



# L'imitation, les lignées génétiques et le temps ont influencé l'évolution morphologique du violon

Daniel H. Chitwood\*

Donald Danforth Plant Science Center, St. Louis, Missouri, États-Unis d'Amérique

## Abstrait

La conception du violon est en pleine mutation depuis la production des premiers instruments en 16<sup>e</sup> l'Italie du siècle. De nombreuses innovations ont amélioré les propriétés acoustiques et la jouabilité des violons. Pourtant, d'autres attributs du violon affectent moins ses performances, et avec moins de contraintes, sont potentiellement plus sensibles aux aléas historiques sans rapport avec la qualité. Bien que la forme grossière des violons fasse partie intégrante de leur conception, les détails du contour du corps peuvent varier sans compromettre considérablement la qualité sonore. Que peuvent nous dire les formes des violons sur leurs fabricants et leur histoire, y compris le degré d'influence des luthiers et l'évolution de morphologies complexes au fil du temps ? Ici, je propose une analyse de l'évolution morphologique de la famille du violon, en échantillonnant les formes du corps de plus de 9 000 instruments sur 400 ans d'histoire. Des attributs de forme spécifiques, qui discriminent les instruments produits par différents luthiers, fortement corrélée au temps historique. L'analyse discriminante linéaire révèle des luthiers qui ont probablement copié les contours de leurs instruments sur d'autres, ce que les récits historiques corroborent. Le regroupement des formes de violon moyennées place les luthiers en quatre groupes principaux, démontrant qu'une poignée de formes discrètes prédominent dans la plupart des instruments. Les formes de violon provenant de familles de luthiers multigénérationnelles ont tendance à se regrouper, et l'origine familiale est un facteur explicatif important de la forme du violon. Ensemble, l'analyse de quatre siècles de formes de violon démontre non seulement l'influence de l'histoire et du temps menant au violon moderne, mais aussi l'imitation généralisée et la transmission du design par la parenté humaine. L'analyse discriminante linéaire révèle des luthiers qui ont probablement copié les contours de leurs instruments sur d'autres, ce que les récits historiques corroborent. Le regroupement des formes de violon moyennées place les luthiers en quatre groupes principaux, démontrant qu'une poignée de formes discrètes prédominent dans la plupart des instruments. Les formes de violon provenant de familles de luthiers multigénérationnelles ont tendance à se regrouper, et l'origine familiale est un facteur explicatif important de la forme du violon. Ensemble, l'analyse de quatre siècles de formes de violon démontre non seulement l'influence de l'histoire et du temps menant au violon moderne, mais aussi l'imitation généralisée et la transmission du design par la parenté humaine. L'analyse discriminante linéaire révèle des luthiers qui ont probablement copié les contours de leurs instruments sur d'autres, ce que les récits historiques corroborent. Le regroupement des formes de violon moyennées place les luthiers en quatre groupes principaux, démontrant qu'une poignée de formes discrètes prédominent dans la plupart des instruments. Les formes de violon provenant de familles de luthiers multigénérationnelles ont tendance à se regrouper, et l'origine familiale est un facteur explicatif important de la forme du violon. Ensemble, l'analyse de quatre siècles de formes de violon démontre non seulement l'influence de l'histoire et du temps menant au violon moderne, mais aussi l'imitation généralisée et la transmission du design par la