, 21,4)$ $E_1 (-5,3, 21,4)$

$F (0, 25)$

$G (0, 12,4)$ $G_1 (-9,2, 12,4)$

$H (-8,2, 23,2)$

$$-8,2 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } X1 + \text{coordonnées horizontales de } N1}{2}$$

$$23,2 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } E + \text{coordonnées longitudinales de } F}{2}$$

$K (-9,73, 13,70)$

$$-9,73 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } G1 + \text{coordonnées horizontales de } X3}{2}$$

$$13,70 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } D + \text{coordonnées longitudinales de } G}{2}$$

$L (0, 7,9)$ $L_1 (-2,37, 7,9)$ $L_2 (2,37, 7,9)$

$M (0, 28,2)$, $MI (-1,22, 28,2)$ $M_2 (1,22, 28,2)$

$O_1 (-3,7, 0,32)$ $O_2 (3,7, 0,32)$

$R (-16,7, 20,2)$

$r_1 (-8,39, 20,2)$

$r_2 (-0,96, 25)$

⁷² Cf. p.142-144.

$$r_3 (-10,25, 20,2)$$

$$r_4 (-11,41, 12,4)$$

$$T (-8,35, 28,2)$$

$$U (8,35, 28,2)$$

$$V (-10,25, 7,9)$$

$$Z (10,25, 7,9)$$

$$Y_1 (-2,5, 35,38), \quad Y_2 (2,51, 35,38)$$

$$X_1 (-8,35, 35,6) \quad X_3 (-10,25, 0)$$

Comme le repère d'un point se compose de la coordonnée horizontale X et la coordonnée longitudinale Y , nous pouvons calculer la distance entre deux points quelconques d'après la formule de géométrie analytique. Par exemple, le repère du point $A(X_1, Y_1)$, le repère du point $B(X_2, Y_2)$, la distance entre A et B est égale à :

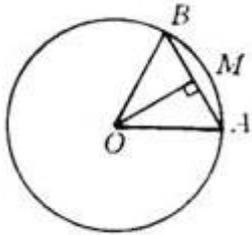
$$\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

D'après la formule mathématique, nous savons : $C = 2\pi \times r$, où C représente le périmètre d'un cercle et r correspond au rayon. En fait, l'arc de cercle fait partie du périmètre, ainsi la longueur d'un arc l est représentée comme :

$$l = C \times \frac{\theta}{360^\circ} \quad (\theta \text{ correspond au radian})$$

$$\Rightarrow l = 2\pi \times r \times \frac{\theta}{360^\circ}$$

$$\Rightarrow \theta = \frac{l \times 360^\circ}{2\pi r}$$



La figure ci-dessus nous montre les relations entre la longueur de l'arc AB (l), le rayon OA (r), la corde de l'arc AB (k) et l'angle AOB (θ).

$$\text{Ainsi, } \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\frac{k}{2}}{r} = \frac{k}{2r}$$

$$\Rightarrow \left[\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^2 = \frac{k^2}{4r^2}$$

D'après la fonction trigonométrique, nous savons que :

$$\left[\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^2 = \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

$$\text{Ainsi, } \frac{1 - \cos(\theta)}{2} = \frac{k^2}{4r^2}$$

$$\Rightarrow \cos(\theta) = 1 - \frac{2k^2}{4r^2}$$

En raison de l'unité de θ (le radian) et la valeur du cosinus de θ , je ne peux qu'estimer le degré d'angle de $\angle AOB$. Par conséquent, sur la figure 39⁷³ je trouve :

$$\angle E_1RD_1 \approx 34,5^\circ$$

⁷³ Cf. la figure 36, p. 160.

$$\angle Y_1 E Y_2 = 20,36^\circ \approx 20^\circ$$

$$\angle Y_1 M_1 T = 79,82^\circ \approx 80^\circ$$

$$\angle T M N_1 = 22,54^\circ \approx 23^\circ$$

$$\angle O_1 E O_2 = 19,91^\circ \approx 20^\circ$$

$$\angle V L_1 O_1 = 80,04^\circ \approx 80^\circ$$

$$\angle V L G_1 = 26,04^\circ \approx 26^\circ$$

En général, le moule intérieur ne possède pas les formes des quatre coins du violon à cause de personnalités. Ayant fait les calculs je trouve qu'il est probable que r_1 et r_3 soient sur la ligne prolongée de $C-C_1$, r_2 est sur la ligne prolongée de $F-N_1$, r_4 est sur la ligne prolongée de $G-G_1$. Leurs angles caractéristiques sont respectivement les suivantes :

$$\angle H r_1 E_1 = 59,52^\circ \approx 60^\circ$$

$$\angle H r_2 N_1 = 31,49^\circ \approx 31^\circ$$

$$\angle K r_3 D_1 = 32,86^\circ \approx 33^\circ$$

$$\angle K r_4 G_1 = 37,77^\circ \approx 38^\circ$$

4.2 Analyse de la structure du violon n°2501 «Saint-Jean»

Afin de vérifier ma méthode d'analyse, j'ai ensuite analysé la structure du «Saint-Jean».

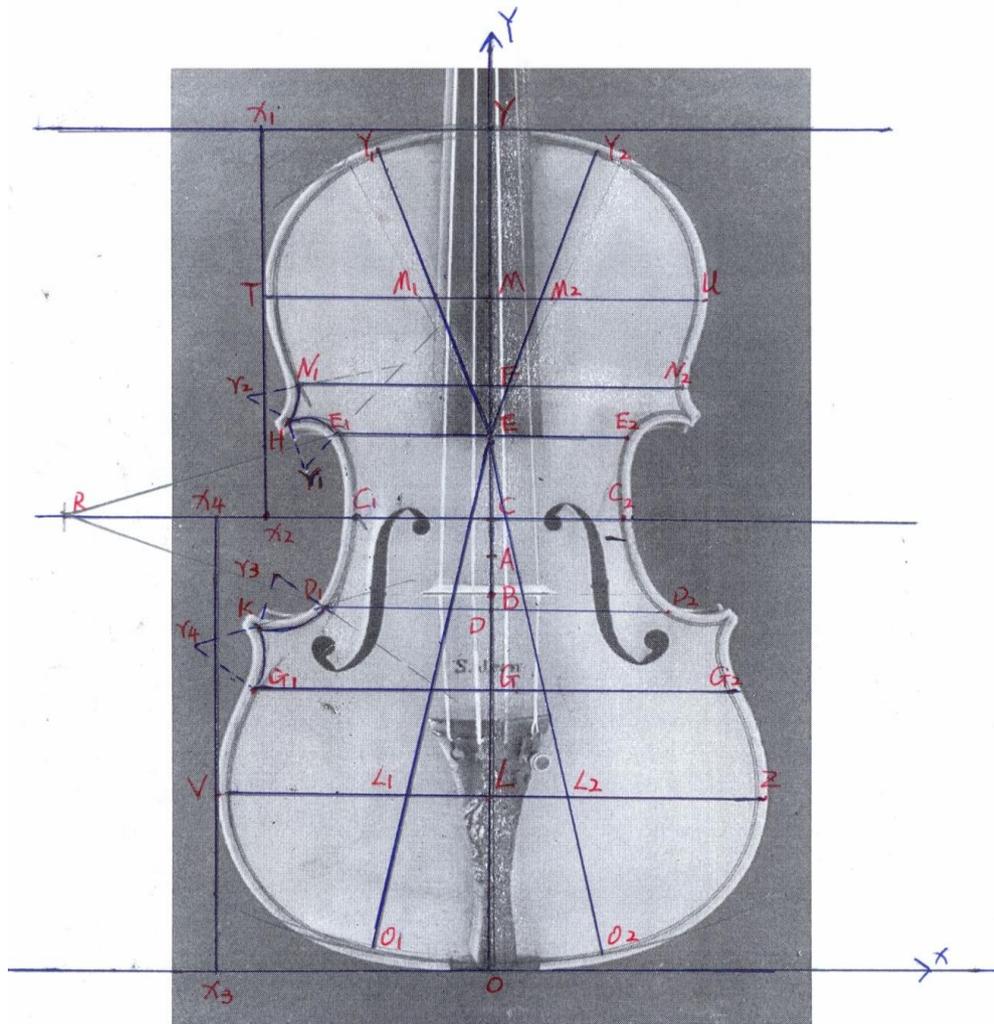


Figure 40. Analyse de la structure de «Saint-Jean»

D'après les données réelles issues du «Saint-Jean», nous en connaissons les dimensions suivantes:

Longueur de la caisse = 356 mm

Largeur supérieure = 168 mm

Largeur médiane = 114 mm

Largeur inférieure = 208 mm

Dans la figure 40, j'ai calculé que :

Longueur de $YO = 152,2$ mm

Largeur supérieure de $TU = 72$ mm

Largeur inférieure de $VZ = 89,2$ mm

Ainsi,

$$\frac{\text{longueur réelle}}{\text{longueur de } YO} = \frac{356}{152} \approx 2,342$$

$$\frac{\text{largeur supérieure réelle}}{\text{largeur de } TU} = \frac{168}{71,8} \approx 2,339$$

$$\frac{\text{largeur inférieure réelle}}{\text{largeur de } VZ} = \frac{208}{89} \approx 2,337$$

En raison de la règle de cinq, ici j'ai choisi la valeur 2,34 comme le coefficient de proportion pour calculer les données réelles du «Saint-Jean».

$$YA = 76 \times 2,34 = 177,84 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OA = 76 \times 2,34 = 177,84 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OY = OA + AY = 178 + 178 = 356 \text{ mm}$$

$$OL = 31,5 \times 2,34 = 73,71 \text{ mm} \approx 74 \text{ mm}$$

$$OG = 51 \times 2,34 = 119,34 \text{ mm} \approx 119 \text{ mm}$$

$$OD = 66 \times 2,34 = 154,44 \text{ mm} \approx 154 \text{ mm}$$

$$OB = 68 \times 2,34 = 159,12 \text{ mm} \approx 159 \text{ mm}$$

$$AB = OA - OB = 178 - 159 = 19 \text{ mm}$$

$$AB = AC$$

$$OC = OA + AB = 178 + 19 = 197 \text{ mm}$$

$$OE = 97 \times 2,34 = 226,98 \text{ mm} \approx 227 \text{ mm}$$

$$YE = OY - OE = 356 - 227 = 129 \text{ mm}$$

$$YF = 46 \times 2,34 = 107,64 \text{ mm} \approx 108 \text{ mm}$$

$$OF = OY - YF = 356 - 108 = 248 \text{ mm}$$

$$YF = R-C_1$$

$$R-C_1 = 108 \text{ mm}$$

$$OM = 122 \times 2,34 = 285,48 \text{ mm} \approx 285 \text{ mm}$$

$$YM = OY - OM = 356 - 285 = 71 \text{ mm}$$

$$N_1-N_2 = 63,2 \times 2,34 = 147,88 \text{ mm} \approx 148 \text{ mm}$$

$$G_1-G_2 = 79 \times 2,34 = 184,86 \text{ mm} \approx 185 \text{ mm}$$

$$TU = 72 \text{ mm}$$

$$MT = \frac{1}{2} TU = 36 \text{ mm}$$

$$Y-X_1 = \frac{1}{2} TU = 36 \text{ mm}$$

$$VZ = 87,5 \text{ mm}$$

$$LV = \frac{1}{2} VZ = 43,75 \text{ mm}$$

$$O-X_3 = \frac{1}{2} VZ = 43,75 \text{ mm}$$

D'après les analyses et les données ci-dessus, j'ai reproduit la structure réelle du violon «Saint-Jean ».

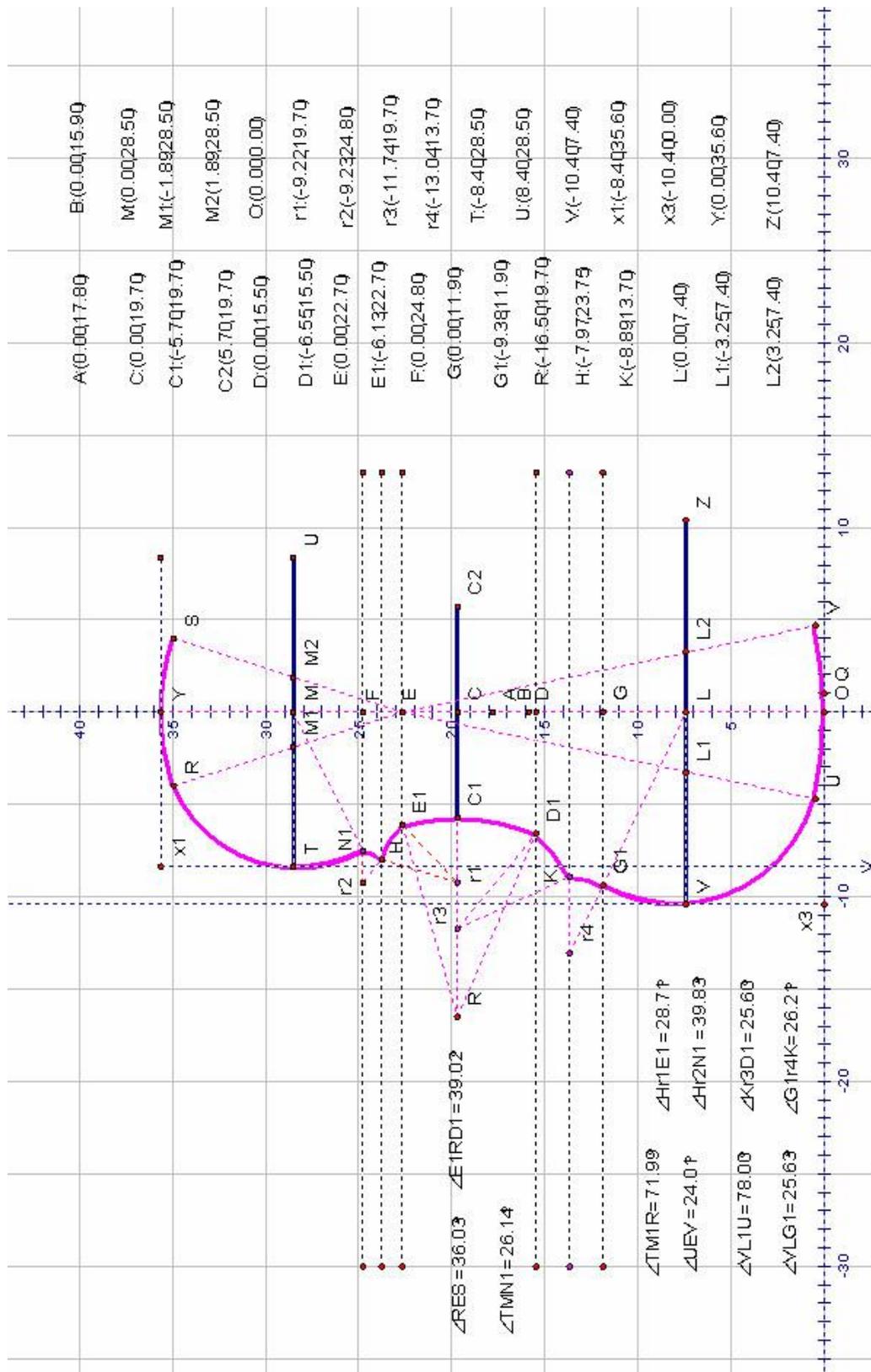


Figure 41. Reproduction de la structure du « Saint-Jean » selon la géométrie analytique

En même temps, j'ai calculé et trouvé tous les repères des points importants :

$$O (0, 0) \quad Y (0, 35,6)$$

$$A (0, 17,8)$$

$$B (0, 15,9)$$

$$C (0, 19,7) \quad C_1 (-5,7, 19,7) \quad C_2 (5,7, 19,7)$$

$$D (0, 15,5) \quad D_1 (-6,55, 15,5)$$

$$E (0, 22,7) \quad E_1 (-6,13, 22,7)$$

$$F (0, 24,8)$$

$$G (0, 11,9) \quad G_1 (-9,38, 11,9)$$

$$H (-7,97, 23,75)$$

$$-7,97 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } X1 + \text{coordonnées horizontales de } N1}{2}$$

$$23,75 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } E + \text{coordonnées longitudinales de } F}{2}$$

$$K (-9,89, 13,70)$$

$$-9,89 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } G1 + \text{coordonnées horizontales de } X3}{2}$$

$$13,70 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } D + \text{coordonnées longitudinales de } G}{2}$$

$$L (0, 7,4) \quad L_1 (-3,25, 7,4) \quad L_2 (3,25, 7,4)$$

$$M (0, 28,5), \quad M1 (-1,89, 28,5) \quad M_2 (1,89, 28,5)$$

$$O_1 (-4,72, 0,5) \quad O_2 (4,72, 0,5)$$

$$R (-16,5, 19,7)$$

$$r_1 (-9,22, 19,7)$$

$$r_2 (-9,23, 24,8)$$

$$r_3 (-11,74, 19,7)$$

$$r_4 (-13,04, 13,7)$$

$T(-8,4, 28,5)$

$U(8,4, 28,5)$

$V(-10,25, 7,9)$

$Z(10,25, 7,9)$

$Y_1(-3,99, 34,97), Y_2(3,99, 34,97)$

$X_1(-8,4, 35,6) X_3(8,4, 35,6)$

$\angle Hr_1E_1 = 28.7^\circ \approx 29^\circ$

$\angle Hr_2N_1 = 39.83^\circ \approx 40^\circ$

$\angle Kr_3D_1 \approx 36^\circ$

$\angle Kr_4G_1 = 37.77^\circ \approx 38^\circ$

$\angle E_1RD_1 = 39.02^\circ \approx 39^\circ$

$\angle Y_1EY_2 = 36.03^\circ \approx 36^\circ$

$\angle TMN_1 = 26.14^\circ \approx 26^\circ$

$\angle Y_1M_1T = 71.99^\circ \approx 72^\circ$

$\angle O_1EO_2 = 24.01^\circ \approx 24^\circ$

$\angle VL_1O_1 \approx 78^\circ$

$\angle VLG_1 = 25.63^\circ \approx 26^\circ$

4.3 Analyse de la structure du violon n°2502 «Saint-Marc»

Ayant calculé les deux violons précédents, je sais désormais que mon analyse est admissible. J'ai donc continué à analyser la structure du violon «Saint-Marc».

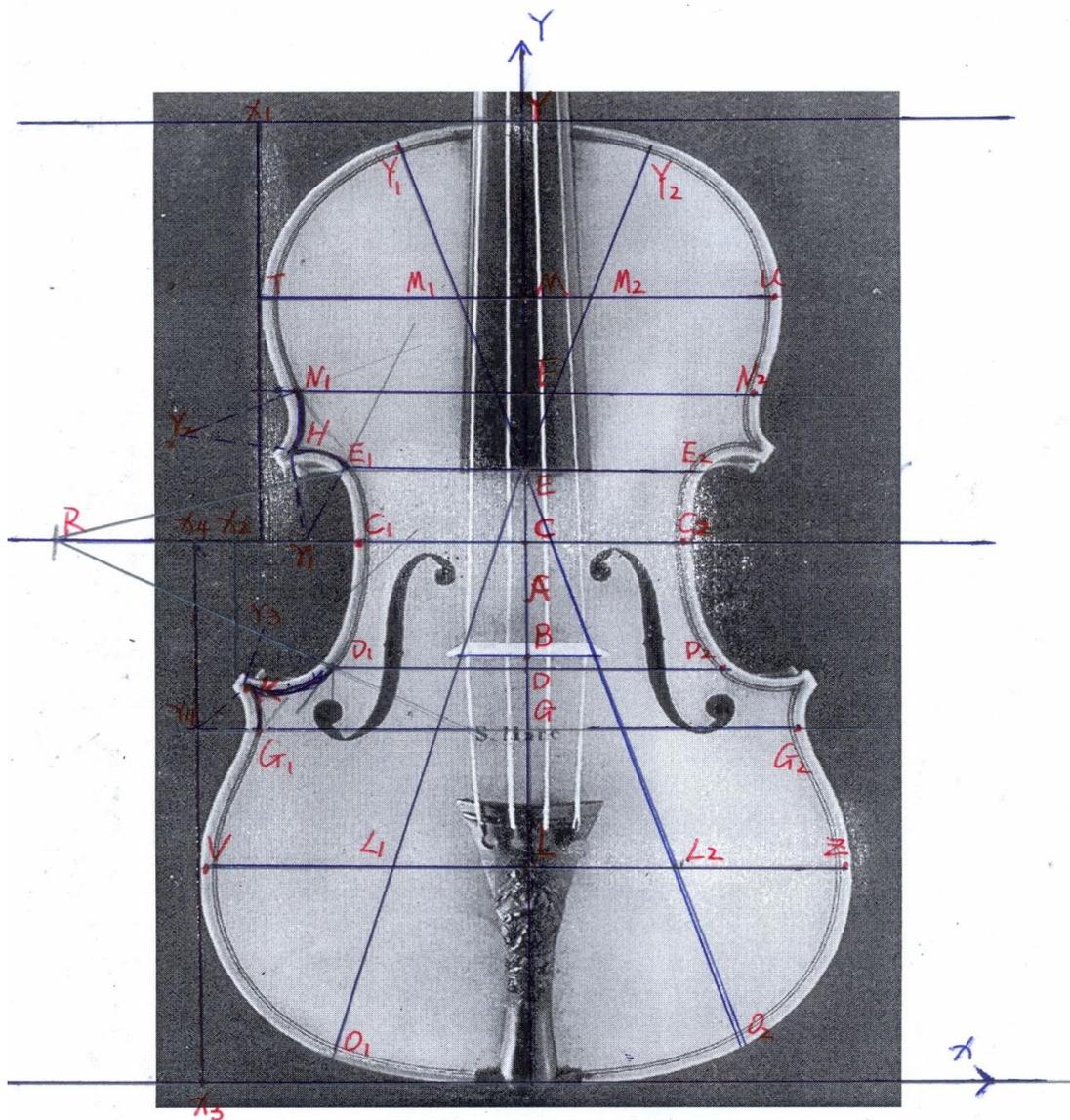


Figure 42, analyse de la structure de «Saint-Marc»

D'après les données réelles issues du «Saint-Marc», nous connaissons les dimensions suivantes de cet instrument :

Longueur de la caisse = 356 mm

Largeur supérieure = 167mm

Largeur médiane = 112 mm

Largeur inférieure = 207 mm

Dans la figure ci-dessus, j'ai calculé que :

Longueur de YO = 155 mm

Largeur supérieure de TU = 73 mm

Largeur inférieure de VZ = 92 mm

Ainsi,

$$\frac{\text{longueur réelle}}{\text{longueur de YO}} = \frac{356}{155} = 2,296 \approx 2,3$$

$$\frac{\text{largeur supérieure réelle}}{\text{largeur de TU}} = \frac{167}{73} = 2,287 \approx 2,3$$

$$\frac{\text{largeur inférieure réelle}}{\text{largeur de de VZ}} = \frac{207}{91} = 2,274 \approx 2,3$$

Ici, j'ai pris la valeur 2,3 comme le coefficient de proportion pour calculer les données réelles du «Saint-Marc».

$$YA = 77,5 \times 2,3 = 178,25 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OA = 77,5 \times 2,3 = 178,25 \text{ mm} \approx 178 \text{ mm}$$

$$OY = OA + AY = 178 + 178 = 356 \text{ mm}$$

$$OL = 35 \times 2,3 = 80,5 \text{ mm} \approx 81 \text{ mm}$$

$$OG = 57 \times 2,3 = 131,1 \text{ mm} \approx 131 \text{ mm}$$

$$OD = 67 \times 2,3 = 154,1 \text{ mm} \approx 154 \text{ mm}$$

$$OB = 68,5 \times 2,3 = 157,55 \text{ mm} \approx 158 \text{ mm}$$

$$AB = OA - OB = 178 - 158 = 20 \text{ mm}$$

$$AB = AC$$

$$OC = OA + AB = 178 + 20 = 198 \text{ mm}$$

$$OE = 98 \times 2,3 = 225,4 \text{ mm} \approx 225 \text{ mm}$$

$$YE = OY - OE = 356 - 225 = 131 \text{ mm}$$

$$YF = 44 \times 2,3 = 101,2 \text{ mm} \approx 101 \text{ mm}$$

$$OF = OY - YF = 356 - 101 = 255 \text{ mm}$$

$$YF = RC_1 = 101 \text{ mm}$$

$$OM = 126 \times 2,3 = 289,8 \text{ mm} \approx 290 \text{ mm}$$

$$YM = OY - OM = 356 - 290 = 66 \text{ mm}$$

$$N_1N_2 = 67 \times 2,3 = 154,1 \text{ mm} \approx 154 \text{ mm}$$

$$G_1G_2 = 80 \times 2,3 = 184 \text{ mm}$$

$$TU = 73 \text{ mm}$$

$$MT = \frac{1}{2} TU = 36,5 \text{ mm}$$

$$YX_1 = \frac{1}{2} TU = 36,5 \text{ mm}$$

$$VZ = 92 \text{ mm}$$

$$LV = \frac{1}{2} VZ = 46 \text{ mm}$$

$$OX_3 = \frac{1}{2} VZ = 46 \text{ mm}$$

D'après ces analyses, j'ai dessiné et reproduit (à l'échelle 1 : 1) la structure réelle du violon «Saint-Marc ».

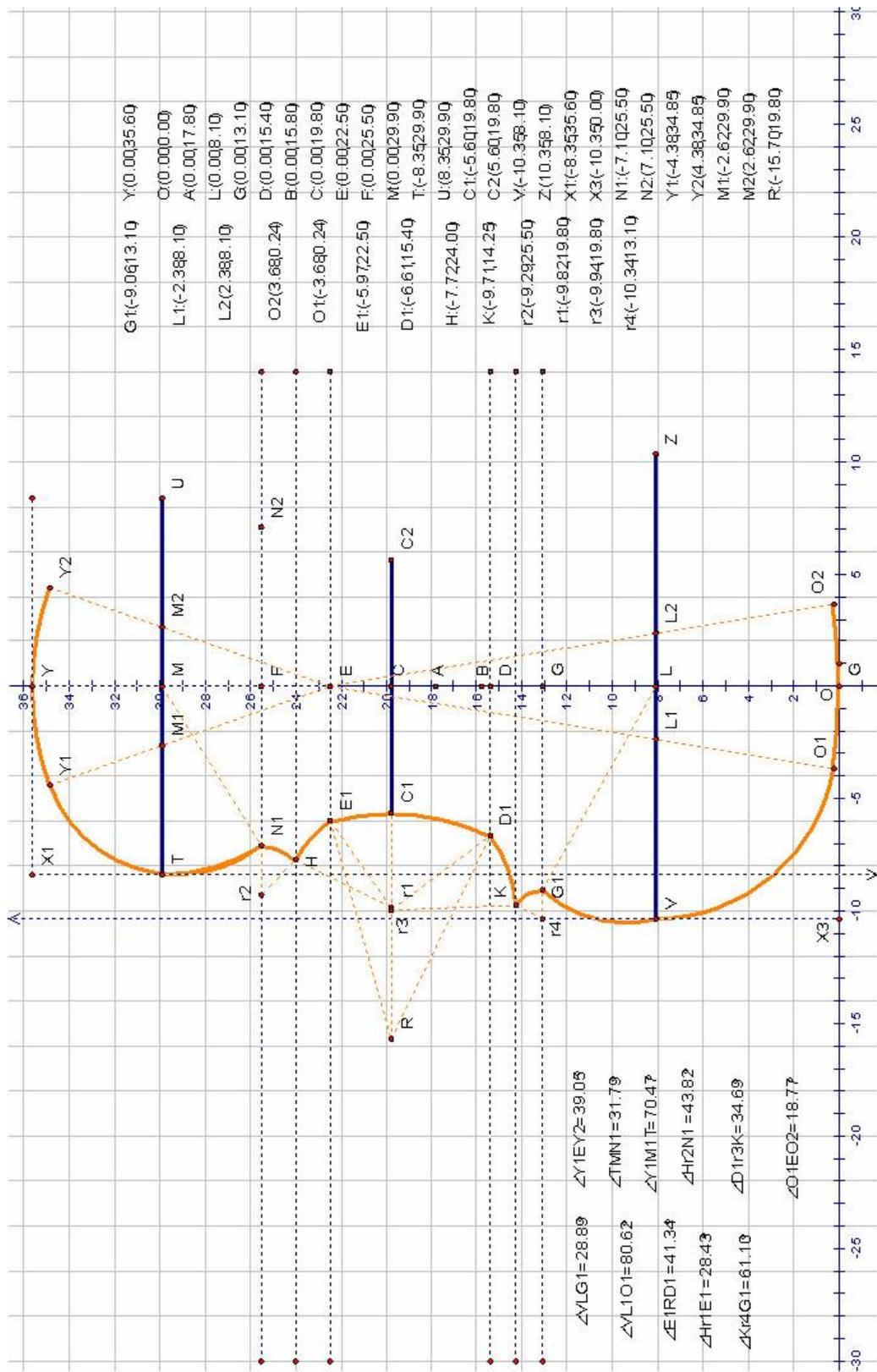


Figure 43. Reproduction de la structure du « Saint-Marc »

Dans la figure ci-dessus, j'ai trouvé et défini les repères des points importants :

$$O (0, 0) \quad Y (0, 35,6)$$

$$A (0, 17,8)$$

$$B (0, 15,8)$$

$$C (0, 19,8) \quad C_1 (-5,6, 19,8) \quad C_2 (5,6, 19,8)$$

$$D (0, 15,4) \quad D_1 (-6,61, 15,4)$$

$$E (0, 22,5) \quad E_1 (-5.9, 22,5)$$

$$F (0, 25,5)$$

$$G (0, 13,91) \quad G_1 (-9,06, 13,1)$$

$$H (-7,73, 24)$$

$$-7,73 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } X1 + \text{coordonnées horizontales de } N1}{2}$$

$$24 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } E + \text{coordonnées longitudinales de } F}{2}$$

$$K (-9,7, 14,25)$$

$$-9,7 = \frac{\text{coordonnées horizontales de } G1 + \text{coordonnées horizontales de } X3}{2}$$

$$14,25 = \frac{\text{coordonnées longitudinales de } D + \text{coordonnées longitudinales de } G}{2}$$

$$L (0, 8,1) \quad L_1 (-2,38, 8,1) \quad L_2 (2,38, 8,1)$$

$$M (0, 29,9), \quad M_1 (-2.62, 29,9) \quad M_2 (2,62, 29,9)$$

$$O_1 (-3.68, 0,24) \quad O_2 (3,68, 0,24)$$

$$R (-15,7, 19,8)$$

$$r_1 (-9,82, 19,8)$$

$$r_2 (-9,29, 25,5)$$

$$r_3 (-9,94, 19,8)$$

$$r_4 (-10,34, 13,10)$$

$$T(-8,35, 29,9)$$

$$U(8,35, 29,9)$$

$$V(-10,35, 8,1)$$

$$Z(10,35, 8,1)$$

$$Y_1(-4,38, 34,85), \quad Y_2(4,38, 34,85)$$

$$X_1(-8,35, 35,6) \quad X_3(8,35, 35,6)$$

$$\angle Hr_1E_1 = 28.43^\circ \approx 28^\circ$$

$$\angle Hr_2N_1 = 43.82^\circ \approx 44^\circ$$

$$\angle Kr_3D_1 = 34.69^\circ \approx 35^\circ$$

$$\angle Kr_4G_1 = 61.1^\circ \approx 61^\circ$$

$$\angle E_1RD_1 = 41.34^\circ \approx 41^\circ$$

$$\angle Y_1EY_2 = 39.05^\circ \approx 39^\circ$$

$$\angle TMN_1 = 31.79^\circ \approx 32^\circ$$

$$\angle Y_1M_1T = 70.47^\circ \approx 70^\circ$$

$$\angle O_1EO_2 = 18.77^\circ \approx 19^\circ$$

$$\angle VL_1O_1 = 80.62^\circ \approx 81^\circ$$

$$\angle VLG_1 = 28.89^\circ \approx 29^\circ$$

Dans les sections 4.1, 4.2 et 4.3, j'ai essayé de reproduire les trois violons de Vuillaume et d'obtenir les données corrélatives. Malheureusement, je ne peux pas établir leur modèle mathématique en 3 dimensions, car jusqu'à aujourd'hui nous n'avons pas encore trouvé des documentations sur leur voûte de table et celles du fond. Par conséquent, dans la section ci-dessous j'analyserai leur caractéristique en proportion d'après leurs données.

4.4 Les caractéristiques des violons de Vuillaume par rapport au moule G de Stradivarius

Dans la première partie de ma thèse, j'ai résumé les caractéristiques du Moule G de Stradivarius. Par exemple, le moule G se compose de 5 parties, chacune se divise par la diagonale du pentagone régulier. A partir de 1700, Stradivarius utilise généralement ce dessin pour fabriquer les violons.

Afin de bien analyser les caractéristiques des violons issus de la conception de Vuillaume, j'ai créé un tableau dans lequel les paramètres du Moule G émanent de la Figure 12⁷⁴, pour observer et comparer la structure entre Vuillaume et Stradivarius.

Paramètres \ Violon	Moule G de Stradivarius	Faisan d'or	Saint-Jean	Saint-Marc
Longueur (OY)	362,7 mm	356 mm	356 mm	356 mm
Largeur supérieure (TU)	161,2 mm	167 mm	168 mm	167 mm
Largeur médiane (C ₁ C ₂)	107,4 mm	112 mm	114 mm	112 mm
Largeur inférieure (VZ)	201,5 mm	205 mm	208 mm	207 mm
$\frac{\text{Largeur supérieure}}{\text{Longueur}}$ $= \frac{TU}{OY}$	$\frac{161,2}{362,7} \approx 0,444$ $\approx 44 \%$	$\frac{167}{356} \approx 0,469$ $\approx 47 \%$	$\frac{168}{356} \approx 0,471$ $\approx 47 \%$	$\frac{167}{356} \approx 0,469$ $\approx 47 \%$
$\frac{\text{Largeur médiane}}{\text{Longueur}}$ $= \frac{C_1 - C_2}{OY}$	$\frac{107,4}{362,7} \approx 0,296$ $\approx 30 \%$	$\frac{112}{356} \approx 0,314$ $\approx 31 \%$	$\frac{114}{356} \approx 0,320$ $\approx 32 \%$	$\frac{112}{356} \approx 0,314$ $\approx 31 \%$
$\frac{\text{Largeur inférieure}}{\text{Longueur}}$ $= \frac{VZ}{OY}$	$\frac{201,5}{362,7} \approx 0,555$ $\approx 56 \%$	$\frac{205}{356} \approx 0,578$ $\approx 58 \%$	$\frac{208}{356} \approx 0,584$ $\approx 58 \%$	$\frac{207}{356} \approx 0,581$ $\approx 58 \%$

⁷⁴ Cf. figure 12, p. 50.

$\frac{\text{Largeur supérieur}}{\text{Largeur inférieure}}$ $= \frac{TU}{VZ}$	$\frac{161,2}{201,5} = 0,8$ $= 80\% = \frac{4}{5}$	$\frac{167}{205} \approx 0,814 \approx$ $81\% \approx \frac{4}{5}$	$\frac{168}{208} \approx 0,8076$ $\approx 80\% = \frac{4}{5}$	$\frac{167}{207} \approx 0,806$ $\approx 80\% = \frac{4}{5}$
$\frac{\text{Largeur médiane}}{\text{Largeur inférieure}}$ $= \frac{C1-C2}{VZ}$	$\frac{107,4}{201,5} \approx 0,533$ $\approx 53\%$	$\frac{112}{205} \approx 0,546$ $\approx 55\%$	$\frac{114}{208} \approx 0,548$ $\approx 55\%$	$\frac{112}{207} \approx 0,541$ $\approx 54\%$
<i>OL</i>	77,5 mm	79 mm	74 mm	81 mm
$\frac{OL}{\text{longueur}} = \frac{OL}{OY}$	$\frac{77,5}{362,7} \approx 0,2136$ $\approx 21\%$	$\frac{79}{356} \approx 0,221$ $\approx 22\%$	$\frac{74}{356} \approx 0,207$ $\approx 20\%$	$\frac{81}{356} \approx 0,227$ $\approx 23\%$
<i>OC</i>	206,15 mm	202 mm	197 mm	198 mm
$\frac{OC}{\text{longueur}} = \frac{OC}{OY}$	$\frac{206,15}{362,7} \approx 0,5683$ $\approx 57\%$	$\frac{202}{356} \approx 0,567$ $\approx 57\%$	$\frac{197}{356} \approx 0,553$ $\approx 55\%$	$\frac{198}{356} \approx 0,556$ $\approx 56\%$
<i>EY</i>		142 mm	129 mm	131 mm
<i>EO</i>		214 mm	227 mm	225 mm
$\frac{EY}{\text{longueur}} = \frac{EY}{OY}$		$\frac{142}{356} \approx 0,3988$ $\approx 40\%$	$\frac{129}{356} \approx 0,362$ $\approx 36\%$	$\frac{131}{356} \approx 0,3679$ $\approx 37\%$
$\frac{EO}{\text{longueur}} = \frac{EO}{OY}$		$\frac{214}{356} \approx 0,601$ $\approx 60\%$	$\frac{227}{356} \approx 0,637$ $\approx 64\%$	$\frac{225}{356} \approx 0,632$ $\approx 63\%$
$\frac{EY}{EO}$		$\frac{40\%}{60\%} = \frac{2}{3}$ $\approx 66,6\%$	$\frac{36\%}{64\%} = \frac{9}{16}$ $\approx 56,25\%$	$\frac{37}{63}$ $\approx 58,73\%$
<i>MY</i>	65,1 mm	74 mm	71 mm	57 mm
$\frac{MY}{OY}$	$\frac{65,1}{362,7}$ $\approx 0,17948$ $\approx 18\%$	$\frac{74}{356}$ $\approx 0,207$ $\approx 20\%$	$\frac{71}{356}$ $\approx 0,1997$ $\approx 20\%$	$\frac{57}{356}$ $\approx 0,1997$ $\approx 16\%$
<i>YF</i>	93 mm	106 mm	108 mm	101 mm
$\frac{YF}{OY}$	$\frac{93}{362,7} \approx 0,2564$ $\approx 26\%$	$\frac{106}{356} \approx 0,297$ $\approx 30\%$	$\frac{108}{356} \approx 0,303$ $\approx 30\%$	$\frac{101}{356} \approx 0,2837$ $\approx 28\%$

<i>OG</i>	130,2 mm	124 mm	119 mm	131 mm
$\frac{OG}{OY}$	$\frac{130,2}{362,7} \approx 0,3589$ $\approx 36\%$	$\frac{124}{356} \approx 0,348$ $\approx 35\%$	$\frac{119}{356} \approx 0,334$ $\approx 33\%$	$\frac{131}{356} \approx 0,3679$ $\approx 37\%$
$\angle Y_1 E Y_2 = \angle 3 E 4$	30°	20,36°	36,03°	39,05°
$\angle Y_1 M_1 T$	70°	79,82° \approx 80°	71,99° \approx 72°	70,47° \approx 70°
$\angle T M N_1$	20°	22,54°	26,14°	31,79°
$\angle O_1 E O_2$	20°	19,91° \approx 20°	24,01° \approx 24°	18,77° \approx 19°
$\angle V L_1 O_1$	80°	80,04° \approx 80°	78°	80,62° \approx 81°
$\angle V L G_1$	28°	26,04° \approx 26°	25,63°	28,89° \approx 29°
$\angle H r_1 E_1$		59,52° \approx 60°	28,71° \approx 29°	28,43° \approx 28°
$\angle H r_2 N_1$		31,49°	39,83° \approx 40°	43,84° \approx 44°
$\angle K r_3 D_1$		32,86° \approx 33°	36°	34,69° \approx 35°
$\angle K r_4 G_1$		37,77°	45°	61,1° \approx 61°
$\angle D_1 R G_1$	43°	30°	39,02° \approx 39°	41,34° \approx 41°

Comme le moule G se compose de 5 parties, dans la Figure 12⁷⁵ le point E ne se trouve pas au bout de la touche, et je ne peux pas calculer la longueur de la touche du moule G sur la caisse. Qui plus est, le moule G n'a pas défini la forme des quatre coins, je ne peux donc pas calculer : $\angle H r_1 E_1$, $\angle H r_2 N_1$, $\angle K r_3 D_1$, et $\angle K r_4 G_1$. Ce sont les défauts du moule G.

Dans la première partie, j'ai résumé les caractéristiques de la structure du moule G de Stradivarius, et j'ai répondu à la première question de ma problématique à travers l'analyse du cercle, celle du pentagone et celle de la proportion : Est-ce que Stradivarius utilise un principe mathématique commun à l'ensemble de ses violons ?

Maintenant, j'essaie de répondre à la deuxième question : Jean Baptiste Vuillaume était-il uniquement copiste de Stradivarius ? et de répondre à la troisième question : Quelles influences ont eu les violons de Stradivarius fabriqué à partir du

⁷⁵ Cf. p. 50.

moule G sur ceux de Vuillaume ?

Au vue de la deuxième question, ma réponse est que non seulement il est copiste de Stradivarius, mais également très inspiré par la structure du moule G pour l'élaboration de son propre modèle. Dans le tableau précédent, j'ai observé :

Paramètres \ Violon	Moule G de Stradivarius	Faisan d'or	Saint-Jean	Saint-Marc
$\frac{\text{Largeur supérieure}}{\text{Longueur}}$	44 %	47 %	47 %	47 %
$\frac{\text{Largeur médiane}}{\text{Longueur}}$	30 %	31 %	32 %	31 %
$\frac{\text{Largeur inférieure}}{\text{Longueur}}$	56%	58 %	58 %	58 %
$\frac{\text{Largeur supérieur}}{\text{Largeur inférieure}}$	$80\% = \frac{4}{5}$	$81\% \approx \frac{4}{5}$	$80\% = \frac{4}{5}$	$80\% = \frac{4}{5}$
$\frac{\text{Largeur médiane}}{\text{Largeur inférieure}}$	53%	55 %	55%	54 %

Bien que les mesures des quatre violons soient différentes, les résultats des tableaux ci-dessus sont assez proches et il existe un certain rapport entre les mathématiques et la tradition de l'école crémonaise. Par exemple, la proportion entre la largeur supérieure et la largeur inférieure est égale à $\frac{4}{5}$, c'est le style typique de l'école crémonaise⁷⁶.

Evidemment, toutes les proportions corrélatives à la longueur et à la largeur du « Faisan d'or », du « Saint-Jean » et du « Saint-Marc » sont presque identiques. Et celles-ci sont un peu plus grandes que celles du moule G de Stradivarius. Mais je considère quand même que Vuillaume s'est référé à la conception de Stradivarius, sinon nous ne pouvons pas expliquer pourquoi certains rapports longueur/ largeur des violons de Villaume s'approchent tellement du style de Stradivarius.

Quant à la conception des points importants tels que le point *G*, le point *L*, le point *E*, le point *M*, Vuillaume a eu des nouvelles compréhensions et les a mises en

⁷⁶ CHEN Yuanguang (陈元光), *op. cit.*, p. 5.

place. Par exemple, le point E correspond à l'extrémité de la touche sur la caisse et il n'a pas été conçu sur le modèle de Stradivarius. De plus, l'emplacement d'A, de B et de C est en rapport : la position d'A correspond au centre de la médiatrice longitudinale de la caisse et la dimension entre AB et AC est égale ; le point B se trouve la position du chevalet, ainsi, on acquiert la position de C qui correspond également au centre du tracé C_1C_2 . C'est-à-dire que l'on trouve la largeur médiane à travers la position du point C. Si nous n'avions pas calculé et analysé des positions des points importants, probablement nous aurions pensé que l'aspect de ces quartes modèles semblent identique. En fait, leur modèle est différent à cause des dimensions entre les points importants telles que l'intervalle d'EY, d'OG, d'FY, etc. Ainsi, je fais le tableau ci-dessous pour les montrer et comparer :

Paramètres \ Violon	Moule G de Stradivarius	Faisan d'or	Saint-Jean	Saint-Marc
<i>EY</i>		142 mm	129 mm	131 mm
<i>EO</i>		214 mm	227 mm	225 mm
$\frac{EY}{EO}$		66,6 %	56,25%	58,73%
<i>OG</i>	130,2 mm	124 mm	119 mm	131 mm

Vu les causes précédentes, je pense que Jean-Baptiste Vuillaume n'était pas qu'un copiste de Stradivarius, il est aussi novateur par rapport à la structure du violon. En ce qui concerne la troisième question : quelles influences ont eu les violons de Stradivarius fabriqué à partir du moule G sur ceux de Vuillaume? Je vais répondre à cette question à travers trois aspects.

I. Moule

Evidemment, le dessin technique du moule détermine l'aspect du violon. Non seulement c'est la première démarche de la fabrication mais également un des éléments importants de la sonorité et de l'esthétique.

Comme nous le lisons, Sacconi pense que les luthiers de l'école crémonaise, surtout Nicolo Amati et Stradivarius, ont utilisé le triangle d'or et le rectangle d'or pour définir les points importants, les proportions intérieures et les dimensions de chaque partie du moule. De plus, il a réussi à analyser et à reproduire la structure du moule G de Stradivarius⁷⁷. En 2005, Brooks et Degrotte ont projeté leurs analyses sur la structure du moule G, et ils ont démontré le rapport entre les points importants et les dimensions des 5 parties selon le cercle et le pentagone régulier. Que ce soit l'analyse de Sacconi ou celle de Brooks et Degrotte, il est évident qu'ils ont utilisé la proportion pour expliquer la structure, soit le triangle d'or, soit le pentagone.

Ayant analysé la structure du moule G selon la proportion et les figures géométriques dont le cercle, le triangle d'or et le pentagone⁷⁸, je pense que la proportion est une méthode scientifique pour définir le dessin technique du moule G. En réalité à l'époque de Stradivarius, il n'y avait pas d'outil de précision pour le dessin. La règle à centimètre, la règle à millimètre et le compas précis n'ont fait leur apparition qu'au XIX^e siècle. En général, les anciens luthiers ont fabriqué leur instrument à corde avec leur propre outil rudimentaire et unités de mesure. De ce fait, aujourd'hui nous ne pouvons pas encore expliquer pourquoi la longueur de la caisse du moule G de Stradivarius mesure 365 mm, nous ne pouvons confirmer que sa conception profite des proportions mathématiques. Dans le secteur des lutheries, certains pensent que les unités de mesures de Stradivarius concernent la longueur de son avant-bras. Malheureusement, aucune documentation historique ne peut l'attester. Bien que la proportion et la conception géométrique suffisent au dessin technique du violon et à la nécessité esthétique, le moule G nous pose encore un problème : il ne

⁷⁷ Cf. Figure 12, p. 50.

⁷⁸ Cf. Figure 20, p. 71.

défini pas les formes des quatre coins du violon. De ce fait, les formes des quatre coins et des échancrures des violons de Stradivarius sont variées.

Par rapport à la structure du moule G de Stradivarius, les moules de Vuillaume comportent la forme des quatre coins. De plus, que ce soit le moule intérieur⁷⁹ ou le moule extérieur⁸⁰, ils se composent d'une partie unique au lieu de 5 parties. Par conséquent, le procédé de fabrication de Vuillaume est plus simple et plus rapide que celui de Stradivarius, surtout pour le moule extérieur. Mais, il existe un défaut sur le violon fabriqué par le moule extérieur, les éclisses ne peuvent pas bien se former, de ce fait, les luthiers ont graduellement abandonné le moule extérieur. En revanche, le modèle du moule intérieur de Vuillaume s'est largement propagé en raison de son efficacité et sa qualité. Aujourd'hui, la plupart de luthiers se servent encore de ce type, mais celui de Stradivarius a progressivement disparu.

II. Dessin technique

Lorsque Vuillaume a commencé à réfléchir à la structure de son violon, il s'est référé à celle du moule G. A travers les observations de tous les tableaux précédents, je découvre que plusieurs proportions de son violon sont vraiment très proches de celles du moule G. Par exemple, les proportions entre largeur médiane et longueur, entre largeur supérieure et largeur inférieure, entre largeur médiane et largeur inférieure, etc. Mais il existe également des différences, par exemple, la position du point *E* et sa proportion relative, la position du point *B*, etc. Bien que plusieurs mesures correspondent aux paramètres du moule G, je pense que Vuillaume n'a pas utilisé le nombre d'or et le pentagone régulier. Ayant analysé et reproduit la structure du « Faisan d'or », celle du « Saint-Jean » et celle du « Saint-Marc », je n'ai pas découvert le lien concernant le triangle d'or et le rectangle d'or sur la structure, je trouve que les mesures des points importants proviennent toutes du positionnement par le règle et le compas et non par la proportion.

A part la différence de la méthode du projet, l'apport de Vuillaume est d'indiquer

⁷⁹ Cf. Figure 35, p. 126.

⁸⁰ Cf. Figure 36, p. 127.

directement les positions des quatre coins. Apr ès calcul, j'ai d ècouvert un principe : r_1 et r_3 sont sur la ligne prolong ée de CC_1 , r_2 est sur la ligne prolong ée de FN_1 , r_4 est sur la ligne prolong ée de GG_1 . Quant au positionnement du point R et la forme de l'échancrure, il est issu de la tradition de l'école cr ènonaise cr ée par Andrea Amati ⁸¹. Malheureusement, la conception des quatre coins est également personnalis ée car les angles ($\angle Hr_1E_1$, $\angle Hr_2N_1$, $\angle Kr_3D_1$; $\angle Kr_4G_1$ et $\angle D_1RG_1$) de ces quatre violons sont tr ès divers. De ce fait, je ne peux pas d éterminer la courbe N_1H , la courbe HE_1 , la courbe D_1K et la courbe KG_1 . Au contraire, étant donn ée la dimension entre Y et F est égale au mesure de C_1R , on peut ainsi d éfinir la position de R , le rayon de l'échancrure C_1R et la courbe E_1D_1 .

III. Surface sup érieure de caisse et angle Y_1EY_2

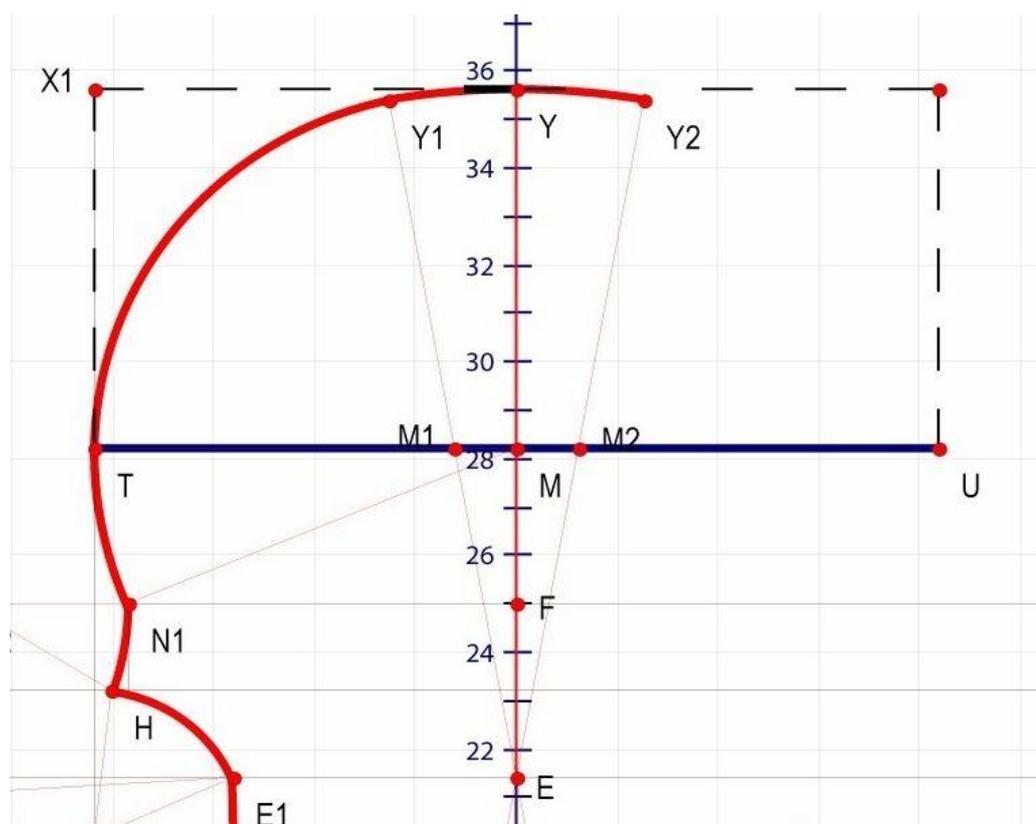


Figure 44. Surface sup érieur de la caisse et angle Y_1EY_2

⁸¹ Cf. Figure 10, p. 38.

Lorsque j'ai entrepris de reproduire la structure des violons de Vuillaume en définissant les points importants j'ai analysé la forme des courbes telles que la courbe Y_1YY_2 , la courbe Y_1M_1T , la courbe O_1EO_2 et la courbe VL_1O_1 . En fait, j'ai découvert que toutes ces courbes ont un rapport avec l'angle Y_1EY_2 et l'angle O_1EO_2 , de plus, ces deux angles influent respectivement sur la surface de la caisse supérieure et celle de la caisse inférieure. Dans les dessins techniques précédents⁸² :

La surface de MFN_1T est S_{MFN_1T}

La surface de secteur MTY est S_{MTY}

La surface de secteur MN_1Y est S_{MN_1Y} (la moitié de la surface supérieure de la caisse)

La surface de secteur $M_1TY_1 = S_{M_1TY_1}$

La surface de secteur $Y_1EY_2 = S_{Y_1EY_2}$

La surface de secteur $Y_1EY = S_{Y_1EY}$

$$S_{Y_1EY} \times 2 = S_{Y_1EY_2}$$

La surface du triangle $M_1EM_2 = S_{M_1EM_2}$

La surface du triangle $M_1EM = S_{M_1EM}$

$$S_{M_1EM} \times 2 = S_{M_1EM_2}$$

$$S_{MFN_1T} + S_{MTY} = S_{FN_1Y}$$

En fait, S_{MFN_1T} est constante en raison du rayon MT et la dimension de MF .

Ainsi, S_{FN_1Y} dépend de S_{MTY} .

Soit :

La surface de secteur $M_1TY_1 = S_{M_1TY_1}$

La surface de $MM_1Y_1Y = S_{MM_1Y_1Y}$

⁸² Cf. Figure 39, p.147 ; Figure 41, p.155 ; Figure 43, p.161.

La surface du triangle $M_1ME = S_{M_1ME}$

$$\Rightarrow S_{MM_1Y_1Y} = S_{Y_1EY_2} - S_{M_1ME}$$

$$\Rightarrow S_{MTY} = S_{M_1TY_1} + S_{MM_1Y_1Y} = S_{M_1TY_1} + S_{Y_1EY_2} - S_{M_1ME}$$

$$\Rightarrow S_{TYU} = 2 \times S_{MTY}$$

Par rapport à ces formules je vais faire des calculs afin de découvrir le rapport entre la surface supérieure de la caisse et l'angle Y_1EY_2 .

1. Le Faisan d'or

YE est le rayon du secteur d' Y_1EY_2

La surface du cercle = $r^2 \times \pi = YE^2 \times \pi$

$$S_{Y_1EY_2} = (YE)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1EY_2}{360^\circ} = 142^2 \times 3,14 \times \frac{20}{360} \approx 3517,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{Y_1EY} = \frac{1}{2} \times S_{Y_1EY_2} = 3517,5 \div 2 = 1758,75 \text{ mm}^2$$

$$S_{M_1EM} = \frac{1}{2} \times M_1M \times ME = \frac{1}{2} \times 12,2 \times 68 = 414,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{MM_1Y_1Y} = S_{Y_1EY} - S_{M_1EM} = 1758,75 - 414,8 = 1343,95 \text{ mm}^2$$

Le tracé M_1T est le rayon du secteur TM_1Y_1

$$S_{TM_1Y_1} = (M_1T)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1M_1T}{360^\circ} = 71,3^2 \times 3,14 \times \frac{80}{360} \approx 3547,28 \text{ mm}^2$$

$$S_{MTY} = S_{TM_1Y_1} + S_{MM_1Y_1Y} = 3547,28 + 1343,95 = 4891,23 \text{ mm}^2$$

$$S_{TYU} = 2 \times S_{MTY} = 4891,23 \times 2 = 9782,46 \text{ mm}^2$$

2. Saint-Jean

$$S_{Y_1EY_2} = (YE)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1EY_2}{360^\circ} = 129^2 \times 3,14 \times \frac{36}{360} \approx 5225,27 \text{ mm}^2$$

$$S_{Y_1EY} = \frac{1}{2} \times S_{Y_1EY_2} = 5225,27 \div 2 = 2612,63 \text{ mm}^2$$

$$S_{M_1EM} = \frac{1}{2} \times M_1M \times ME = \frac{1}{2} \times 18,9 \times 58 = 548,1 \text{ mm}^2$$

$$S_{MM_1Y_1Y} = S_{Y_1EY} - S_{M_1EM} = 2612,63 - 548,1 = 2064,53 \text{ mm}^2$$

$$S_{TM_1Y_1} = (M_1T)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1M_1T}{360^\circ} = 65,1^2 \times 3,14 \times \frac{72}{360} \approx 2661,47 \text{ mm}^2$$

$$S_{MTY} = S_{TM_1Y_1} + S_{MM_1Y_1Y} = 2661,47 + 2064,53 = 4726 \text{ mm}^2$$

$$S_{TYU} = 2 \times S_{MTY} = 2 \times 4726 = 9452 \text{ mm}^2$$

3. Saint-Marc

$$S_{Y_1EY_2} = (YE)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1EY_2}{360^\circ} = 131^2 \times 3,14 \times \frac{39}{360} \approx 5837,6 \text{ mm}^2$$

$$S_{Y_1EY} = \frac{1}{2} \times S_{Y_1EY_2} = 5837,6 \div 2 = 2918,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{M_1EM} = \frac{1}{2} \times M_1M \times ME = \frac{1}{2} \times 26,2 \times 74 = 969,4 \text{ mm}^2$$

$$S_{MM_1Y_1Y} = S_{Y_1EY} - S_{M_1EM} = 2918,8 - 969,4 = 1949,4 \text{ mm}^2$$

$$S_{TM_1Y_1} = (M_1T)^2 \times \pi \times \frac{\text{angle } Y_1M_1T}{360^\circ} = 53,7^2 \times 3,14 \times \frac{70}{360} \approx 1760,65 \text{ mm}^2$$

$$S_{MTY} = S_{TM_1Y_1} + S_{MM_1Y_1Y} = 1760,65 + 1949,4 = 3710,05 \text{ mm}^2$$

$$S_{TYU} = 2 \times S_{MTY} = 2 \times 3710,05 = 7420,1 \text{ mm}^2$$

D'après mes calculs, j'ai établi un tableau statistique pour résumer les paramètres

Paramètres\Violon	Faisan d'or	Saint-Jean	Saint-Marc
<i>OY</i>	356 mm	356 mm	356 mm
<i>TU</i>	167 mm	168 mm	167 mm
<i>EY</i>	142 mm	129 mm	131 mm

$\angle Y_1 E Y_2$	20 °	36 °	39 °
$\angle Y_1 M_1 T$	80 °	72 °	70 °
S_{MTY}	4891,23 mm ²	4726 mm ²	3710,05 mm ²
S_{TYU}	9782,46 mm ²	9452 mm ²	7420,1 mm ²

Dans ce tableau, j'ai découvert le principale suivant : dans le cas où la dimension de longueur de caisse OY et la mesure de largeur supérieure TU sont constantes, l'angle $Y_1 E Y_2$ est plus petit tandis que la surface de caisse supérieure est plus grande. Pour la même cause, dans la mesure où la dimension de longueur de caisse OY et la mesure de largeur inférieure VZ sont constantes, l'angle $O_1 E O_2$ est plus petit tandis que la surface de caisse inférieure est plus grande. Par conséquent, j'ai fait des statistiques sur ces angles.

Paramètres \ Violon	Moule G de Stradivarius	Le Faisan d'or	Saint-Jean	Saint-Marc
$\angle Y_1 E Y_2$	40 °	20 °	36 °	39 °
$\angle Y_1 M_1 T$	70 °	80 °	72 °	70 °
$\angle O_1 E O_2$	20 °	20 °	24 °	19 °
$\angle V L_1 O_1$	80 °	80 °	78 °	81 °

Ce tableau montre que l'angle $Y_1 E Y_2$ du moule G est le plus grand parmi les quatre violons. D'après les résultats précédents, la surface de la caisse supérieure est donc moins importante que celle des trois autres violons de Vuillaume. Comme les angles $O_1 E O_2$ des quatre violons sont très proches, donc la surface de la caisse inférieure des quatre violons se rapproche. Car la courbe $Y_1 Y_2$ et la courbe $O_1 O_2$ sont positionnées respectivement et que $Y_1 O_2$ n'est pas un trait, c'est-à-dire $Y_1 O_2$ se compose de deux segments : $Y_1 E$ et $E O_2$. En raison de l'angle $Y_1 E Y_2$ et la position du point E , la caisse supérieure des violons de Vuillaume est plus grande que celle du violon de Stradivarius. C'est la raison pour laquelle les violons de Vuillaume

semblent plus larges que ceux de Stradivarius malgré la largeur supérieure de leur caisse presque égale. En fait, plusieurs violons français du XX^e siècle gardent cette caractéristique.

Comme nous le savons, la sonorité du violon provient de la résonance de la caisse par la vibration de la table, la vibration du fond et le mouvement d'air dans celle-ci. Nous pouvons comprendre les deux premiers éléments, par contre, nous négligeons souvent le troisième élément. En fait, lorsque le son se propage dans l'air, celui-ci est l'outil de transmission de cette fréquence. Le son entendu par l'oreille humaine, ce sont les fréquences de la vibration dans l'air. Par conséquent, le mouvement de l'air dans la caisse est l'une des clés importantes de la sonorité. Ceci ouvre une autre porte pour la lutherie, il s'agit en fait de l'acoustique instrumentale. L'essence du son étant un phénomène physique perçu par notre sens auditif, l'acoustique instrumentale nous apprend la sonorité produite par les vibrations du corps de l'instrument selon lesquelles nous pouvons inférer du lien entre la structure et la sonorité afin de perfectionner la fabrication du violon. Jean-Baptiste Vuillaume et son collaborateur, Félix Savart ont fait des recherches remarquables sur l'acoustique du violon au XIX^e siècle grâce au développement de la science, ce que les anciens luthiers italiens n'ont pas abordé.

4.5 Vuillaume, Savart et l'acoustique

Aujourd'hui, il est difficile de définir le lien entre Vuillaume et Savart car beaucoup d'archivages chez Vuillaume sont perdus. Heureusement, Savart a publié ses *Annales de Chimie et de Physique*⁸³ dans lesquelles il a enregistré ses travaux et sa coopération de Vuillaume⁸⁴. Savart est né à Mézières le 30 juin 1791 dans une famille de la bourgeoisie :

Il est le fils d'un ingénieur militaire spécialisé dans la construction d'instruments de mathématiques. Après des études de médecine, puis de physique et de chimie, il

⁸³ Félix SAVART, *Annales de Chimie et de Physique*, Crohard, Paris, 1815.

⁸⁴ Thierry MANIGUET, «Savart and Vuillaume », *op. cit.*, p. 60.

trouve sa voie dans l'acoustique. Il a commencé à rédiger un mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archets, puis vécut à Paris et trouve le meilleur accueil auprès d'un professeur de physique de la faculté des sciences, Jean-Baptiste Biot⁸⁵.

Savart prête attention au lien entre la sonorité et la théorie. D'après la théorie acoustique il a conçu en 1817 le modèle du «Violon Trapézoidal» (à présent au musée de la Musique à Paris) et l'a réalisé en 1819.

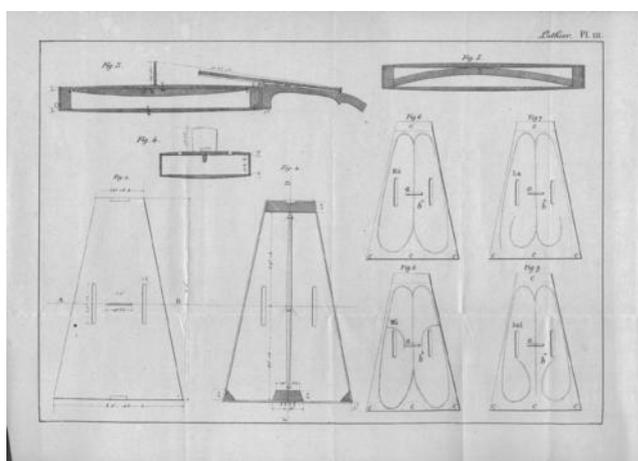


Figure 45. Violon Trapézoidal et son plan imaginé par Savart⁸⁶

Pour présenter sa théorie et son violon, il a rendu visite à l'Académie des Science, où des professeurs ont fait des tests de son. Il est étonnant que la sonorité du rivalise avec les violons fabriqués par certaines lutheries crémonaises connues⁸⁷. Pendant son travail à l'Académie des Science, il a acquis les meilleures conditions pour mener à l'étude du son et de ses vibrations. De plus,

Il examine comment celles-ci naissent, grandissent, sont captées par l'oreille et se transmettent dans tous les milieux : air et matériaux divers. Cependant, il ne se limitait pas aux calculs et formules scientifiques. Il s'occupait aussi de problèmes si concrets

⁸⁵ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 88.

⁸⁶ Thierry MANIGUET, *op. cit.*, p. 61-62

⁸⁷ *Ibid.*

qu'il proposait une méthode pour vieillir artificiellement le bois, un des grands soucis des luthiers du moment⁸⁸.

Alors, étant donné que ces deux hommes sont issus de milieux et de cultures très différents, comment une collaboration a-t-elle pu s'établir entre Savart et Vuillaume ? Le premier est un acousticien ayant des intuitions scientifiques. Le second est un artisan et ne possède pas de formation intellectuelle. D'abord, ils ont la même nature : curieuse, ouverte aux nouveautés. Ensuite, le besoin chez le savant de confronter théorie et pratique ; la conviction chez Vuillaume que la science lui permet d'enrichir ses connaissances et même de renouveler son métier. Enfin, ce qui allie Vuillaume à Savart, c'est une même passion pour le son : pour Savart, c'est phénomène vibratoire ; pour Vuillaume, il s'agit du phénomène esthétique avec ses propres exigences: facilité d'émission, puissance, timbre harmonieux, etc.

Dans un texte consacré au violon, Savart exprimait sa reconnaissance envers le luthier :

C'est à l'obligeance de M. Vuillaume, luthier de Paris distingué que nous devons le grand nombre de violons sur lesquels nous avons opéré Il a mis à notre disposition plusieurs Stradivarius, Guarnerius etc., et a montré pour la science un zèle et un dévouement que nous nous plaisons à reconnaître ici⁸⁹.

A travers son expérience acoustique, Savart a fait de nombreux et délicats essais sur les violons italiens et obtenu une théorie complète et rationnelle de tout ce qui concerne la fabrication des violons, des violes et des basses, lorsque ce savant a fini de mettre au jour tout ce que ses observations lui ont appris.

En 1834, Savart et Vuillaume sont présentés face à face pour la première fois. Au cours de la conversation, Savart reconnaît ne pas avoir tenu compte de l'influence de certains éléments comme l'air ou la nature du bois. En fait, Savart et Vuillaume comprennent tous les deux qu'ils ont besoin l'un de l'autre. Le luthier apportait

⁸⁸ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p. 89.

⁸⁹ MANIGUET, *op. cit.*, p. 65.

quelques très beaux violons crémonais fabriqués par certaines lutheries connues. L'acousticien les étudiait, formulait des principes sur la construction des instruments. A partir de 1839, ces deux collaborateurs travaillent, font et refont leurs expériences acoustiques, puis discutent des résultats. Ainsi, Savart a formulé les règles d'une construction rationnelle pour des instruments à cordes, et Vuillaume a essayé de perfectionner ses instruments. Puis, ceux-ci ont été présentés à l'exposition des produits de l'industrie en 1839. En fait, cette exposition marque un tournant de son métier. Elle lui a valu d'abord une médaille d'or. Pour Vuillaume,

[...] elle est la juste récompense de longs et persévérants efforts pour perfectionner son art dont les bonnes traditions étaient perdues depuis la décadence de l'école de Crémone⁹⁰.

Mais cet événement avait d'autres retombées plus importantes encore. Il apportait au luthier la preuve objective de la qualité de ses copies. Imiter les maîtres de Crémone est donc en vogue :

Pourtant reproduire minutieusement la beauté extérieure des violons de la péninsule lui suffisait plus ; il voulait aussi retrouver leur fameuse sonorité. Or voici que Savart avec ses principes acoustiques lui en donnait les moyens. Il pouvait alors passer au stade plus poussé de la réplique⁹¹.

Lorsque Savart disparaît le 16 mars 1841, la coopération entre acousticien et artisan se termine. A propos de l'année de conception, le «Faisan d'or », le «Saint-Jean » et le « Saint-Marc » ont conçu respectivement en 1862 et en 1863. Nous avons des raisons de croire qu'à partir de l'exposition de 1839 Vuillaume a pris en compte les expériences acoustiques issues de la coopération avec Savart pour perfectionner ses violons. En raison du succès de l'instrument chez Vuillaume, je suis sûr que l'acoustique est une bonne approche qui nous permet de mieux comprendre la sonorité et la réaction de la structure du violon. Par conséquent, dans

⁹⁰ Sylvette MILLIOT, *op. cit.*, p.91.

⁹¹ *Ibid.*

la partie suivante j'étudierai l'acoustique du violon et créerai mes propres expérimentations. Je souhaite que mes expériences sur l'acoustique du violon puissent apporter une vision scientifique pour répondre à la quatrième question entrant dans la problématique de cette thèse : Quel est l'impact de la vibration et de la structure sur la sonorité ?

Partie III

Recherche sur la structure du violon à partir de l'acoustique

5. Étude de l'acoustique du violon

Pour mieux comprendre la notion d'acoustique, il nous faut d'abord rappeler ce qu'est le son. Le son se compose d'une séquence d'ondes acoustiques qui sont issues de la vibration dans l'air. En physique, une longueur d'onde λ divisée par la vitesse d'onde V compose le cycle d'onde T ; qui plus est, 1 divisé par le cycle T donne la fréquence de la vibration f .

$$T = \frac{\lambda}{v} \quad \textcircled{1}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} \quad \textcircled{2}$$

$$\text{Ainsi, } \textcircled{1} = \textcircled{2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{v} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \quad \textcircled{3}$$

En fait, l'équation $\textcircled{3}$ explique le rapport entre la fréquence, la vitesse et la longueur d'onde du son. D'ailleurs, l'amplitude des oscillations d'onde détermine l'intensité du son. De ces deux manières, les phénomènes du son sont reliés à l'essence de la vibration d'onde.

5.1 Brève présentation de l'histoire de l'acoustique du violon

En 1983 Hutchins a présenté l'acoustique du violon, depuis Pythagore jusqu'à aujourd'hui¹. En effet, les études scientifiques sur le violon se sont développées progressivement au cours du XIX^e siècle en France grâce à la coopération entre Félix Savart et Jean-Baptiste Vuillaume. Après avoir étudié la vibration de la table et du fond d'un violon de Stradivarius avec Vuillaume, Savart a proposé une conception scientifique de la structure de la caisse du violon basée sur l'acoustique. De plus, Vuillaume a développé quelques idées issues de la recherche acoustique pour concevoir la structure de son violon. C'était la première fois que l'acoustique était

¹ Carleen M. HUTCHINS, «A History of Violin Research », *Journal of the Acoustical Society of America* 73 (1983), p. 1421-1440.

associé au violon. En Allemagne, Helmholtz s'est lancé dans la recherche sur la physique et la psycho-acoustique. Il a étudié la vitesse d'archet et le rapport entre la position d'archet et le chevalet. Après la Deuxième Guerre mondiale, Werner Lottermoser, Frieder Eggers et Jürgen Meyer² ont continué à travailler sur l'acoustique des instruments à archet d'après les recherches de Helmholtz.

5.2 La résonance de Helmholtz et trois modes d'analyse

La résonance de Helmholtz est considérée comme une référence primordiale pour les expérimentations acoustiques du violon. Étant donné que la résonance de Helmholtz a lieu pour des fréquences de 200 à 600 Hz environ, et que de plus, les fréquences des cordes du violon sont respectivement de 195,56 Hz pour le *sol*, 293,32 Hz pour le *ré*, 440 Hz pour le *la* et 600 Hz pour le *mi*, cela signifie que la moitié de la tessiture du violon correspond à la résonance de Helmholtz.

5.2.1 Résonance de Helmholtz

Lorsque nous étions enfant, nous avons probablement soufflé dans l'ouverture d'une bouteille en essayant d'en faire sortir un son. Si nous plaçons correctement nos lèvres (à la manière d'un flûtiste) de telle sorte que le flux d'air attaque correctement le biseau de l'autre côté du goulot, nous finissons par y arriver, avec un peu de pratique. Mais avons-nous remarqué que le son produit devient plus aigu si le volume d'air dans la bouteille diminue (par exemple, si nous y versons de l'eau) ? Le son devient plus grave lorsque la longueur du col augmente ou quand la taille de l'ouverture diminue.

En effet, les phénomènes mentionnés ci-dessus sont le résultat de la «résonance de Helmholtz ». Ainsi, qu'est-ce que la «résonance de Helmholtz » ? Une bouteille de bière, ou la caisse d'un instrument à corde telle que celle d'un violon ou d'une

² Neville Horner FLETCHER et Thomas D. ROSSING, *The Physics of Musical Instruments*, 2^e, Springer, New York, 1998, p. 274.

guitare, est le siège d'une telle résonance. Celle-ci vient s'ajouter aux autres «résonances de cavités» également observées dans ce genre de systèmes. La fréquence correspondante, ou «fréquence de Helmholtz» est toujours plus basse que les autres résonances de cavité

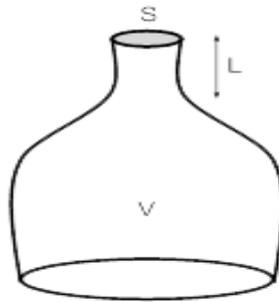


Figure 46. Un résonateur de Helmholtz

Un «résonateur» de Helmholtz est un dispositif dont la géométrie est susceptible de donner lieu à la résonance du même nom. Il doit, pour cela, comporter une partie étroite de section moyenne S et de longueur L débouchant sur un volume clos V . L'air compris dans la partie étroite intervient alors essentiellement par son inertie, tandis que le volume d'air clos agit par son élasticité (ou sa raideur). En général, il suffit de prendre une pompe à vélo et d'en boucher l'extrémité pour se rendre compte que lorsqu'on essaie alors de pomper, le volume d'air clos agit bien comme un ressort élastique. En mécanique comme en acoustique, les phénomènes de résonance surviennent précisément quand on associe une inertie avec une raideur. A l'issue du calcul Helmholtz, nous obtenons la formule mathématique ci-dessous :

$$f = \frac{c}{2\pi} \times \sqrt{\frac{S}{LV}}$$

où C est la vitesse du son (340 m/s, dans l'air), S est la surface de la section moyenne de l'ouverture (pour le violon, S est la surface de l'ouïe, en m^2), L est la longueur de la partie étroite du goulot ou la profondeur de l'ouïe du violon (en m), V est le volume de la cavité (le volume de la caisse du violon, en m^3), f représente la fréquence du son (en Hertz). De ce fait, la construction de la caisse est un résonateur de Helmholtz. Pour cet instrument (comme d'ailleurs pour d'autres instruments à cordes et les instruments à cordes frottées), la résonance de Helmholtz contribue utilement à étendre la capacité de l'instrument à rayonner de l'énergie acoustique dans les basses fréquences, ce qui est nécessaire pour que nous puissions bien entendre les notes les plus graves.

Selon l'équation ci-dessus, nous pouvons obtenir les résultats suivants sur la structure du violon et les notes graves :

1. Si L et V sont constants, la fréquence sera augmentée à la suite de l'agrandissement de S . Du coup, le son devient plus aigu.
2. Si S et V sont constants, la fréquence sera amoindrie à la suite de l'agrandissement de L . Le son devient plus grave. Ainsi, lorsque la profondeur de la table d'harmonie est plus importante, le son est plus grave.
3. Si S et L sont constants, la fréquence sera amoindrie à la suite de l'agrandissement de V . Ceci révèle que lorsque le volume de la caisse du violon est plus grand, le son est plus grave.
4. Si f et S sont constants, il sera impossible de changer L et V . Cela exprime une relation entre S et la fréquence. La taille d'ouverture de l'ouïe est un important élément pour les basses fréquences.

5.2.2 Trois modes d'analyse

En 1970, c'était la première fois que le laser était utilisé pour mesurer la vibration du violon. Le modèle de l'analyse par laser et l'interférométrie ont été créés en 1983 grâce au travail d'une équipe de chercheurs : Müller, Geissle, Marshall et

Jansson³. Désormais, il nous est possible d'observer les vibrations du violon à l'aide d'équipements électroniques.

Ainsi, je présente d'abord trois modèles analytiques⁴ concernant la vibration de l'instrument à archet afin d'expliquer et d'analyser les résultats des expérimentations:

1. *Air mode* ($A_0 = 275$ Hz, $A_1...$).

Ce modèle exprime la situation réelle de la vibration dans l'air.

2. *Top mode* ($T_1 = 460$ Hz, $T_2...$).

Il exprime la vibration de la table d'harmonie.

3. *Body mode* ($C_1 = 185$ Hz, $C_2 = 405$ Hz, $C_3 = 530$ Hz, $C_4 = 700$ Hz...).

Il montre un état où la table et le fond vibrent ensemble et d'une manière semblable.

Dans la présente recherche, les trois lettres *A* (*Air mode*), *T* (*Top mode*) et *C* (*Body mode*) représentent respectivement ces trois modèles.

5.3 Définition de la qualité du son

Qu'est-ce que la qualité du son ? Elle se compose de trois éléments : le timbre, la radiation et l'intensité sur une fréquence. En termes de qualité de son du violon, ces trois éléments impliquent encore plusieurs conditions telles que la structure et le volume de la caisse, la position de l'âme et celle du chevalet, la pression et la vitesse de l'archet etc. Comme on le sait, chaque instrument à corde a ses propres caractères de son. Alors, quel son s'adapte le mieux à notre ouïe ? Existe-il un standard scientifique pour définir la qualité du son d'un violon ? Je vais donc montrer

³ H.A. MÜLLER et P. GEISLER, «Modal Analysis Applied to Instruments of the Violin Family », *journal (proceeding) of the Royal Swedish Academy of Music* 83, (1983), cité par FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 290.

⁴ FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 286.

quelques expérimentations acoustiques afin de présenter ce qu'est la qualité du son d'un violon. Malheureusement, les expérimentateurs ne décrivent que les phénomènes et les équipements expérimentaux, ils n'analysent guère les figures acoustiques. Par conséquent, je vais analyser les expérimentations acoustiques par des méthodes physiques et mathématiques afin d'expliquer le rapport entre la qualité du son et la structure du violon.

5.3.1 Le timbre

En 1974, Beldie a effectué une expérimentation. Il a réalisé une interface mécanique attachée respectivement aux chevalets de six violons différents pour tester la résonance du violon dans les périodes fréquentielles différentes. Ainsi, il a obtenu la figure suivante :

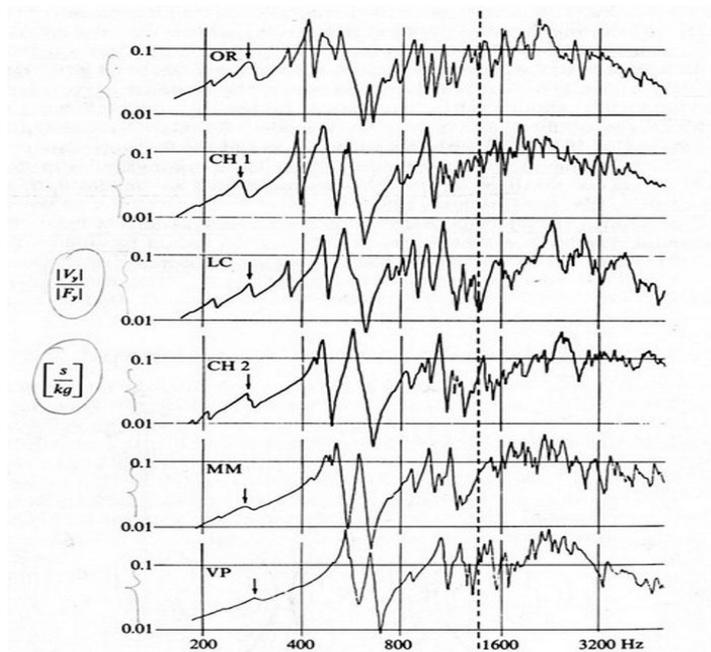


Figure 47. La résonance du violon dans les périodes fréquentielles différentes⁵

Evidemment, les courbes de ces six violons sont fondamentalement similaires mais il existe des petites différences sur quelques bandes fréquentielles. La figure assez coordonnée se situant entre 260 et 500 Hz est considérée comme un exemple

⁵ *Ibid.*, p. 287.

(modèle) d'« air résonance », encore appelé la «résonance de l'ouïe », ou parfois plutôt «la résonance de Helmholtz». Désormais, la résonance possédant des aspects similaires entre 260 Hz et 500 Hz au-dessus est définie comme la «résonance de Helmholtz ». Mais en réalité le modèle parfait de la «résonance de Helmholtz » n'existe que dans un laboratoire idéal.

Les autres résonances proéminentes, telles que la crête d'une onde et le creux d'une onde, ont lieu dans une octave de 400 à 800 Hz. Bien que les courbes soient un peu différentes, leurs formes sont très similaires. En se basant sur cette expérimentation, Hutchins a obtenu en 1993 un résultat intéressant. Selon lui, le bois est un élément essentiel pour expliquer la résonance entre 440 et 570 Hz. Il l'a dénommé «résonance principale du bois »(*wood prime resonance*).

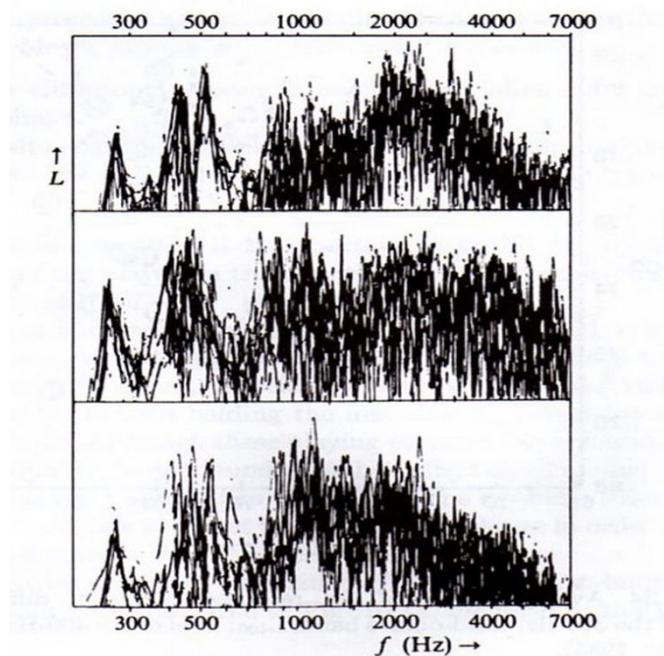


Figure 48. Analyse des timbres⁶

La figure au-dessus est composée des trois diagrammes : le diagramme supérieur représente l'intensité de la résonance des meilleurs violons (les violons célèbres tels

⁶ Jürgen MEYER, « The Tonal quality of Violins », *journal (proceeding) of the Royal Swedish Academy of Music* 83, (1985), cité par FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 316.

que les anciens violons italiens), celui du milieu exprime celle des violons de moyenne qualité fabriqués à la main, et celui du bas révèle celle des violons fabriqués et assemblés à la machine. Le sommet de l'intensité des meilleurs violons apparaît à 2500 Hz environ. De plus, selon ce spectre, Meyer Jürgen trouve que la figure de son d'un excellent violon est très similaire à celle de soprano. De même, le champ de sensibilité de son du violon est également proche de celui d'un soprano. La meilleure résonance possédant une bonne qualité du son apparaît respectivement à la fréquence 550 Hz dans le champ des basses fréquences, et à celle de 2500 Hz dans le champ des hautes fréquences. En conséquence, je pense qu'une bonne sonorité doit correspondre aux conditions suivantes :

1. Pour les basses fréquences, la figure de la vibration doit correspondre à la figure de la résonance de Helmholtz (de 260 à 500 Hz) ;
2. Les résonances aiguës sont respectivement apparues dans deux périodes fréquentielles : 500 Hz et 2500 Hz ;
3. La figure du timbre est plus proche de celle de soprano.

5.3.2 Le rayonnement sonore du violon

En 1972, Meyer Jürgen, professeur à Stockholm, a fait une expérimentation acoustique pour tester la direction de propagation du son sur le violon. De plus, il a non seulement dessiné une image pour expliquer la radiation du son, mais également il a trouvé une fréquence critique : 4500 Hz. Sur la figure 43, nous pouvons observer que dans les fréquences graves (200-500 Hz, la plage de la résonance de Helmholtz), le son est émis dans toutes les directions. De 550 à 1500 Hz, le champ radiatif du son est graduellement diminué à la suite de l'augmentation progressive de la fréquence. A partir de 2000 Hz, le champ radiatif s'élargit à nouveau jusqu'à 5000 Hz. C'est dans la bande autour de 4500 Hz environ que le son se propage le plus loin.

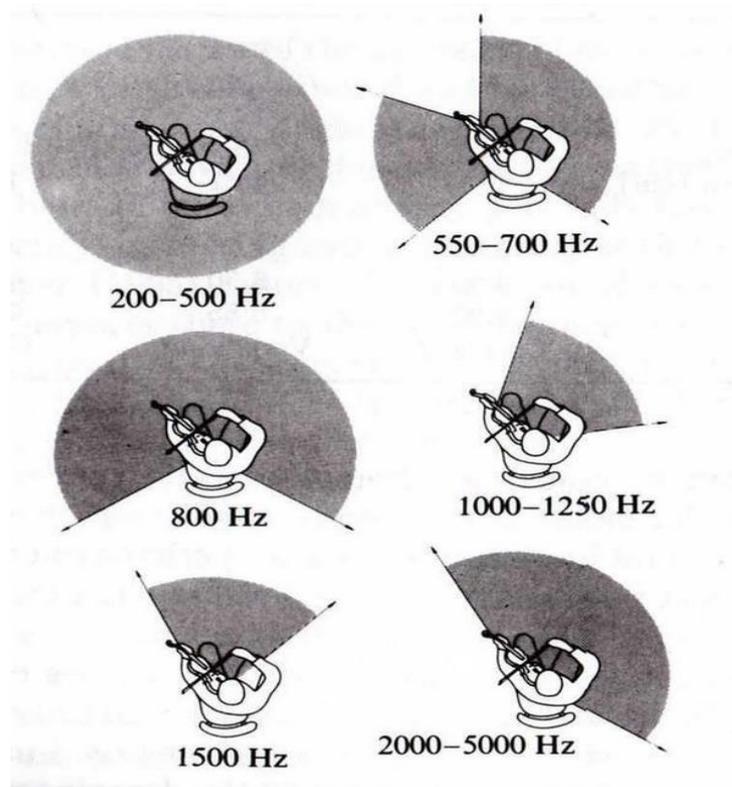


Figure 49. La direction de propagation du son sur le violon⁷

En 1983, Jürgen Meyer a essayé de répondre aux deux questions suivantes sur les critères de la sonorité du violon :

- quelle est la différence entre la vibration d'un violon excellent et celle d'un violon médiocre ?
- est-il possible pour nous d'imaginer une forme de la vibration ou celle de la qualité de son issu d'un violon supérieur ?

Pour répondre à ces questions, il faut d'abord essayer d'identifier quelles influences sont dues au violoniste avec ses propres caractéristiques d'exécution comme la pression de l'archet, la vitesse de l'archet, le degré d'angle sur l'archet, la position de l'archet etc. Bien que ces paramètres influent sur la qualité du son, Meyer trouve que ces influences sont très faibles dans le spectre, surtout sur les notes ayant

⁷ FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 309.

une fréquence assez haute. D'ailleurs, il pense que l'archet n'est pas un élément principal du timbre pour les notes plus hautes. La table d'harmonie et le fond du violon sont donc des éléments principaux pour le timbre. Pour rechercher l'effet sonore du violon, il a fait une expérimentation acoustique et obtenu le spectre de son ci-dessous :

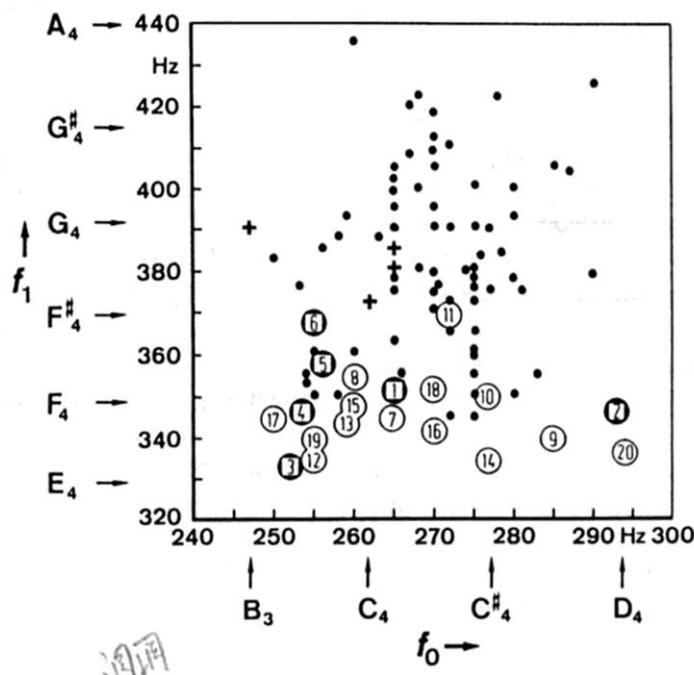


Figure 50. La fréquence de la résonance⁸

La figure 46 enregistre et montre la résonance de l'air f_0 et la résonance de la caisse f_1 de 100 violons. En fait, chaque point représente un violon. Les points des numéros 1 à 6 sont les six violons de Stradivarius, les numéros 7 à 20 représentent respectivement les violons des autres grands luthiers dont des luthiers français, allemands et tchèques. Ces 20 violons, dans le mode T_1 ⁹, ont une résonance très sensible et un timbre pur, surtout les six Stradivarius.

Pour analyser la propagation de l'énergie du son, Meyer a choisi deux zones proches dans une série de fréquences. Une zone est concentrée autour de 315 Hz, et

⁸ *Ibid.*, p. 314.

⁹ Cf. p. 186.

l'autre de 400 Hz. A la fin, il a obtenu la figure ci-dessous :

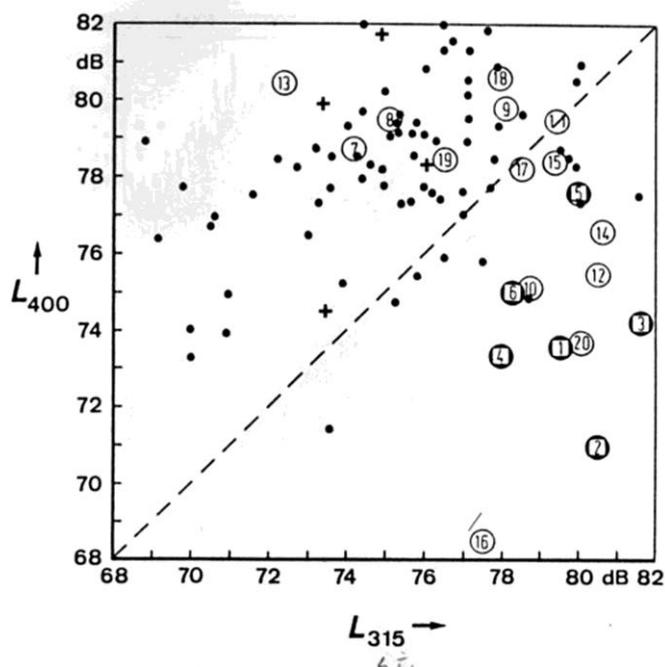


Figure 51. La réponse de l'effet sonore¹⁰

Grâce à l'ouïe, les six violons de Stradivarius possèdent le meilleur effet sonore. Les résultats des tests acoustiques confirment ce phénomène. Pour arriver à 82 dB, les violons extraordinaires n'ont pas besoin d'une pression forte pour produire la vibration de 400 Hz. Pour arriver à 82 dB, ceux-ci ont seulement besoin d'une pression douce pour amener à une vibration de 315 Hz. D'après cette figure, les points autour de la fréquence 315 Hz sont sous le pointillé ces violons possèdent des effets sonores sensibles. Mais, comme nous le voyons, il n'y a aucun point sous le pointillé à l'exception des six Stradivarius et de quelques violons des grands maîtres dont des luthiers français. Selon l'effet sonore et la figure, je pense que ces Stradivarius et quelques violons français sont des très bons exemples pour expliquer l'effet sonore.

Ainsi, je pense que la qualité de son du violon comporte deux éléments importants, le timbre et l'effet sonore (la sonorité). Quant au timbre, il doit être

¹⁰ FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 315.

proche des formes de la figure 48¹¹. D'après le résultat de l'effet sonore, nous connaissons le spectre du son (la figure 50 et la figure 51) et savons que le mode T_1 est important pour analyser la radiation de l'énergie du son, c'est-à-dire que la sonorité du violon est essentiellement relative à la table d'harmonie.

En ce qui concerne la table d'harmonie du violon, elle comporte également beaucoup d'éléments qui peuvent influencer sur la sonorité par exemple : le bois, la proportion entre longueur et largeur, la courbe, etc. Quels effets ces éléments possèdent-ils ? Je répondrai à cette question dans les paragraphes suivants.

5.4 La vibration de la caisse du violon

Le plus important pour la qualité de son du violon est la vibration de la caisse. Bien que la vibration de la caisse soit étudiée depuis 150 ans, les connaissances scientifiques sur le son n'ont été obtenues que dans les années 50 du XX^e siècle. Avec le développement de la physique optique, nous pouvons observer l'action de l'onde acoustique et son modèle. Le modèle de la vibration d'un violon dépend essentiellement de l'action de la table et de celle du fond d'harmonie. Les éclisses, le manche et la touche n'ont presque aucun rapport avec la vibration, de même qu'elles ne sont guère reliées à la qualité du son.

5.4.1 La mouvement d'onde acoustique

Depuis les années quatre-vingt-dix du XX^e siècle, les chercheurs préfèrent l'interface de pulsation (au lieu de l'interface mécanique) comme interface d'input de la vibration grâce à sa capacité plus stable et plus exacte. De ce fait, certains chercheurs ont utilisé une interface de pulsation attachée sur le chevalet d'un violon pour tester et observer des formes d'ondes à l'intérieur du violon selon les modes d'A, de T et de C.

¹¹ Cf. p. 188.

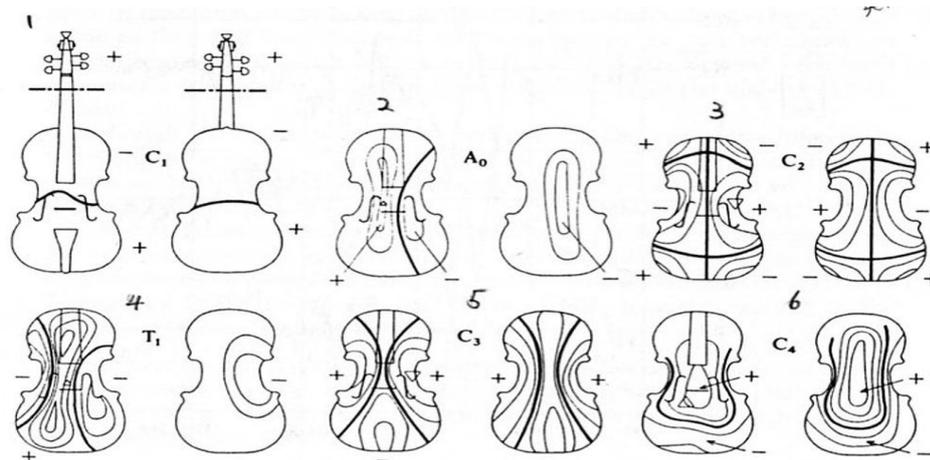


Figure 52. La motion d'onde à l'intérieur du violon¹²

Les formes des ondes de C_1 , C_2 , C_3 et C_4 se sont créées selon les modèles d' A_0 et de T_1 . Les formes des ondes de C_2 , C_3 et C_4 sont issues de la vibration de la table d'harmonie selon des modèles et des fréquences différents. A_0 représente la direction du courant de l'air dans les ouïes du violon. T_1 révèle l'action principale de la vibration sur la table d'harmonie. C_3 exprime l'action de la table et du fond, et la ligne foncée est la ligne critique qui indique la direction différente d'action par « + » et « - ». La position de la vibration est représentée par un petit triangle.

En général le mode C_2 et la forme de T_1 sont considérés comme une paire de formes fondamentales de la vibration de la table d'harmonie, et la plupart des violons suivent une de ces deux formes d'ondes. Du point de vue de la forme, T_1 et C_3 disposent de la vibration double. A l'intérieur du violon, la table et le fond sont joints par l'âme et les éclisses, au point qu'il existe certains modèles dont la direction de la motion des ondes dans la table est pareille à celle dans le fond. Lorsque l'amplitude des ondes est superposée dans la même direction, la vibration est renforcée. Il se produit donc un son ample. Les modèles d' A_0 , T_1 , C_3 et C_4 s'adaptent à analyser la vibration des basses fréquences.

¹² E.V. JANSSON, « Admittance Measurements of 25 High Quality Violins » dans *Acta Acustica united with Acustica*, Volume 83, Number 2, S. Hirzel Verlag, 1997, p. 337-345.

5.4.2 L'interférométrie et l'holographie TV électronique

En 1970, c'était la première fois que le laser et l'interférométrie étaient utilisés pour étudier et mesurer la vibration du violon par Reinecke et Cremer. L'interférométrie peut enregistrer exactement la motion de la vibration du corps de violon. L'analyse au moyen du laser a été bien appliquée en 1986 par Müller, Geissler et Marshall. Dans les années quatre-vingt-dix, la technique de l'holographie TV électronique a été également employée pour l'analyse de la forme des ondes. Cette technique fournit une méthode plus simple et pratique pour enregistrer exactement les formes entières des ondes et les observer à tout moment. En fait, à part l'interférométrie et l'holographie TV électronique, il existe encore d'autres techniques pour analyser les trois modes *A*, *T* et *C*. Mais chaque méthode a des avantages et ses inconvénients. Il vaut mieux que nous appliquions plusieurs méthodes d'analyse sur un même instrument afin d'obtenir des données plus fiables.

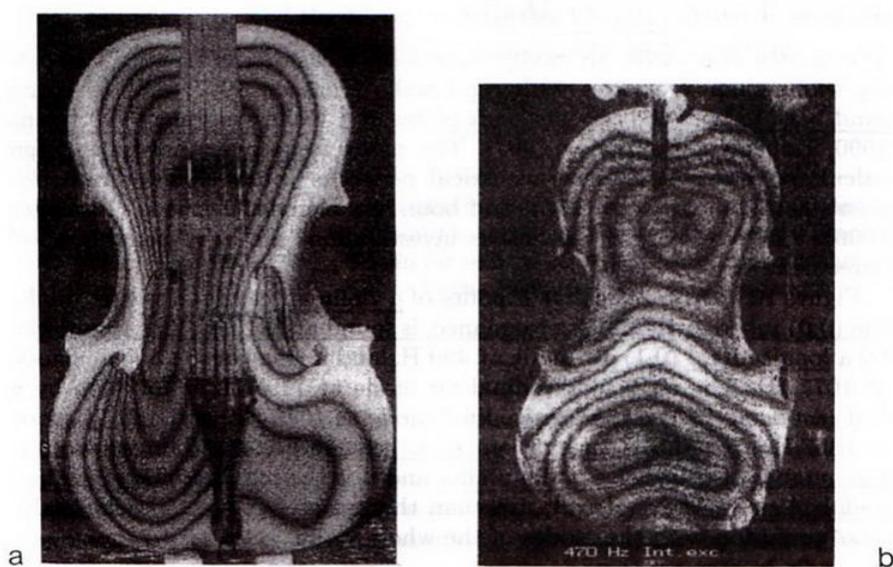


Figure 53. La motion d'onde sur le corps du violon¹³

En utilisant la technique d'interférométrie et d'holographie TV électronique, Saldner, Roberts et Rossing ont obtenu les figures *a* et *b* ci-dessus après [qu'une](#)

¹³ FLETCHER et ROSSING, *op. cit.*, p. 291.

pulsation de 470 Hz ait été introduit. La figure a^{14} montre le délinéament du mode A_0 ; la figure b^{15} exprime le délinéament de la pression du son à l'intérieur du violon sous le mode A_1 . Cependant, les auteurs ne présentent que les formes des ondes et des équipements expérimentaux, et ils n'ont pas analysé les images. Par conséquent, vous pouvez trouver les analyses suivantes selon mes études basées sur la géométrie et la structure du violon.

Comme le mode A représente la vibration réelle du violon dans l'air, ces deux figures ont une vraisemblance et une universalité. Dans la figure a , évidemment, la densité de vibration de la partie gauche est plus épaisse que celle de la partie droite à cause de l'effet de la barre de soutien. Mais cela n'est pas très évident dans le corps supérieur et le corps médian du violon. Si nous changeons adéquatement la proportion de la partie médiane du corps, par exemple, si elle devient plus mince, le cycle de la résonance se réduira et le nombre de résonances augmentera dans le temps unitaire en raison de la barre de soutien et de l'ouïe, il est donc possible de produire un son ample. Dans la figure b , la pression de la partie médiane n'est pas forte grâce à l'effet de l'âme et à celui du chevalet. La pression est concentrée essentiellement sur la partie supérieure et la partie inférieure du violon. En fait, la partie possédant la pression plus forte peut produire une zone de résonances forte.

En comparant la figure a et la figure b , je trouve que la direction radiative de l'onde sur la partie supérieure du corps est pareille, et que celle sur la partie inférieure est différente. En fait, la direction de vibration dans la partie inférieure droite est pareille dans a et b , pourtant la direction d'onde dans la partie inférieure gauche est le contraire. Ce qui exprime clairement qu'en général la direction radiative de la vibration du fond et celle de la table ne sont pas pareilles, surtout sur la partie inférieure et la partie médiane. De ce fait, dans la partie supérieure du violon,

¹⁴ H. O. SALDNER, N. E. MOLIN, and E. V. JANSSON, « Vibration modes of the violin forced via the bridge and action of the soundpost », *Journal of Acoustical Society of America* 100(1996), p. 1168.

¹⁵ E. V. JANSSON, « Normal modes of vibration in violins », *Journal of Acoustical Society of America* 105 (1999), p. 1126.

grâce à la même direction radiative du son, la résonance est renforcée, et le son est élargi; en revanche, dans la partie inférieure du violon, à cause de la direction radiative différente, des vibrations entre le fond et la table se contrebalancent au point que l'effet sonore s'amoin-drit. Selon la physique, si l'effet sonore se réduit, la résonance diminue, c'est-à-dire que l'amplitude de la vibration est aussi réduite, ce qui aboutit à un résultat : les sons émis par l'ouïe deviennent moins forts dans un temps unitaire. En plus de sa belle forme, pour balancer l'effet sonore dans le violon, l'ouïe est disposée en partie inférieure médiane de la table afin de prolonger le temps du son projeté par la partie supérieure et de réduire le temps du son produit par la partie inférieure de la caisse dans un temps unitaire.

5.4.3 Les tables et fonds différemment assemblés

Une étude intéressante a été réalisée par Alonso Moral en 1984. Il a analysé les résultats d'une expérimentation de Hutchins et al. (1971) où Hutchins a utilisé trois tables, trois fonds et trois types d'éclisses pour assembler douze violons différents afin de tester le son et d'étudier la structure du violon. De plus, ces pièces sont sans vernis. Pour analyser l'effet du bois sur la sonorité Hutchins a encore utilisé trois types de dureté du bois, pliant *P*, normal *N* et dur *R*. La masse de la table est de 67 à 93g et celle du fond est de 115 à 147g.

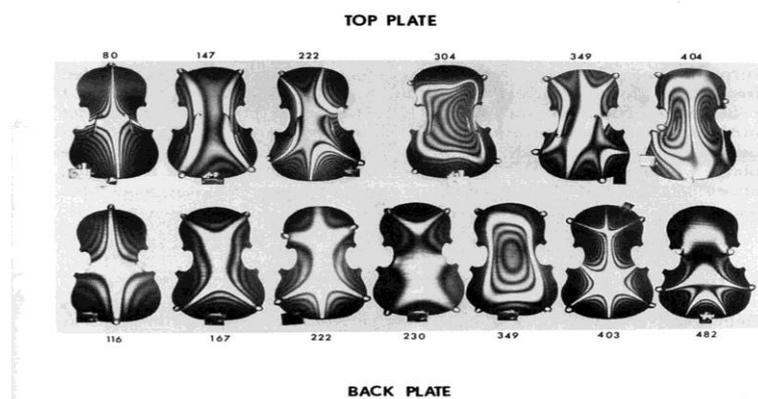


Figure 54. Les tables et fonds différemment assemblés¹⁶

¹⁶ C. M. HUTCHINS, K. A. STETSON and P. A. TAYLOR, « Clarification of “free plate tap tones” by holographic interferometry », *Journal Catgut Acoustical Society of america* 16, (1971), p. 15.

Selon l'expérimentation de Hutchins, Alonso Moral a trouvé que le mode A_0 et le mode T_1 sont beaucoup influencés par la table, et le mode C_4 par le fond, et que l'état du mode C_3 dépend essentiellement des deux conditions – la table et le fond. A la fin, il a démontré quatre règles ¹⁷ :

1. Le niveau de la résonance dans le mode A_0 est trop sensible sur la table, mais la fréquence est insensible dans la caisse ;
2. La fréquence et le niveau de la résonance sous T_1 sont trop sensibles sur la table ;
3. Dans le mode C_3 , la résonance augmente de 50% sur la table ;
4. Dans le mode C_4 , le changement de la résonance est non seulement relatif à la table mais aussi au fond, pourtant l'effet sonore est décidé principalement par la résonance du fond.

Ainsi, d'après les résultats d'Alonso Moral et les expériences des luthiers, j'ai dégagé trois résultats :

1. Si un son possède une basse fréquence, sa résonance est essentiellement relative au fond d'harmonie, et sa fréquence est assez stable ;
2. Si un son a une fréquence élevée et que la direction radiative de la vibration est similaire entre la table et le fond, la résonance est essentiellement décidé par la table, de plus, elle est probablement renforcé ;
3. Si un son possède une fréquence trop haute et que la direction radiative de la vibration est presque pareille entre la table et le fond, l'effet sonore dépend principalement de la vibration de la table d'harmonie.

En réalité, le troisième état apparaît rarement, en général ; la plupart des cas correspondent au premier et au second état en raison de la direction radiative différente de l'onde sur la table et le fond.

¹⁷Alonso MORAL, «From properties of free top plates, of free back plates, and of ribs of properties of assembled violins », *Report STL-QPSR de Speech Transmission Laboratory*, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 1984, p. 1-29.

Quant à l'influence du bois sur le son, Alonso Moral a remarqué que le violon assemblé avec une table flexible et un fond flexible ou normal possède une très bonne qualité de son, c'est-à-dire que la qualité du son est probablement relative à la courbe de la table et à celle du fond. Si le bois est trop dur, la table et le fond ne peuvent pas arriver à une courbe mieux adaptée au beau timbre, de ce fait la fréquence de la note n'est pas stable, il existe une petite déviation. La résonance n'est relative ni à l'épaisseur de la table, ni à celle du fond, surtout sans rapport avec les confins de la table et ceux du fond. Mais il existe des phénomènes qui prouvent que la qualité de la résonance est relative à la densité du bois.

Nous pouvons ainsi arriver à un constat : dans l'air, la sonorité du violon dépend essentiellement de la vibration de la table d'harmonie, surtout pour les sons aigus. La densité et la dureté du bois sont également deux des éléments importants. Elles ont un rapport avec la radiation de l'énergie du son, la table flexible à haute densité permet de produire un son puissant.

5.5 L'âme et la barre de soutien

Bien que la forme du violon semble symétrique, la vibration de la partie gauche et celle de la partie droite sont asymétriques à cause de l'âme et de la barre de soutien. Des cordes sont frottées parallèlement à la table par l'archet, ainsi elles produisent une motion parallèle sur le chevalet, et puis, la résonance et la force sont transmises à la table d'harmonie par les deux pieds du chevalet, respectivement situés à la gauche et à la droite de la ligne centrale de la table. La force est donc divisée en deux parties égales par ces deux pieds. Si le violon est symétrique de gauche à droite, ces deux nouvelles forces égales créent le modèle asymétrique de la vibration sur la table à cause de l'âme et de la barre d'harmonie ; la vibration asymétrique sur la table et sur le fond diminue progressivement avec le temps en particulier pour les fréquences les plus élevées mais ils n'arrivent jamais à une forme symétrique parfaite. Ce qui signifie que plus les notes sont hautes, plus la résonance est symétrique dans les parties droite et gauche de la caisse, notamment sur la table d'harmonie.

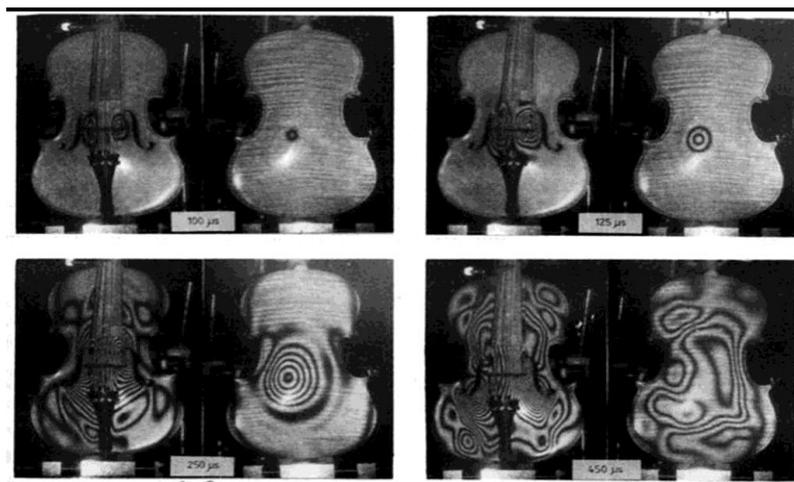


Figure 55. La forme interférentielle sur la vibration de l'âme¹⁸

La figure 55 présente l'interférogramme de la table et du fond qui révèle des états d'ondes $100\mu s$ ¹⁹, $125\mu s$, $250\mu s$ et $450\mu s$ après la vibration d'une pulsation issue du chevalet parallèlement à la table. La propagation d'ondes sur la table est réalisée à partir des deux pieds du chevalet. Dans le fond, la propagation se fait à partir de l'âme.

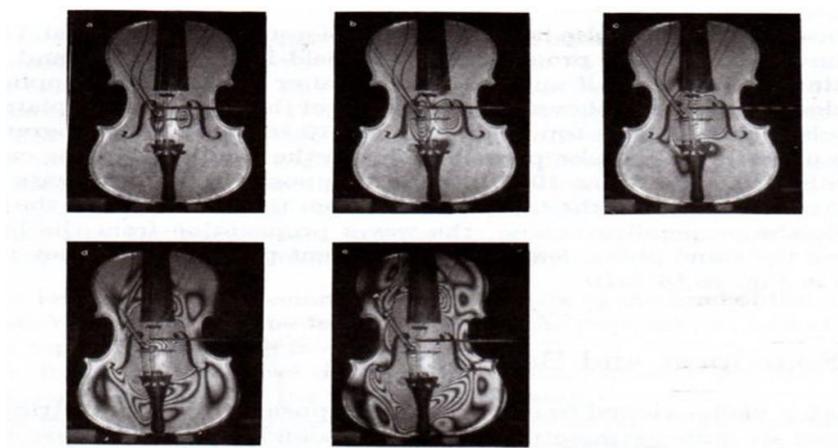


Figure 56. La forme interférentielle sur la vibration du chevalet²⁰

¹⁸ N.-E. MONLIN, A. O. WAHLIN and E. V. JANSSON, « Transient wave response of violin body » *Journal of Acoustical Society of America* 1988 (1990), p. 2479.

¹⁹ $1\mu s = 1 \times 10^{-6}$ seconde.

²⁰ MONLIN, WAHLIN and JANSSON, « Transient wave response of violin body » *op.cit.*, p. 2480.

Le deuxième interférogramme (Figure 56) révèle des situations d'ondes dans $70\mu s$, $120\mu s$, $150\mu s$, $230\mu s$ et $300\mu s$ après l'input d'une pulsation vertical attaché sur le chevalet à la table. Evidemment, la propagation des ondes se fait à partir des deux pieds du chevalet. La forme des ondes est de plus en plus symétrique et harmonieuse sur la table au fur et à mesure que le temps s'écoule.

Selon ces deux expérimentations, je remarque que l'âme n'a pas beaucoup d'effets sur la vibration symétrique de la table à droite et à gauche, et que le chevalet peut renforcer la résonance de la table, surtout lorsqu'il s'agit des notes hautes. De ce fait, la vibration entre la partie droite et la partie gauche de la table d'harmonie ne s'équilibre pas.

En même temps, des chercheurs travaillent sur la motion acoustique sans l'âme. Ils ont découvert que, si l'on enlève l'âme d'un violon, les fréquences des modes A_0 et T_1 se réduisent respectivement de 8% et 13%, et que l'aspect de vibration du mode T_1 est assez symétrique. De plus, dans le mode C_3 , la fréquence augmente de 2%. Pour un violon normal, le mode T_1 présente une résonance forte et une radiation longue. Lorsque la fréquence est supérieure à 2500 Hz, le mode T devient une forme symétrique.

Comme le violoniste et le luthier le savent, si l'on déplace un peu l'âme, même s'il s'agit seulement de quelques millimètres, la sonorité du violon change beaucoup. Saldner en a fait l'expérimentation en 1996. Il a mesuré d'abord des paramètres originels de l'âme, et puis, il a laissé l'âme se déplacer de 10 mm, plus proche de la ligne centrale. Lorsqu'il a rejoué avec de ce violon pour encore une fois, il a obtenu une sonorité différente. Enfin, il a remarqué que, si l'âme est déplacé adéquatément près de la ligne centrale, la résonance du mode T augmente de 9%, et que la sonorité du mode C augmente de 15 dB dans la mesure où la fréquence ne change pas. Ainsi, on déduit que, lorsque la position de l'âme est plus près de la médiane du violon, le son est un peu plus ample.

La fonction essentielle de la barre d'harmonie est de soutenir la tension superficielle et la pression de la table à gauche. Cette barre de soutien peut

efficacement disperser les forces du chevalet issues de la vibration des cordes. De plus, elle peut également renforcer la vibration de la table à gauche. La plupart des violons fabriqués au début du XVIII^e siècle sont déjà équipés d'une barre de soutien afin de bien accommoder la pression des cordes. Cette technique est utilisée jusqu'à nos jours.

5.6 Chevalet

Le rôle fondamental du chevalet est de transformer l'action des cordes en forces périodiques. Mais, des luthiers découvrent que la forme du chevalet peut changer efficacement la sonorité du violon. Si nous utilisons une pièce de bois pour fabriquer une forme comme le chevalet, et que nous la collons ensuite sur la table d'harmonie, nous trouverons que le violon n'a presque aucune sonorité. Si nous créons deux pieds et deux fentes latérales dans la pièce de bois, nous trouverons alors que la qualité du son est évidemment améliorée. Il est surprenant que nous parvenions à une forme qui est presque identique à la forme actuelle du chevalet.

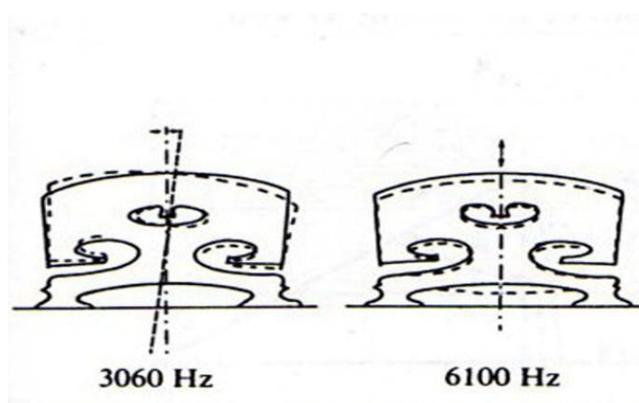


Figure 57. La forme de la vibration du chevalet²¹

En réalité il existe plusieurs modes de vibration sur le chevalet en raison de diverses fréquences. Lorsque le chevalet vibre pour la première fois, son action est essentiellement rotative ; puis, quelques vibrations sont rebondies sur le chevalet par la force de soutien de la table d'harmonie ; enfin, la motion du chevalet arrive à une

²¹ FLETCHER et ROSSING, *op.cit.*, p. 299.

force verticale qui presse directement la surface de la table, ceci est la seconde vibration. De ce fait, la syntonie entre le chevalet et la table est formée. Désormais, la table et le chevalet vibrent ensemble. De plus, il est facile, pour le son de haute fréquence, de produire la syntonie entre le chevalet et la table. Evidemment, lorsque l'intensité de l'archet est plus forte, la résonance devient alors plus grande grâce à la vibration rapide et à la pression verticale plus forte sur la table.

Pour assourdir le son, le violoniste peut mettre une sourdine sur le chevalet afin de limiter la vibration. En revanche, si nous mettons respectivement deux pièces élastiques très fines dans deux fentes latérales du chevalet, la résonance augmentera.

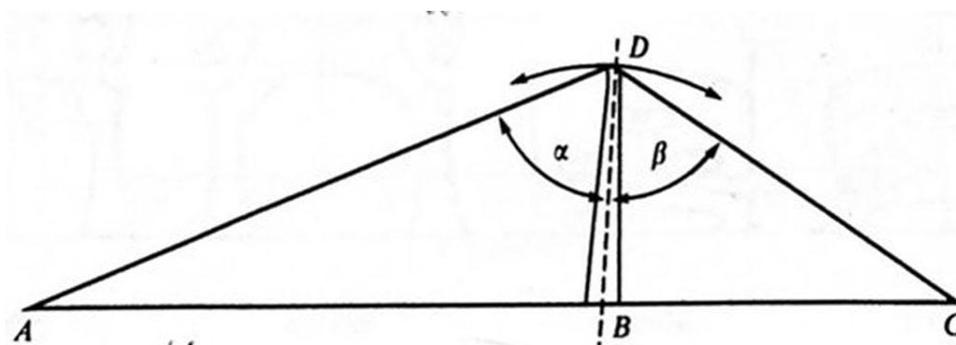


Figure 58. L'analyse de pression sur le chevalet

En raison de l'esthétique, le chevalet est fabriqué avec une forme assez symétrique. Selon la physique, les surfaces supérieures et latérales d'un chevalet doivent être strictement plus grandes que les surfaces inférieures. Pour une pression forte sur la corde haute telle que la corde de *mi*, la pression sur l'âme est deux fois plus forte que celle sur la barre de soutien. Quand la corde de *mi* vibre, elle est presque parallèle à la table. Quand la corde de *sol* vibre, elle forme un angle de 50 degrés avec la table. Selon la physique, le mieux est que l'angle α et l'angle β ²² soient égaux. Dans ce cas, la pression est divisée en deux parties égales afin de bien former une résonance symétrique et un son ample.

²² Cf. Figure 58, p. 203.

Par hasard, Paul Altenburger, luthier français contemporain, est également arrivé à trouver un résultat similaire grâce à une expérience. La pression sur la table pour une tension donnée de la corde vibrante est fonction de l'angle formé par la corde au niveau du chevalet. Voici la figure 59 :

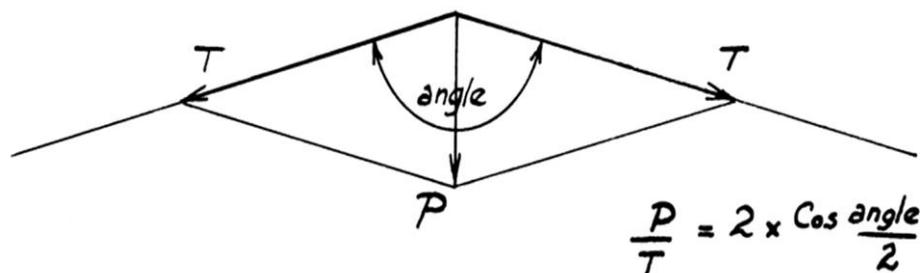


Figure 59. L'analyse de l'angle sur le chevalet²³

D'après la physique, nous savons que plus l'angle n'est grand, plus la pression est faible pour une tension donnée T . De plus, pour 10° d'écart la pression est modifiée de 50%.

5.7 Analyse des contraintes du violon

Aujourd'hui, la caisse d'un violon comprend une table bombée en épicéa, dont la hauteur de voûte est de quelque 14 à 20 mm. Le poids d'une table varie entre 70g et 100g environ. Les épaisseurs du bois sont de l'ordre de 1,5 à 3 mm. Toutes les répartitions variées sont issues d'expériences des luthiers. Certains luthiers mettent des épaisseurs constantes partout, par exemple de 2 mm ; d'autres passent de 1,5 à 3 mm du bord vers le milieu de la table. Les luthiers habiles ayant des connaissances riches sur la structure, règlent empiriquement les épaisseurs et leur répartition selon

²³ Paul ALTENBURGER, *Manuel de Lutherie à l'usage des amateurs*, Editions VIAL, Saint-Etienne, 2005, p. 121.

flambement précédent. Si toutes ces forces sont judicieusement organisées, le système est en équilibre statique : la poussée du chevalet vers le bas est compensée par la poussée vers le haut résultant du flambement de la table. C'est le cas pour la disposition classique du violon. Nous vérifions que le sillet A est dans le plan de la table BD et on a $CM = MH$, ou encore, sous une autre forme :

$$CK + KM = MN + NH$$

Cela veut dire que la somme $CK + KM$ (hauteur du chevalet + celle de la voûte de la table) est égale à $MN + NH$ (éclisses + voûte du fond). Un violon, ainsi conçu, est en équilibre, condition optimum pour la vibration et la résonance de la caisse. Quand la corde AC se met à vibrer, créant des différences périodiques de force aux points de fixation de la corde, tout le système est lancé avec le minimum de dépense d'énergie.

Nous voyons comment agissent les 4 types de vibration de la corde. La vibration transversale fait vibrer le chevalet dans le sens « haut-bas » ; la vibration longitudinale et la vibration d'octave agissent par tractions périodiques en A et D ; la vibration de torsion fait osciller latéralement le chevalet. Nous convenons aisément que le phénomène global est d'une grande complexité. Comme les matériaux sont chaque fois peu ou prou différents, chaque violon a des qualités de son particulières, ce qui personnalise chaque instrument.

Dans ce chapitre, j'ai présenté et analysé la vibration du violon par l'acoustique, la coupe longitudinale et les analyses des contraintes. Dans le chapitre suivant, je vais me référer aux résultats de mes expérimentations acoustiques, aux expériences des luthiers et à la physique pour expliquer le rapport entre la sonorité et la structure du violon. D'ailleurs, j'essayerai de répondre à cette problématique : Quelle est l'influence de la structure de la caisse sur la sonorité ?

6. Analyses des courbures de la caisse du violon à partir des expérimentations acoustiques

Ayant étudié les caractéristiques de l'acoustique du violon et les théories des acousticiens tels que Helmholtz, Alonso Moral et Benade, j'ai remarqué que, l'acoustique est un outil pratique qui peut nous montrer des données réelles pour rechercher la sonorité du violon ; qui plus est, d'après la théorie de Félix Savart, nous pouvons également utiliser les données acoustiques pour analyser les cas de vibrations afin de trouver le rapport entre la sonorité et la structure de la caisse. De ce fait, j'ai fait des expérimentations acoustiques sur le violon.

6.1 Cadre des expérimentations acoustiques du violon

En décembre 2009 et mai 2010, j'ai rendu visite à monsieur Xue Peng (薛彭), professeur et responsable de maîtrise en Fabrication d'instruments à archet au Conservatoire National Supérieur de Shanghai (CNSS). Pendant ces deux mois, dans son studio, nous avons travaillé ensemble sur la structure du violon, surtout le modèle crémonais dont le moule G de Stradivarius et un modèle de Guarnerius issu du violon «Kreisler » fabriqué en 1733.

D'après la théorie de l'acoustique du violon, nous avons décidé de faire une série d'expérimentations acoustiques afin de répondre à cette question : Quelle est l'influence de la courbure de la caisse du violon sur la sonorité ? Tout d'abord, nous avons dû déterminer les équipements nécessaires à cette expérience :

Chercheurs	XU Liang (许亮), XUE Peng (薛彭)
Lieu	Studio d'enregistrement du CNSS de 25 mètres carrés ²⁵
Température du studio	20 °C

²⁵ Les photos d'expérimentation acoustique sont dans la partie de l'Annexe, p. 303-304.

Humidité du studio	60%
Système de l'ordinateur	Windows XP
Carte de son	Rme fireface 800
Microphone professionnel	Mic AKG c414B- u/s
Degré d'angle entre microphone et violon	45 °
Distance entre Microphone et la caisse du violon	1,0 – 1,2 m ère
Logiciel d'enregistrement	Steinberg Cubase SX3
Qualité d'enregistrement	44,1KHZ 16bit
Channel du son	1
Traitement du son	Non
Effet sonore	Original
Logiciel d'analyse	Audiosculpt (MAC)
Morceau d'enregistrement	« Allemand ²⁶ » issu de la <i>Partita pour violon seul n°2</i> , en ré mineur, Jean Sébastien Bach, BWV 1004
Violons	Copie du « Messie » (moule G, 1716) de Stradivarius, copie du « Kreisler » (1733), Guarnerius ²⁷
Luthiers	Xue Peng (薛彭), HUA Tianreng (华天昶)
Vitesse du morceau	Entre 80 et 84 à la noire

En effet, monsieur Hua Tianreng (华天昶), professeur d'université et directeur en fabrication d'instruments à archet du CNSS, est considéré en Chine comme l'un des meilleurs experts et luthiers du modèle de violon crémonais. Pour mieux se rapprocher de la réalité il a fabriqué notamment deux violons en copie dont un à partir du moule G de Stradivarius (1715) et un second à partir du modèle de

²⁶ La partition du morceau est dans l'Annexe, p. 289.

²⁷ Les photos de deux violons sont dans l'Annexe, p. 295-298.

Guarnerius issu du violon «Kreislér »(1733) ; de plus, il nous a fourni deux dessins techniques (à l'échelle 1:1) issus de l'ouvrage de Sacconi, *Les Secrets de Stradivarius*.

Comme on sait, la composition de la sonorité du violon est vraiment complexe du fait qu'il y a de nombreux éléments. Ces éléments sont divisés en deux catégories. La première catégorie concerne le réglage, la structure de la caisse, la qualité du bois, etc. La seconde émane du violoniste, comme la pression, la vitesse et l'angle de l'archet, etc.

En conséquence, pour analyser les sonorités des enregistrements, nous avons limité les conditions de l'expérimentation afin de minimiser les facteurs émanant du violoniste. Par exemple, nous avons limité la vitesse du morceau (entre 80 et 84 à la noire) afin de contrôler la vitesse de l'archet. Au cours des expérimentations, nous avons choisi seulement un seul violoniste pour exécuter le morceau dans le but d'uniformiser les facteurs humains tels que la pression de l'archet, le degré entre l'archet et le chevalet, la position de l'archet entre le chevalet et la fin de la touche etc. Parallèlement, je vais mettre en lumière les paramètres respectifs de ces deux violons :

Paramètres	Stradivarius	Guarnerius
Table / Bois	épicéa chinois (venu de la région du Nord-est 东北)	épicéa balkanique
Fond/ Bois	érable chinois (venu de la région du Sichuan 四川)	érable balkanique
Éclisses / Bois	érable chinois (venu de la région du Sichuan 四川)	érable balkanique
Âme/ Bois	épicéa chinois (venu de la région du Nord-est 东北)	épicéa balkanique
Vernis	huile d'alcool avec un petit peu d'essence de térébenthine	huile d'alcool avec un petit peu d'essence de

		t é benthine
Cordes	Thomastic pour solo en nylon	Thomastic pour solo en nylon
Épaisseur supérieure de la table	2,7 ~ 2,8 mm	2,7 ~ 2,8 mm
Épaisseur centrale de la table	2,9 ~ 3,0 mm	2,9 ~ 3,0 mm
Épaisseur inférieure de la table	2,7 ~ 2,8 mm	2,7 ~ 2,8 mm
Épaisseur des éclisses	1 ~ 1,1 mm	1 ~ 1,1 mm
Épaisseur supérieure du fond	Moyenne de 2,3 mm	Moyenne de 2,5 mm
Épaisseur médiane du fond	Moyenne de 4,5 mm	4,7 ~ 4,8 mm
Épaisseur inférieure du fond	Moyenne de 2,5 mm	Moyenne de 2,7 mm

En ce qui concerne la position, la hauteur et l'angle du chevalet et de la touche, nous les avons réglés selon la théorie de Paul Altenburger²⁸ et celle d'Arthur Benade²⁹. Ensuite nous avons invité mademoiselle WANG Jiaming³⁰ (王佳旻), premier violon de l'orchestre symphonique du Conservatoire national supérieur de Shanghai, à jouer sur ces deux violons.

6.2 Les fonctions d'*Audiosculpt* et les concepts mathématiques utilisés

Pour mieux comprendre le maniement d'*Audiosculpt*, j'expliquerai d'abord ce qu'est *Audiosculpt* et ses principes mathématiques. Puis je mettrai en lumière son aspect scientifique. *Audiosculpt* est un logiciel qui a été conçu et développé à l'Ircam (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique). Ce logiciel est un

²⁸ Cf. Figure 58, p. 203 ; Figure 59, p. 204.

²⁹ Cf. Figure 60, p. 205.

³⁰ Deuxième prix du concours national en 1997 ; Premier prix du concours national en septembre 2006 ; En mai 2007, deuxième prix du violon du concours international à Bucarest en Roumanie ; En juin 2007, membre de Master Class internationale de violon du Juilliard School à Hongkong.

puissant outil d'analyse et de traitement du son. De plus, certains résultats d'analyse peuvent être visualisés par affichage sur le sonagramme. *Audiosculpt* a deux fonctions principales : l'analyse du son et le traitement du son. En ce qui concerne l'analyse, il comporte des opérations telles que «Sonagram Analyse », «Fundamental Frequency Analyse », «Voiced/Unvoiced Analysis », etc. La fonction du traitement possède des opérations telles qu' «Add Band Filter », «Add Constant Transposition », «Add Image Filter », etc. Pour illustrer plus directement le rapport entre la sonorité et la structure du violon, je n'utilise que la fonction de l'analyse. Car une fois la fonction du traitement utilisé, le sonagramme et les analyses des données seront plus confuses. La distorsion sonore se fera et le sonagramme traité ne représentera pas les phénomènes de la vibration originale. Pour moi, le but de l'utilisation de ce logiciel n'est pas le traitement sonore mais l'analyse visible. Voici, un tableau montrant le rapport entre la note et la fréquence.

	音名	#C0	D0	#D0	E0	F0	#F0	G0	#G0	A0	#A0	B0	
极低音	唱名	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7	
	频率	35	37	39	41	44	46	49	52	55	58	61	
	音名	C1	#C1	D1	#D1	E1	F1	#F1	G1	#G1	A1	#A1	B1
超低音	唱名	1	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7
	频率	65	69	73	78	82	87	93	98	104	110	117	123
	音名	C2	#C2	D2	#D2	E2	F2	#F2	G2	#G2	A2	#A2	B2
低音	唱名	1	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7
	频率	131	139	147	156	165	175	185	196	208	220	233	247
	音名	C3	#C3	D3	#D3	E3	F3	#F3	G3	#G3	A3	#A3	B3
中音	唱名	1	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7
	频率	262	277	294	311	330	349	370	392	415	440	466	499
	音名	C4	#C4	D4	#D4	E4	F4	#F4	G4	#G4	A4	#A4	B4
高音	唱名	1	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7
	频率	523	554	587	622	659	698	740	784	831	880	932	988
	音名	C5	#C5	D5	#D5	E5	F5	#F5	G5	#G5	A5	#A5	B5
超高音	唱名	1	#1	2	#2	3	4	#4	5	#5	6	#6	7
	频率	1047	1108	1175	1245	1319	1397	1480	1568	1661	1760	1865	1975

Figure 61. Le rapport entre la note et la fréquence

Lorsqu'*Audiosculpt* analyse les sons, il utilise la technique d' «FFT » qui est en fait l'abréviation de «transformée de Fourier rapide ». En analyse, la «transformation de Fourier » est un analogue de la théorie des séries de Fourier

pour les fonctions non périodiques, et permet de leur associer un spectre en fréquences. On cherche ensuite à obtenir l'expression de la fonction comme « somme infinie » des fonctions trigonométriques de toutes fréquences qui forment son spectre. Une telle sommation se présentera donc sous forme d'intégrale. L'analyse non standard permet de la représenter sous forme d'une série et justifie le point de vue intuitif. Séries et transformation de Fourier constituent les deux outils de base de l'analyse harmonique.

La « transformée de Fourier », représentée généralement par la lettre F , est une opération qui transforme une fonction intégrable sur R en une autre fonction, décrivant le spectre fréquentiel de cette dernière. Si f est une fonction intégrable sur R , sa transformation de Fourier est la fonction $\mathcal{F}(f) = \hat{f}$ donnée par la formule :

$$\mathcal{F}(f) : \xi \mapsto \hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\xi x} dx$$

Il est possible de choisir une définition alternative pour la « transformée de Fourier ». Ce choix est une affaire de convention dont les conséquences ne se manifestent (en général) que par des facteurs numériques. Par exemple, certains scientifiques utilisent ainsi :

$$\mathcal{F}(f) : \nu \mapsto \hat{f}(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i2\pi\nu t} dt$$

avec le temps t en secondes et la fréquence ν en cycle⁻¹.

La « transformation de Fourier discrète (TFD) » est un outil mathématique de traitement du signal numérique, qui est l'équivalent discret de la « transformation de Fourier » continue qui est utilisée pour le traitement du signal analogique. En anglais, on parle de « Discrete Fourier Transform (DFT) » que l'on a tendance à confondre avec la « Fast Fourier Transform (FFT) ». La FFT n'est en fait qu'un algorithme de

calcul rapide de la TFD. Sa définition mathématique pour un signal S de N échantillons est la suivante :

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot e^{-2i\pi k \frac{n}{N}} \quad \text{pour} \quad 0 \leq k < N$$

La transformée inverse est donnée par :

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot e^{2i\pi n \frac{k}{N}}$$

Nous obtenons ainsi une représentation spectrale discrète du signal échantillonné $s(n)$. Il est important de comprendre que la TFD/FFT ne calcule pas le spectre continu d'un signal continu. La TFD/FFT permet seulement d'évaluer une représentation spectrale discrète (spectre échantillonné) d'un signal discret (signal échantillonné) sur une fenêtre de temps finie (échantillonnage borné dans le temps).

En conséquence, la « transformation de Fourier » peut non seulement analyser la fonction périodique mais également traiter la fonction non-périodique, parce que nous pouvons considérer que la fonction non-périodique possède une période infinie. De plus, avec la « transformée de Fourier discrète (TFD /FFT) » les signaux sonores analysés par *Audiosculpt* se dissocient en partiels, dont le vecteur d'amplitude et le vecteur de la fréquence, qui permet de constater et d'expliquer le sonagramme divers des notes lorsque nous écoutons de la musique.

6.3 Analyses acoustiques

La mémoire insuffisante de ce logiciel ne nous permet pas d'analyser toutes les mesures du morceau. Monsieur Mondher Ayari m'a ainsi proposé de choisir des

mesures caractéristiques pour analyser et expliquer des phénomènes sonores.

Pendant ces deux mois de travail, monsieur Xue Peng et moi-même avons fait plusieurs enregistrements acoustiques. En accord avec la violoniste Wang Jiaming, nous avons choisi 3 échantillonnages sonores les plus purs et les plus stables possibles pour l'analyse.

6.3.1 Analyse d'enregistrement d'une copie du modèle G de Stradivarius

Afin de mieux analyser et comparer les données calculées par *Audiosculpt*, j'ai défini le paramètre de «Sonogram Display» avec «Black Threshold»: -50 dB, «White Threshold»: -62 dB. De plus, nous avons demandé à Wang Jiaming de jouer du violon sans faire les nuances telles que *p*, *mf*, *f* etc. Le morceau est l'«Allemand» de la *Partita pour violon seul n°2*, en *ré* mineur de Jean Sébastien Bach. En fait, j'ai choisi des mesures particulières pour analyser les caractéristiques de la sonorité. Bien sûr, tout d'abord, nous considérons que la fréquence de chaque note exécutée par le violon est périodique. Si nous constatons un son non-périodique, d'après la définition de la «transformation de Fourier», nous pouvons considérer que sa période est infinie.

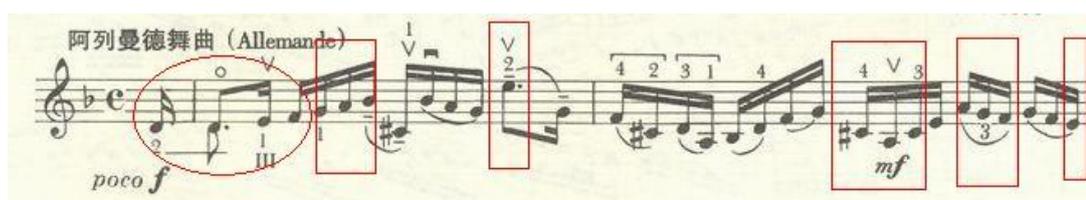
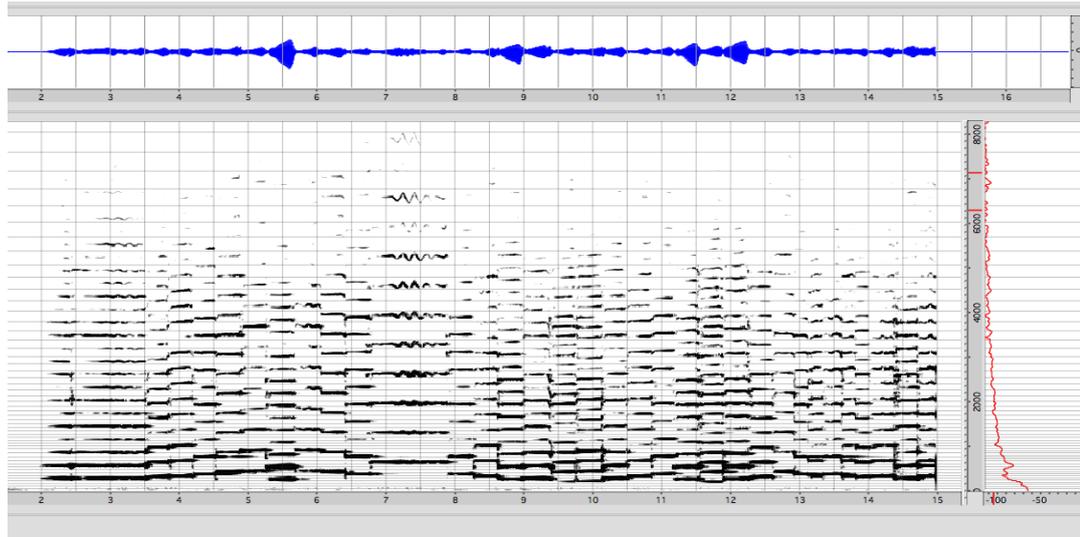
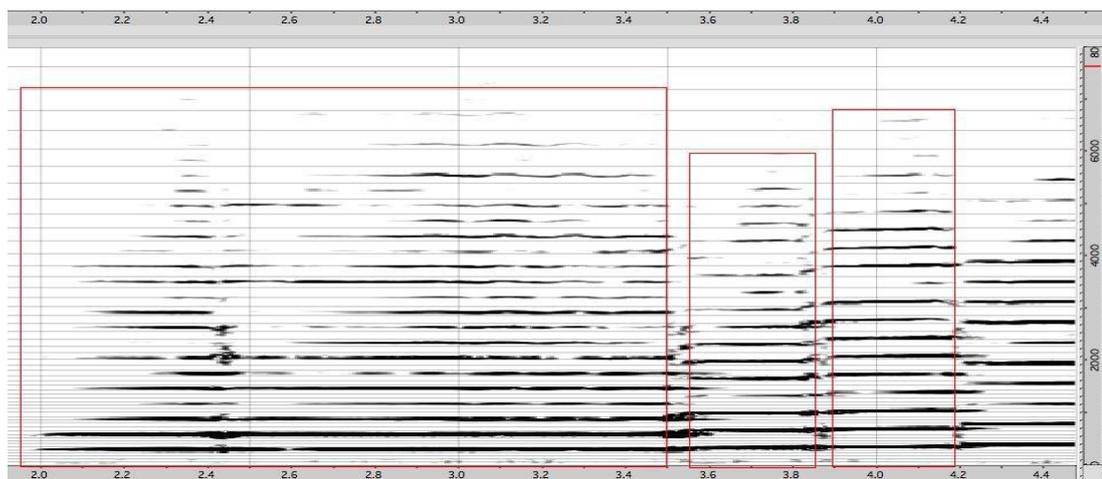


Figure 62. 1^e et 2^e mesures de la partition

Dans ces deux mesures, j'ai marqué les notes à analyser en rouge. Avec l'analyse de FFT d'*Audiosculpt*, j'ai obtenu le sonogramme correspondant aux mesures mentionnées :



Dans ce sonagramme, il y a 2 axes de coordonnées. L'axe horizontal représente le temps, et l'axe longitudinal la fréquence. On peut constater que chaque note se divise, d'après le temps, en des partiels longitudinaux par lesquels on peut analyser le timbre, l'intensité etc. En fait, ce sonagramme est en 3 dimensions. Pour chaque droite horizontale (partiel), la longueur est le temps du son, les couleurs telles que le blanc, le gris, le noir, représentent respectivement l'intensité légère, l'intensité normale et l'intensité forte. Le nombre de partiels longitudinaux représente le niveau d'harmonie d'une note. La troisième dimension est en fait la fréquence de la note. Comme chaque note possède sa propre fréquence, lorsque nous exécutons des notes, leur fréquence est déjà déterminée. Ce sonagramme est justement une image globale qui ne peut montrer précisément les détails des paramètres. De ce fait, dans l'analyse ultérieure je ne montre pas le sonagramme global des mesures et ne présente que le sonagramme des notes intéressantes pour la vibration du violon. Par conséquent, j'analyse d'abord *ré mi*, et *fa*, de la première mesure, et j'obtiens le sonagramme suivant :



D'après la figure 61 ³¹, on connaît la fréquence de ces trois notes, elles sont respectivement *ré* (294Hz), *mi* (330 Hz) et *fa* (349 Hz). Pour jouer ces trois notes, il faut placer la main gauche sur la 3^e position de la corde de *sol* selon le doigté. Ce geste est appelé le «démancement» ou le «démanché» par les violonistes. En fait, la corde de *sol* est non seulement la corde la plus grosse mais également la note la plus grave. Cela marque le début de la tessiture du violon. D'ailleurs, les vibrations de ces trois notes sont influencées par la barre d'harmonie. De ce fait, on peut acquérir des données sur le timbre et la vibration de la 3^e position de la corde de *sol*. D'après ce sonagramme j'ai obtenu le tableau suivant :

Paramètres\notes	<i>ré</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>
Fréquence de tempérament égal (en Hz)	294 Hz	330 Hz	349 Hz
Temps (en seconde)	1'9''-3'5''	3'5''-3'85''	3'9''-4'2''
Amplitude fondamentale (en dB)	-27,749	-25,927	-27,249
Démancement	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position
Corde	G (<i>sol</i>)	G (<i>sol</i>)	G (<i>sol</i>)
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	15	15	15

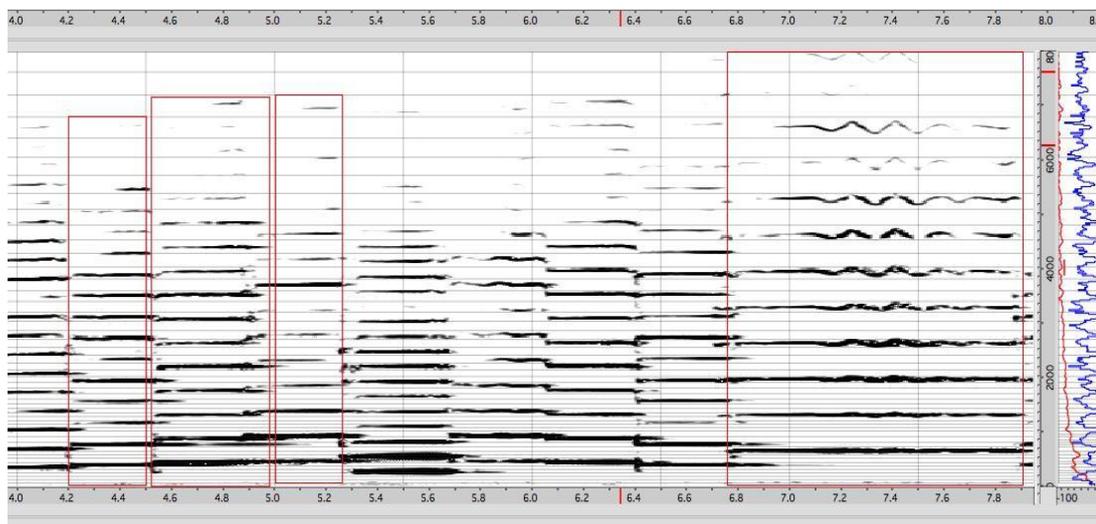
³¹ Cf. p. 211.

Nombre de partiels réels	21	17	18-19
--------------------------	----	----	-------

D'après la théorie de l'acoustique, le premier partiel est la ligne fondamentale qui montre les paramètres fondamentaux du son tels que la fréquence originale, la durée et l'intensité originale. Les autres partiels sont les vecteurs discrets calculés par Transformée de Fourier discrets (TFD /DFT /FFT). Des partiels de chaque note représentent non seulement l'intensité mais également le timbre et l'harmonie du son. D'après les paramètres de l'amplitude fondamentale, l'intensité de *mi*, -24,565 dB, est la plus forte parmi ces trois notes ; l'intensité de *ré* et celle de *fa* sont proches aussi. Je pense que c'est en rapport avec la force des doigts. Lorsque la position des doigts est plus proche du chevalet, la pression dont les doigts ont besoin est plus forte. De plus, la force du petit doigt est la moindre parmi celle de 5 doigts de la main, l'intensité de *fa* est donc la moins forte. Par conséquent, la position loin du chevalet (telle que la 1^{re} position de la main gauche) peut faire aisément une sonorité puissante. Mais, pour la corde de *sol*, la 1^{re} position de la main et la 3^e position peuvent faire aisément une sonorité forte. A la 3^e position sur la corde de *sol*, en raison du bras gauche il est plus facile de forcer la pression. De plus, le bras droit est surlevé ainsi l'archet possède également une pression plus forte. Pourquoi la 3^e position de la corde de *sol* peut-elle résister à une pression forte issue des doigts gauches et de la pression de l'archet ? C'est la fonction de la barre d'harmonie qui est installée à l'inverse de la table, au-dessous du pied gauche du chevalet, celle qui permet de soutenir efficacement la pression issue des notes graves surtout sur la corde de *sol*. À 2'58'', le timbre de *ré* est légèrement modifié. À partir de quatrième partiel, les lignes horizontales deviennent de plus en plus légères et discontinues, voire inexistantes. Ce phénomène démontre que l'intensité et de la note *ré* devient de moins en moins forte, que le timbre est également modifié et que l'harmonie est également réduite. Parce qu'à ce moment-là, l'archet est sur le point de changer de sens, passant de poussé à tiré. Bientôt, tous les partiels vont rétablir la forme précédente et devenir plus stables. Les notes *mi* et *fa* sont moins stables que *ré* à

cause de la forme durative relativement courte. De plus, certains partiels de *mi* sont plus foncés que ceux de *fa*. Cela est dû au fait que l'amplitude de *mi* (-25,927 dB) est plus puissante que celle de *fa* (-27,249 dB).

Dans la mesure 1, j'analyse aussi *sol*, *la*, *si^b* et *mi*. De ce fait, j'obtiens le sonagramme et le tableau suivants :



Paramètres\notes	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>	<i>mi</i>
Fréquence de tempérament égal (en Hz)	392	440	466	659
Temps (en seconde)	4'2''-4.5''	4'5''-4'9''	4'9''-5'2''	6'79''-7'9''
Amplitude fondamentale (en dB)	-33,208	-27,749	-39,12	-25,475
Débranchement	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position
Corde	D (<i>ré</i>)	D (<i>ré</i>)	D (<i>ré</i>)	A (<i>la</i>)
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	16	16	16	15
Nombre de partiels réels	14	15-16	12-13	11

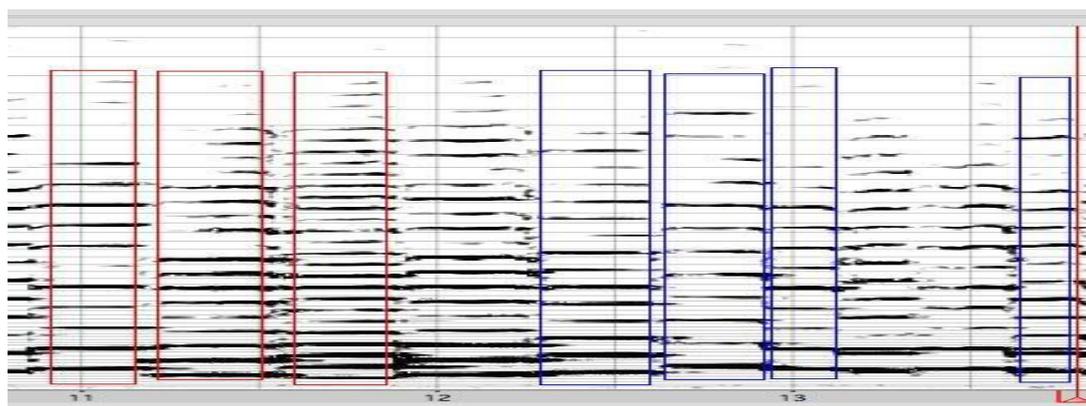
Evidemment, lors de la 3^e position de la corde de *ré* l'amplitude fondamentale de *la* est plus forte que celle de *sol* et celle de *si^b*. En raison du nombre et de la

couleur des partiels, on peut penser que les timbres de *sol* et de *la* sont plus harmoniques que celui de *si^b*. D'après les analyses de ces trois notes, on a obtenu les paramètres de la 3^e position de la corde de *la*. Bien que ces trois notes se trouvent sur la 3^e position de la main gauche, la barre d'harmonie ne peut pas résister complètement à la pression de la corde de *la* car la position de la barre d'harmonie se trouve en au-dessous de la corde de *sol*. Par conséquent, dans le cas où la pression est constante, la sonorité de la corde de *ré* est plus forte que celle de la corde de *sol*, parce que la barre d'harmonie contrebalance les pressions issues du chevalet. Mais la barre d'harmonie donne également une particularité à la corde de *sol*. Parmi 4 cordes du violon, c'est la corde de *sol* qui peut résister à la pression la plus forte, ce qui signifie que la corde de *sol* peut produire une sonorité plus puissante. Pour un violoniste, il est difficile de comprendre et de contrôler le timbre de la 3^e position de la corde de *ré* et celui de la corde de *la*. En termes de sonorité, la corde de *ré* et la corde de *la* n'obtiennent guère de soutien de la barre d'harmonie ou de l'âme. En revanche, la corde de *sol* est la bénéficiaire unique de la résistance à la pression issue de l'effet de la barre. La corde de *mi* acquiert son soutien avec l'aide de l'âme. Donc, j'ai choisi *mi*, le 4^e temps de la 1^{re} mesure, pour analyser le timbre de la 3^e position de la corde de *la*.

En raison de l'amplitude, cette note *mi* (-25,475 dB) est plus forte que les autres notes précédemment analysés. D'ailleurs, le nombre de partiels réels de *mi* (10-11) est moins important que celui de *sol* (14), *la* (15-16) et *si^b* (12-13), autrement dit, l'harmonie (le timbre) de *mi* est légèrement moins forte que celles des trois autres notes. La cause de ce phénomène est le manque de soutien de la corde issu de l'intérieur de la table. En ce qui concerne la forme de triangle³² sur les partiels de *mi*, c'est le résultat de la main gauche du violoniste qui fait le vibrato. Par conséquent, on considère que la barre d'harmonie favorise l'harmonie du son sur la corde de *sol* et la corde de *ré* aux autres sons.

³² Cf. p. 218.

Quant aux notes de la deuxième mesure³³, j'ai obtenu leur sonagramme :

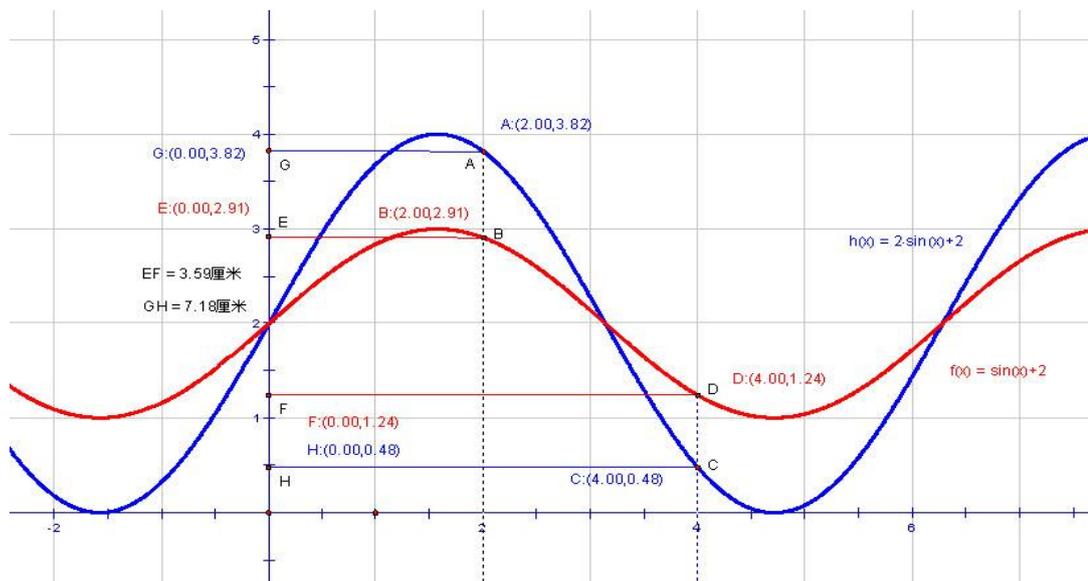


Les paramètres corrélatifs sont dans le tableau suivant:

Paramètres\ notes	<i>do[#]</i>	<i>la</i>	<i>do[#]</i>	<i>la</i>	<i>sol</i>	<i>fa</i>	<i>mi</i>
Fréquence (en Hz)	277	220	277	440	392	349	330
Temps (en seconde)	10'93'' - 11'2''	11'23'' - 1'5''	11'53'' - 11'9''	12'2'' - 12'5''	12'5 - 12'9''	12'95 - 13'1''	13'57'' - 13'83''
Amplitude fondamentale (en dB)	-14,102	-41,396	-15,012	-32,753	-34,57 3	-31,388	-39,576
Débranché	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e
Corde	<i>Sol</i>	<i>Sol</i>	<i>Sol</i>	<i>ré</i>	<i>ré</i>	<i>ré</i>	<i>ré</i>
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	15	15	15	15	15	15	15
Nombre de partiels réels	14	19	27	15	14-15	12-13	15

³³ Cf. Figure 62, p. 214.

Pour bien faire comprendre le rapport entre l'amplitude, la fréquence et la réponse (réaction) du violon, il me faut présenter un concept acoustique.



Dans la figure ci-dessus, il y a deux ondes dans le système de coordonnées dont l'axe horizontal x représente la fréquence f et l'axe longitudinal y représente l'amplitude a . Dans la période fréquentielle entre 2 et 4, la courbe bleue AC est une partie de l'onde $h(x)$, la courbe rouge BD est une partie de l'onde $f(x)$. Le tracé projectif de l'onde AC sur l'axe longitudinal, le segment GH (7,18 mm) est supérieur à l'intervalle du segment EF (3,59 mm), la projection de l'onde BD . D'après la physique, pendant cette bande fréquentielle la réponse de l'instrument qui a émis l'onde BD est plus rapide et plus sensible que celle de l'instrument qui a émis l'onde AC .

D'après les paramètres des pages 220-221, l'intensité du premier $do^\#$ est la plus forte parmi celle des 3 premières notes en raison de l'amplitude du partiel fondamental (-14,102 dB). Cependant, le nombre de partiels réels du premier $do^\#$ étant moins nombreux que les 3 premières notes, on peut dire que l'harmonie de ce $do^\#$ est la plus faible parmi ces trois notes. Mais cela dépend du doigté. Selon la partition, il faut jouer le premier $do^\#$ avec le 4^e doigt de la main gauche, c'est-à-dire le petit doigt. Par rapport aux autres doigts de la main, ce doigt est le plus faible et le moins habile. Lorsqu'on appuie sur la corde de *sol* avec le petit doigt, en général la

pression n'est pas suffisante au point que le son n'est pas très solide. En ce qui concerne les notes sur la corde de *ré* leur intensité et l'harmonie du son sont étroitement liés. Mais, par rapport à l'analyse de la page 221 sur la note *la*, il apparaît que l'intensité de ces deux notes *la* n'est pas identique. Le premier *la* (p. 218) a $-27,749$ dB sur l'amplitude fondamentale qui est plus sonore que *la* ($-32,75$ dB) de la page 221. La seule différence percevable entre ces deux notes de *la* est le doigté. Le premier *la* profite du médium pour toucher la note *la* sur la 3^e position de la main gauche de la corde de *ré*; le deuxième profite du petit doigt pour toucher la note *la* sur la 1^e position de la main de la corde de *ré*. Mais, que ce soit le médium de la 3^e position ou le petit doigt de la 1^e position, l'emplacement du *la* est unique sur la corde de *ré*. Par conséquent, on peut penser que le timbre et l'intensité de la corde de *ré* n'ont pas de rapport avec le doigté mais avec la pression des doigts. Dans le cas où la pression de l'archet est constante, la pression des doigts est plus forte donc l'amplitude devient également plus forte au point que le son est plus inflexible.

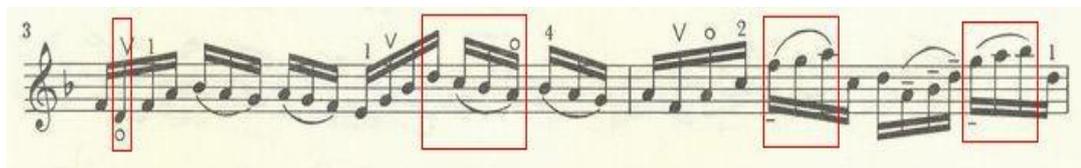
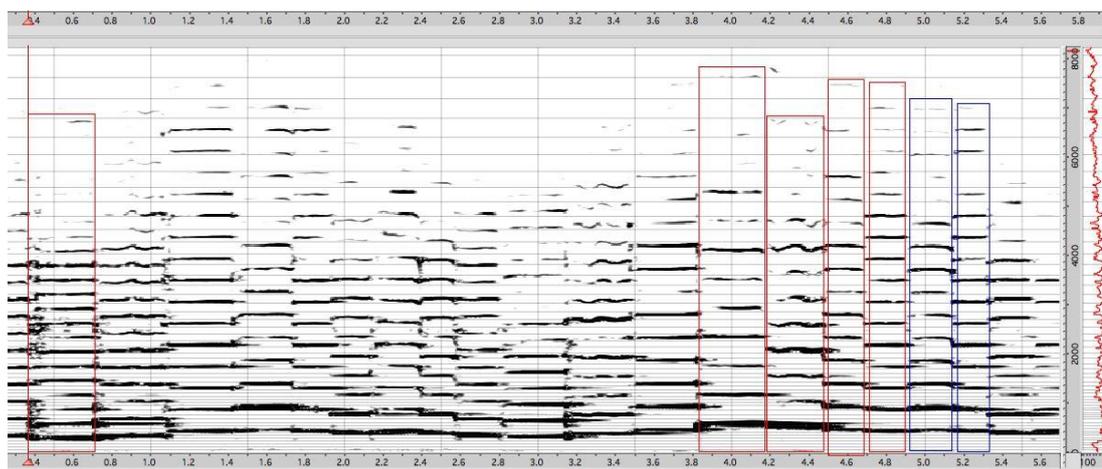


Figure 63. 3^e et 4^e mesures de la partition

Dans ces deux mesures, j'ai marqué les notes à analyser avec les carrés rouges. De plus, j'ai obtenu les données de la mesure 3 et le sonagramme suivants :



Param ètres\ notes	<i>r é</i>	<i>r é</i>	<i>do</i>	<i>si^b</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>	<i>la</i>
Fr équences (en Hz)	294	587	523	466	440	466	440
Temps (en seconde)	0'67''- 0'9''	3'87''- 4'15''	4'15''- 4'46''	4'46''- 4'7''	4'76''- 4'9''	4'92''- 5'13''	5'13''- 5'33''
Amplitude fondamentale (en dB)	-25,475	-14,102	-27,749	-36,392	-24,565	-40,941	-36,874
D ébranch é	1 ^e la corde à vide	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e Le doigt é: z éto	2 ^e	2 ^e
Corde	<i>r é</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>r é</i>	<i>r é</i>
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	15	15	15	15	15	15	15
Nombre de partiels réels	19	12	13	13	16	15	15

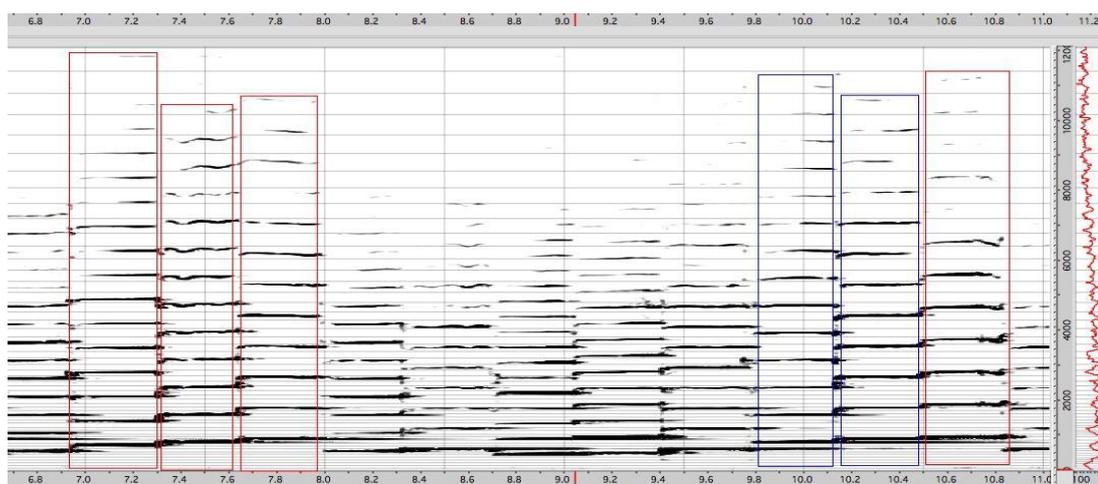
En fait, lorsqu'on exécute le premier *ré* (le premier carré rouge), le doigté marque le zéro (p. 222), c'est-à-dire que les doigts de la main gauche ne peuvent pas appuyer sur la corde de *ré* il faut utiliser la propre vibration de la corde de *ré*. Cette action de la main est appelée par les violonistes, la vibration de «la corde à vide». Par rapport aux autres paramètres de *ré* de la première mesure³⁴, la vibration de la corde à vide est non seulement forte mais également stable. De plus, son timbre est différent à cause du changement de la corde. Remarquons aussi que le doigté du *ré* de la page 214 est sur la 3^e position de la corde de *sol* avec une durée assez longue (environ 1,6 seconde). On remarque que ce *ré* est plutôt fort et stable au début du morceau³⁵. En effet, la vibration de la corde à vide de *ré* dans le sonagramme supérieur ne dure que 0,27 seconde. On peut penser qu'elle n'appartient qu'à un des passages du morceau. Pourtant, ses partiels sont plus stables et les 15 premiers partiels sont également assez noirs et solides. On peut donc considérer que la vibration de la corde à vide de *ré* possède une bonne harmonie.

Les autres carrés rouges sont les notes : *ré do*, *si^b* et *la* qui appartiennent à une gamme descendante sur la 1^{re} position de la main de la corde de *la*. D'après l'amplitude fondamentale, on trouve que la note la plus forte est, parmi les 4 notes, *ré* à -14,102 dB. En effet, la vibration de la corde à vide de *la* est également forte, elle est à -24,565 dB. Par ailleurs, si la pression de l'archet est constante, la corde à vide de *la* possède la vibration la plus forte sur la corde de *la*. Les deux carrés bleus représentent respectivement des partiels de *si^b* et *la*. Mais ces deux notes sont vraiment différentes de *si^b* et *la* marqués par le carré rouge, parce que leur doigté est sur la 2^e position de la corde de *ré*. Ces deux paires de *si^b* et *la* se trouvent respectivement sur deux cordes différentes. De ce fait, leurs timbres ne sont pas identiques. D'après l'amplitude fondamentale, l'intensité du premier *si^b* (carré rouge) est plus forte que celle du deuxième (carré bleu), de même, l'intensité du *la* (carré rouge) est plus forte que celle de l'autre *la* (carré bleu). En raison des partiels

³⁴ Cf. Figure 62, p. 214, et les paramètres est dans le page 216.

³⁵ *Ibid.*

similaires, l'harmonie des deux *si^b* est très proche. En ce qui concerne les deux *la*, leurs 12 premiers partiels sont quasiment identiques ce qui revient à une même proportionnalité pour l'harmonie de ces deux sons. En conséquence, on peut penser que l'harmonie du son entre la 1^{re} position de la corde de *la* et la 2^e position de la corde de *ré* est proche dans le cas où l'on exécute les mêmes notes sur ces deux cordes.



En général, lorsque je fais l'analyse, les coordonnées longitudinales sont définies dans un cadre de 0 à 8000 Hz. Mais, pour la 4^e mesure³⁶, j'ai rallongé ce cadre jusqu'à 12000 Hz en raison de la fréquence aigue. De ce fait, j'ai obtenu le sonagramme supérieur et les paramètres corrélatifs :

Paramètres\notes	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>
Fréquences tempérament égal (en Hz)	698	784	880	932
Temps (en seconde)	6'95''-7'3''	7'31''-7'63''	7''65''-7'98''	10'49''-10'82''
Amplitude fondamentale (en dB)	-28,204	-25,45	-35,937	-22,745

³⁶ Cf. Figure 63, p. 222.

D é n a n c h e m e n t	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position
Corde	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>
Nombre de partiels reconnus par Audiosculpt	15	15	15	15
Nombre de partiels r é e l s	16	13	12	11-12

Dans le sonagramme supérieur, il y a 4 carrés rouges qui représentent respectivement *fa*, *sol*, *la* et *si^b* sur la 1^{re} position de la corde de *mi*. Pour *fa*, il y a 16 partiels dont 10 noirs, 4 gris et 2 légers. Quant à *sol*, il y a 13 partiels dont 11 noirs, 1 gris et 1 léger. A la note *la*, il y a 12 partiels dont 8 noirs, 2 gris et 2 légers. En ce qui concerne *si^b*, il y a 12 partiels dont 7 noirs, 1 gris et 4 légers. En raison des paramètres de l'amplitude fondamentale, j'ai remarqué un phénomène : l'intensité devient plus forte à mesure que la fréquence du son aigu augmente sur la 1^{re} position de la corde de *mi*. Mais, d'après le sonagramme, l'harmonie et le nombre de partiels r é e l s de *si^b* sont les plus faibles parmi ces 4 notes. De ce fait, on peut penser que si la pression de l'archet est constante, l'intensité s'agrandit et l'harmonie du son diminue en fonction de l'augmentation de la fréquence du son aigu sur la 1^e position de la corde de *mi*.

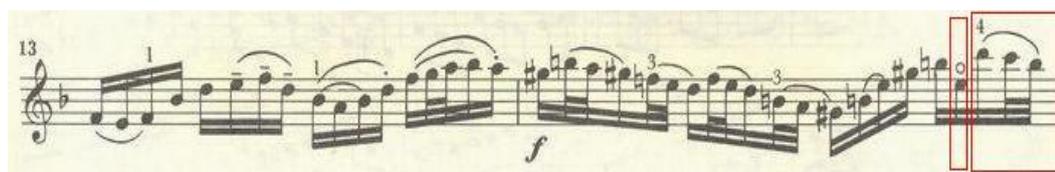
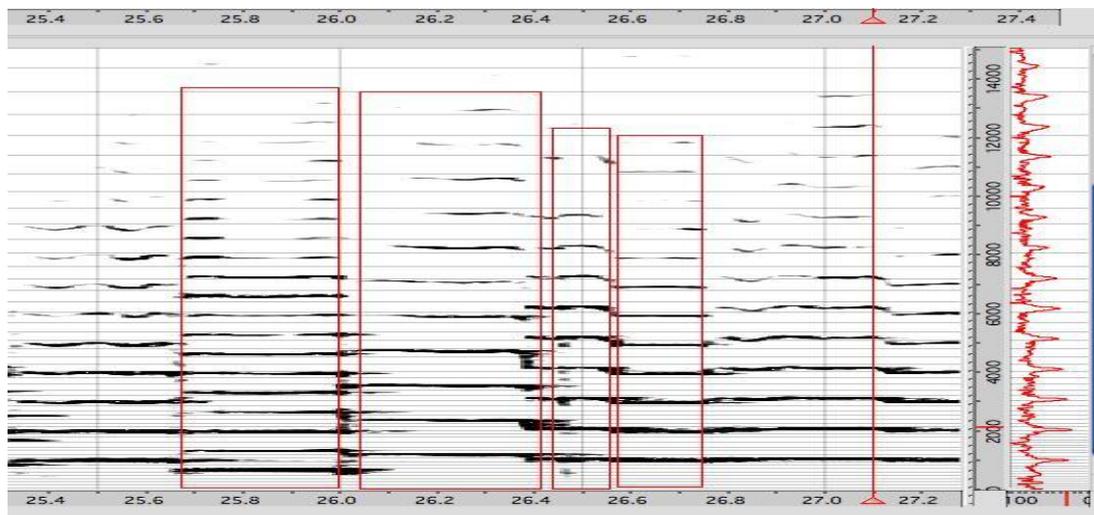


Figure 64. Les mesures 13 et 14

Dans ces deux mesures, j'ai marqué les notes à analyser avec les carrés rouges dans lesquels la note *mi* appartient à la vibration de la corde à vide à cause du doigté « 0 ». Les notes *ré do*, *si^b* appartiennent à une gamme descendante de la 3^e position de la corde de *mi* et ces trois notes sont les notes les plus aiguës du

morceau. Par le calcul de FFT, j'ai obtenu le sonagramme suivant :



D'après ce sonagramme, j'ai obtenu les paramètres suivants :

Paramètres\ notes	<i>mi</i>	<i>ré</i>	<i>do</i>	<i>si</i> ♯
Fréquences (en Hz)	659	1175	1947	988
Temps (en seconde)	25'6''-26'0''	26'0''-26'4''	26'43''-26'75''	26'77''-27'1''
Amplitude (en dB)	-17,286	-25,02	-24,565	-39,122
Débranché	La corde à vide de <i>mi</i>	3 ^e position de la corde de <i>mi</i>	3 ^e position de la corde de <i>mi</i>	3 ^e position de la corde de <i>mi</i>
Nombre de partiels reconnus par Audiosculpt	15	15	15	15
Nombre de partiels réels	20	11	11	12

Lorsqu'on regarde ce sonagramme, on peut remarquer que les coordonnées longitudinales de la fréquence sont entre 0 et 14500 Hz. Lorsque j'ai analysé les sonagrammes précédents, les coordonnées longitudinales de la fréquence étaient dans un cadre compris entre 0 à 8000 Hz. Cela signifie que l'intervalle des partiels de ces 4 notes est assez large. D'ailleurs, d'après les paramètres de l'amplitude fondamentale, on s'aperçoit que la corde à vide de *mi* a la sonorité la plus forte (-17,286 dB) parmi ces 4 notes, bien que la note *ré* ait la puissance la plus forte en raison de l'audition aiguë du morceau. Quant à l'effet sonore de ce *ré*, ce n'est qu'une fausse impression provoqué par la haute fréquence des aigus. D'après le sonagramme, *ré* n'a que 11 partiels réels, *do* 11, et *si* 12. En raison de 20 partiels réels, l'harmonie de *mi* est également la plus performante parmi ces 4 notes. En conséquence, on peut penser que si la pression est constante et que la position de la main gauche est plus haute, la sonorité devient alors plus faible et l'harmonie du son diminue à mesure que le violoniste démanche de bas en haut sur la corde de *mi*. Mais il ne faut pas déduire que la corde de *mi* a un effet négligeable sur la sonorité. Comme la corde de *mi* est au-dessus du pied droit du chevalet, la corde de *mi* a la capacité de résister à la forte pression provoqué par l'archet avec l'aide de l'âme et ainsi peut produire une sonorité puissante. Du point de vue de la structure du violon, lorsque la corde vibre, quel est l'effet de l'âme ? J'ai donc fait une autre expérimentation pour l'expliquer.

6.3.2 Effet de l'âme sur la sonorité

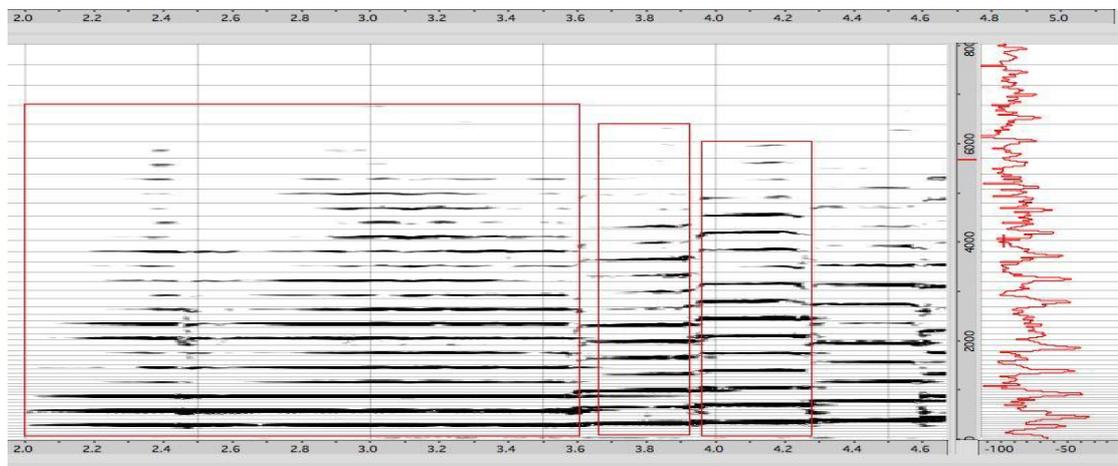
À part la structure de la caisse, le réglage du violon joue également un rôle important sur la sonorité du son. En général, le réglage dépend de 4 aspects suivants :

1. Le matériel (la corde en métal, la corde en nylon) et la longueur des 4 cordes.
2. La position et la hauteur du chevalet.
3. La position et la forme de la barre d'harmonie.
4. La position de l'âme.

En effet, lorsque j'ai entrepris des expérimentations acoustiques sur le violon, le choix des cordes était assez important. Nous savons finalement pris les cordes Thomastic pour solo en nylon. Quant à la position du chevalet, elle est également déterminée lorsque le luthier conçoit le violon. La position du chevalet est sur la médiatrice horizontale des ouës. La barre d'harmonie est placée à l'intérieur de la table, il n'est donc en général pas nécessaire de la régler. Le luthier déplace la position de l'âme pour régler la sonorité du violon.

Nous avons réglé le violon réalisé en copie de Stradivarius. En général, la position de l'âme se trouve à 4 mm en-dessous du pied droit du chevalet. Nous avons déplacé l'âme à 1mm en-dessous du pied droit du chevalet. Ensuite, nous avons rejoué le morceau et refait l'analyse de FFT pour les mêmes mesures que précédemment afin de comparer et comprendre l'effet de l'âme sur la sonorité

Pour la première mesure, j'ai d'abord analysé les notes du premier temps³⁷ : *ré* (294 Hz), *mi* (330 Hz) et *fa* (349 Hz).



Les paramètres des notes corrélatives sont les suivants:

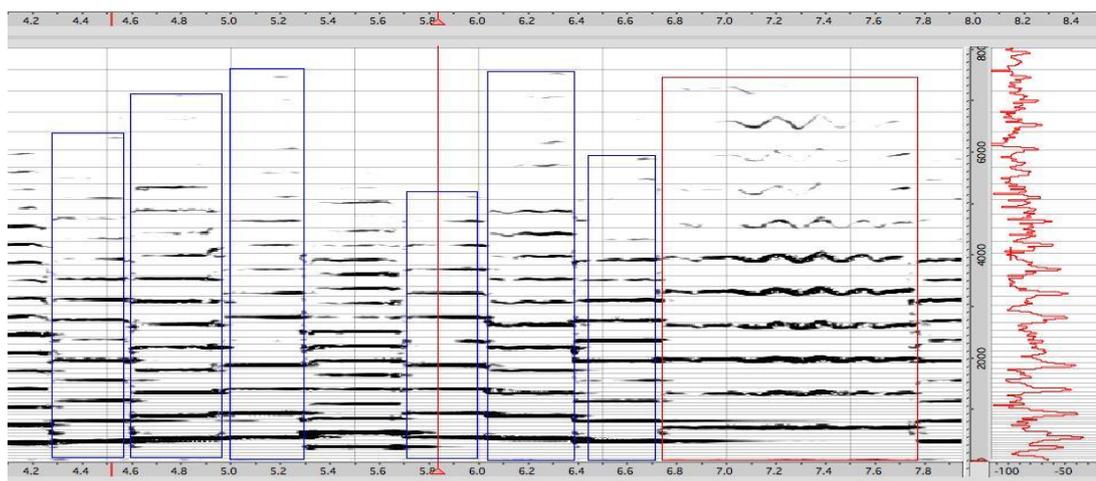
Paramètres\notes	<i>ré</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>
Fréquence de tempérament égal (en Hz)	294 Hz	330 Hz	349 Hz

³⁷ Cf. Figure 62, p. 214.

Amplitude fondamentale (en dB)	-26,839	-27,749	-27,749
D ébranchement	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position
Corde	G (<i>sol</i>)	G (<i>sol</i>)	G (<i>sol</i>)
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	15	15	15
Nombre de partiels r éels	20	16	17

Dans ce sonagramme, *r é* est assez stable ; de plus, il a 20 partiels r éels. Quant à *mi*, il a 16 partiels, bien que les 3 derniers partiels soient tr ès l égers. La note *fa* a 17 partiels. Comme *r é mi et fa* sont sur une gamme ascendante sur la 3^e position de la corde de *sol*, j'ai calculé l'intervalle de l'amplitude entre *r é* et *fa*. Dans le tableau de page 216, *r é* a -27,749 dB et *fa* -27,249 dB, leur intervalle est équivalent à 0,5 dB. Dans le tableau ci-dessus *r é* a -26,839 dB, *fa* -27,749 dB, leur intervalle est équivalent à 0,91 dB qui est supérieur à 0,5 dB. C'est-à-dire que la r éponse (r éaction) originale est l ég èrement plus sensible et rapide que la r éponse du violon r égl é. Mais la diff érence est tr ès petite. De ce fait, on peut penser que l'âme n'a pas d'influence consid érable sur la r éponse des notes graves de la 3^e position de la corde de *sol*. D'ailleurs, les notes *r é mi et fa* de la page 217 sont respectivement 21, 17 et 19 : Ils sont presque identiques aux partiels r éels (20, 17, 19) des 3 notes corr élatives du tableau ci-dessus. Par cons équent, on peut consid érer que l'âme n'a pas d'influence sur l'harmonie du son de la 3^e position de la corde de *sol*.

Ensuite, j'ai analysé le deuxième temps et le quatrième temps de la première mesure (p. 214). J'ai obtenu le sonagramme suivant :



D'après l'analyse faite sur *Audiosculpt*, les paramètres sont les suivants :

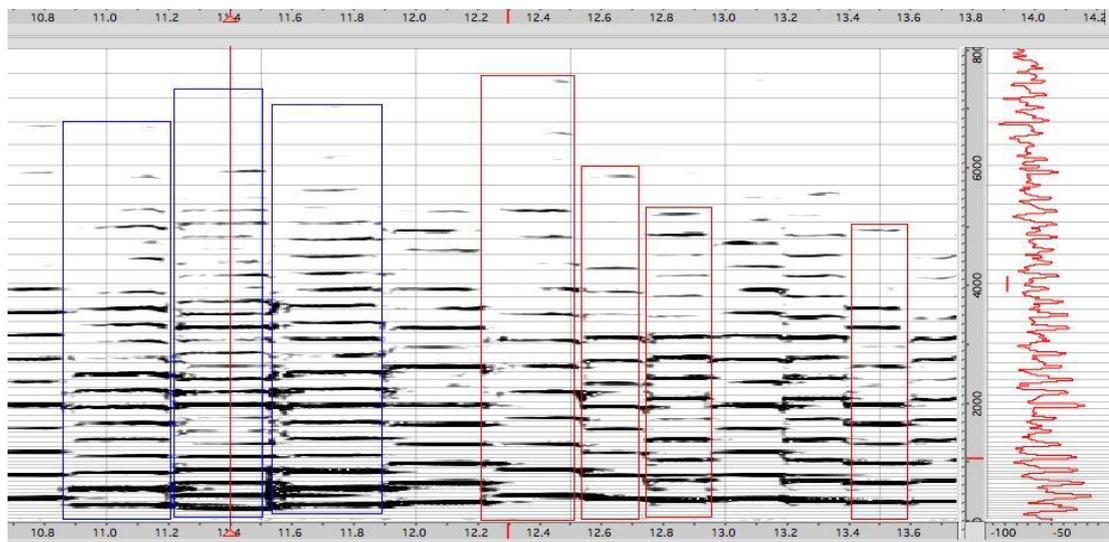
Paramètres\notes	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>	<i>mi</i>
Fréquence de tempérament égal (en Hz)	392	440	466	659
Amplitude fondamentale (en dB)	-35,482	-26,384	-30,933	-34,118
Démanchement	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position	3 ^e position
Corde	D (<i>ré</i>)	D (<i>ré</i>)	D (<i>ré</i>)	A (<i>la</i>)
Nombre de partiels reconnus par <i>Audiosculpt</i>	15	15	15	15
Nombre de partiels réels	14	12	13	11

Dans ce sonagramme, il y a 6 carrés en bleu et 1 carré en rouge. Les 3 premiers carrés bleus correspondent respectivement aux 3 notes consécutives : *sol* à 392 Hz, *la* à 440 Hz et *si^b* à 466 Hz qui sont sur la gamme ascendante de la 3^e position de la corde de *ré*. Les 3 derniers carrés bleus sont les mêmes notes sur la gamme descendante de la 3^e position de la corde de *ré*. De ce fait, j'ai calculé l'intervalle de l'amplitude entre *sol* et *si^b* du tableau ci-dessus, elle correspond à 4,539 dB (35,482 – 30,933) qui est inférieur au paramètre corrélatif 5,912 dB (39,12 – 33,208) de la page 218, ce qui signifie que la réponse du violon réglé devient légèrement plus rapide sur

la 3^e position de la corde de *r é*. En ce qui concerne l'harmonie du son, ces trois notes du tableau ci-dessus ont respectivement 14, 12 et 13 des partiels réels qui sont très proche des paramètres corrélatifs (14, 15 et 13) de la page 219. On peut ainsi considérer que l'âme n'a pas beaucoup d'influence sur l'harmonie du son à la 3^e position de la corde de *r é*.

Quant au carré rouge, il représente la note *mi*. Par rapport au paramètre de *mi* à la page 218, je peux seulement dire que l'harmonie de *mi* du tableau ci-dessus est restée pareil car ces deux *mi* ont le même nombre des partiels réels (11). Il n'est pas intéressant de comparer l'intensité (l'amplitude) d'un seul son car l'état de chaque interprétation du violoniste est différent. De ce fait, je ne peux que calculer l'intervalle d'amplitude des notes pour savoir et comparer la réaction du violon car elle n'est pas directement liée à l'état du violoniste.

Pour la 2^e mesure³⁸, j'ai obtenu le sonagramme suivant :



Voici les paramètres corrélatifs :

Paramètres\	<i>do#</i>	<i>la</i>	<i>do#</i>	<i>la</i>	<i>sol</i>	<i>fa</i>	<i>mi</i>
Notes							

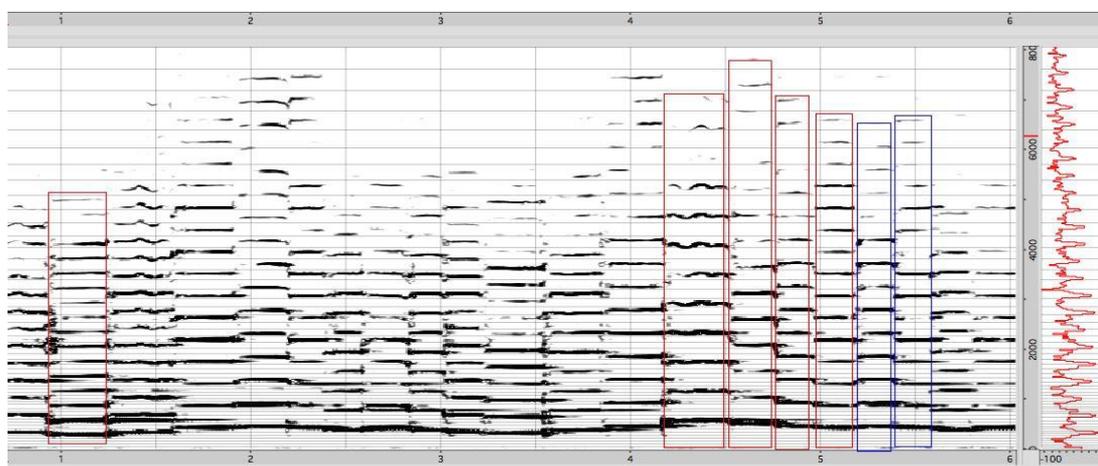
³⁸ Cf. Figure 62, p. 214.

Fréquences de Tempérament égal (en Hz)	277	220	277	440	392	349	330
Amplitude (en dB)	-17,74 1	-41,39 6	-15,404	-29,124	-37,30 2	-30,024	-43,216
Démanché	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e
Corde	G <i>Sol</i>	G <i>Sol</i>	G <i>Sol</i>	D <i>la</i>	D <i>la</i>	D <i>la</i>	D <i>la</i>
Nombre de partiels reconnus par Audiosculpt	15	15	15	15	15	15	15
Nombre de partiels réels.	16	19	26	16	16	16	15

Il y a 3 carrés bleus et 4 carrés rouges sur le sonagramme ci-dessus. Les carrés bleus représentent respectivement do^\sharp , la , et do^\sharp . La différence entre les deux do^\sharp est l'intensité et l'harmonie du son. Le deuxième do^\sharp (-15,404 dB) est plus fort que le premier (-17,741 dB). Mais, c'est à cause du doigté, car il n'a pas de rapport avec la position de l'âme. D'après le doigté, le premier do^\sharp est appuyé par le petit doigt sur la corde de *sol*, alors que le deuxième do^\sharp est touché par l'annulaire. Donc, la pression du premier do^\sharp est moins forte que celle du deuxième. Dans ce tableau ci-dessus, l'intervalle d'amplitude entre la et le deuxième do^\sharp est 25,992 dB (41,396 - 15,404) et le paramètre corrélatif de la page 220 correspond à 26,384 dB (41,396 - 15,012). On peut ainsi penser que la réponse du violon devient légèrement plus rapide sur la 1^{re} position de la corde de *sol*.

Quant aux 4 carrés rouges, ils représentent respectivement *la* (440 Hz), *sol* (392 Hz), *fa* (349 Hz) et *mi* (330 Hz) qui sont sur la gamme descendante de la 1^{re} position de la corde de *r é*. L'intervalle d'amplitude entre *mi* et *la* est 14,092 dB (43,216 – 29,124). Ayant étudié les paramètres corrélatifs de ces 4 notes présentes dans les pages 220-221, j'ai calculé l'intervalle de l'intensité entre *la* et *mi*, celle-là étant égale à 6,823 dB (39,576 – 32,753) donc inférieur à 14,092 dB. Par conséquent, je peux dire que la réponse du violon devient plus rapide sur 1^{re} position de la corde de *r é* mais l'harmonie du son diminue légèrement à cause des partiels réels diminués.

Pour la 3^e mesure³⁹, j'ai obtenu le sonagramme et le tableau ci-dessous :



Paramètres\notes	<i>r é</i>	<i>r é</i>	<i>do</i>	<i>si^b</i>	<i>la</i>
Fréquences (en Hz)	294	587	523	466	440
Amplitude fondamentale (en dB)	-28,659	-23,2	-25,02	-29,114	-23,2
Démanché	1 ^{re} position, la corde à vide	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position Le doigté : zéro
Corde	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>

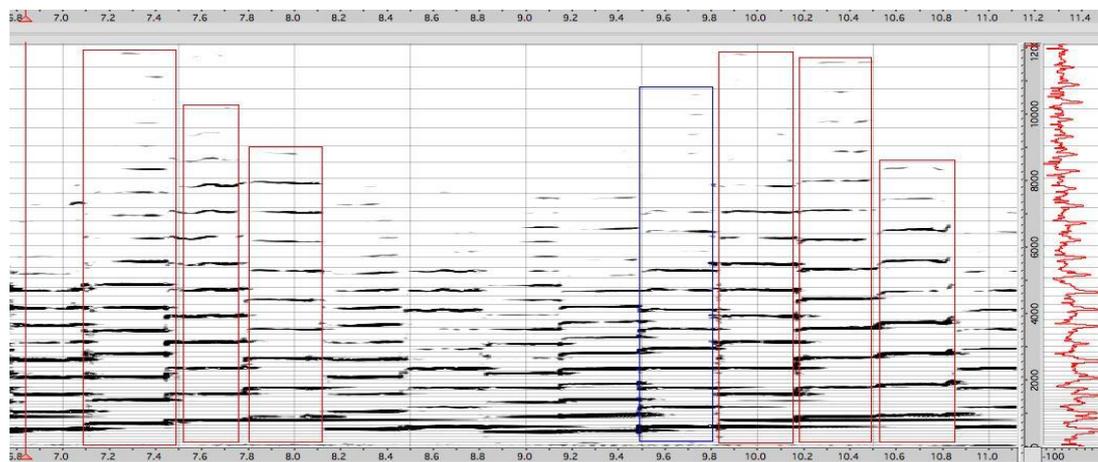
³⁹ Cf. Figure 63, p. 222.

Nombre de partiels réelle	19	12	13	13	16
Nombre de partiels reconnus par Audiosclupt	15	15	15	15	15

Dans ce sonagramme, il y a 5 carrés rouges de gauche à droite. Le premier carré rouge représente la vibration de la corde à vide de *ré*. Ayant comparé le nombre de partiels réels de *ré* (19 partiels réels) à la page 223, j'ai remarqué que l'harmonie du son de *ré* dans le tableau supérieur n'est pas modifiée.

Les autres 4 carrés rouges représentent respectivement *ré* (587 Hz), *do* (523 Hz), *si^b* (466 Hz) et *la* (440 Hz) qui sont sur la gamme descendante de la 1^{re} position de la corde de *la*. L'intervalle d'intensité entre *ré* et *la* est 0,2 dB (23,2 – 23). L'intervalle d'amplitude de ces 4 notes dans la page 223 est 10,643 dB (24,565 – 14,102). Par conséquent, on peut conclure que si la pression d'archet est constante et que la position de l'âme est plus proche du chevalet, la réaction du violon devient plus rapide sur la 1^{re} position de la corde de *la*.

Pour la 4^e mesure (reportez à Figure 63, p. 222), j'ai obtenu le sonagramme et les paramètres suivants :

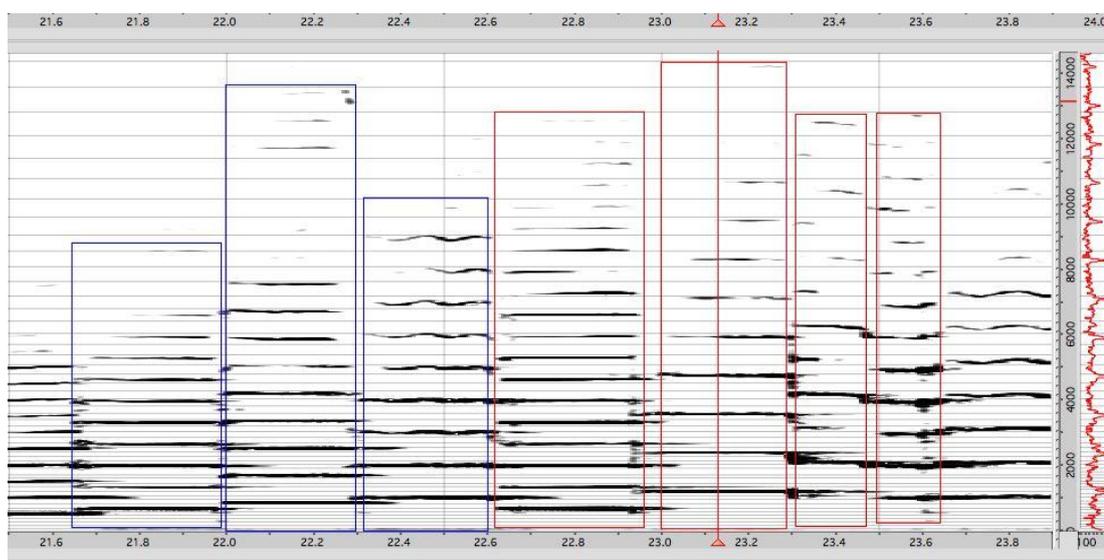


Paramètres\notes	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>
Fréquences tempérament égal (en Hz)	698	784	880	932

Amplitude fondamentale (en dB)	-29,569	-30,478	-55,403	-26,384
D ébranchement	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position
Corde	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>
Nombre de partiels r éels	16	13	12	12
Nombre de partiels reconnus par Audiosculpt	15	15	15	15

Par rapport au sonagramme ci-dessus, je vais analyser essentiellement les premier, deuxi ème, troisi ème et sixi ème carr és rouges, représentant respectivement *fa* (698 Hz), *sol* (784 Hz), *la* (880 Hz) et *si^b* (932 Hz) qui sont sur la gamme ascendante de la 1^{re} position de la corde de *mi*. L'intervalle de l'intensité entre *fa* et *si^b* est 3,185 Hz (29,569 – 26,384). Ayant étudié l'amplitude de ces 4 notes à la page 225, j'ai obtenu l'intervalle corrélative 5,459 dB (28,204 – 22,745). Cela signifie que la réponse du violon réglé est plus sensible et rapide que celle du violon originale sur la 1^{re} position de la corde de *mi*.

Pour la 14^e mesure (reportez à la figure 64, p. 226), j'ai obtenu le sonagramme suivant:



Paramètres\notes	<i>mi</i>	<i>ré</i>	<i>do</i>	<i>si</i>
Fréquences de tempérament égal (en Hz)	659	1175	1947	988
Amplitude fondamentale (en dB)	-28.204	-25.02	-42.306	-39.576
Démanché	La corde à vide de <i>mi</i>	3 ^e position, la corde <i>mi</i>	3 ^e position, la corde de <i>mi</i>	3 ^e position, la corde de <i>mi</i>
Nombre de partiels réels	20	11	11	12
Nombre de partiels reconnus par Audiosculpt	15	15	15	15

Dans le sonagramme ci-dessus, je n'analyse que les 4 carrés rouges, parce que le premier représente la note *mi* (659 Hz), d'après le doigté c'est la vibration de la corde à vide ; les autres 3 notes représentent respectivement de gauche à droite *ré* (1175 Hz), *do* (1047 Hz) et *si* (988 Hz) qui sont sur la gamme descendante de la 3^e position de la corde de *mi*. Dans ce morceau, *ré* est le son le plus aigu. D'après l'oreille humaine, le son musical se divise généralement en 6 tessitures⁴⁰ : la première tessiture est entre la fréquence 35 Hz à 61 Hz, nommé « Grande Basse » ; la deuxième est entre la fréquence 65 Hz à 123 Hz, nommé « Basse Ultra » ; la troisième est entre la fréquence 131 Hz à 247 Hz, dite « Basse » ; la quatrième est entre 262 Hz et 499 Hz, dit « Alto » ; la cinquième est entre 523 Hz et 988 Hz, dite « la tessiture aiguë », la dernière est entre 1047 Hz et 1975 Hz, dite « la tessiture suraiguë ». Dans ce morceau, *ré* et *do* sont les deux seules fréquences qui appartiennent à « la tessiture suraiguë ». De ce fait, j'ai comparé les paramètres corrélatifs de la page 227. Avant le réglage, l'intervalle d'amplitude entre *ré* et *si* est 14,102 dB (39,122 – 25,02). Dans le tableau ci-dessus, l'intervalle corrélatif entre

⁴⁰ Cf. Figure 61, p. 211.

ces deux notes est 14,546 dB (39,576 – 25,02), supérieur à 14,102 dB. Par conséquent, on peut croire que la vitesse de réaction du violon est légèrement diminuée après le réglage sur la 3^e position de la corde de *mi*. De plus, par rapport aux partiels réels de ces 4 notes à la page 227, je remarque que l'harmonie de ces 4 notes ne s'est pas modifiée dans le tableau ci-dessus.

En fait, les phénomènes démontrés ci-dessus correspondent à l'oreille et au sentiment du violoniste. Lorsque la violoniste, Wang Jiaming, a joué sur le violon réglé elle a trouvé que la sonorité devenait plus sourde avec une réponse moins rapide, surtout sur la corde de *mi*.

En conséquence, on a obtenu des indications sur le réglage de l'âme. Dans le cas où la pression de l'archet est constante et l'âme est rapprochée au pied droit du chevalet :

1. La position de l'âme n'a pas de rapport avec l'harmonie du son (le timbre) sur la corde de *sol* et la corde de *ré* que ce soit sur la 1^{re} position ou sur la 3^e position de la main gauche. La réponse du violon sera légèrement plus rapide sur la corde de *sol* ;
2. La réponse devient plus rapide sur la corde de *la* et la corde de *ré* que ce soit sur la 1^{re} position ou sur la 3^e position de la main gauche ;
3. Pour la corde de *mi*, le timbre sera sourd et la réponse sera moins rapide sur la 3^e position de la main gauche ; en revanche, sur la 1^{re} position, la réponse sera plus rapide. Mais à l'oreille, on ne peut pas bien remarquer ces changements sonores à cause de la fausse impression issue de la fréquence haute.

6.3.3 Analyse d'enregistrement d'une copie du modèle «Kreisler» de Guarnerius

Le violon crémonais est un modèle baroque qui possède un manche court et

épais, la touche est plus courte, et les cordes aussi, etc. D'ailleurs les 4 cordes en boyau ne peuvent pas résister à la pression forte issue de l'archet. L'angle compris entre la touche et la table est donc inférieur à celui du violon moderne. Les luthiers contemporains entretiennent globalement la structure de la caisse du violon baroque tel que ceux de Nicolo Amati, de Stradivarius, de Guarnerius, de Maggini, etc. Par contre, ils augmentent la longueur de la touche et l'angle compris entre celle-ci et la table grâce aux cordes en acier, en argent ou encore en nylon etc. De plus, les luthiers contemporains amenuisent l'épaisseur du manche pour faciliter le démanchement. Comme dans tous les lutherie contemporaines, Xue Peng et Hua Tianreng n'ont copié que la caisse de Stradivarius et celle de Guarnerius, et ils ont également augmenté la longueur et l'angle compris entre la touche et la table. En fait, la longueur de la corde est définie à 328 mm d'après l'expérience de Sacconi à partir du début du XX^e siècle. De plus, la hauteur entre le bout de la corde *mi* et la touche est définie à 3,5 mm, et la hauteur entre le bout de la corde de *sol* et la touche est définie à 5,5 mm, ainsi la hauteur et l'angle du chevalet sont également définis.

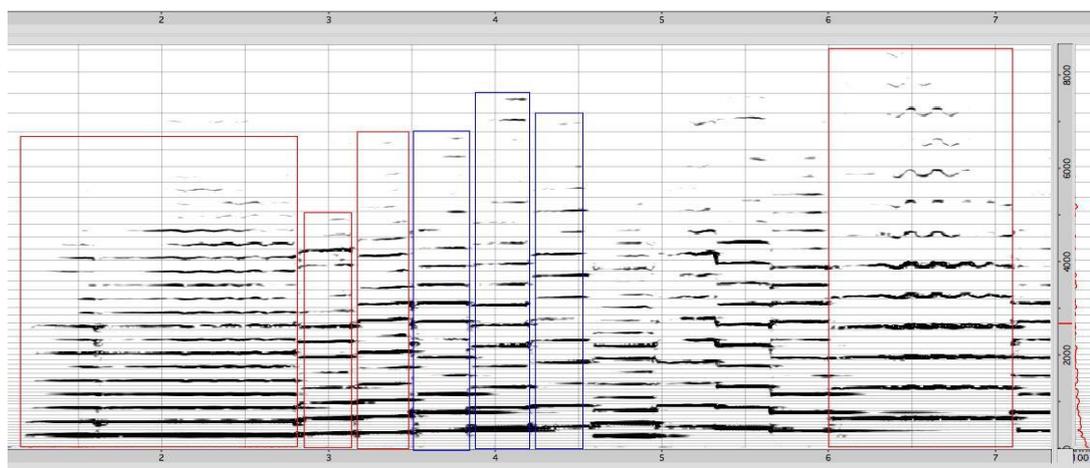
D'après la figure 60 (p. 205), on sait que le segment AC est la longueur de la corde qui est elle-même définie comme étant de 328 mm, le point K est la position du chevalet qui se trouve sur la médiatrice horizontale des deux bouts du violon. Ainsi, la hauteur du chevalet KC est également définie. On relie le segment AB au point M qui à l'intersection donne le segment CM . Car la longueur de AC et la hauteur de CK sont définies, la longueur de T_3K est ainsi définie d'après le théorème du triangle. Comme le triangle ACM et le triangle T_3CK sont des triangles semblables, l'angle CT_3K est égal à l'angle CAM . Ainsi, l'angle compris entre la touche et la table est également défini. D'après l'équation physique : $f = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Ainsi, on obtient : $T = (2Lf)^2 \times \mu$

Dans ces deux équations, f représente la fréquence des notes ; L est la longueur de corde ; T est la tension des cordes, μ est le coefficient du rapport entre la masse du bois et celle de la corde. Comme la longueur de la corde est définie comme étant de

328 mm, chaque note possède sa propre fréquence, les cordes et les bois de ces deux copies sont identiques, ainsi la tension des cordes est constante entre les deux violons. C'est-à-dire que le réglage de ces deux violons est identique et qu'il existe une possibilité de comparer la vibration de la caisse entre eux.

En conséquence, j'ai analysé la sonorité de la copie de Guarnerius au moyen d'une FFT. Pour la 1^{re} mesure (Figure 62, p. 214), j'ai obtenu ce sonagramme et ces paramètres :



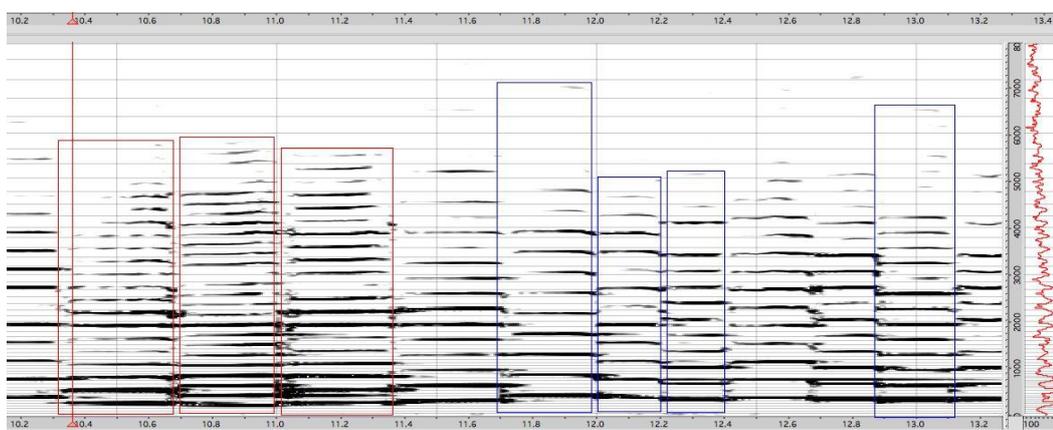
Les paramètres sont les suivants :

Paramètres \ notes	<i>ré</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>	<i>mi</i>
Fréquences (en Hz)	294	330	349	392	440	466	659
Amplitude (en dB)	-25,929	-27,294	-25,475	-36,847	-25,02	-36,847	-25,929
Démanché	3 ^e position						
Corde	<i>sol</i>	<i>sol</i>	<i>sol</i>	<i>ré</i>	<i>ré</i>	<i>ré</i>	<i>la</i>
Nombre de partiels réels	21	14	18	15	15	14	13

Dans ce sonagramme, les trois premiers carrés rouges représentent respectivement *ré* (294 Hz), *mi* (330 Hz), et *fa* (349 Hz). La distance de l'amplitude entre *ré* et *fa* est de 0,454 dB (25,929 – 25,475). D'après les paramètres de ces 3 notes de Stradivarius (p. 216), la distance corrélative entre *ré* et *fa* est de 0,5 dB (27,749 – 27,249). De ce fait, je pense que le modèle de Guarnerius possède une réponse un peu plus rapide sur la 3^e position de la corde de *sol*. De même, d'après les paramètres des partiels réels, on remarque que l'harmonie du Stradivarius est légèrement meilleure que celle du Guarnerius sur la 3^e position de la corde de *sol*.

Les trois carrés bleus représentent respectivement *sol* (392 Hz), *la* (440 Hz) et *si^b* (466 Hz). La distance entre l'amplitude du *sol* et celle du *si^b* est de 0 dB (36,847 – 36,847). C'est un excellent résultat : cela signifie que le modèle de Guarnerius a une réponse extraordinaire sur la 3^e position de la corde de *ré*. Quant à l'harmonie de ces notes, les partiels réels de Guarnerius sont également supérieurs à ceux de Stradivarius (p. 218), ce qui montre que le modèle de Guarnerius peut émettre une meilleure qualité sonore sur la 3^e position de la corde de *ré*.

Le dernier carré rouge représente *mi* (659 Hz) qui possède 13 partiels réels avec –25,929 dB d'intensité. Quant aux données corrélatives (p. 218), le *mi* du Stradivarius possède 11 partiels réels et –25,475 dB en amplitude. De ce fait, je pense que l'harmonie du modèle de Guarnerius est meilleure que celle de Stradivarius sur la 3^e position de la corde de *la*.



D'après l'analyse par FFT, j'ai obtenu les paramètres suivants :

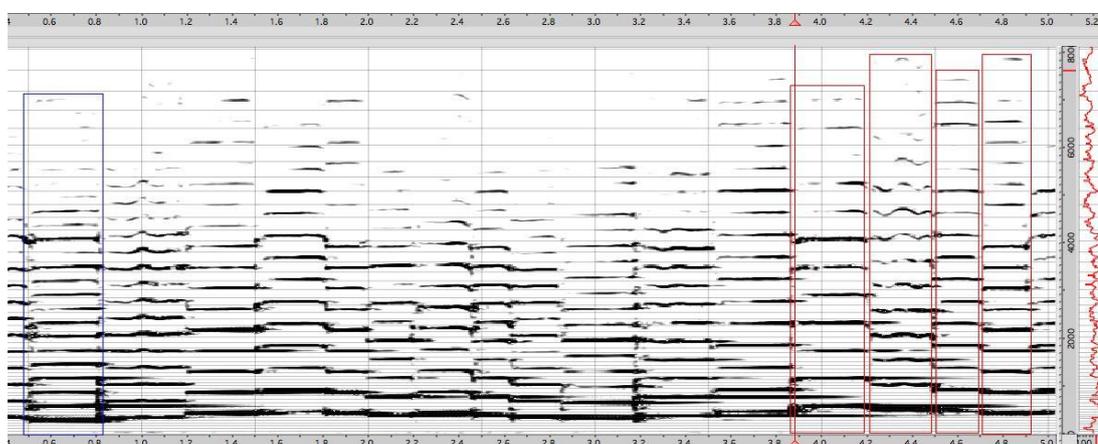
Paramètres\ notes	<i>do</i> [#]	<i>la</i>	<i>do</i> [#]	<i>la</i>	<i>sol</i>	<i>fa</i>	<i>mi</i>
Fréquences (en Hz)	277	220	277	440	392	349	330
Amplitude (en dB)	-20,925	-39,576	-15,467	-28,204	-36,392	-39,122	-32,753
Débranché	1 ^{re} position						
Corde	<i>Sol</i>	<i>Sol</i>	<i>Sol</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>
Nombre de partiels réelle	20	27	21	11-12	12	12	13-17

Ce sonagramme fait partie de la deuxième mesure (Figure 62, p. 214). Il y a 3 carrés rouges dans le sonagramme. Ils représentent respectivement *do*[#] (277 Hz), *la* (220 Hz), et *do*[#] (277 Hz). En fait, la première note et la troisième sont partielles. Mais, leur doigté est différent. Le premier *do*[#] est appuyé par le petit doigt sur la corde *sol*, ce n'est pas un doigté normal, alors que le deuxième *do*[#] est touché par l'annulaire sur la corde *sol*, c'est le doigté normal sur la 1^{re} position de la corde de *sol*. Par conséquent, j'ai choisi le deuxième *do*[#] pour analyser la qualité du son. La distance entre l'amplitude du *la* et du deuxième *do*[#] est 24,1 dB (39,576 – 15,476). En ce qui concerne les données comparatives du Stradivarius (p. 220), l'intervalle entre l'amplitude du *la* et du deuxième *do*[#] est 26,384 (41,396 – 15,102). Par conséquent, je pense que la réponse du modèle de Guarnerius est plus rapide à la 1^{re} position de la corde de *sol*. Après avoir comparé les partiels réels, je remarque que l'harmonie de ces deux notes est très ressemblante entre le modèle de Guarnerius et celui de Stradivarius mais que Guarnerius est tout de même légèrement meilleure.

Les 4 carrés bleus sont respectivement *la* (440 Hz), *sol* (392 Hz), *fa* (349 Hz) et *mi* (330 Hz) qui sont sur la gamme descendante de la 1^{re} position de la corde de *ré*

Pour le violon du modèle de Guarnerius, la distance de l'amplitude entre *la* et *mi* est 3,639 dB (36,692 – 32,753). Pour le violon du modèle de Stradivarius, l'intervalle corrélatif de l'amplitude (p. 220) est 6,823 dB (39,576 – 32,753). Evidemment, 3,639 est inférieur à 6,832. D'après le principe physique (p. 221), le modèle de Guarnerius possède une réponse plus rapide sur la 1^{re} position de la main de la corde de *la*. D'ailleurs, pour les partiels réels, le modèle de Stradivarius (p. 228) est légèrement meilleur que celui de Guarnerius.

Pour la 3^e mesure (Figure 63, p. 222), j'ai obtenu le sonagramme ci-dessous :



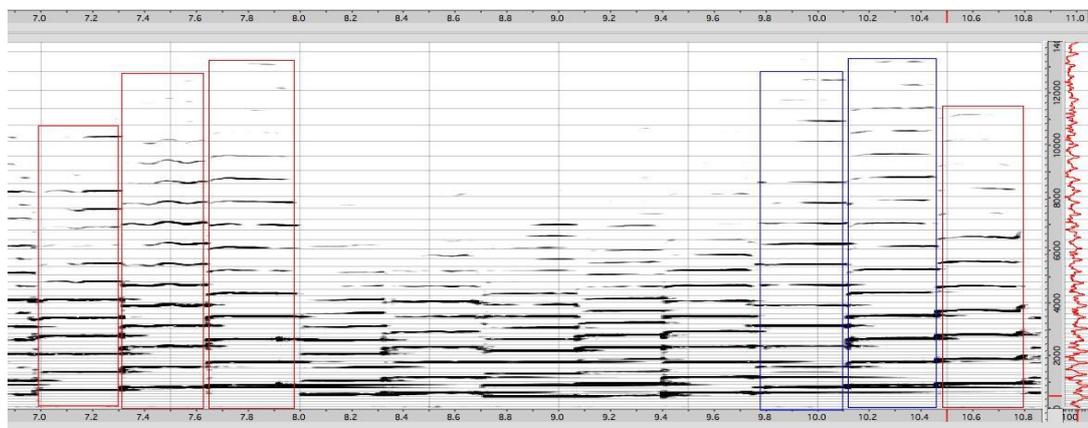
D'après l'analyse par FFT, j'ai obtenu les paramètres suivants :

Paramètres\notes	<i>ré</i>	<i>ré</i>	<i>do</i>	<i>si^b</i>	<i>la</i>
Fréquences (en Hz)	294	587	523	466	440
Amplitude (en dB)	-25.929	-34.118	-20.925	-43.671	-23.655
Débranché	1 ^{re} position la corde à vide	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position	1 ^{re} position, Le doigté zéro
Corde	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>	<i>la</i>
Nombre de partiels réels	22	12	15	11	17

Dans la figure ci-dessus, le carré bleu représente la vibration de la corde à vide de *ré* (294 Hz) qui a 22 partiels réels et $-25,929$ dB. Par rapport au *ré* corrélatif de Stradivarius qui a $-25,475$ dB et 19 partiels réels (p. 223). L'harmonie de *ré* du modèle de Guarnerius est légèrement meilleure.

Les 4 carrés rouges sont respectivement : *ré* (587 Hz) *do* (523 Hz), *si^b* (466 Hz) et *la* (440 Hz) qui sont sur la gamme descendante sur la 1^{re} position de la corde de *la*. La distance entre l'amplitude de *ré* et celle de *la* est de $10,463$ dB ($34,118 - 23,655$). L'intervalle corrélatif de ces 4 notes (p. 223) du modèle de Stradivarius est $10,463$ dB ($24,565 - 14,102$). Pour la réaction du violon sur la 1^{re} position de la corde de *la*, ces deux violons est vraiment identique. Quant à l'harmonie du son, le modèle de Guarnerius est légèrement mieux d'après les partiels réels ci-dessus et ceux de Stradivarius (p. 223).

Pour la 4^e mesure (Figure 63, p. 222), j'ai obtenu le sonagramme ci-dessus :



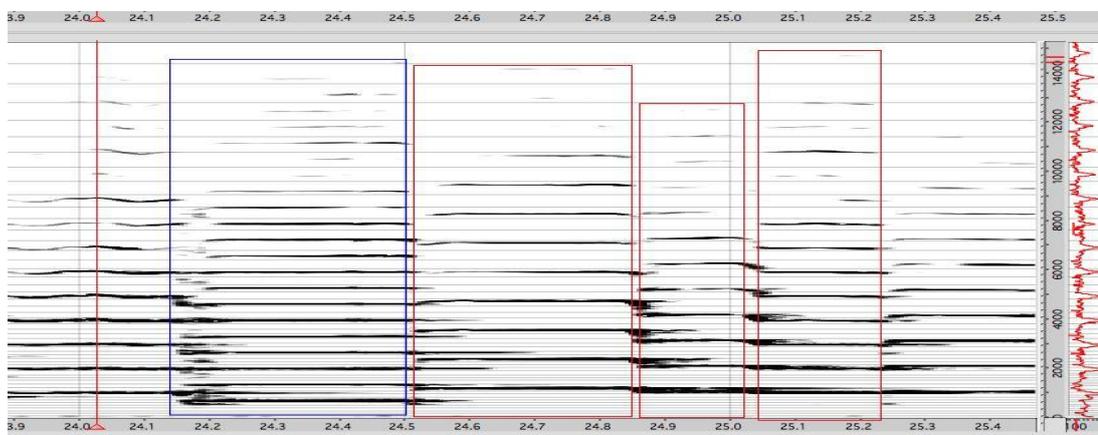
D'après l'analyse par FFT, j'ai obtenu les paramètres suivants :

Paramètres \ notes	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si^b</i>
Fréquences (en Hz)	698	784	880	932
Amplitude (en dB)	$-27,294$	$-25,02$	$-36,847$	$-28,659$
Démanchement	1 ^e position	1 ^e position	1 ^e position	1 ^e position

Corde	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>	<i>mi</i>
Nombre de partiels réels	14	16	15	12

D'après le sonagramme ci-dessus, il y a 4 carrés rouges qui sont respectivement : *fa* (698 Hz) *sol* (784 Hz), *la* (880 Hz) et *si^b* (932 Hz) qui sont sur la gamme ascendante de la 1^{re} position de la corde *mi*. La distance de l'intensité entre *fa* et *si^b* est de 1,368 dB (28,659 – 27,294) qui est évidemment inférieur à celle 5,459 dB (28,204 – 22,745), la distance d'amplitude de ces 4 notes de Stradivarius (p. 225). De ce fait, on peut considérer que la réponse de Guarnerius est plus sensible sur la 1^{re} position de la corde de *mi*. En ce qui concerne le timbre, l'harmonie du son de ces deux violons sont proche.

Pour la 14^e mesure (Figure 64, p. 226), j'ai obtenu le sonagramme suivant :



D'après l'analyse par FFT, les paramètres obtenus sont les suivants :

Paramètres \ notes	<i>mi</i>	<i>ré</i>	<i>do</i>	<i>si</i>
Fréquences (en Hz)	659	1175	1947	988
Amplitude (en dB)	-20,471	-22,29	-20,471	-20,925
Débranché	La corde à vide	3 ^e position de	3 ^e position de	3 ^e position de

	de <i>mi</i>	la corde de <i>mi</i>	la corde de <i>mi</i>	la corde de <i>mi</i>
Nombre de partiels réels	21	12	12	14

Dans le sonagramme ci-dessus, le carré bleu représente la vibration de la corde à vide de *mi* qui possède 21 partiels et $-20,471\text{dB}$ de l'amplitude. Les données corrélatives de *mi* du modèle de Stradivarius (p. 227) possèdent 20 partiels et $-17,286\text{ dB}$ de l'amplitude. En raison du nombre des partiels, la corde à vide de *mi* du modèle de Guarnerius a une meilleure harmonie mais d'augmentation mineure.

Les 3 carrés rouges représentent respectivement : *ré* (1175 Hz), *do* (1047 Hz) et *si* (988 Hz) qui sont sur la gamme descendante de la 3^e position de la corde de *mi*. D'après les données du tableau supérieur, je calcule l'intervalle de l'intensité entre *ré* et *si*, 1,365 dB (22,29 – 20,925). De même, d'après les paramètres du tableau de la page 227, je calcule l'intervalle de l'amplitude de ces trois notes de Stradivarius, 14,102 dB (39,122 – 25,02). Évidemment, la réponse du modèle de Guarnerius est plus sensible et beaucoup mieux que celui de Stradivarius sur la 3^e position de la corde de *mi*.

Selon les données des expérimentations précédentes, nous pouvons comparer la sonorités des deux modèles :

Si la pression d'archet est constante,

1. Pour la corde de *sol*, le modèle de Guarnerius possède un timbre plus harmonieux et sa réponse plus rapide que celui de Stradivarius sur la 1^{re} position de la main gauche ; Mais l'harmonie du son de Guarnerius est un peu plus faible que celle de Stradivarius à la 3^e position ;
2. Pour la corde de *ré* le modèle de Guarnerius possède une réaction plus sensible que celui de Stradivarius, que ce soit la 1^{re} position ou la 3^e position de la main gauche. Quant à la vibration de la corde à vide de *ré* le modèle de Guarnerius a

une meilleure harmonie du son tandis que les sons du modèle de Stradivarius possèdent une harmonie accrue sur les autres notes de la 1^e position ;

3. Pour la corde de *la*, la vitesse de la réponse de ces deux modèles est identique ;
Mais les sons du modèle de Guarnerius possèdent une meilleure harmonie ;
4. Pour la corde de *mi*, la corde à vide du modèle de Guarnerius possède une harmonie un peu meilleure. Quant à la 1^{re} position, la réponse de Guarnerius est plus sensible et l'harmonie du son de ces deux modèles est très proche. En ce qui concerne la 3^e position, la vitesse de la réponse de Guarnerius est beaucoup plus rapide que celle de Stradivarius et de plus, l'harmonie du son de Guarnerius est un peu meilleure que celle de Stradivarius ;

D'après les résultats mentionnés, je trouve que la plus grande différence entre ces deux modèles est la vitesse de réponse. Évidemment, le modèle de Guarnerius possède une réponse plus rapide pour les 4 cordes. En fait, lorsque nous avons demandé à la violoniste d'exprimer son ressenti de l'interprétation sur ces deux modèles du violon, elle a trouvé que la résonance était excellente pour les deux modèles. L'intensité du modèle de Stradivarius est légèrement plus forte que l'autre, surtout les vibrations des cordes à vide. Mais pour ce modèle, il est un peu difficile de contrôler le timbre lorsque l'archet frotte la corde. Quant au modèle de Guarnerius, il possède un timbre plus velouté et vigoureux, surtout pour les notes de la corde de *sol*. La réponse de ce modèle est assez prompte (sensible) et il est facile à contrôler. Au point de vue du timbre, c'est le même sentiment pour Yehudi Menuhin. Dans son ouvrage, *La légende du violon*, Menuhin dit :

Bien qu'il fût légèrement plus petit que mon Stradivarius (*Le «Soil »*, fabrique en 1714, moule G), ce violon (le Comte d'Egville, Guarnerius, fabriqué en 1735, modèle identique au violon «Kreisler » de 1733) était capable d'une plénitude sonore et d'une

richesse de timbre incroyables⁴¹.

Puisque le réglage, le violoniste, l'ambiance d'enregistrement et les équipements sont pareils pour ces deux modèles, ce qui conduit à une sonorité différente, ce sont évidemment les vibrations issues d'une caisse différente. Par conséquent, je vais analyser la structure de ces deux modèles et essayer d'expliquer le rapport entre la structure de la caisse et la sonorité du violon.

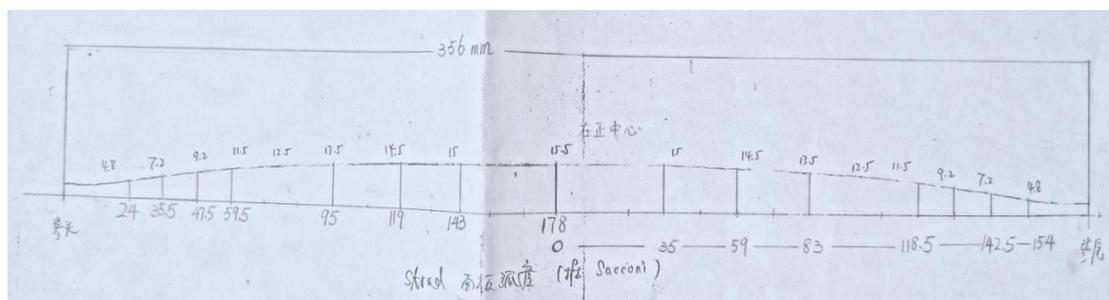
6.4 Analyses de la structure de la caisse

Si la vibration des éclisses du violon n'est pas prise en considération, la vibration de la caisse se divise en 3 éléments : la vibration de la table d'harmonie, la vibration du fond d'harmonie et la vibration de l'air à l'intérieur de la caisse. Par conséquent, j'ai analysé la structure de la table et celle du fond pour les deux modèles précédemment cités.

6.4.1 Analyse du modèle « moule G » de Stradivarius

Dans la première partie de ma thèse, j'ai déjà analysé les voûtes à l'intérieur de la table et celles du fond pour le modèle « moule G » de Stradivarius. D'après des dessins techniques⁴² de Sacconi, j'ai calculé les paramètres des voûtes à l'extérieur de la table et celles du fond.

1. Analyse de la médiatrice longitudinale à l'extérieur de la table.



⁴¹ Yehudi MENUHIN, *La légende du violon*, trad.fr Celette Malandain et François Thomas, Flammarion, Paris, 1996, p. 96.

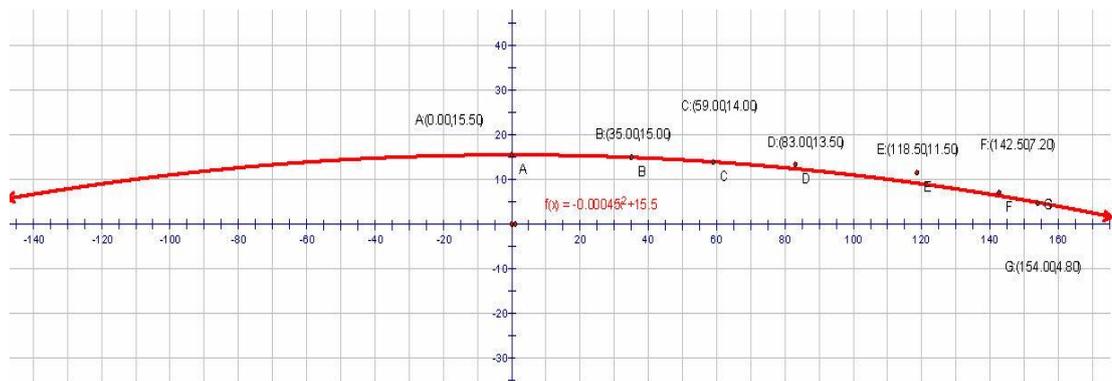
⁴² Cf. l'Annexe, p. 299-304.

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, je repère les points (en mm) :

$A(0, 15,5), B(35, 15), C(59, 14), D(83, 13,5),$

$E(118,5, 11,5), F(142,5, 7,2), G(154, 4,8)$

D'après mon algorithme⁴³, j'obtiens la figure ci-dessous :

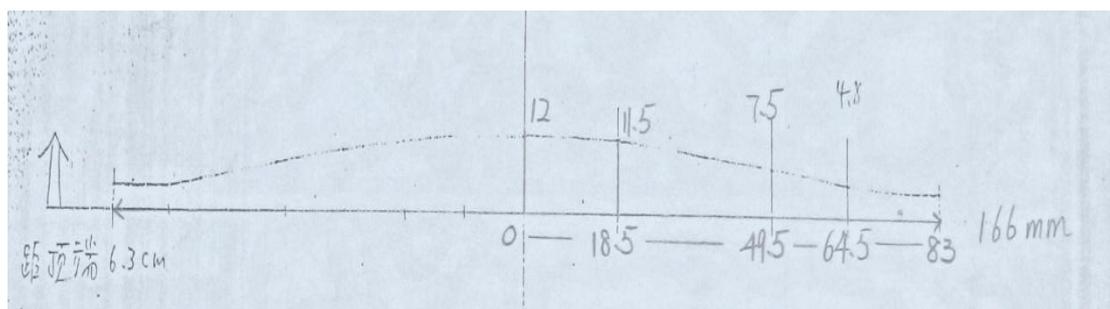


L'équation de la courbe longitudinale à l'extérieur de la table est :

$$f(x) = -0,00045x^2 + 15,5 \quad (-154 \leq x \leq 154)$$

2. Analyse de la première voûte horizontale à l'extérieur de la table.

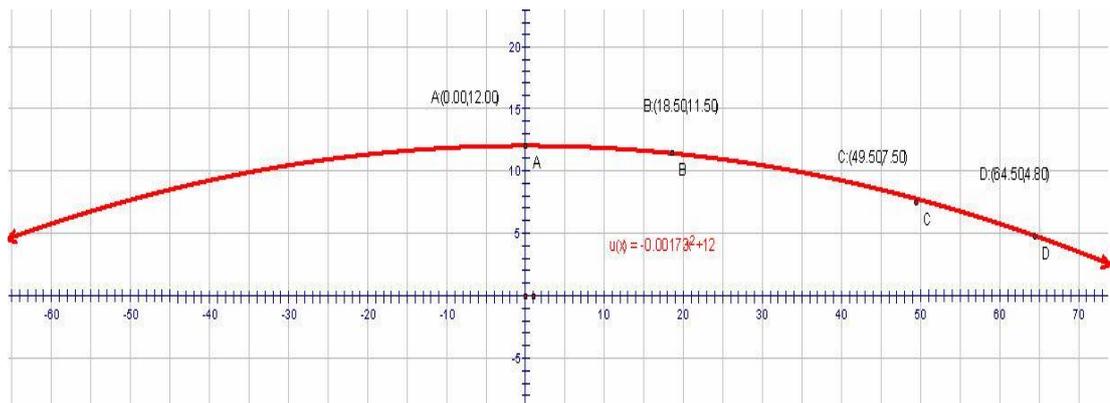
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient la figure suivante :



Ainsi, je repère les points : $A(0, 12), B(18,5, 11,5), C(49,5, 7,5), D(64,5, 4,8).$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

⁴³ Dans la page 91 de la thèse, j'ai créé une méthode du calcul pour définir l'équation de la parabole selon les points connus.

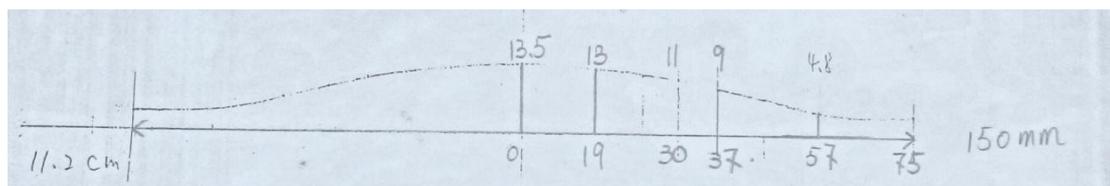


L'équation de la première voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

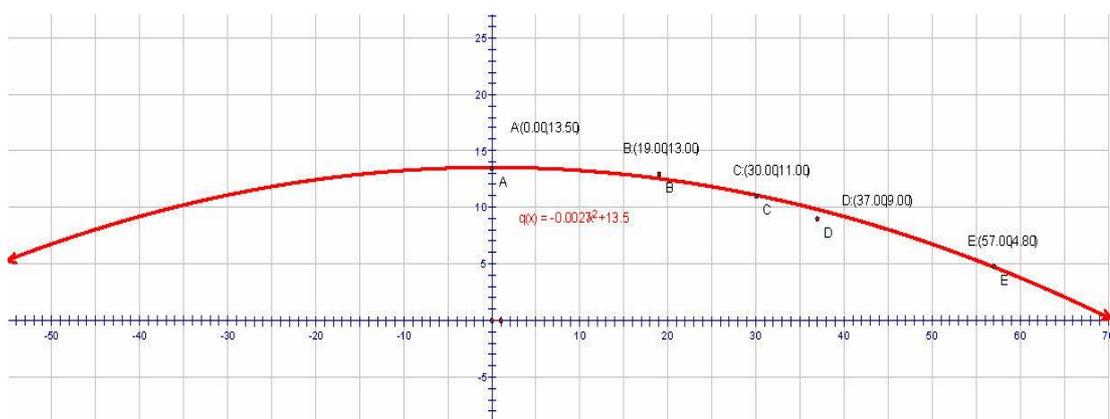
$$u(x) = -0,00173 + 12 \quad (-64,5 \leq x \leq 64,5)$$

3. Analyse de la deuxième voûte horizontale à l'extérieur de la table.

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient la figureci-dessous :



Ainsi, je repère les points : $A(0, 13,5)$, $B(19, 13)$, $C(30, 11)$, $D(57, 4,8)$. D'après mes calculs, j'obtiens l'image suivante :

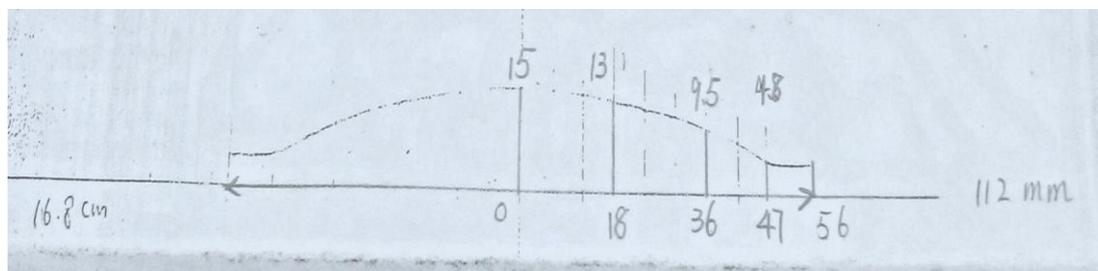


L'équation de la deuxième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

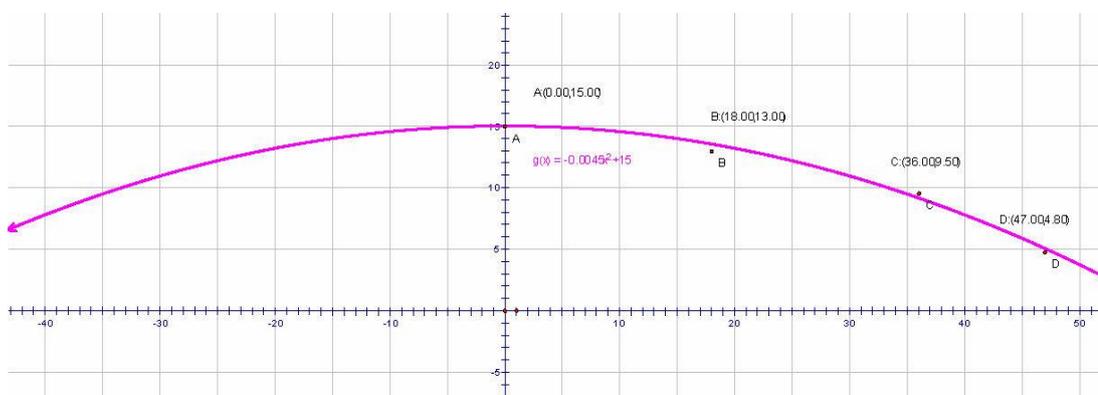
$$q(x) = -0,0027 + 13,5 \quad (-57 \leq x \leq 57)$$

4. Analyse de la troisième voûte horizontale à l'extérieur de la table.

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient la figure suivante :



Ainsi, je repère les points : $A(0, 15)$, $B(18, 13)$, $C(36, 9,5)$, $D(47, 4,8)$. D'après mes calculs, j'obtiens l'image ci-dessous :

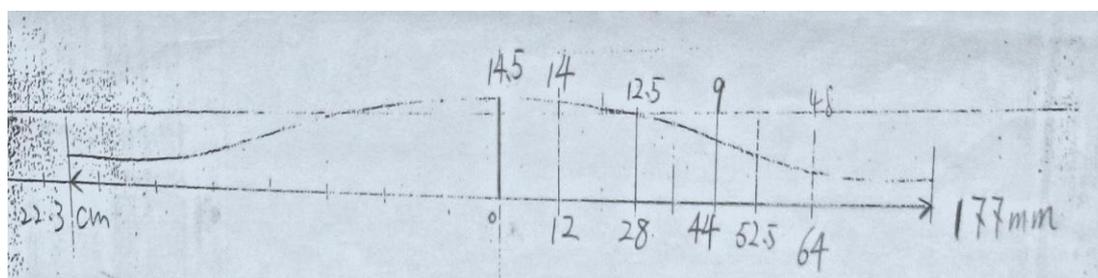


L'équation de la troisième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

$$g(x) = -0,0046x^2 + 15 \quad (-47 \leq x \leq 47)$$

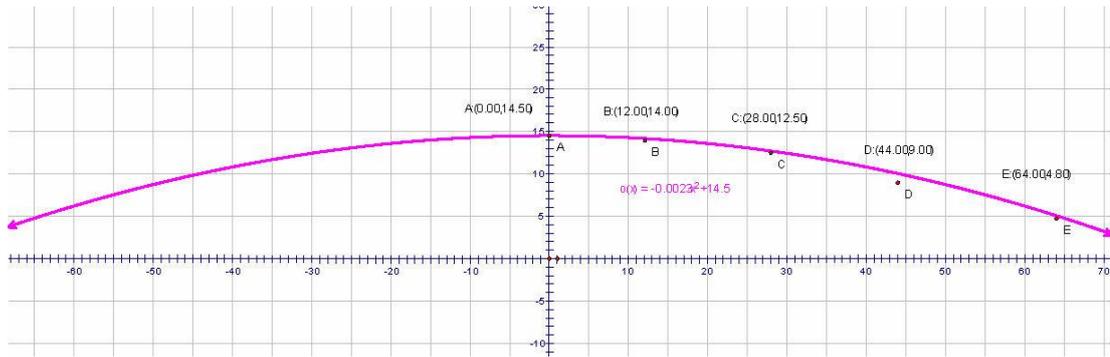
5. Analyse de la quatrième voûte horizontale à l'extérieur de la table.

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient cette figure :



Ainsi, je repère les points : $A(0, 14,5)$, $B(12, 14)$, $C(28, 12,5)$, $D(44, 9)$, $E(64, 4,8)$

D'après mes calculs, on obtient l'image ci-dessous:

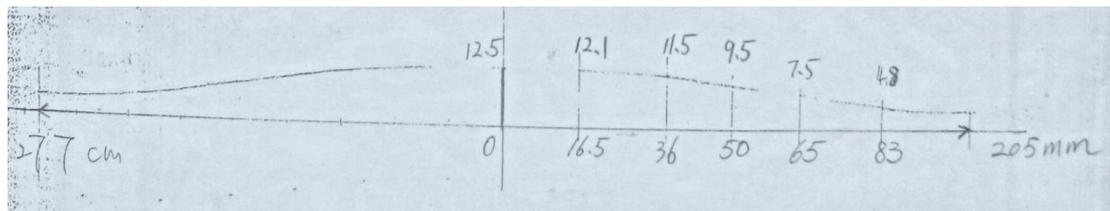


L'équation de la quatrième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

$$o(x) = -0,0023x^2 + 14,5 \quad (-64 \leq x \leq 64)$$

6. Analyse de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur de la table.

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient cette figure:

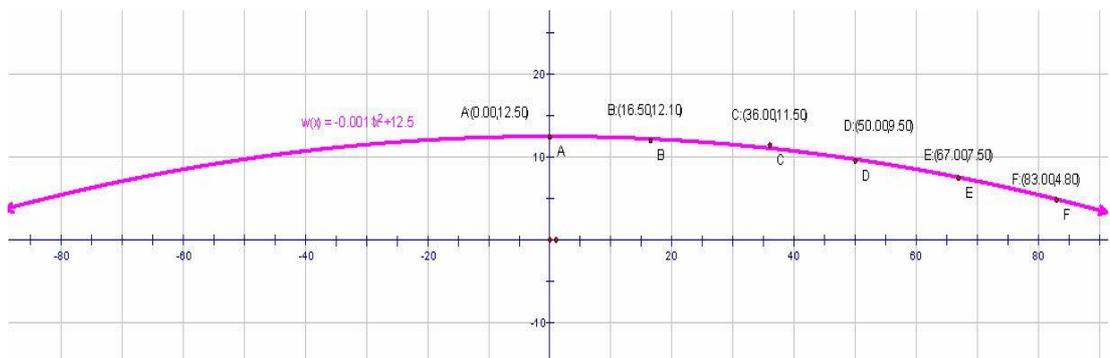


Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 12,5), B(16,5, 12,1), C(36, 11,5), D(50, 9,5),$$

$$E(65, 7,5) F(83, 4,8)$$

D'après mes calculs, on obtient l'image suivante :

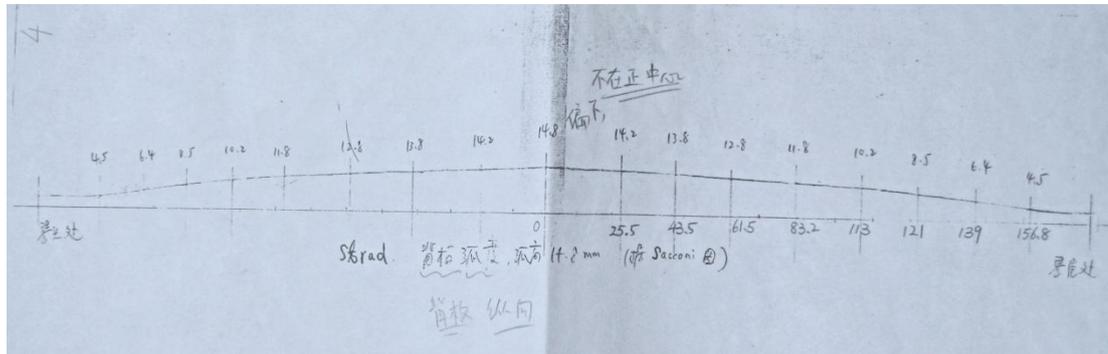


L'équation de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

$$w(x) = -0,0011x^2 + 12,5 \quad (-83 \leq x \leq 83)$$

7. Analyse de la médiatrice longitudinale à l'extérieur du fond

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure:

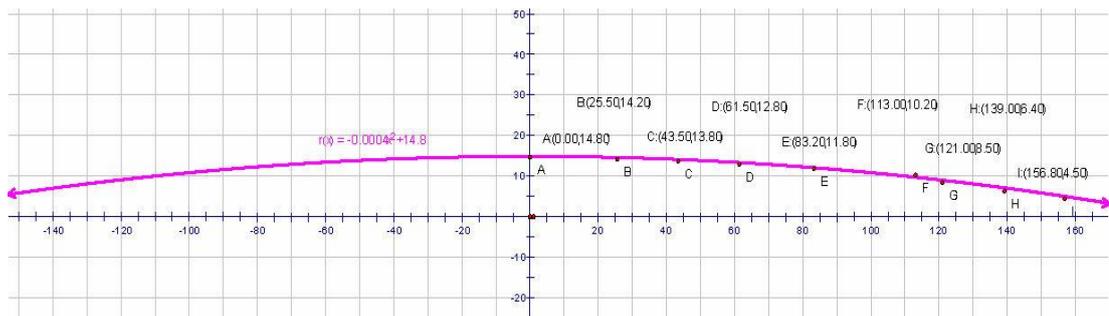


Ainsi, je repère les points :

$A(0, -14,8)$, $B(25,5, -14,2)$, $C(43,5, -13,8)$, $D(61,5, -12,8)$, $E(83,2, -11,8)$

$F(113, -10,2)$, $G(121, -8,5)$, $H(139, -6,4)$, $I(156,8, -4,5)$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

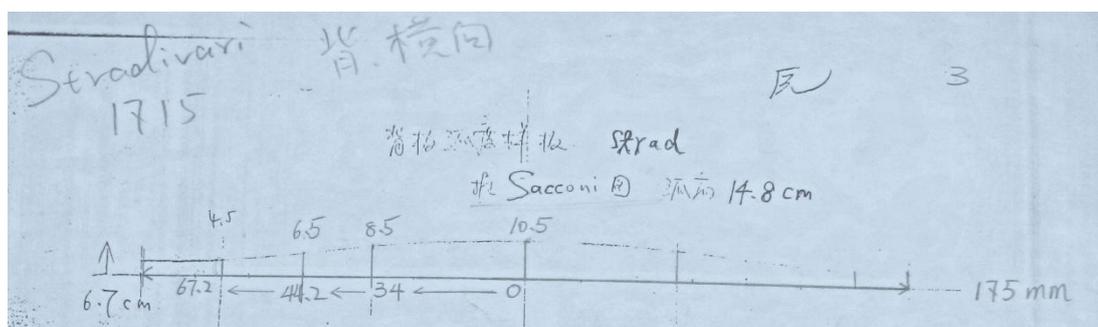


L'équation de la courbe longitudinale à l'extérieur du fond est :

$$r(x) = -0,0004x^2 + 14,8 \quad (-156,8 \leq x \leq 156,8)$$

8. Analyse de la première voûte horizontale à l'extérieur du fond

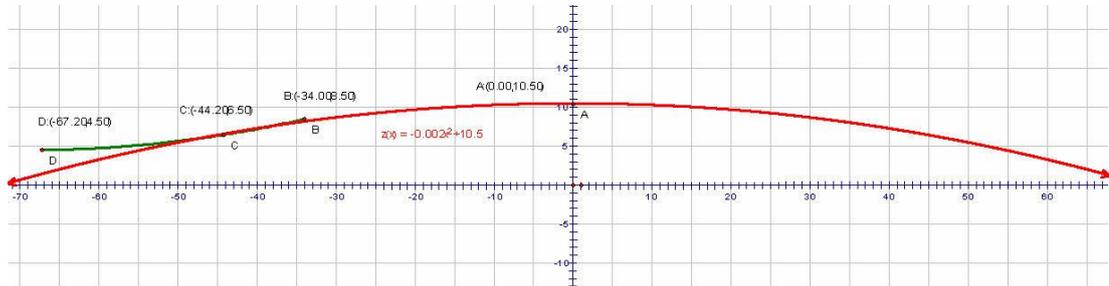
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on obtient la figure suivante :



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 10,5), B(-34, 8,5), C(-44,2, 6,5), D(-67,2, 4,5)$$

D'après mes calculs, on obtient l'image ci-dessous :

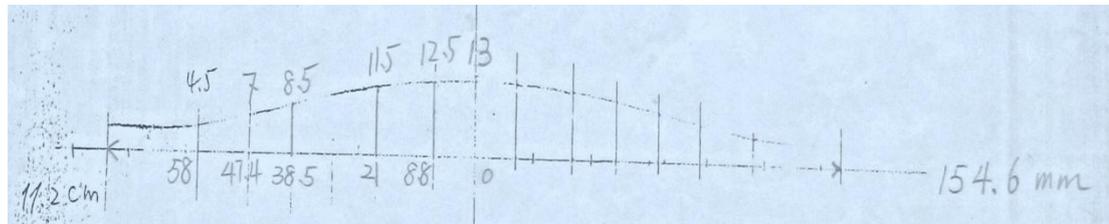


Évidemment, la courbe, *DCB* n'appartient pas à la parabole, c'est-à-dire que le point *D* n'est pas sur l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la première voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$z(x) = -0,002 + 10,5 \quad (-44.2 \leq x \leq 44.2)$$

9. Analyse de la deuxième voûte horizontale à l'extérieur du fond

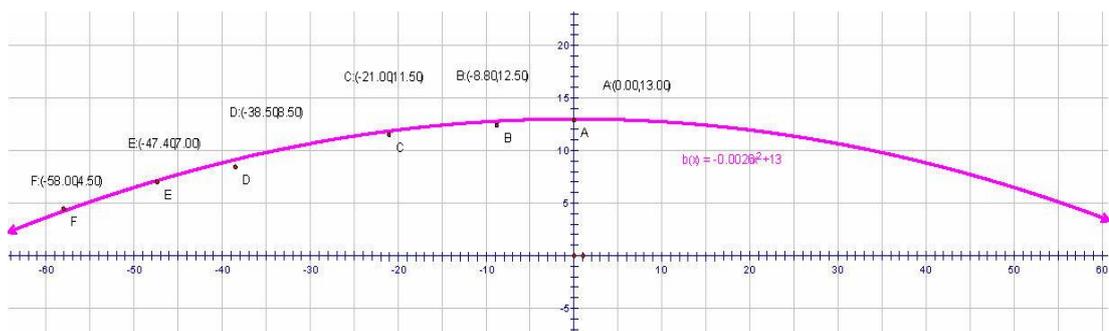
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu la figure suivante:



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 13), B(-8,8, 12,5), C(-21, 11,5), D(-38,5, 8,5) E(-47,4, 7) F(-58, 4,5)$$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image ci-dessous :

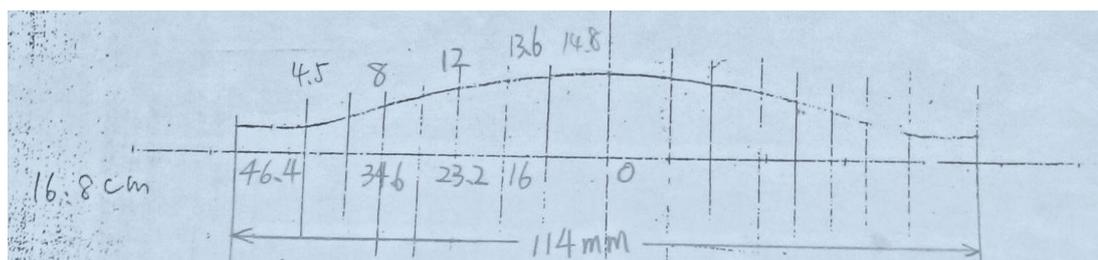


L'équation de la deuxième voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$b(x) = -0.003 + 13 \quad (-58 \leq x \leq 58)$$

10. Analyse de la troisième voûte horizontale à l'extérieur du fond

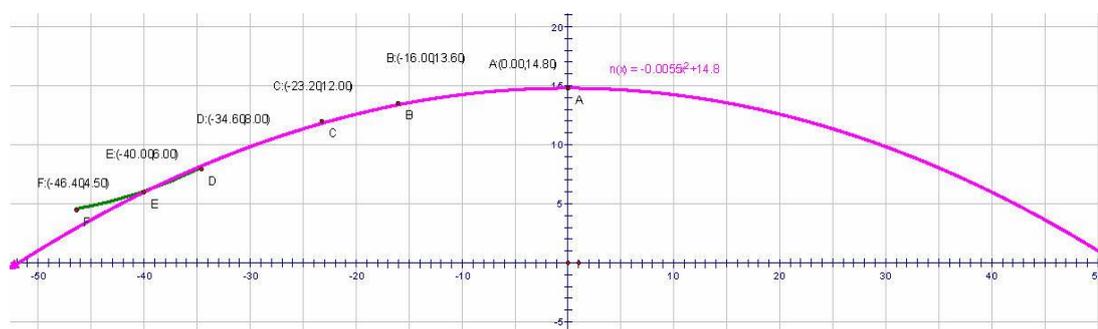
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure :



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 14,8), B(-16, 13,6), C(-23,2, 12), D(-34,6, 8), E(-40, 6), F(-46,4, 4,5)$$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :



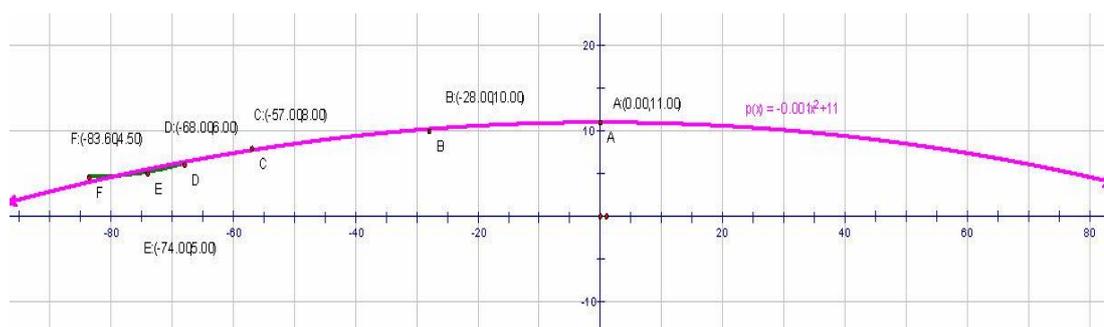
Évidemment, la courbe, FED n'appartient pas à la parabole car le point F ne suit pas l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la troisième voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$n(x) = -0,0055 + 14,8 \quad (-40 \leq x \leq 40)$$

11. Analyse de la quatrième voûte horizontale à l'extérieur du fond

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu la figure ci-dessou

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :



Évidemment, la courbe, *FED* n'appartient pas à la parabole car le point F ne suit pas l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

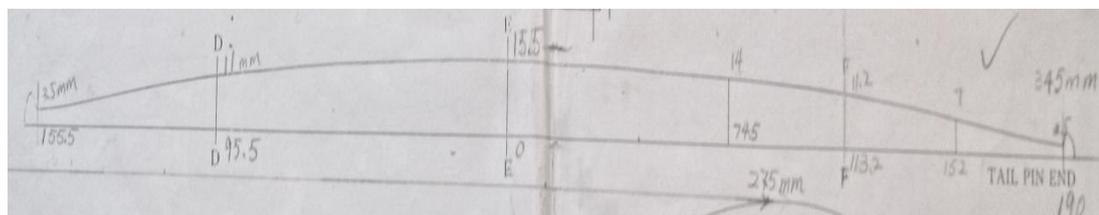
$$p(x) = -0,001x^2 + 11 \quad (-74 \leq x \leq 74)$$

6.4.2 Analyse du modèle «Kreisl» de Guarnerius

Outre la recherche sur les voûtes du modèle de Stradivarius, j'ai aussi analysé le modèle de Guarnerius. J'ai ainsi remarqué que Guarnerius n'a conçu que 3 voûtes horizontales. Par rapport à la position des voûtes du modèle de Stradivarius, les voûtes horizontales de Guarnerius sont respectivement la première voûte, la troisième et la cinquième. Parce qu'elles représentent respectivement la largeur supérieure de la caisse, la largeur médiane et la largeur inférieure de la caisse.

1. Analyse de la médiatrice longitudinale à l'extérieur de la table

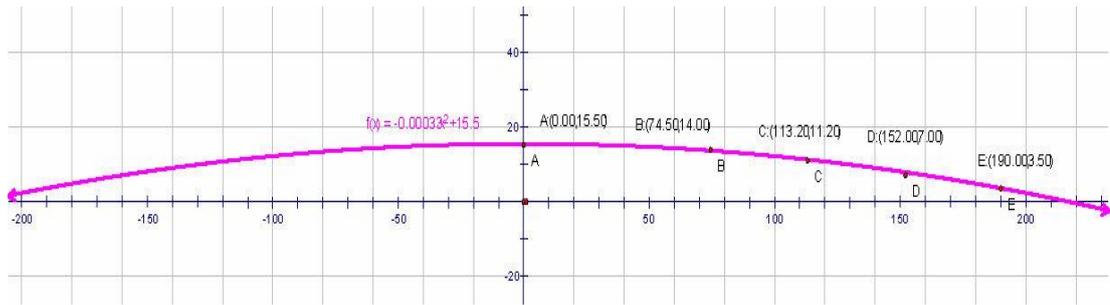
Selon le dessin technique de Sacconi et ma mesure, la figure obtenue est la suivante :



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 15,5), B(74,5, 14), C(113,2, 11,2), D(152, 7), E(190, 3,5)$$

Voici l'image obtenue selon mes calculs:

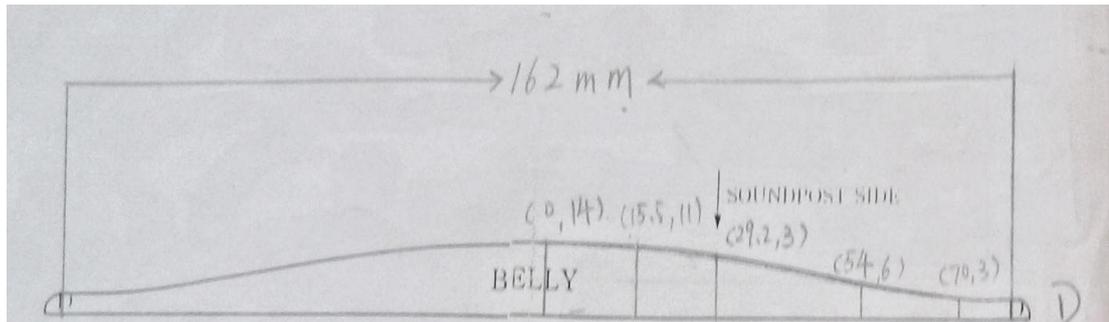


L'équation de la médiatrice longitudinale à l'extérieur de la table est :

$$f(x) = -0.00033x^2 + 15.5 \quad (-155,5 \leq x \leq 190)$$

2. Analyse de la première voûte horizontale à l'extérieur de la table

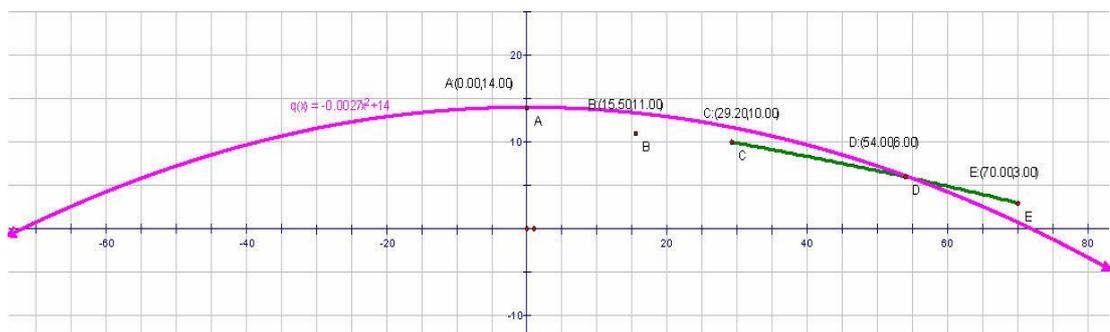
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, la figure obtenue est la suivante :



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 14), B(15,5, 11), C(29,2, 10), D(54, 6), E(70, 3)$$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

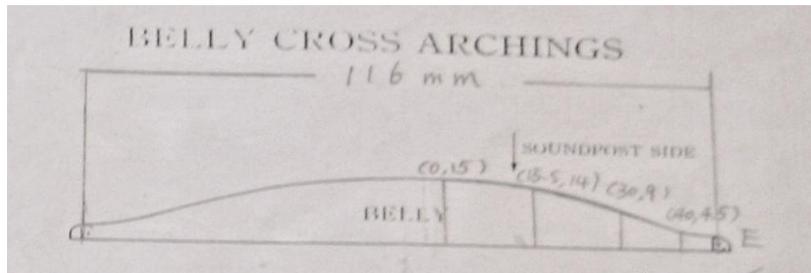


D'après l'image supérieure, on a trouvé que cette voûte ne correspond pas du tout à l'équation de la parabole. Je ne peux que donner l'équation idéale de cette voûte :

$$q(x) = -0,0027 + 14 \quad (-54 \leq x \leq 54)$$

3. Analyse de la troisième voûte horizontale à l'extérieur de la table

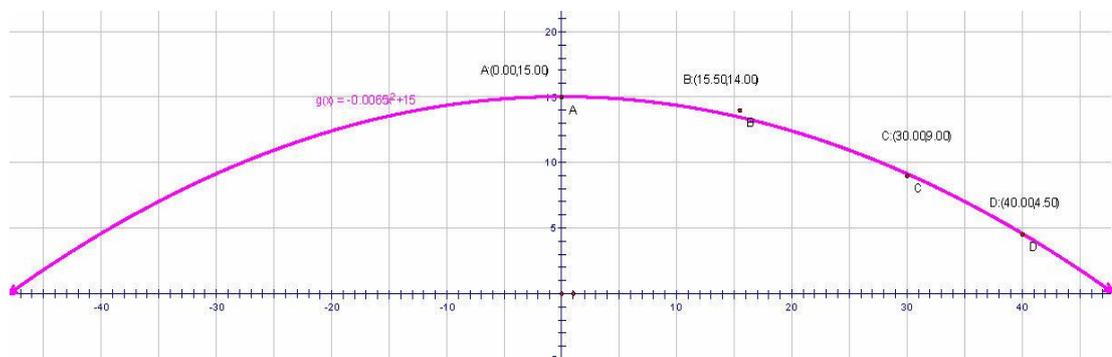
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure :



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 15), B(15,5, 14), C(30, 9), D(40, 4,5)$$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

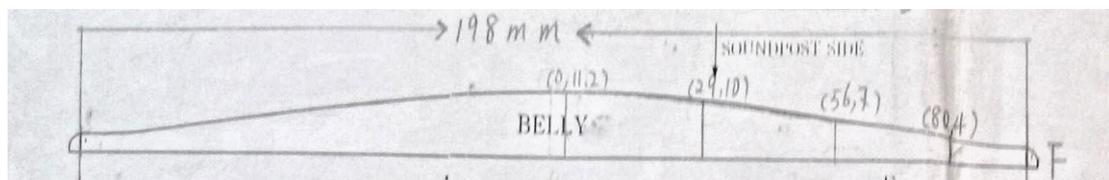


L'équation de la troisième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

$$g(x) = -0,0065x^2 + 15 \quad (-40 \leq x \leq 40)$$

4. Analyse de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur de la table

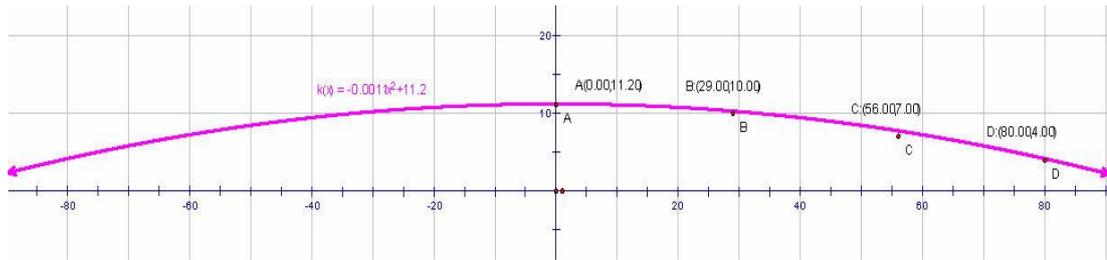
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu la figure ci-dessous:



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 11,2), B(29, 10), C(56, 7), D(80, 4)$$

Voici l'image obtenue d'après mes calculs :

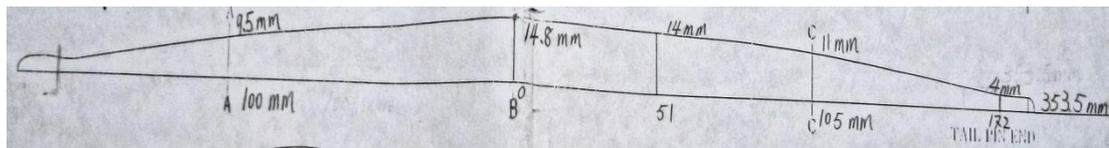


L'équation de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur de la table est :

$$k(x) = -0,0011x^2 + 11,2 \quad (-80 \leq x \leq 80)$$

5. Analyse de la médiatrice longitudinale à l'extérieur du fond

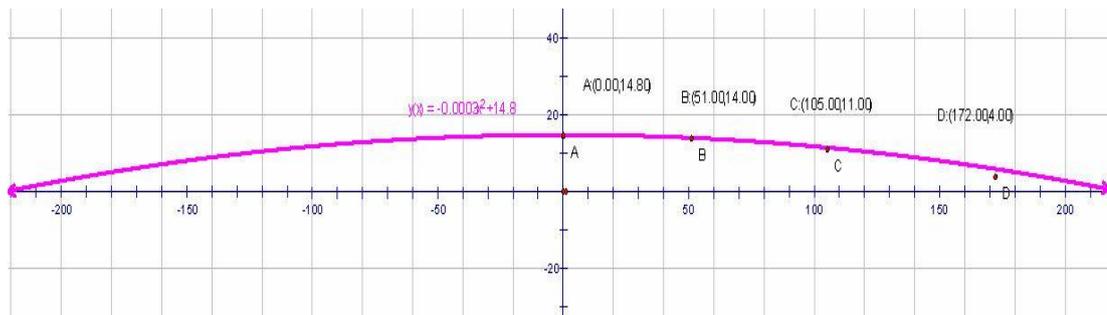
D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu la figure au-dessous:



Ainsi, je repère les points :

$$A(0, 14,8), B(51, 14), C(105, 11), D(172, 4)$$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

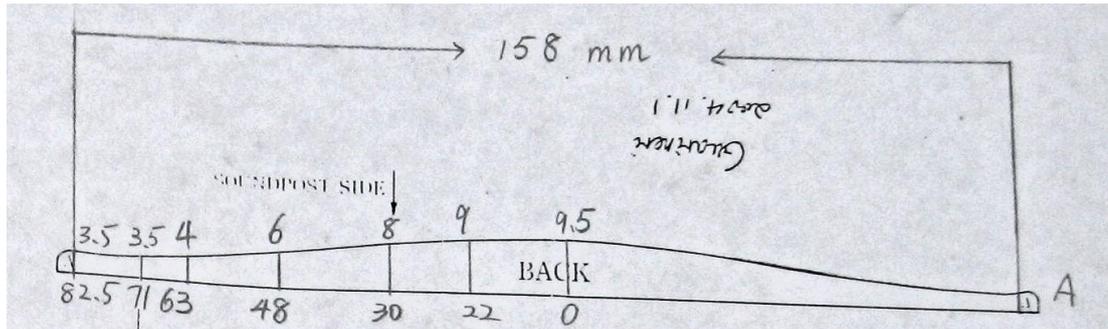


L'équation de la médiatrice longitudinale à l'extérieur du fond est :

$$y(x) = -0,0003x^2 + 14,8 \quad (-172 \leq x \leq 172)$$

6. Analyse de la première voûte horizontale à l'extérieur du fond

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure:

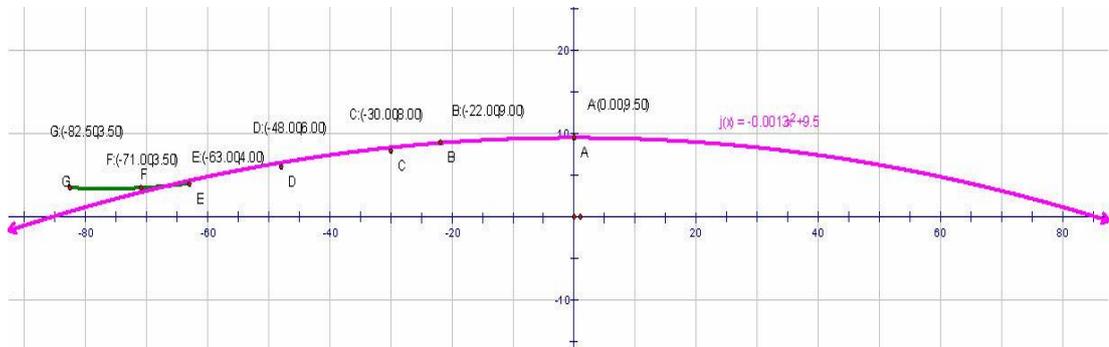


Ainsi, je repère les points :

$A(0, 9,5)$, $B(-22, 9)$, $C(-30, 8)$, $D(-48, 6)$,

$E(-63, 4)$, $F(-71, 3,5)$, $G(82,5, 3,5)$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

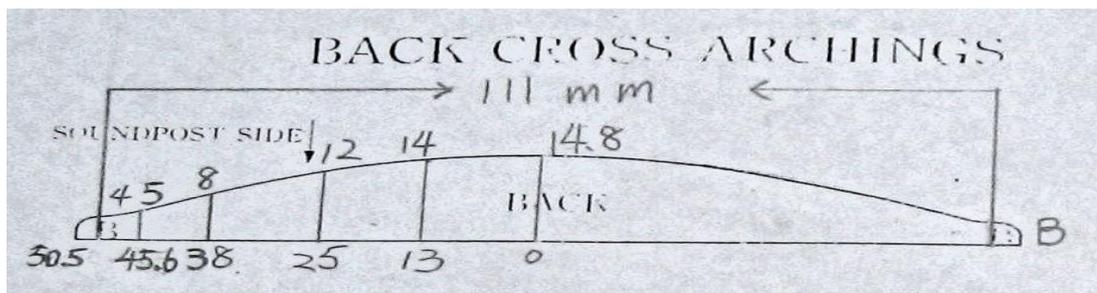


Évidemment, la courbe GFE n'appartient pas à la parabole car le point G ne suit pas l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la première voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$j(x) = -0,0013x^2 + 9,5 \quad (-71 \leq x \leq 71)$$

7. Analyse de la troisième voûte horizontale à l'extérieur du fond

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure :

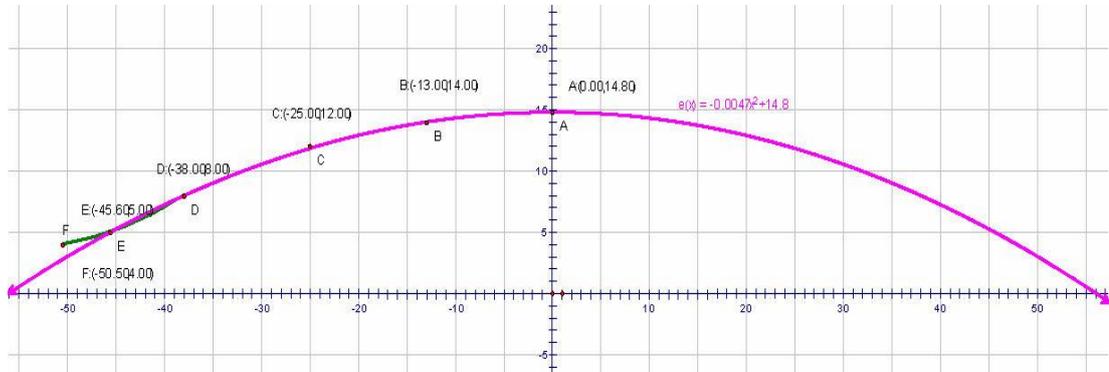


Ainsi, je repère les points :

$A(0, 14,8)$, $B(-13, 14)$, $C(-25, 12)$,

$D(-38, 8)$, $E(-45,6, 5)$, $F(-50,5, 4)$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante :

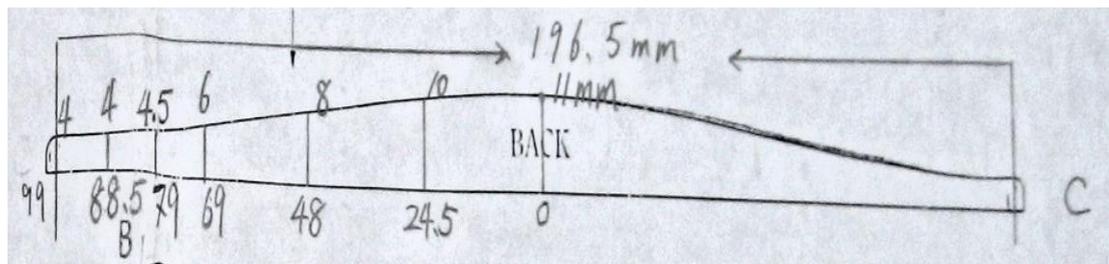


Évidemment, la courbe FED n'appartient pas à la parabole car le point F ne suit pas sur l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la troisième voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$e(x) = -0,0047x^2 + 14,8 \quad (-45,6 \leq x \leq 45,6)$$

8. Analyse de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur du fond

D'après le dessin technique de Sacconi et ma mesure, on a obtenu cette figure :

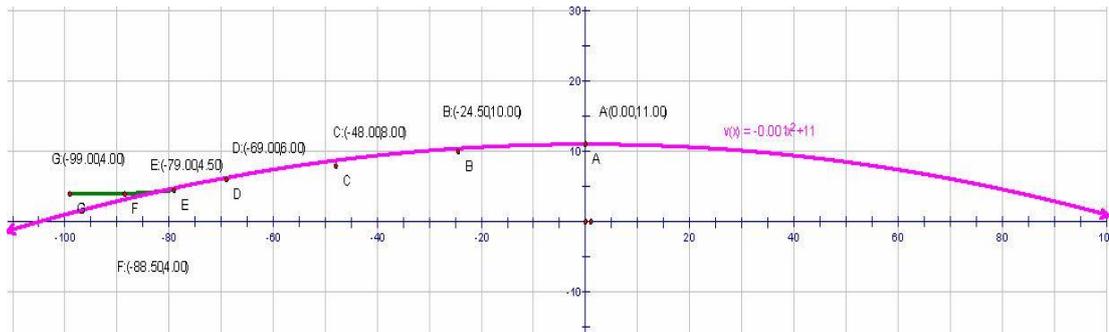


Ainsi, je repère les points :

$A(0, 11)$, $B(-24,5, 10)$, $C(-48, 8)$, $D(-69, 6)$,

$E(-79, 4,5)$, $F(-88,5, 4)$, $G(-99, 4)$

D'après mes calculs, on a obtenu l'image suivante:

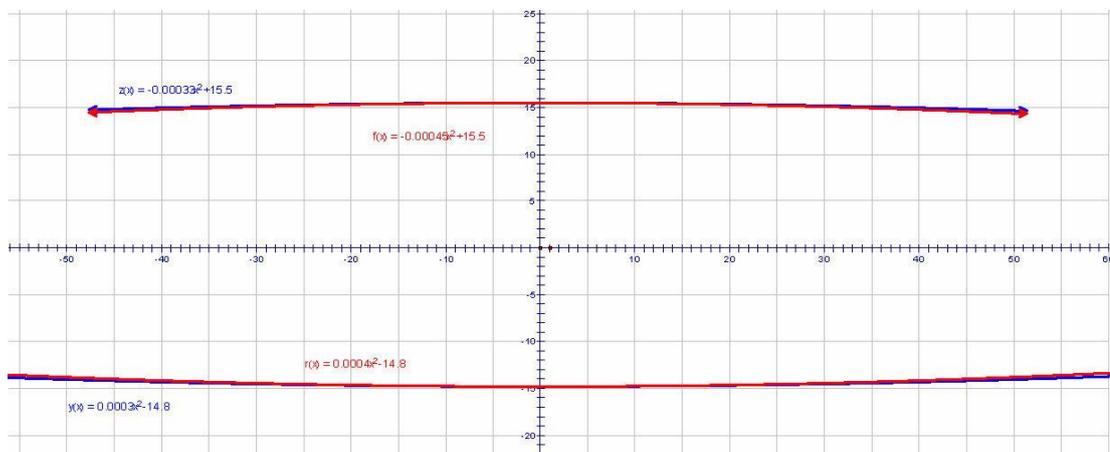


Évidemment, la courbe GFE n'appartient pas à la parabole car le point G ne suit pas l'équation de la parabole. En fait, l'équation de la cinquième voûte horizontale à l'extérieur du fond est :

$$v(x) = -0,001 + 11 \quad (-79 \leq x \leq 79)$$

6.5 Recherche entre la sonorité et la structure basée sur l'acoustique et les mathématiques.

En fait, je m'intéresse depuis longtemps au rapport entre la structure et la sonorité du violon. De nombreux luthiers travaillent également sur ce sujet afin de fabriquer d'excellents violons tels que celui de Stradivarius, celui de Guarnerius ou celui de Nicolo Amati etc. Puisque j'ai déjà calculé la structure du moule G de Stradivarius et celle du modèle de Guarnerius, je vais maintenant comparer leur structure afin d'analyser les données de leur sonorité



Dans la figure ci-dessus, deux courbes rouges représentent respectivement la voûte longitudinale de la table et celle du fond du Stradivarius ; deux courbes bleues représentent respectivement la voûte longitudinale de la table et celle du fond du Guarnerius. Comme les coordonnées du sommet de la table (15,5 mm) et celle du fond (14,8 mm) sont respectivement identiques, les deux voûtes de la table et celles du fond semblent plutôt similaires entre elles. Cependant, selon la figure mentionnée ci-dessus, on remarque que les deux voûtes du Guarnerius sont moins convexes que celles du Stradivarius à cause de la valeur absolue plus petite de la courbure. Mais, d'après le domaine d' x ⁴⁴, on a découvert que la longueur de la table et celle du fond du Guarnerius sont respectivement plus longues que celles de Stradivarius. Ceci montre que le modèle de Guarnerius possède une voûte longitudinale plus longue sur la table et le fond. Ainsi, j'ai calculé la proportion de la courbe longitudinale sur la table et le fond. D'après les dessins techniques⁴⁵ de Sacconi, on sait que la longueur du moule G de Stradivarius est de 356 mm et la longueur du modèle de Guarnerius est de 353,5 mm. Ainsi, on a obtenu le tableau suivant :

Paramètre/violon	Stradivarius	Guarnerius
La longueur de la courbe longitudinale de la table (en mm)	308	345,5
$\frac{\text{La courbe longitudinale de la table}}{\text{la longueur de la caisse}}$	= 86,51%	= 97,7%
La longueur de la courbe longitudinale du fond (en mm)	313,6	344
$\frac{\text{La courbe longitudinale du fond}}{\text{la longueur de la caisse}}$	= 87,92%	= 97,3%

⁴⁴ Pour la table de Stradivarius, $-154 \leq x \leq 154$, le domaine d' x est 308 mm

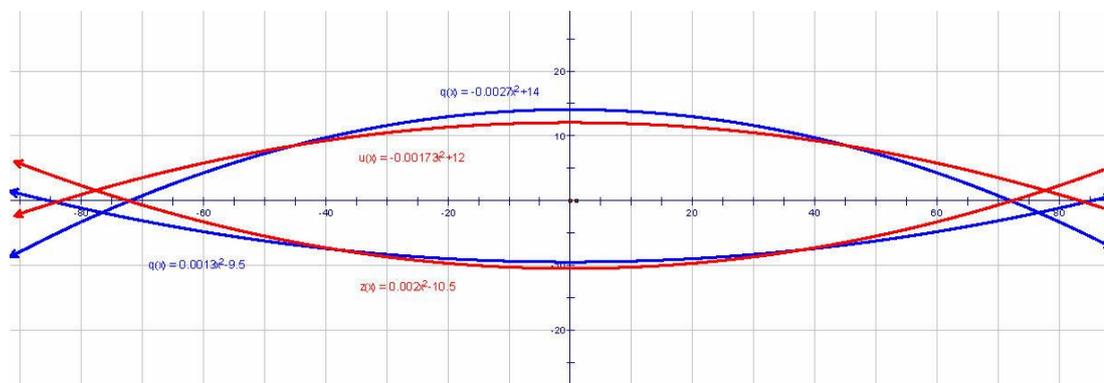
Pour la table de Guarnerius, $-155.5 \leq x \leq 190$, le domaine d' x est 345,5 mm

Pour le fond de Stradivarius, $-156.8 \leq x \leq 156,8$, le domaine d' x est 313,6 mm

Pour le fond de Guarnerius, $-172 \leq x \leq 172$, le domaine d' x est 344 mm

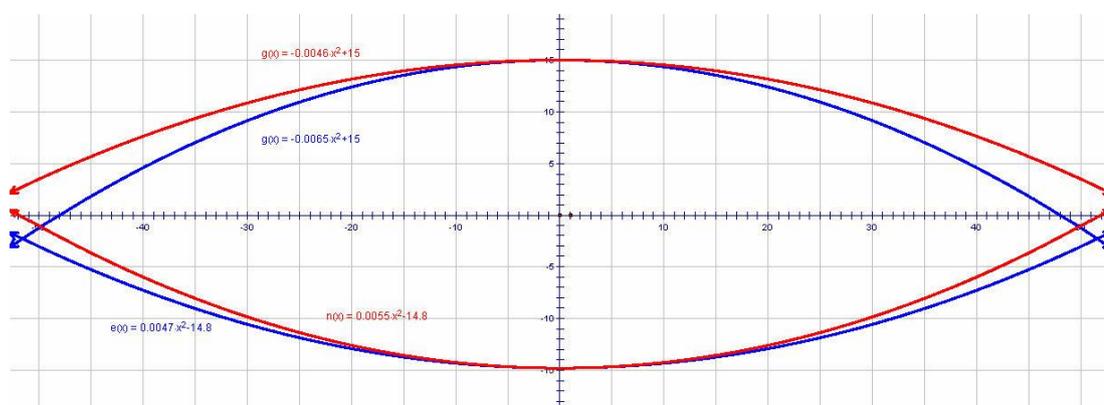
⁴⁵ Cf. la partie Annexe, p. 299 -304.

Comme Guarnerius n'a conçu que 3 voûtes horizontales (la première, la troisième et la cinquième voûte), je vais analyser respectivement ces 3 paires de voûtes.



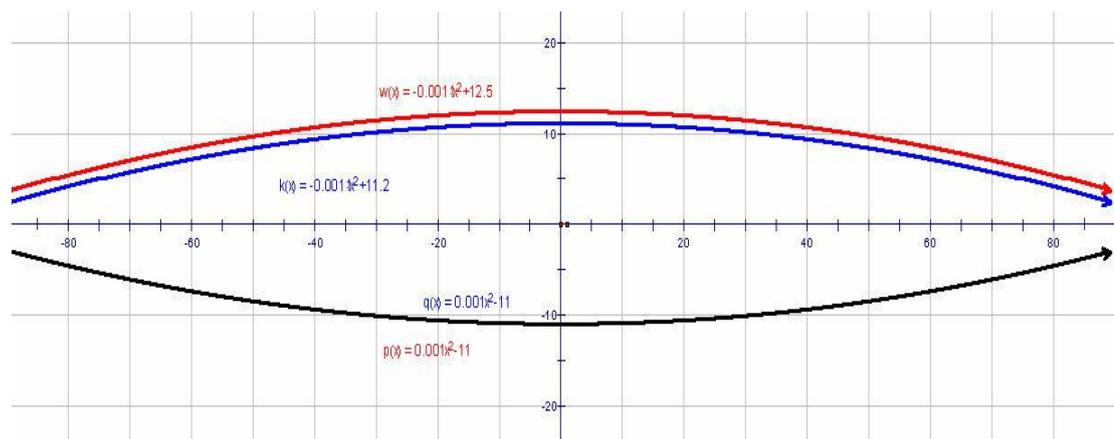
Dans la figure ci-dessus, les deux courbes rouges représentent respectivement la première voûte horizontale de la table et celle du fond du Stradivarius ; les deux courbes bleues représentent respectivement la première voûte de la table et celle du fond du Guarnerius. En ce qui concerne la table, la voûte du modèle de Guarnerius est plus convexe, et elle possède un sommet plus haut. Pour le fond, la voûte du moule G de Stradivarius est plus convexe. D'après les coordonnées des sommets, j'ai calculé la distance entre le sommet de la table et celui du fond. Pour le modèle de Stradivarius, la distance est de 22,5 mm (12 + 10,5). Pour le modèle de Guarnerius, la distance est de 23,5 mm (14 + 9,5). Par conséquent, d'après la forme des voûtes on peut croire que le volume de la caisse supérieure du Guarnerius et celui du Stradivarius sont très proches. De plus, d'après la figure 23 (p. 78), je trouve que la première voûte horizontale du Stradivarius est intersectée par la médiatrice longitudinale de la table en point de 67 mm. Donc, $\frac{67}{356} \approx 18,82\%$, c'est la proportion de la première voûte horizontale sur la longueur de la caisse. D'après les dessins techniques de Sacconi, la première voûte horizontale du Guarnerius est également de 67 mm, ainsi, $\frac{67}{353.5} \approx 18,95\%$. Ces deux proportions sont très proches, c'est-à-dire que la première voûte horizontale du modèle de Stradivarius et celle du Guarnerius sont à la même place. De plus, ces deux voûtes sont toutes deux sur la largeur la plus

grande de la caisse supérieure. D'ailleurs, d'après le domaine d' x de l'équation, on sait les largeurs de ces 4 voûtes : la 1^{re} voûte horizontale de la table du Stradivarius mesure 129 mm ($-64,5 \leq x \leq 64,5$), celle du Guarnerius est de 108 mm ($-54 \leq x \leq 54$), la 1^{re} voûte horizontale du fond de Stradivarius est de 88,4 mm ($-44,2 \leq x \leq 44,2$), et celle du Guarnerius est de 142 mm ($-71 \leq x \leq 71$). Par rapport au modèle de Stradivarius, la 1^{re} voûte horizontale de la table du modèle de Guarnerius est haute et courte, et celle du fond est longue et moins convexe.



Dans la figure ci-dessus, les deux courbes rouges représentent respectivement la 3^e voûte horizontale de la table et celle du fond du Stradivarius ; les deux courbes bleues représentent respectivement la 3^e voûte de la table et celle du fond du Guarnerius. A propos de la table, la voûte du modèle de Guarnerius est plus convexe mais ces deux voûtes possèdent le même le sommet. En ce qui concerne le fond, la voûte du Guarnerius est plus concave. De plus, elles ont la même distance entre le sommet de la table et celui du fond ce qu'indique les deux sommets identiques. Par conséquent, d'après les coordonnées des deux sommets et les formes de 4 voûtes, on peut croire que le volume de la caisse médiane du Guarnerius et celui du Stradivarius sont proches. D'après la figure 23 (p. 78), je trouve que la 3^e voûte horizontale du Stradivarius est à l'intersecté de la médiatrice longitudinale de la table 175 mm. Ainsi, $\frac{175}{356} \approx 47,9\%$, c'est la proportion de la 3^e voûte horizontale sur la longueur de la caisse. D'après les dessins techniques de Sacconi, la 3^e voûte horizontale du

Guarnerius est de 155 mm, donc, $\frac{155}{353.5} \approx 43,8\%$. Par rapport à la position du moule G de Stradivarius, la position de la 3^e voûte horizontale du Guarnerius est assez proche de la 1^e voûte. De ce fait, la caisse médiane du Guarnerius est plus proche de la caisse supérieure, parce que la 3^e voûte est dans la position où la largeur est la plus réduite sur la caisse. D'ailleurs, d'après le domaine d' x de l'équation, on connaît les largeurs de ces 4 voûtes, la 3^e voûte horizontale de la table du Stradivarius mesure 94 mm ($-47 \leq x \leq 47$), celle du Guarnerius est de 108 mm ($-80 \leq x \leq 80$), la 3^e voûte horizontale du fond de Stradivarius est de 80 mm ($-40 \leq x \leq 40$), et celle du Guarnerius de 91,2 mm ($-45,6 \leq x \leq 45,6$). Par rapport au modèle de Stradivarius, la 3^e voûte horizontale de la table du modèle de Guarnerius est plus large, et celle du fond est plus longue et plus concave.



Dans la figure ci-dessus, les deux courbes rouges représentent respectivement la 5^e voûte horizontale de la table et celle du fond du Stradivarius ; les deux courbes bleues représentent respectivement la 5^e voûte de la table et celle du fond du Guarnerius. En ce qui concerne la table, la courbure de la voûte du modèle du Guarnerius et celle du Stradivarius sont pareilles car ces deux équations ont la même valeur de a ($-0,001$)⁴⁶. Cependant, la table du Stradivarius possède un sommet plus

⁴⁶ L'expression générale de l'équation du binaire est : $ax^2 + bx + C = y$. Dans la figure supérieure, l'équation de la table de Stradivarius est $w(x) = -0,0011x^2 + 12,5$ dont la valeur d' a est $-0,0011$; l'équation de la table de Guarnerius est $k(x) = -0,0011x^2 + 11$ dont la valeur d' a est égale à $-0,0011$.

haut, par conséquent, la parabole du Stradivarius est plus haute que celle de Guarnerius. A propos du fond, ces deux modèles possèdent la même équation, ainsi, leur sommet et leur courbure sont tout à fait pareils, au point que leurs paraboles coïncident. De plus, la distance entre les deux sommets de Stradivarius est de 23,5 mm (12,5 + 11), et la distance du Guarnerius est de 22,2 mm (11,2 + 11). Mais, on ne peut pas considérer que le volume du Stradivarius est plus grand que celui du Guarnerius pour la caisse inférieure, parce que j'ai calculé les largeurs de ces 4 voûtes. D'après l'intervalle fermé d' x ($-83 \leq x \leq 83$) de l'équation, la 5^e voûte horizontale de la table du Stradivarius est de 166 mm, celle de Guarnerius mesure 160 mm ($-80 \leq x \leq 80$), la 5^e voûte horizontale du fond du Stradivarius est de 144 mm ($-74 \leq x \leq 74$), et celle de Guarnerius de 158 mm ($-79 \leq x \leq 79$). Ayant comparé les largeurs des voûtes, je découvre que la largeur de Guarnerius est légèrement supérieure à celle du Stradivarius, par contre, le sommet de la table du Stradivarius est légèrement plus haut que celui du Guarnerius. De plus, la 5^e voûte est conçue à la position où la largeur de la caisse inférieure est la plus large. De ce fait, je pense que leur volume y est proche. D'ailleurs, selon la figure 23 (p. 78), je sais que la 5^e voûte horizontale du Stradivarius est à l'intersection de la médiatrice longitudinale de la table à 277 mm. Ainsi, $\frac{277}{356} \approx 77,8\%$; de même, selon les dessins techniques de Sacconi, la 5^e voûte horizontale du Guarnerius est de 155 mm, ainsi, $\frac{275}{353,5} \approx 77,79\%$. Mais on n'oublie pas que la 3^e voûte horizontale (la médiatrice horizontale) du Guarnerius est assez proche de la 1^e voûte, et que de plus, la longueur de caisse du Stradivarius (356 mm) et celle de Guarnerius (353,5 mm) sont proches. Par conséquent, la longueur de la caisse inférieure du Guarnerius est en fait supérieure à celle du Stradivarius, au point que le volume de la caisse inférieure du Guarnerius est plus grand que celui du Stradivarius.

En conséquence, il est constaté que la plus grande différence entre le modèle de Guarnerius et le modèle du moule G de Stradivarius se trouve dans les points suivants :

1. La 3^e voûte horizontale du Guarnerius est proche de la 1^{re} voûte horizontale, au point que la surface supérieure de la table et le volume supérieur de la caisse diminuent.

2. Comme la longueur du moule G de Stradivarius et celle du Guarnerius sont presque égales et que la 3^e voûte horizontale du Guarnerius est plus proche de la 1^e voûte, la surface inférieure de la table et le volume inférieur de la caisse du Guarnerius augmentent à partir de la médiatrice horizontale.

3. Ayant analysé et comparé la courbure des voûtes du modèle de Guarnerius et celle du Stradivarius, on sait que leur courbure de voûtes, que ce soit les voûtes horizontales ou les médiatrices longitudinales, est en fait très proche. Par conséquent, au point de vue des voûtes la plus grande différence entre le Stradivarius et le Guarnerius n'est pas la courbure différente mais la position des voûtes.

En se basant sur l'analyse des contraintes du violon⁴⁷, on sait que, lorsque l'archet frotte les cordes, le chevalet reçoit une pression verticale qui s'exerce directement sur la table d'harmonie du violon, c'est-à-dire que la table est une pièce de la force active ; puis, la pression passe par l'âme pour arriver au fond, c'est-à-dire que la pression s'exerce indirectement sur le fond, et le fond est une pièce de la force passive. Évidemment, au point de vue de la vibration, l'effet de la table d'harmonie est plus important que celui du fond. D'après la figure 60 (p. 205) et les caractères du modèle de Guarnerius, nous avons aussi appris que, lorsque la position de la 3^e voûte est déplacée à l'avant, le sommet le plus haut de la table va également à l'avant. Par conséquent, la position du chevalet devient moins convexe. Cependant, la longueur de la corde étant constante (328 mm), il est impératif d'augmenter la hauteur du chevalet (la hauteur de *KC*, figure 60, p. 205) ainsi, la hauteur de *KC* du

⁴⁷ Cf. Figure 60, p. 205.

modèle de Guarnerius est augmentée, au point que l'angle T_1CK a augmenté. Car la position de l'âme est derrière celle du chevalet, elle devient également moins convexe, au point que l'hauteur de l'âme (la distance de KH) a diminué. C'est-à-dire que la distance de transmission de la vibration entre la table et le fond est raccourcie. D'après l'analyse des contraintes de la physique, la pression f_3 a augmenté à cause de l'augmentation de l'angle T_1CK , ainsi, la force soutenant la table f_{10} est augmentée. Ce qui signifie que la force soutenant la table, c'est la vitesse de la réponse de la table à la pression. De plus, la hauteur de l'âme a également diminué et donc la réflexion (la réponse) de la caisse est plus sensible. C'est la raison pour laquelle le modèle de Guarnerius a une réponse plus rapide et plus sensible.

D'après la figure 53 (p. 195), on connaît l'orbite de la transmission de l'onde sur le violon. Selon les caractères du modèle de Guarnerius, lorsque la 3^e voûte horizontale se déplace à l'avant, la capacité de la caisse supérieure diminue, mais il n'y a évidemment pas de rapport avec la modification des orbites des ondes. Mais, d'après les données de Sylvette Milliot⁴⁸, on sait que les 3 largeurs du modèle (1733) du Guarnerius sont respectivement de 166, 112 et 208 mm, et que les 3 largeurs du moule G de Stradivarius sont respectivement de 168, 112 et 208 mm. Évidemment, la 1^e voûte horizontale du modèle (moule G) du Stradivarius est plus large que celle du Guarnerius, au point que la capacité de la caisse supérieure du modèle de Stradivarius est plus grande que celle de Guarnerius. Au point de vue de la forme d'onde⁴⁹, la plus grande différence entre la caisse supérieure et la caisse inférieure se trouve à la table en bas à droite où les ondes sont assez clairsemées. De plus, d'après mes analyses précédentes le volume de la caisse inférieure du Guarnerius est plus grand que celui du Stradivarius. N'oublions pas les caractères du son, issus des expérimentations acoustiques précédentes entre ces deux modèles. Le modèle (moule G) de Stradivarius possède une sonorité plus furieuse, et le modèle de Guarnerius a un timbre plus velouté. En conséquence, je pense que le timbre du violon a un lien

⁴⁸ Sylvette MILLIOT, *op.cit.*, p. 368 et p. 454.

⁴⁹ Cf. Figure 53, p. 195.

important avec la capacité de la caisse inférieure, et que l'intensité a un rapport avec le volume de la caisse supérieure. A part la comparaison de la capacité de la caisse, l'épaisseur du fond est probablement un élément conduisant au timbre velouté⁵⁰.

D'après mes calculs basés sur la géométrie⁵¹, j'ai découvert que les violons du modèle français de Vuillaume possèdent une surface plus grande à la table supérieure par rapport au violon du moule G de Stradivarius, au point qu'ils ont un volume plus grand dans la caisse supérieure. En fait, la 1^e voûte horizontale plus large et la table plus épaisse sont non seulement les caractères du violon de Vuillaume mais également ceux des violons français depuis XIX^e siècle. En fait,

ce sont les luthiers italiens qui ont fabriqué les instruments les plus minces ; les luthiers français depuis le XIX^e siècle ont toujours montré la plus grande intransigeance en ce qui concerne les épaisseurs et les largeurs⁵².

Malheureusement, Vuillaume ne nous a pas laissé les dessins techniques de ses violons. Cependant, n'oublions pas les caractéristiques de la structure des violons français, d'après mes expériences acoustiques, nous avons des raisons de croire que la table portant la surface grande, favorise la vibration du violon.

La voûte est constituée d'une multitude d'arcs plus ou moins longs dans les parties longitudinal et transversal du violon. C'est grâce à sa forme en arc que cet élément contribue à un espace intérieur plus grand afin de produire une vibration plus riche à l'intérieur de la caisse. Quant aux modèles de voûtes,

l'étude actuelle se borne aux voûtes d'Andrea Amati, de Gasparo da Salo, de Duiffoprugcar, de Maggini, de Nicolo Amati, de Stradivarius et de Guarnérius. On peut

⁵⁰ Cf. p. 209-210, les données du bois de ces deux violons. En ce qui concerne l'épaisseur du fond, le modèle du Guarnerius a plus de 2 ou 3 millimètres de celui du Stradivarius.

⁵¹ Cf. p. 171-176.

⁵² Paul KAUL, *La Querelle des Anciens et des Modernes, lutherie italienne ou lutherie française ?* Imprimerie de Bretagne, Nantes, 1927, p. 95.

dire qu'il y eut 7 écoles de lutherie⁵³.

On pense que Duiffoprugcar de Lyon et Gasparo da Salo de Brescia sont les créateurs des voûtes de violon. Leurs modèles de voûtes adoptaient une forme qui longeait à même la caisse du violon dans toute son intégralité contrairement aux violons actuels dont la voûte ne commence pas directement à s'élever dès les bords de filets. L'invention des voûtes dégagées, cernées et assez convexes revient en réalité non pas à Nicolo Amati mais à Andrea Amati de Crémone et à Maggini de Brescia. Par conséquent, le modèle originel des voûtes n'est pas né plus tôt à Brescia qu'à Crémone, les deux écoles sont nées ensemble. Qui plus est,

l'école de Crémone faisait souvent ses voûtes pleines jusqu'aux bords sans exagération, et la grande quantité des luthiers français ne s'est pas bornée à copier Gasparo-da-Salo, comme on peut s'en rendre compte⁵⁴.

En ce qui concerne la voûte du violon, Nicolo Amati ne fut au début qu'un copiste d'Andrea Amati et de Maggini, comme Guarnerius était un copiste de Gasparo-da-Salo et de Duiffoprugcar.⁵⁵ Quant à la forme des voûtes de Stradivarius, elle pourrait être appelée « style de l'incohérence » bien que ce ne soit pas à prendre au sens irrévocable du terme car le grand luthier était avant tout un chercheur, ce qui explique et excuse toutes ses erreurs. De plus, Stradivarius a tenté toutes les formes de voûtes et est allé jusqu'aux extrêmes, imitant tour à tour Maggini, Amati, Gasparo-da-Salo dans leurs formes mais avec exagération. Quelques fois trop plat, d'autres fois trop convexe, la voûte de Stradivarius changeait régulièrement⁵⁶.

Cependant, d'après mon calcul comparatif du modèle « Messie » (moule G) de Stradivarius et du modèle « Kreisler » de Guarnerius, on remarque que la forme des voûtes entre les deux modèles est presque identique. On pense ainsi que les voûtes du

⁵³ *Ibid.*, p. 55-60.

⁵⁴ *Ibid.*

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ *Ibid.*

modèle G de Stradivarius s'est également inspiré de l'école de Gasparo-da-Sol comme Guarnerius. En réalité

les violons de Jean-Baptiste Vuillaume peu voûtés, peu timbrés mais homogènes, battirent nettement les prétentieux bâtards qu'on lui opposait et dont l'un, orgueil de la maison, avait dans une expérience récente devancé de quelques points des violons de Stradivarius mais dans la même expérience en revanche avait succombé devant le violon d'un luthier de Mirecourt en France⁵⁷.

De plus, Mirecourt est une ville très modeste qui est souvent ignoré dans le monde par rapport aux écoles italiennes. A partir du XIX^e siècle, elle acquiert presque tous les talents de la prestigieuse école de Crémone. L'humble petite cité lorraine a été le berceau des lutheries françaises dont même Paris s'est inspirée. En tant que luthier mirecourtien le plus célèbre, Jean-Baptiste Vuillaume tenait non seulement de l'expérience de Stradivarius mais a également créé son propre modèle français au point qu'il est considéré généralement comme le précurseur de l'école du violon français contemporain.

Dans la lutherie, la recherche des voûtes ne s'arrête jamais. Les luthiers expérimentés essaient incessamment de créer de nouvelles voûtes (pleine, plate, dégagé, en ventre de poulet, etc.). Mais jusqu'à aujourd'hui, ils n'ont pas réussi à résoudre les problèmes : c'est encore à l'établi, le rabot en mains que se résoudront les difficultés des différentes constructions. Hormis la forme esthétique, on ne peut pas encore certifier le rapport entre les voûtes et la sonorité. Toutes les connaissances de la structure du violon ont soit été acquises par tradition, soit sont issues de l'expérience de la lutherie. La structure manque de raisonnement scientifique. En conséquence, je souhaite que mes expériences acoustiques puissent apporter une compréhension scientifique sur la composition de violon.

⁵⁷ *Ibid.*

Conclusion

Lorsque nous mentionnons la musique occidentale, il existe aujourd'hui de nombreux ouvrages et thèmes corrélatifs tels que l'histoire, la culture, la société et la philosophie, l'esthétique, l'organologie, le compositeur, le musicien, etc. Il ne m'est cependant pas nécessaire de reprendre tous les travaux effectués par les précédents chercheurs. Dans cette section, en résumant la thèse, j'analyse aussi l'art du violon du point de vue de la philosophie traditionnelle chinoise, par rapport aux concepts concernant le nombre et l'esthétique de l'école pythagoricienne et platonicienne.

Confucius (孔子, 551-479 avant J.-C.) est le personnage historique qui a le plus marqué la culture et la civilisation chinoises. Son confucianisme effectue une philosophie influente en Chine. Confucius croit que l'homme vertueux doit apprendre et maîtriser les six Arts (六艺). Selon leur importance, ils sont classés dans l'ordre suivant : les rites cérémoniaux (礼), la musique (乐), l'archerie (射), la conduite de char (御), la littérature (书), le nombre et le calcul (数). La musique étant un bon outil pour éduquer le peuple et harmoniser la société elle est rangée à la seconde place. Par ailleurs pour ces six Arts, Confucius a établi le principe esthétique d'« ultime perfection » (尽善尽美)¹. Cette expression est composée de 4 caractères chinois dont le premier et le troisième sont identiques et signifient « le plus ... possible », le second signifie la « bonté » et le quatrième correspond à la « beauté ». Dans la Chine antique, les Chinois considéraient que le concept de bonté et celui de beauté étaient liés et inséparables. Mais depuis Confucius, la définition de la « beauté » se dégage de la « bonté » et possède sa propre signification. Confucius indique que la bonté est l'essence de la beauté, et bien que la beauté nous apporte une vision agréable, il faut l'interpréter au sens moral. Ainsi, la beauté représente des valeurs sociales. Si nous voulons acquiescer ces six compétences, il vaut mieux relier la bonté à la beauté.

En raison de l'impact de la pensée confucéenne, la musique traditionnelle chinoise qui se préoccupe de la « pensée inclusive² » (包容的思想) et de

¹ Expression figée, issue du livre, *Les Entretiens de Confucius* (论语 八佾), «子谓(韶)尽美矣,又尽善也.谓(武)尽美矣,未尽善也。»

² Un antique proverbe, «海纳百川, 有容乃大», ce qui signifie «La mer rassemble cent rivières ; elle a la capacité de tout accepter et devient ainsi grande »

« l'harmonie » (和的思想) entre la morphologie de l'instrument musical, la mélodie, la nature et l'être humain est différente de la musique occidentale qui prête plus attention à la logique et à la spéculation. Dans l'ouvrage *L'Invariable Milieu* (中庸), Confucius a donné une opinion sur « le juste milieu », qui correspond en fait à une perception sensible et explique quel morceau correspond au principe esthétique d'« ultime perfection ». Il dit que si nous pouvons réprimer des sentiments (tels que la joie, la colère, la peine et le plaisir) grâce à la musique, c'est une expression du « milieu » (中的表现) et si nous pouvons exprimer nos sentiments à bon escient, c'est une expression de l'« harmonie » (和的表现); le « milieu » est la plus importante essence d'un homme vertueux, l'« harmonie » est l'accès du TAO (un principe d'ordre et d'unité du cosmos d'origine) : Si l'activité d'une personne correspond non seulement au « milieu » mais également à l'« harmonie », toutes les choses dans l'univers lui conviennent³. A partir de ce concept, le rythme des morceaux musicaux devient généralement constant, la vitesse est « andante », la nuance se trouve entre « mezzo-piano » et « mezzo-forte ». Les Chinois pensaient autrefois que ce type de musique correspondait davantage à la nature et au TAO. Qui plus est, dans l'ouvrage *Yue Ji* (l'enseignement de la musique, 乐记)⁴, les confucéens ont défini les caractères de la gamme pentatonique : le *do* est le monarque, le *ré* correspond au ministre, le *mi* représente les masses populaires, le *sol* est l'activité et le *la* fait partie de l'objet. Par conséquent, lorsqu'un ancien musicien chinois composait, il devait bien réfléchir au rapport de ces cinq notes pour créer un morceau correspondant au « milieu » et au TAO. De plus, sa mélodie doit être exécutée par des instruments (l'*erhu*, le *guqin*, les cloches de bronze, etc.) que l'organologie adapte à la « pensée de l'harmonie ». Ce type de musique correspond au principe esthétique d'« ultime perfection » et elle forme l'union de la mélodie et de l'instrument. On sait par là que d'après la pensée confucéenne, l'instrument et son organologie font également partie de l'esthétique de

³ Confucius, *L'Invariable Milieu* (中庸), le texte original est « 喜怒哀乐之未发，谓之中；发而节中节，谓之和。中也者，天下之大本也；和也者，天下之达道也。致中和，天地位焉，万物育焉。 »

⁴ La dix-neuvième thèse dans la collection intitulée, *le Classique des rites* (礼记), compilé et commenté par Confucius et ses disciples à l'époque Zhou (XI^e siècle -771 avant J. -C).

la musique.

Dans le monde occidental, les anciens luthiers ont créé de nombreux types de violons. Au début de ma thèse, j'ai présenté des opinions pythagoriciennes et platoniciennes sur l'art et le violon dans la philosophie et les racines historiques de ces deux idéologies ainsi que des opinions euclidiennes dans la réalisation graphique sur la base de la géométrie.

L'un des apports majeurs des pythagoriciens est d'avoir affirmé le primat de l'analogique sur la logique et avoir recherché l'unité, les correspondances entre toutes les réalités, l'harmonie dans le dissemblable. Cette démarche, éloignée de notre rationalité scientifique moderne n'est pas sans efficacité. Les pythagoriciens ne séparent pas les principes de causalité et d'identité car ils pensent que les nombres génèrent et décrivent simultanément les réalités concrètes⁵.

Pour le violon, le nombre «5 » est important : l'accord des cordes est à la quinte et la structure passe par le pentagone régulier⁶. Pourtant, on ne peut pas encore certifier que la méthode de fabrication du violon que nous avons choisie est exactement celle qui a été adoptée par Stradivarius en raison de l'absence d'écrits ou de schémas explicites. On ne peut qu'affirmer que la conception du moule G de Stradivarius correspond substantiellement au pentagone régulier. Il est donc possible que Stradivarius ait utilisé le pentagone régulier et les proportions géométriques pour concevoir la structure du violon. Dans la première partie de ma thèse, j'ai tenté de reproduire à partir des proportions et des calculs la structure du violon fabriqué par le moule G pour expliquer et vérifier l'utilisation systématique de la géométrie.

D'après un esprit euclidien, tous ces dessins peuvent être tracés à la règle et au compas, ce qui correspond bien à la pratique de l'époque de Stradivarius où tous les tracés complexes devaient être réalisés au crayon et à la proportion. La forme du violon possède ainsi une richesse d'esthétique (géométrie) que chacun peut immédiatement percevoir. On peut donc penser que l'un des secrets de Stradivarius

⁵ Eric L. Brooks et Jean-André Degrotte, *op. cit.*, p. 122.

⁶ Cf. Figure 15, p. 62.

est d'avoir su utiliser la géométrie et le nombre d'or pour créer un violon aux meilleures proportions possibles alliant à la fois harmonie et beauté. Le violon n'est pas une quelconque production de sons issue du hasard mais une œuvre d'art qui est le fruit de la vision, de l'oreille et de la science. Cependant,

Toute tentative de création devrait s'asseoir sur les principes de base utilisés par les Anciens : système, accord, nombre, etc. La démarche qui a présidé à la création du violon est celle de la connaissance, au sens platonicien du terme, qui doit précéder l'Action⁷.

C'est pourquoi j'ai écrit ces phrases afin que les concepts philosophiques et les notions de géométrie développés au début de ma thèse et qui étaient nos outils permettant de réduire les connotations anti-scientifiques et illogiques que nous leur attribuons généralement soient plus largement diffusés et utilisés aujourd'hui dans le domaine de la lutherie. De même, les intuitions de Stradivarius que nous avons aperçues correspondaient à des principes précis d'acoustique (la sonorité), de géométrie (la structure) et de chimie (le vernis) qui lui ont été inspirées par des expériences pratiques transmises par les connaissances millénaires de la nature.

Quant à Jean-Baptiste Vuillaume, les jugements sont fort différents des anciens luthiers italiens tels que Nicolo Amati, Stradivarius et Guarnerius. J'ai travaillé sur la structure des violons conçus par Vuillaume (tels que le «faisan doré», «Saint-Marc» et «Saint-Jean») avec la géométrie analytique et le logiciel d'informatique, Panneau de la géométrie. Au cours de la recherche, j'ai remarqué que les violons de Vuillaume possèdent une surface plus grande sur la caisse supérieure par rapport au violon du moule G de Stradivarius⁸. De plus, la structure de la caisse et l'idée de la fabrication sont vraiment différentes chez les deux hommes. Par conséquent, on peut considérer que Jean-Baptiste Vuillaume est non seulement un copiste de Stradivarius, mais également un innovateur dans la conception du violon et la méthode de sa fabrication.

⁷ *Ibid.* p. 126.

⁸ Cf. p. 171-176.

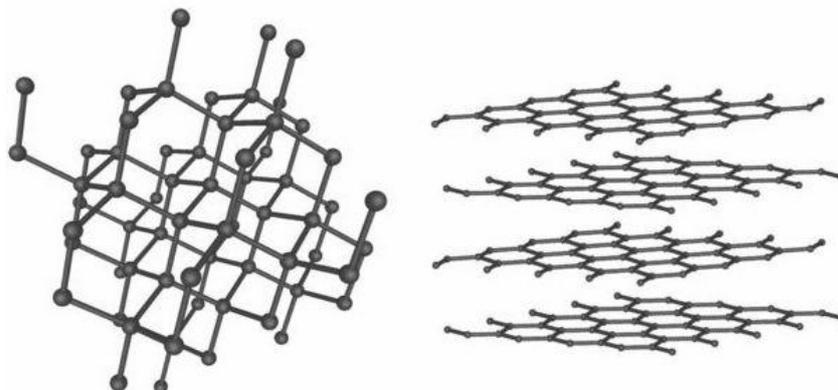
Aux alentours de 1830, Vuillaume introduisait le « moule extérieur » ayant la même épaisseur que la hauteur des éclisses, ce qui faisait modifier la méthode de fabrication des luthiers classiques. En effet, alors qu'avec le moule intérieur, le contour de l'instrument se réalise petit à petit par un modelage souple qui témoigne de l'habileté et de la personnalité du luthier, avec le moule extérieur par contre, il fabrique un contour mécanique⁹ dont la froideur se retrouve dans la forme de la table et du fond, en suivant pour le tracé le moule lui-même et non le tracé des éclisses. Ceci a l'avantage d'éviter que le léger gonflement des éclisses n'entraîne une véritable déformation. Du point de vue de la plasticité et de la nature humaine, les instruments fabriqués par la mécanique avec le moule extérieur donnent une impression industrielle sans spiritualité. Ceci n'est pas admis par la plupart de luthiers. En fait, le moule extérieur sert seulement à fabriquer rapidement le violon comme la production industrielle. Lorsque Vuillaume voulait fabriquer un violon raffiné, il a préféré utiliser le moule intérieur et la méthode de l'école crémonaise. A part l'innovation du moule, l'un des apports de Vuillaume est d'allier l'acoustique à la conception du violon. Son collaborateur, Félix Savart, l'a beaucoup inspiré. Faisant partie de la physique, l'acoustique permet d'analyser la sonorité et la vibration de la caisse. Partant dans la troisième partie de ma thèse, j'ai d'abord étudié les expériences des acousticiens précédents, puis présenté mes expérimentations acoustiques du violon afin d'essayer de répondre à cette question : Quel est l'impact de la vibration et de la structure sur la sonorité ?

Malheureusement, jusqu'à présent, il nous est impossible d'expliquer exactement et entièrement cette question, parce que nous ne savons pas d'où vient concrètement le problème. Par exemple, même si le même luthier utilise le même dessin technique, il ne peut pas fabriquer deux violons identiques à cause de la technique à la main. Il existe des marges de tolérance. Le luthier ne peut pas fabriquer exactement et identifier l'intervalle de 0,1 millimètre à travers la vision. De plus, même si nous choisissons la même espèce de bois (tel que l'épicéa) pour

⁹ Cf. Figure 37, p. 128.

fabriquer deux tables d'harmonie, nous ne pouvons pas contrôler leur fibres, densité, séché et masse. De ce fait, lorsque nous écoutons une sonorité rauque, nous ne pouvons pas reconnaître exactement d'où vient le problème, peut-être de la position de l'âme, peut-être de la voûte que le luthier n'a pas fabriquée exactement, peut-être de la conception défective du violon. Par conséquent, pour le violoniste, il est nécessaire de faire le réglage sur son violon afin de produire la sonorité qu'il souhaite. Cependant, les réglages ne peuvent pas modifier totalement l'essence de la sonorité. Quels que soient les réglages, un violon médiocre ne peut pas produire un timbre velouté car la qualité de la sonorité dépend principalement de la vibration de la caisse, c'est-à-dire que la structure et les matériaux de la caisse ont un impact essentiel sur la qualité du son. Alors, en termes de structure ou de matériaux, quel violon pourrait correspondre au principe esthétique d'« ultime perfection »?

Pour comprendre scientifiquement la structure du violon, pendant les vacances d'été en 2008, je suis allé au LAM (Laboratoire Acoustique Musical) de Paris, et j'ai rendu visite à monsieur Charles Besnainou, chercheur et ingénieur au CNRS. Après avoir eu une conversation agréable sur l'acoustique, il m'a montré un violon prospectif dont la caisse a été fabriquée avec du carbone et dont la structure a imité le modèle de Stradivarius. En chimie, l'élément de carbone est une matière organique et est issu de la famille des cristallogènes, son atome possède une structure d'hexagone régulier. Bien que le carbone possède des isotopes, la structure de base de l'élément reste inchangée. Voici la structure moléculaire du carbone :



Du point de vue des matériaux, grâce à la structure moléculaire régulière, le

violon en carbone possède une structure très fiable et permet de débarrasser des problèmes tels que les fibres divers, la densité différente, la séché incontrôlé, la masse et les voûtes inexacts, par rapport au violon en bois. On peut donc dire qu'il correspond à la pensée d'«ultime perfection» du confucianisme. Qui plus est, à travers la technique industrielle, on peut contrôler exactement l'épaisseur et la structure de la caisse jusqu'au 0,01 millimètre près, voire plus précis au 0,001 millimètre pour le violon en carbone.

Au début de la troisième partie, j'ai étudié les expériences des précurseurs acoustiques sur le violon. Cependant, que ce soit Jansson ou Hutchins, leurs expérimentations acoustiques¹⁰ comportent tous des éléments incontrôlés tels que le bois, la voûte et le contour, etc. Autrement dit, l'état de chaque violon est différent. Ainsi, leurs expérimentations ne nous donnent que des expériences scientifiques. On peut imaginer que si l'on utilise le violon en carbone pour effectuer l'expérimentation acoustique, tous les éléments incontrôlés disparaissent et de plus, on pourrait définir exactement la fonction de chaque pièce (la voûte, l'âme, le chevalet, etc.) pour comprendre le rapport entre la sonorité et la structure du violon. Malheureusement, faute de moyens financiers et d'équipement adéquat, je n'ai pas pu réaliser l'expérimentation acoustique sur le violon en carbone. Mais je voudrais vraiment savoir quelle sonorité pourrait produire un violon en carbone fabriqué selon mon hypothèse sur la structure idéale du moule G¹¹.

A mon avis, le violon est sur le point d'être sur le chemin de l'évolution car le violon en carbone nous apporte un nouveau sens. Actuellement, beaucoup de gens pensent que le XXI^e siècle est l'époque de la chimie organique ou l'époque du carbone, je suis d'accord avec leur point de vue sur l'évolution du violon. Le carbone nous donne une possibilité scientifique, il lie la science à l'expérience de la fabrication du violon. Par conséquent, d'après les concepts pythagoriciens sur le nombre, il me semble que l'époque du chiffre « 6 » est venue !

¹⁰ Cf. p. 193-194 et p. 197-199.

¹¹ Cf. p. 84-103.

Alors, du point de vue de la philosophie chinoise, quelle révélation nous apporte le chiffre 6? Le *Yi Jing* (易经), est un manuel chinois dont le titre peut se traduire par «Classique des changements » ou «Traité canonique des mutations ». Il s'agit d'un système de signes binaires utilisé pour faire des divinations. Son élaboration date du premier millénaire avant l'ère chrétienne. Il occupe une place fondamentale dans l'histoire de la pensée chinoise et peut être considéré comme un traité unique en son genre dont la finalité est de décrire les états du monde et leurs évolutions. Le *Yi Jing* est le fruit d'une recherche spéculative et cosmogonique élaborée, dont les articulations ont informé durablement la pensée chinoise. Sa structure mathématique a impressionné Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) qui y aurait vu la première formation de l'arithmétique binaire. De fait, partant d'une « opposition et complémentarité » entre les principes « du *yin* et du *yang* » (adret et ubac, soleil et lune, mâle et femelle, actif et passif, etc.) et subdivisant cette dualité de façon systématique, le *Yi Jing* arrive alors à la série des 64 figures (hexagrammes) qui peuvent interpréter toutes les transformations possibles du monde.

En fait, les huit premiers hexagrammes sont à la base de ces 64 figures, ils s'appellent *Bāguà* (八卦, huit trigrammes), les 58 autres hexagrammes se composent respectivement de la combinaison de deux trigrammes. Le *Bāguà* est un terme chinois signifiant « huit (*Bā*) figures de divination (*guà*) ». Il est représenté selon un diagramme octogonal avec un trigramme différent sur chaque côté



Le diagramme de «*Bāguà* »

Le *Bāguà* est un concept philosophique fondamental de la Chine utilisé dans le Taoïsme, le *Yi Jing* et le confucianisme, mais aussi dans d'autres domaines de la culture chinoise tels que le fengshui (风水, la géomancie chinoise), les arts martiaux, la navigation, la nature, l'astrologie, la statistique, la probabilité etc. En réalité le diagramme de *bāguà* révèle la « weltanschauung » chinoise. Le *yin-yang*, considéré comme l'essence et l'origine du monde, est placé au centre de la figure. Les huit trigrammes correspondent respectivement aux 8 directions tournant auprès du *yin-yang*. Le *yao* (爻), symbole construisant chaque trigramme, existe sous deux formes, le *yao* masculin (symbole « — ») et le *yao* féminin (symbole « - - »). Du fait que chaque trigramme se compose de 3 *yao* de l'intérieur à l'extérieur, et chaque hexagramme de 6 *yao*. Que ce soit le trigramme ou l'hexagramme, chaque figure a son propre caractère. Les huit trigrammes sont rangés par l'ordre numérique :

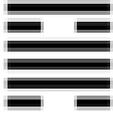
☰ « Qian » (乾), ☷ « Kun » (坤), ☲ « Li » (离), ☵ « Kan » (坎),

☳ « Zhen » (震), ☴ « Xun » (巽), ☱ « Gen » (艮), et ☶ « Dui » (兑).

Le *Qian* représente le ciel et correspond au chiffre « 1 », le *Kun* correspond à la terre et au chiffre « 2 ». Le *Kun* est l'extrémité du *yin* (le féminin) et le *Qian* est l'extrémité du *yang* (le masculin). Le sixième trigramme « Xun » (巽) signifie le vent, le bois, le travail, la pénétration, l'intériorisation. Selon les termes du Taoïsme et du trigramme, Lao-Tseu pense que le « Kong » (空, le vide) donne naissance au chiffre 1 (c'est-à-dire TAO, 道), le chiffre 1 se sépare en deux parties égales (*yin* et *yang*), c'est le chiffre 2. Puis, le chiffre 1 et le chiffre 2 créent le chiffre 3. Désormais, toutes les choses du monde sont créées à partir du chiffre 3. De ce fait, le troisième trigramme « Li » (离) représente le feu, les lumières, la lucidité, la création, la production, etc.

Comme nous le savons, l'hexagramme peut interpréter toutes les transformations possibles, et celui-ci se compose de la combinaison de deux trigrammes : le

trigramme supérieur correspond au thème et le trigramme inférieur représente la propriété du sujet. Étant donné que nous parlons du violon en carbone, c'est-à-dire le développement du violon, je relie ainsi le sixième trigramme «Xun » au troisième trigramme «Li » et obtiens le cinquantième hexagramme «Ding » (鼎, 挂之风火鼎)

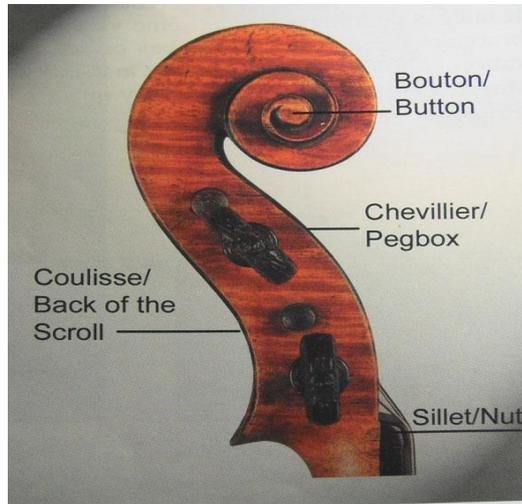


dont la partie supérieure est le troisième trigramme «Li » et la partie inférieure correspond au sixième trigramme «Xun ». Cette figure signifie «le changement, le développement, le renouvellement, l'innovation, des chances du juste milieu, etc.¹² ». C'est-à-dire que la recherche du violon est sur le point de l'évolution de la matière ou de la structure (La création du violon en carbone s'accorde avec ce courant), cependant, à court terme, cette innovation ne sera pas acceptée par la lutherie à cause de la pensée traditionnelle, de sa technique inachevée et de la recherche insuffisante. Ainsi, le violon en carbone ne se propage pas non plus dans la société. Bien qu'il existe seulement dans laboratoire, c'est vraiment qu'il est un courant de l'histoire. La chimie organique, la physique de la matière et l'acoustique mettront en lumière l'art du violon. Du point de vue de la pensée confucéenne, il est une place de l'« harmonie » où l'organologie et l'acoustique se joignent. Ce sont les révélations que le chiffre «6 » nous apporte à partir de la philosophe chinoise !

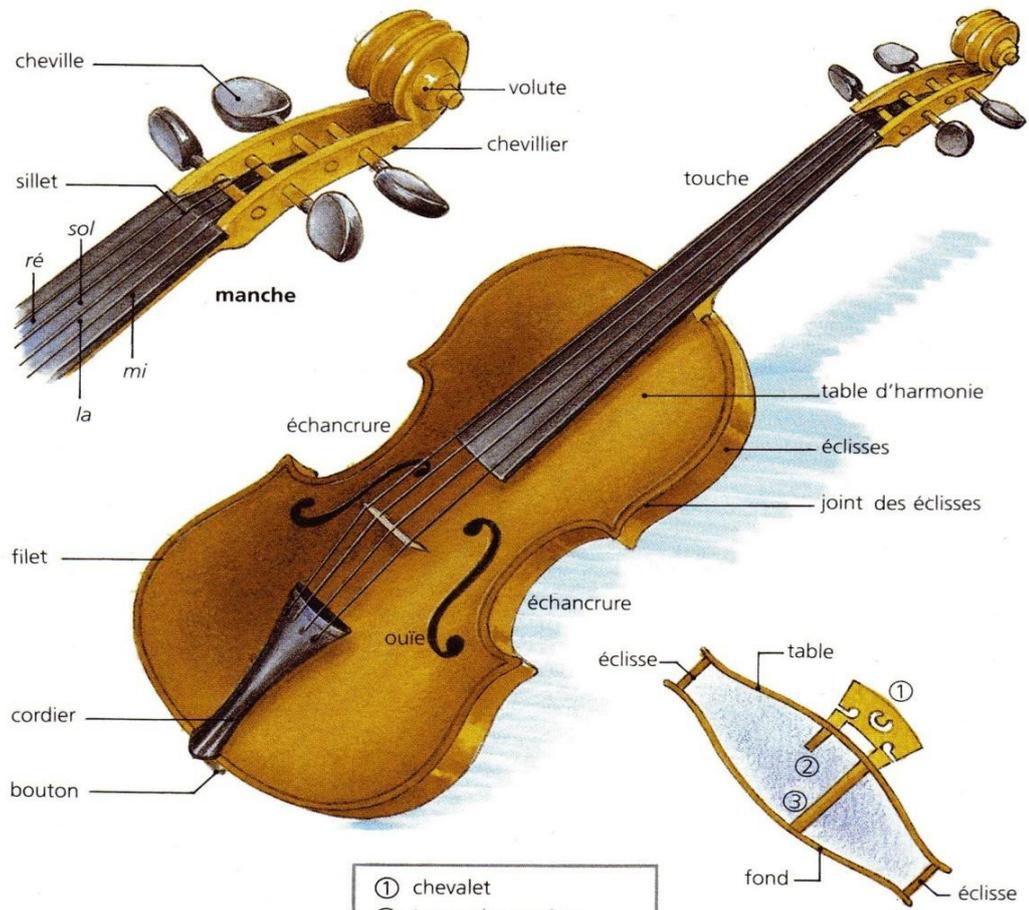
¹² Le texte original de l'explication : 第50卦, (火风鼎), «稳重图变, 鼎器烹调之象, 去故取新之意, 中下卦 ».

Annexe

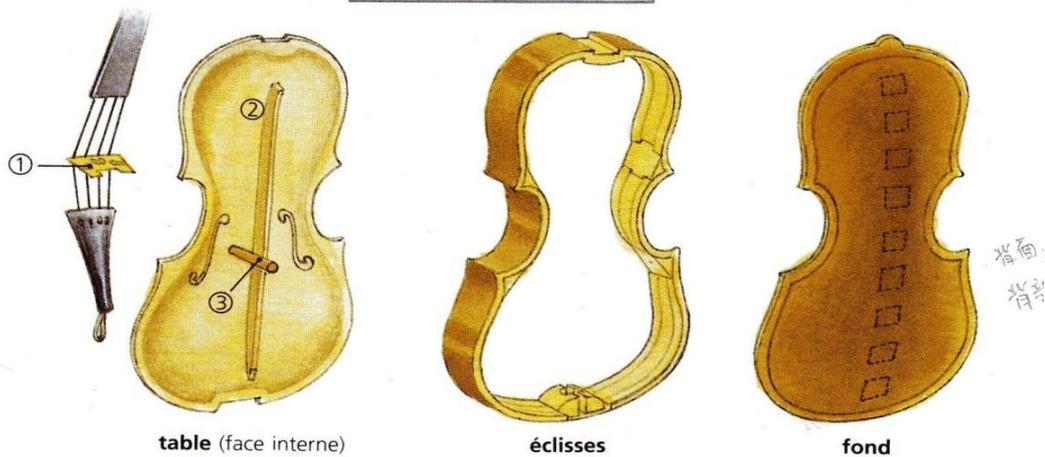
Construction extérieure du violon et terme technique



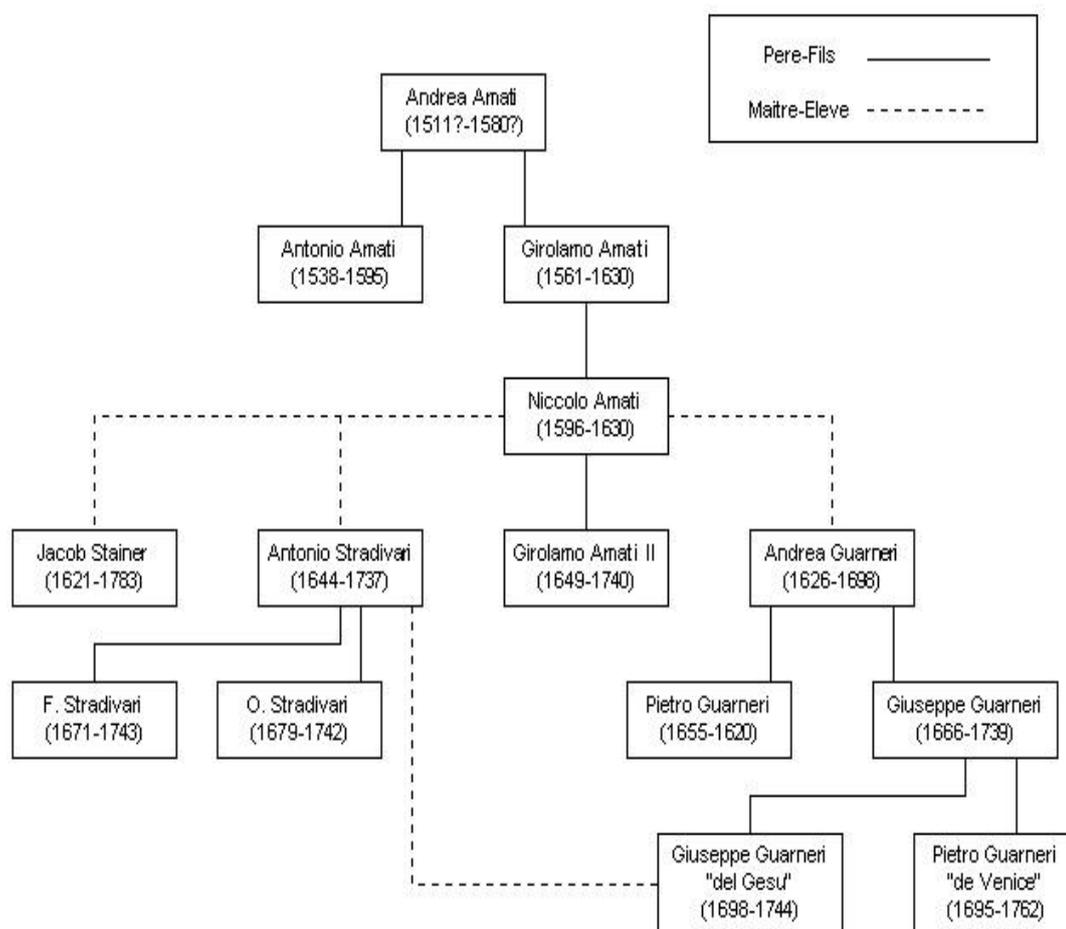
Construction intérieure du violon et terme technique



- ① chevalet
- ② barre de soutien
- ③ âme



La relation entre les lutheries crémonaises



Relation des anciens luthiers crémonais¹

¹ Wikimédia Commons, «File: Lutherie Cremona Ecole Amati »,

<commons.wikimedia.org/wiki/File:Lutherie_Cremone_Ecole_Amati.png?uselang=fr>, 29 novembre 2004.

Partition de «Allemande» issu de la *Partita pour violon seul*
n° 2, en ré mineur, Jean Sébastien Bach

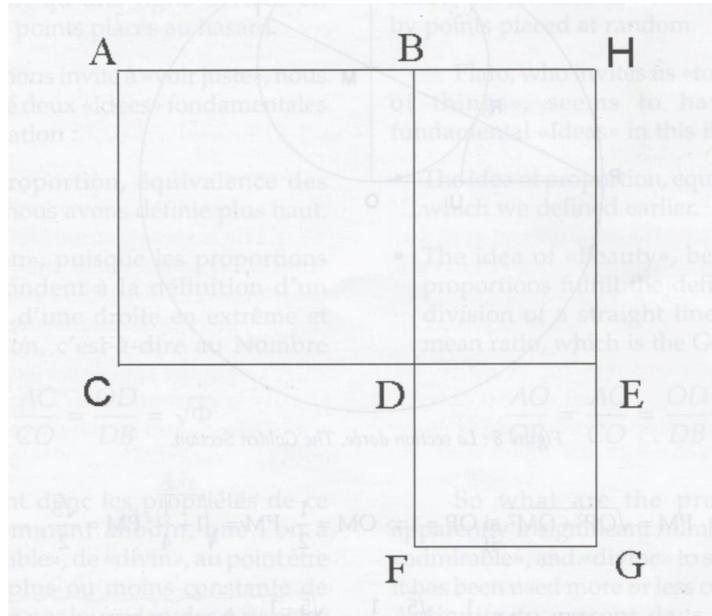
d 小调第二组曲 25

阿列曼德舞曲 (Allemande) BWV 1004

poco f *mf* *p* *f* *mf*

Rectangle d'or

Euclide pense qu'il faut partager un segment de droite de telle manière que le rectangle ayant pour côtés le tout et l'une des deux parties ait la même aire que le carré ayant pour côté l'autre partie. Cet énoncé sera plus explicite avec le schéma suivant où le rectangle $BFGH$ possède la même aire que le carré $ABCD$. De plus, le point D partage CE et BF en extrême et moyenne raison, $\frac{CD}{CE} = \frac{BD}{DF}$



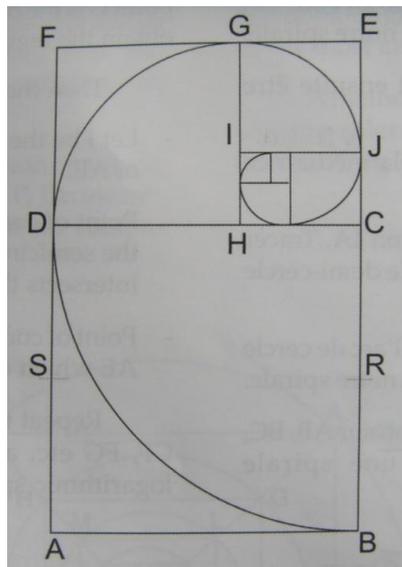
Deux spirales particulières

A part les figures géométriques susdites, je dois encore expliquer deux spirales particulières : «la spirale d'accroissement radial Φ^4 » et «la spirale d'accroissement radial Φ^2 »

1. La spirale d'accroissement radial Φ^4 , a un accroissement radial de raison $\Phi^4 \approx 6,854$. Elle a comme tracé directeur le rectangle Φ et comme module l'accroissement quadratique égal à $\sqrt{\Phi}$, la valeur de son angle caractéristique est d'environ $73^\circ 43'$.

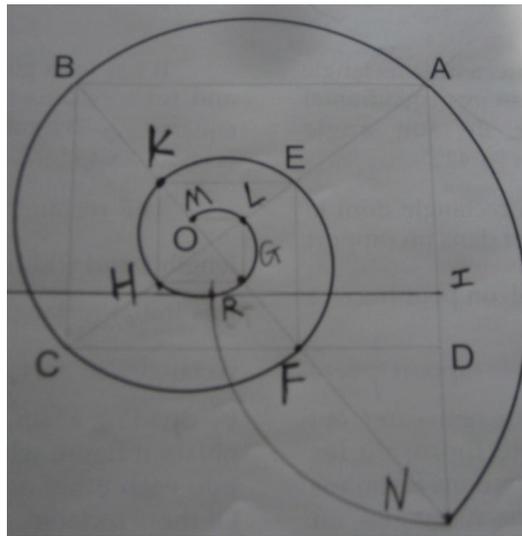
Le rectangle Φ est un rectangle dont la longueur L et la largeur l sont dans un

rapport $\frac{L}{l} = \Phi$. De ce rectangle initial, nous pouvons tracer à l'intérieur des rectangles dont le rapport $\frac{L}{l}$ sera lui aussi égal à Φ , en divisant à nouveau L et l par Φ . Nous obtenons ainsi une figure où les rectangles sont emboîtés les uns dans les autres selon une progression Φ . De ces rectangles, nous pouvons tirer deux « courbes de croissance harmonieuses », en rejoignant par arcs de cercle les sommets des rectangles de dimension directement supérieure à la précédente.



C'est cette spirale et non la précédente qui mériterait le titre de « Spirale de croissance harmonieuse ». Nous la qualifierons par convention du nom de « Spirale Dorée ». Dans la mesure d'un rectangle $ABEF$ où $\frac{EB}{BA} = \Phi$, le gnomon de ce rectangle, soit la figure $ABCD$ est un carré. En subdivisant les aires restantes, nous obtenons « une figure de carrés tournants » qui converge vers le pôle de la spirale. Répéter la même construction sur le rectangle $DHGK$, le rectangle $GIEJ$, le rectangle $IJHC$, etc., et puis, l'on trace respectivement des arcs BD , DG , GJ , etc., avec les centres C , H , I , J , etc., et les rayons CB , HD , IG , JC , etc.

2. La spirale d'accroissement radial Φ^2 a un accroissement radial, c'est-à-dire un rapport entre deux spires situées sur un même rayon partant du centre de cette spirale, égal à Φ^2 , dont $\frac{OA}{OC} = \Phi$, $\frac{OA}{ON} = \Phi^2$, $\frac{OA}{OB} = \sqrt{\Phi}$.



Dans le domaine géométrique, l'une des spirales simples à tracer est celle qui se décrit par une progression géométrique de ses spires telle que, nous prenons un centre O , les longueurs OL , OE , OA ... sont en progression géométrique : $\frac{OE}{OL} = \frac{OA}{OE}$ etc. = Φ , quelle que soit la position du rayon choisi.

Son accroissement diamétral est égal à $\sqrt{\Phi}$ et son accroissement quadratique égal à $\sqrt[4]{\Phi} \approx 1,12783$. Son angle caractéristique est d'une valeur approximative de $85^{\circ}36'$. Cette spirale a été qualifiée de « courbe de croissance harmonieuse » et considérée par certains comme la forme la plus esthétique de la spirale.

Je propose une méthode de construction manuelle de cette spirale, permettant un tracé avec une règle et un compas :

1. Tracer d'abord un rectangle dont le rapport plus grand côté / plus petit côté.

$\frac{AB}{BC} = \sqrt{\Phi} \approx 1,272$. La dimension du plus grand côté AB est de 5 cm pour que les courbes soient directement à la dimension de la tête du violon.

2. Tracer la diagonale AC et la perpendiculaire à AC issue de B . Cette perpendiculaire coupe AC en O , CD en F et le prolongement d' AD en N . Nous traçons les segments FE , EK , KH , HG , etc., parallèles respectivement aux segments AN , AB , BC , CF .

Nous pouvons également, à partir de CF , calculer FE dans la mesure où nous

connaissons la relation qui les unit ($\sqrt{\Phi} \approx 1,272$), et plaçons la pointe de compas sur F , le point E est celui qui coupe OA , etc. Nous obtenons ainsi le tracé régulateur de notre spirale.

3. Le tracé de la spirale peut ensuite être effectué :

- a. Soit le point I est le milieu d' AN . Tracer la médiatrice d' AN .
- b. Placer la pointe de compas sur I de rayon IA . Tracer le demi-cercle joignant A à N . Ce demi-cercle coupe la médiatrice en R .
- c. Placer la pointe de compas sur R , Tracer l'arc de cercle AN qui constitue une partie de notre spirale.

4. Répéter la même construction sur AB , BC , CF , FE , etc. et nous obtenons une spirale logarithmique approchée.

Studio d'enregistrement





Copie de «Messie» (Moule G) de Stradivarius (1715 -1716)





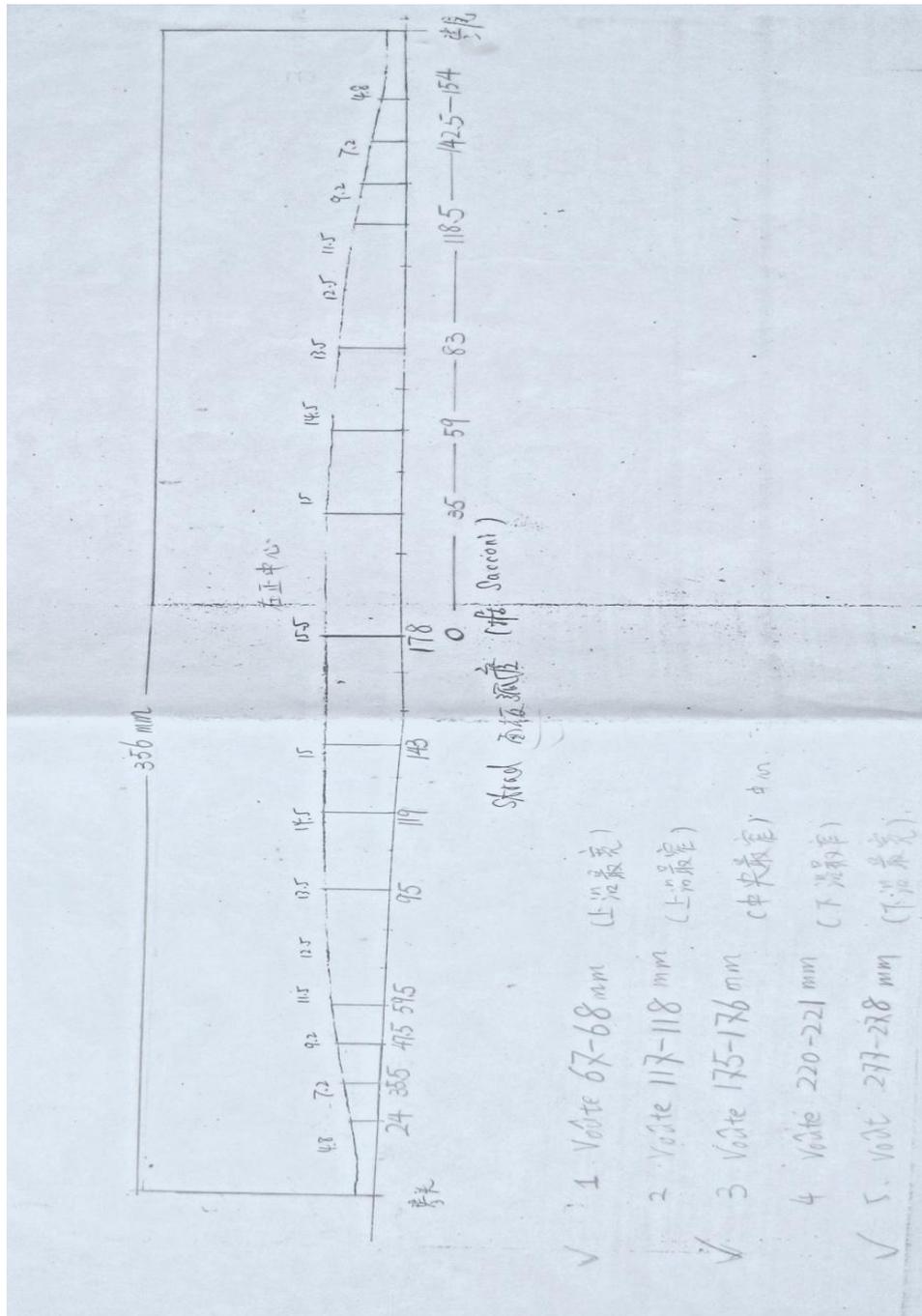
Copie de «Kresler »de Guarnerius de 1733



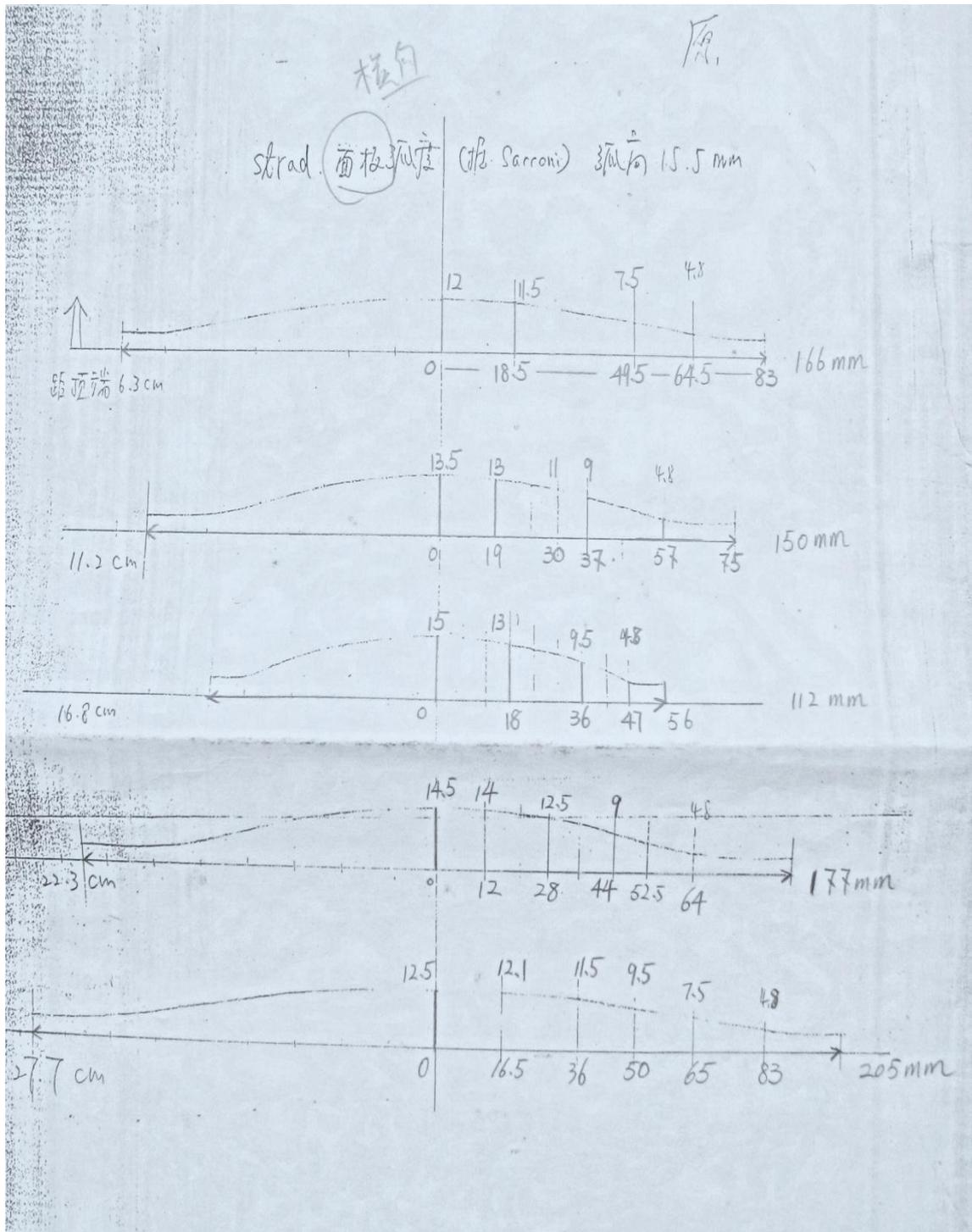


**Les dessins techniques (à l'échelle 1 :1) du modèle «Messie»
(Moule G) de Stradivarius**

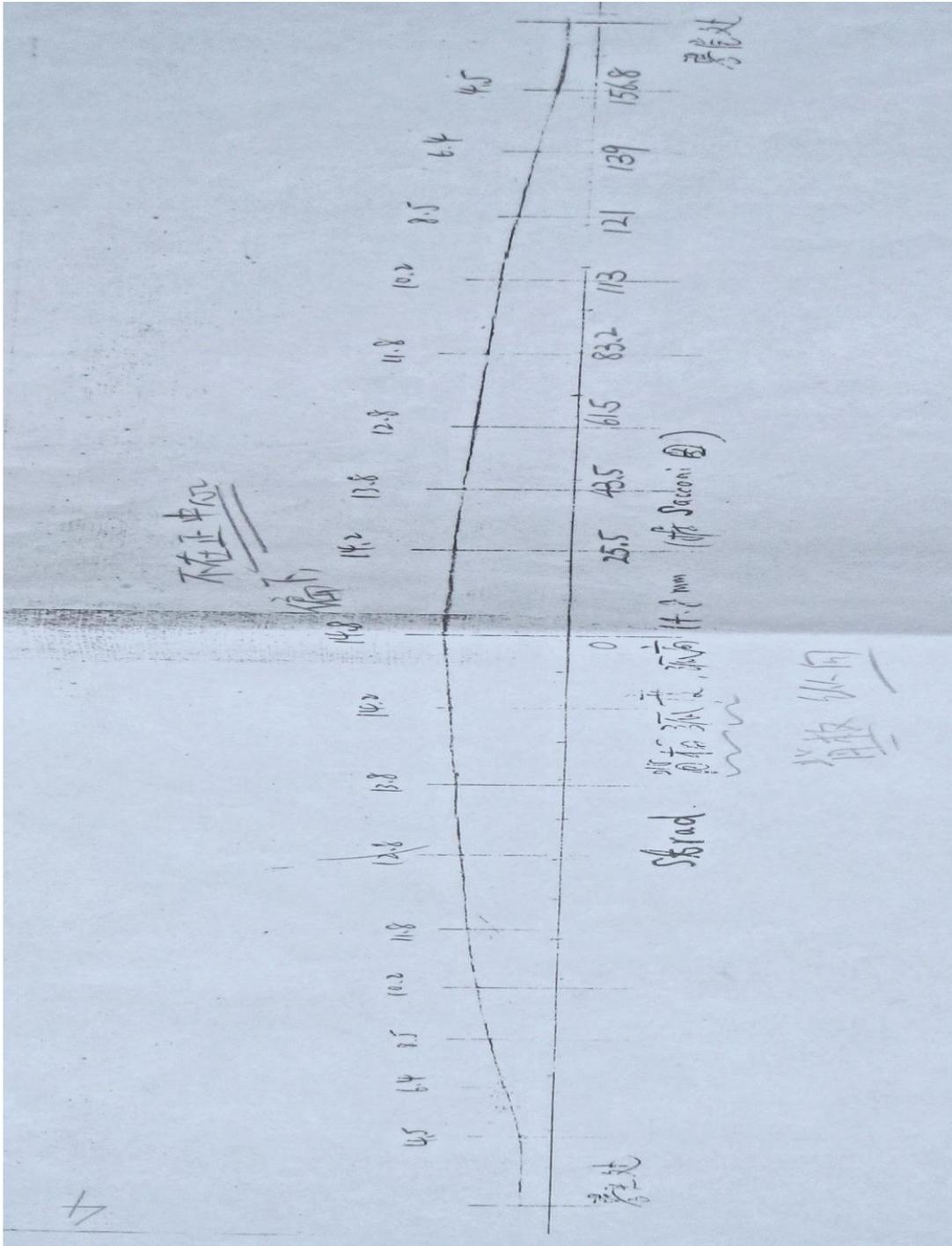
La courbe longitudinale à l'extérieur de la table



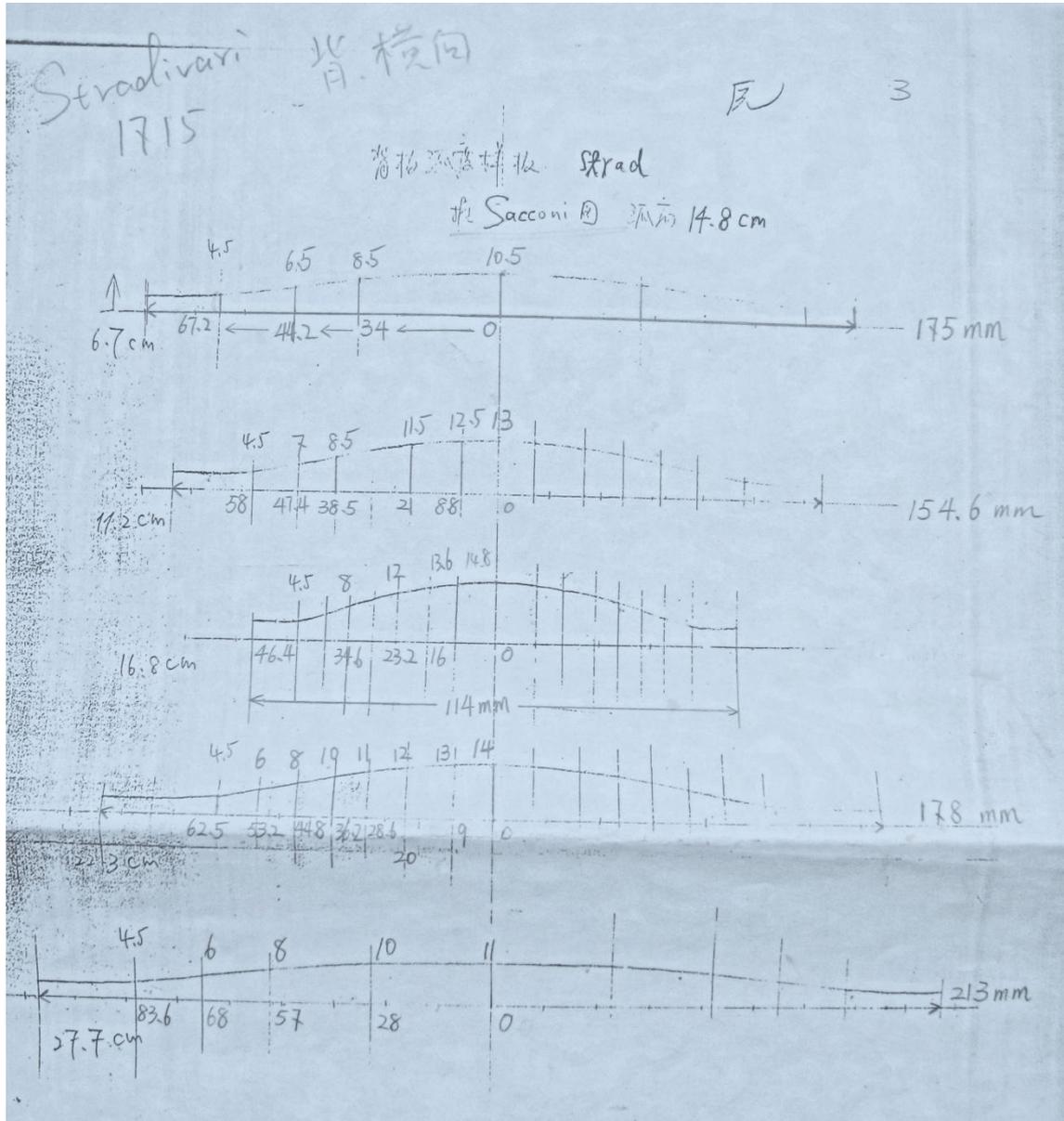
Les 5 voûtes horizontales à l'extérieur de la table



La courbe longitudinale à l'extérieur du fond

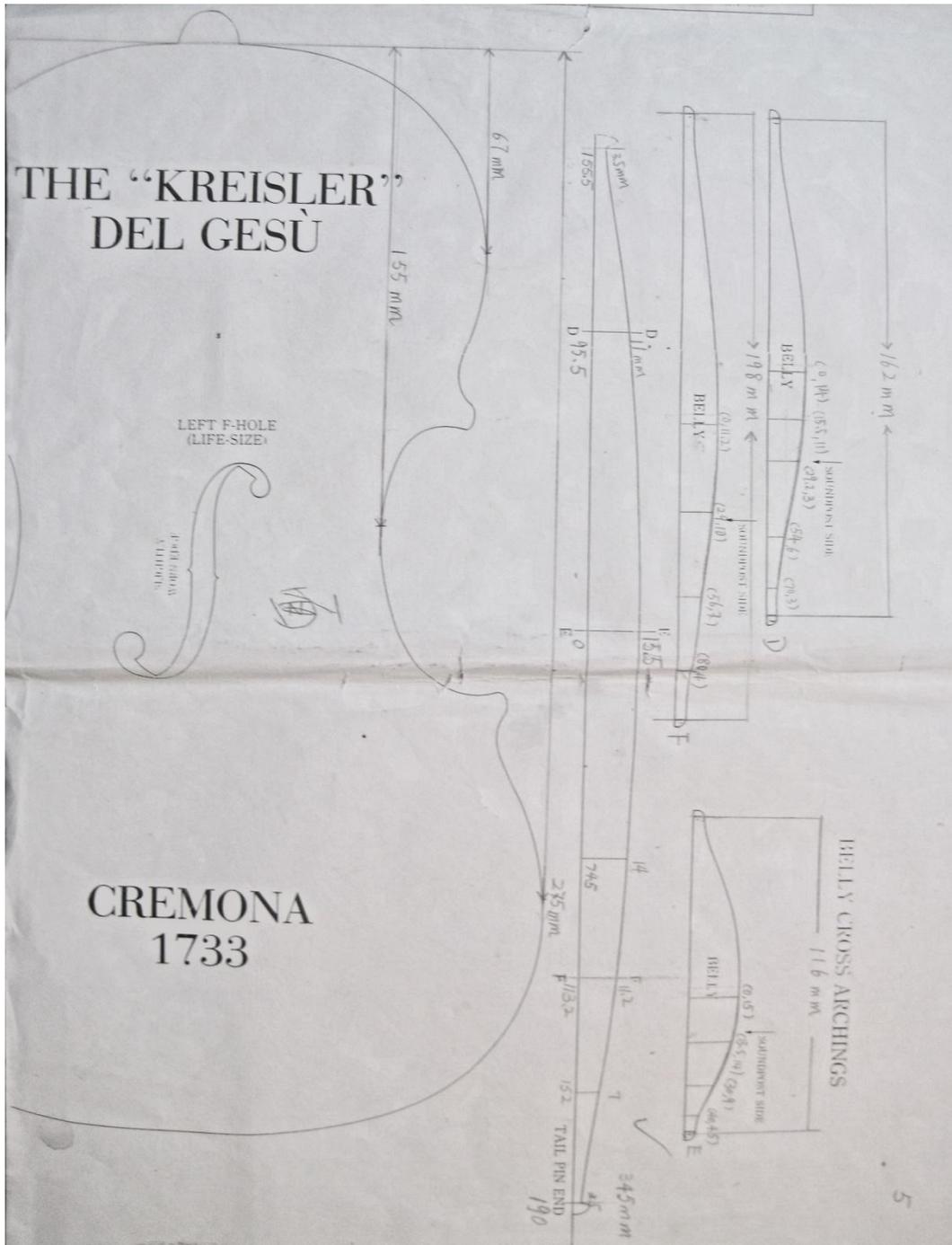


Les 5 voûtes horizontales à l'extérieur du fond



**Les dessins techniques (à l'échelle 1 :1)
du modèle « Kresiler » de Guarnerius.**

Les voûtes de la table



Biographie

ALBERTI L éon Battista

N é le 18 février 1404 à G ênes, fils naturel de Lorenzo degli Alberti, descendant d'une c é l èbre lign ée de banquiers et marchands florentins (les Alberti), écrivain, philosophe, peintre, architecte, th éoricien de la peinture et de la sculpture, il mourut le 20 avril 1472 à Rome apr ès avoir é crit de nombreuses erreurs dans *la Vie des meilleurs peintres, sculpteurs et architectes de Giorgio Vasari*.

Il a non seulement é tudi é le droit canonique, mais aussi les math ématiques et la philosophie à Venise, Padoue et Bologne. En 1432, il devint, à Rome, un « abr éviateur apostolique » au service des papes Eug ène IV et Nicolas V. C'est là que naquit son int é r êt pour le classicisme. Il a v écu à Florence pendant une dizaine d'ann ées. Revenant à Rome, il écrivit *Descriptio Urbis Romae*, premier plan "scientifique" d'une ville. À partir de l'art de l'Antiquité, il a é laboré la th éorie de la beaut é en tant qu'harmonie, exprimable math ématiquement dans ses parties et son tout : ainsi la base de la projection architecturale se trouve dans la « proportionnalit é » des é difices romains. Cette vision harmonique est pr é sente dans toutes ses œ uvres.

En 1454, Alberti obtient v é ritablement la reconnaissance, et m ême la gloire qu'il recherchait depuis l'â ge de vingt ans. Il peut alors rentrer à Florence et prendre possession du palais de son grand-p ère Benedetto ; sa place est alors celle d'une autorit é intellectuelle et morale reconnue. Il meurt à Rome quelques mois apr ès avoir fait visiter les ruines romaines au jeune Laurent le Magnifique.

BAGOTTELLA Antonio

N é à Padoue (Italie) le 21 février 1755. Il est l'auteur de *R ègles pour la Construction des violons, Altis, Violoncelles et Basse de Viole*, pr é senté à l'Académie Royale des Sciences. Il fut é galement luthier amateur. Mort le 25 mai 1892.

BERNOULLI Jacob

N é le 27 décembre 1654 et mort le 16 août 1750 à Bâle. Issu d'une famille originaire de Belgique, il fut un haut personnage de sa ville natale et fut dipl ômé de l'Université de Bâle en 1671. Contre le souhait de ses parents, il é tudia les

mathématiques et l'astronomie. En 1676, il partit pour Genève, puis resta étudier deux ans en France. En 1681, il rencontra le mathématicien Hudde. En Angleterre, il croisa Boyle et Hooke, s'intéressa passionnément à l'astronomie. De retour en Suisse en 1683, il enseigna la mécanique à l'Université de Bâle. En 1687, il y devint professeur de mathématiques. Ses contributions les plus importantes furent celles portant sur l'algèbre et la probabilité publié en 1685, et sur la géométrie, publié deux ans plus tard.

BOTTICELLI Sandro

Alessandro di Mariano di Vanni Filipepi, dit Sandro Botticelli, est un peintre né le 1^{er} mars 1445 dans le quartier d'Ognissanti à Florence, où son père était tanneur. Il est mort en mai 1510 dans la maison de la Via della Porcellenna où il a travaillé toute sa vie. Botticelli est un surnom, de Botticello signifie en effet «petit tonneau ».

Il s'adonnait alors à la réalisation de fort nombreux tableaux. Il peignit entre autres *L'Adoration des Mages*, œuvre magnifique qui le rendit extrêmement célèbre, à tel point que le pape Sixte IV, ayant terminé la construction de sa chapelle (Sixtine), enjoignit Sandro Botticelli de se charger de la décoration de celle-ci. Il y peignit de sa main la *Tentation du Christ par le diable*, *Moïse tuant l'Égyptien* et *Moïse recevant à boire des filles de Jethro le Madianite*, ainsi que *Le Feu tombant du ciel pendant le sacrifice des fils d'Aaron*, ainsi que dans les niches en surplomb, plusieurs portraits de papes canonisés. Ayant acquis une grande réputation parmi les nombreux concurrents qui y travaillaient, venus de Florence ou d'autres cités, Botticelli était généreusement rétribué mais fidèle à ses habitudes, il dépensa et dilapida rapidement tous ses biens à Rome.

BROOKS Éric L.

Né le 25 juillet 1959, à Chartres, est un citoyen américain. Après des études de technologie au Lycée de Puteaux, il s'établit luthier à partir de 1977 à Boulogne-Billancourt. En 1994, il s'installe au 46, rue de Rome à Paris, au cœur du quartier musical de la capitale. En 2001, il quitte cette rue commerçante pour un paisible petit village Solognot près de Blois, où il se consacre uniquement à la fabrication. Il a été pour la qualité de son travail, primé de nombreuses fois et a reçu la Médaille d'Honneur

de la Ville de Boulogne-Billancourt, la Médaille d'Honneur de la Chambre du Commerce et de l'Industrie, le Grand Prix de la Qualité de la Chambre des Métiers. Il est également membre de la Catgut Acoustical Society, Inc -Monclair, New Jersey, U.S.A et de la Guild of American Luthier. Il participa également en 1986, dans les spécialités violon et guitare (en 1990), au concours du Meilleur Ouvrier de France.

Le Corbusier

De vrai nom Charles-Édouard Jeanneret, il est né à la Chaux-de-Fond en Suisse le 6 octobre 1887. Il passa presque toute sa vie en France, à Boulogne-Billancourt en particulier. Il est l'inventeur du « Moduor », système de proportions qu'il utilisait largement dans ses nombreuses réalisations architecturales. Il est décédé en août 1965.

DEGROTTE Jean-André

Né le 28 janvier 1974 à Angers (Maine et Loire). Licencié en Lettres, diplômé de l'Institut d'Études Politiques de Paris, il pratique la lutherie à titre personnel depuis 1982 sous l'égide d'Éric Brooks.

DESCARTES René

Né le 31 mars 1596 à La Haye en Touraine (localité rebaptisée « Descartes » par la suite) et mort à Stockholm dans le palais royal de Suède le 11 février 1650, c'est un mathématicien, physicien et philosophe français. Il est considéré comme l'un des fondateurs de la philosophie moderne (cartésianisme), se faisant le théoricien du Cogito et du dualisme du corps et de l'esprit. En physique, il est considéré comme le fondateur du mécanisme, et en mathématiques, de la géométrie analytique.

Sa méthode philosophique et scientifique, exposée à partir de 1628 dans les *Règles pour la direction de l'esprit*, puis dans le *Discours de la méthode* en 1637, il affirme constamment une rupture par rapport à la scolastique enseignée à l'Université. Il prend pour modèle la méthode mathématique, cherchant à remplacer la syllogistique aristotélicienne.

La Géométrie a été publiée en 1637 comme appendice au *Discours de la méthode*, écrit par lui. Dans cet ouvrage, il présente sa méthode pour obtenir des idées claires sur n'importe quel sujet. *La Géométrie* et deux autres appendices de Descartes, la *Dioptrique* (l'optique) et les *Météores* (Phénomènes naturels), ont été publiés avec le *Discours* pour donner des exemples du succès qu'il a obtenu en suivant sa méthode. Avant Descartes, il était entendu que l'algèbre et la géométrie étaient des branches complètement séparées des mathématiques sans connexion entre elles. Son ouvrage est le premier à proposer l'idée d'unir l'algèbre et la géométrie dans une même discipline. Descartes invente une géométrie algébrique, plus tard appelé géométrie analytique. Cela signifie qu'il réduit les problèmes de géométrie à des calculs de longueur et qu'il traduit les questions de géométrie en équations algébriques.

FRANCESCA Piero della (Né vers 1412 (ou 1420), Mort le 12 octobre 1492)

Piero di Benedetto de Franceschi, dit Piero della Francesca ou encore Pietro Borghese, est né à Borgo San Sepolcro (aujourd'hui Sansepolcro) dans la haute vallée du Tibre en Toscane. La maîtrise de l'art de la perspective, du rendu de la lumière et de la qualité du traitement des couleurs de Domenico Veneziano influencent Francesca avec lequel il a commencé sa vie de peintre. En fait, Piero della Francesca et Melozzo da Forlì sont les plus célèbres maîtres de la perspective du XV^e siècle, reconnus comme tels par Giorgio Vasari et Luca Pacioli.

Piero della Francesca apprend les bases de l'art à Borgo San Sepolcro dans l'atelier du seul artiste-peintre de la cité Antonio di Anghiari, associé à son père cordonnier pour la fabrication d'étendards. La plus ancienne œuvre connue qui lui est attribuée, les fresques de *La Vie de la Vierge* dans le chœur de l'église Sant'Egidio, date de 1439.

Il a commencé à travailler sur le polyptyque de « la Vierge de Miséricorde » en 1444 environ. Il se rend à Ferrare en 1450 où il réalise plusieurs fresques dans certaines salles du palais d'Este, puis à Venise et à Rimini où Sigismond Pandolfo Malatesta l'appelle en 1451. Il lui a confié le décor de la chapelle des reliques du temple Malatesta. *La Flagellation*, l'une de ses œuvres majeures, est réalisée autour de 1452. C'est une création personnelle qui n'a fait l'objet d'aucune commande. Piero della Francesca a consacré les années comprises entre 1452 et 1459 à la décoration du chœur de l'église San Francesco d'Arezzo pour un cycle de fresques qui évoquent « l'Histoire de la Vraie

Croix du Christ » tiré de la Légende dorée de Jacques de Voragine, thème appartenant traditionnellement au registre de l'iconographie franciscaine. En 1460, il a peint *La Madonna del Parto* pour la chapelle Santa Maria di Nomentana du cimetière de Monterchi, bourgade voisine de Borgo Sansepolcro. Il a exécuté les années suivantes, le polyptyque de Saint-Augustin, dont il ne reste que quatre panneaux, ainsi que le retable du couvent San Antonio à Pérouse. Il est revenu à Arezzo pour les fresques de la Badia en 1473, et à Sansepolcro en 1478, pour l'exécution d'une fresque de la Vierge commandée par la confrérie de la Miséricorde. On le retrouve placé à la tête de la confrérie de San Bartolomeo entre 1480 et 1482.

G érard de Cr émone (1114 – 1187)

Né à Crémone, Italie, et mort à Tolède, Espagne. Il vint s'installer vers 1144 à Tolède avec l'intention d'apprendre les sciences arabes. Il traduisit de nombreux ouvrages de l'arabe au latin, certains à propos des mathématiques, d'autres sur les sciences en général ou sur la médecine. On lui attribue la traduction du mot « *sine* », arabe, en « *sinus* », latin. Ses traductions ont servi de références pour les latinistes pendant les siècles suivants.

M éton Env.432 av. J.-C.

Astronome grec. Nous ne connaissons rien de sa vie ni de sa personnalité. Le cycle qu'il propose, appelé le « cycle de Méton », qui n'a pas été accepté par les citoyens d'Athènes, a été conçu pour ordonner le mois lunaire et l'année solaire sous une forme acceptable. Comme le mois lunaire est de $\frac{291}{2}$ jours et l'année solaire est de $\frac{3651}{4}$ jours, il n'est pas possible qu'un nombre entier de mois puisse composer une année. Une première solution du problème était l'*octaeteris*, dans lequel trois mois intercalaires sont ajoutés à chaque cycle de huit ans. Cela mènerait à une erreur d'alignement d'un jour et demie tous les huit ans. La suggestion de Méton a proposé une amélioration de cela. Il s'est rendu compte que 235 mois lunaires et 19 années solaires sont tous deux de 6939 jours. Pour amener les deux cycles en phase, il aurait été nécessaire d'intercaler 7 mois au cours des 19 ans du plein cycle. Cela produira une année solaire seulement plus

longue de 30 minutes. Le cycle de Méton a été finalement adopté par les grecs et a été employé jusqu'à l'introduction du calendrier Julien en 46 avant J.-C. Le calendrier Juif l'emploie toujours.

Nicomaque de G érase Env.60 - Env.120

Originaire de Gerasa, de nos jours Jarash en Jordanie, il écrivit le premier livre qui traitait séparément de l'arithmétique et de la géométrie : *Arithmetike eisagoge* . A l'inverse d'Euclide, il ne donna aucune preuve abstraite de ses théorèmes. Son livre contient la première table de multiplication en texte grec. Les nombres « arabes » y figurent et non pas les nombres grecs. Il est également l'auteur d'un ouvrage *Theologoumena arithmetikes* (*La théologie des nombres*) qui traite des propriétés mystiques des nombres. Son livre *Manuel d'Harmonie* démontre les influences de Pythagore et des théories musicales d'Aristote.

PACIOLI Luca Bartolomes

Né à Sansepolcro (Italie) en 1445, il fut élevé par la famille Belfoci à Sansepolcro. Pacioli s'établit à Venise pour entrer au service du riche marchand Antonio Rompiani comme tuteur des trois fils de la famille. Il étudia les mathématiques avec Domenico Bragadino. Ses connaissances lui permirent de s'occuper des affaires de son employeur à qui il dédia son premier ouvrage sur l'arithmétique. En 1477, Pacioli voyagea énormément et enseigna dans diverses universités les mathématiques et plus particulièrement l'arithmétique. En 1482, il travailla sur son fameux livre *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita* (« Somme d'arithmétique, géométrie, proportion, et proportionnalité ») qu'il publia en 1494. Ce livre est l'étude de l'arithmétique, de l'algèbre, la géométrie et la trigonométrie. Pacioli a utilisé largement les Eléments d'Euclide, il emprunte aussi à Leonardo Da Pisa. En 1496, invité par le Duc de Milan, il devint l'ami proche de Leonardo da Vinci qui illustra avec talent son deuxième fameux livre, *Divina Proportione* (Divine Proportion), qui a été publié en 1509. Dans le premier livre d'une série de trois, Pacioli étudia la Divine Proportion, les polygones réguliers et semi-réguliers. Le sujet du deuxième tome traite

de l'importance du « rapport doré » en architecture. En 1514, il retourna à Sansepolcro où il finit ses jours en 1517.

Pythagore Env.569 – Env.475 avant J.C.

Né à Samos en Grèce, célèbre mathématicien, aucun de ses écrits ne nous est parvenu. Il semble avoir voyagé de nombreuses fois avec son père. Vers 518 avant J.C., nous le retrouvons en Italie du Sud où il créa à Crotonne une école philosophique et religieuse. Pythagore était le chef d'un cercle connu sous le nom de « Mathématico » dont les membres devaient être végétariens, ne posséder aucun bien et vivre selon les enseignements de Pythagore. Hors de ce cercle, il y avait les acousmatiques qui possédaient leur propre maison, avaient le droit de posséder des biens et n'étaient pas tenus d'être végétariens.

Ses remarquables contributions sur la théorie mathématique de la musique ont été largement étudiées. Pythagore était un bon joueur de lyre. Il introduisit la notion de la beauté des sons harmonieux quand le rapport de la longueur des cordes correspond à des nombres entiers. Il étudia également les nombres, leurs attribuant une « personnalité », « masculin-féminin », « parfait ou incomplet », « beau ou laid ». Le chiffre « 10 » était le nombre parfait selon lui.

Son fameux théorème était connu des Babyloniens plus de mille ans avant qu'il l'invente officiellement; mais il fut le premier à le prouver. La société pythagoricienne de Crotonne fut renversée en 508 avant J.-C. par l'un de ses notables obligeant Pythagore à s'enfuir à Metapontium où il mourut.

SACCONI Simone Ferdinando (1895 – 1973)

Luthier, né à Rome, considéré comme la Bible des luthiers modernes, fils d'un musicien, il travailla pour Rossi avant de s'établir à Rome en 1912. Il émigra en 1936 aux Etats-Unis pour entrer chez Hermann à New York, puis chez Wurlitzer en 1950. Il a obtenu la Médaille d'Or (en fabrication du violon) à Crémone en 1937. Il est l'auteur de l'incontournable ouvrage *Il Segreti di Stradivari* (Les secrets de Stradivarius) publié en 1972. Ce luthier remarquable nous a quittés le 26 juin 1973.

Référence

ALTENBURGER Paul, *Manuel de lutherie à l'usage des amateurs, violon, alto, violoncelle*, Editions H.VIAL, Saint-Etienne, 2005.

BENADE Arthur H, *Horns, strings, and harmony*, Dover, New York, 1992.

BROOK Eric et DEGROTTE Jean-André *Le violon et le Nombre d'Or-Stradivari*, Les Amis de la musique, Spa, 2005.

CHEN Yuanguang (陈元光), *Fabrication et Restauration d'instrument à corde* (提琴的制作与修复), Maison d'édition de l'éducation à Shanghai (上海教育出版社), Shanghai, 2005.

DENIS De François, *Trait é de lutherie*, Aladfi- édition, Paris, 2006.

FARGA Franz, *The top Violins* (小提琴的名琴), trad. Chinois. HUA Tianreng (华天初) et HUA Tianzhen (华天祯), maison d'édition du conservatoire supérieur de Shanghai (上海音乐学院出版社), 2004.

FLETCHER Neville Horner et ROSSING Thomas D., *The physics of Musical Instruments*, la seconde édition, Springer, New York, 1998.

HILL William Henri, HILL Arthur Frederick, HILL Alfred Ebsworth, *Antonio Stradivari: His life and Work*, Great Missenden (Buckinghamshire): Hill & Sons, London, 1980.

HOLLOWAY John, *Giuseppe Guarneri del Gesù*, Peter Biddulph, London, 1998.

HUTCHINS C. M., STETSON K. A., and TAYLOR P. A., «Clarification of “free plate tap tones” by holographic interferometry » dans *The journal Catgut Acoustical Society*, vol.16, 1971.

HUTCHINS Carleen. M, «A history of violin research », dans *The Journal of Acoustical Society*, vol. 73, U.S.A, 5 mai 1983.

JACQUOT Albert, *la lutherie lorraine et française*, Librairie FISCHBACHER, Paris, 1912.

JAEGER Emmanuel et VILLENEUVE Jeanne, responsables de l'exposition, Édité. CAMPOS Rémy, trad. ang. Marianne de Mazières, *Catalogue Violons, Vuillaume (1798-1875) : A Great French Violin Makers of the 19^e Century*, Cité de la musique, Paris, 1999.

JANSSON Eric.V., MOLIN Nils-Eric and WAHLIN A. O., «Transient wave response of violin body », dans *Journal of Acoustical Society*, vol.1988, U.S.A, 1990.

JANSSON Eric.V., MOLIN Nils-Eric and WAHLIN A. O., «Transient wave response of violin body », dans *Journal of Acoustical Society*, vol.1988, U.S.A, 1990.

JANSSON Eric.V., SALDNER H. O. and MOLIN Nils-Eric, «Vibration modes of the violin forced via the bridge and action of the soundpost », dans *The Journal of Acoustical Society*, vol.100, U.S.A., 1996.

JANSSON Eric. V., « Admittance Measurements of 25 High Quality Violins » dans *Acta Acustica united with Acustica*, Volume 83, Number 2, S. Hirzel Verlag, 1997.

JANSSON Eric. V., «Normal modes of vibration in violins», dans *The Journal of Acoustical Society*, vol.105, U.S.A., 1999.

JOHNSON Chris et COURTNALL Roy, *The Art of Violin Making*, trad. Chinois. JIANG Hefan (蒋和璠) et JIANG Yun (蒋芸), Maison d'édition de la musique populaire (人民音乐出版社), Pékin, 2004.

KAUL Paul, *Querelle des Anciens et des Modernes, Lutherie italienne ou Lutherie Française?*, Bretagne, CH. Marchand, Nantes, 1927.

LUO Qin (洛秦), *Résumé de l'art du Violon* (小提琴艺术全览), Maison d'édition de Conservatoire supérieur de Shanghai (上海音乐学院出版社), Shanghai, 2004.

MENUHIN Yehudi, *La légende du violon*, trad.fr.Colette Malandain et François Thomas, Flammarion, Paris, 1996.

MEYER Jürgen, *The tonal quality of violins, Pro. SMAC, 83*, Royal Swedish Academy of Musique, Stockholm, 1985.

MILLANT Roger, *Jean-Baptiste Vuillaumue, Sa vie et son œuvre*, trad. ang. David D. Boyden, *Catalogue of the Hill Collection of Musical Instruments in the Ashmolean Museum*, Oxford, London, 1969.

MILLANT Roger, *Manuel pratique de lutherie. Fabrication des cordes harmoniques par Charles Maillot*, Les Amis de la musique, Spa, 2000.

MILLIOT Sylvette, *Histoire de la lutherie parisienne du XVIII^e siècle à 1960, Tome 2, Les luthiers du XVIII^e siècle*, Les Amis de la Musique, Spa, 1997.

MILLIOT Sylvette, *Histoire de la lutherie parisienne. Tome 3, Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien. Livre 1 : Vies et Œuvres*, Les Amis de la Musique, Spa, 2006.

MILLIOT Sylvette, *Histoire de la lutherie parisienne. Tome 3, Jean-Baptiste Vuillaume et sa famille : Nicolas, Nicolas-François, Sébastien. Livre 2 : Facture instrumentale*, Les Amis de la Musique, Spa, 2006.

MORAL Alonso, « From properties of free top plates, of free back plates, and of ribs of properties of assembled violins », dans *Report STL-QPSR de Speech Transmission Laboratory*, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 1984.

MÜLLER H. A. et GEISLER P., *Modal analysis applied to instruments of the violin family*, Proc, SMAC 83 Royal Swedish Academy of Music, Stockholm, 1983.

PENESCO Anne, *Du Baroque à l'époque contemporaine : aspects des instruments à archet*, Librairie Honoré Champion, Paris, 1994.

PIGAILLEM Henri, *Stradivarius, sa vie, ses instruments*, Aug.Zurfluh, Bourg-la-Reine, France, 2000.

SACCONI Simone Fernando, *les secrets de Stradivarius avec le catalogue du matériel de Stradivarius du Musée Municipal de Crémone*, trad. fr. BOURHIS Bruno et CASTELLI Evelyne à Nantes, imprimé par Tipografia Padana, Castelfiorito à Crémone, 1989.

SEBIRE Abbé *La chéonomie ou le parfait luthier*, Paris, 1806, la seconde édition, Bruxelles, 1823, réimprimé par Minkoff, Genève, 1984.

STROBEL Henry A., *Art and Method of the violin maker principles and practices*, Second édition, Completely Revised & Expanded, Aumsville, Oregon, 1992.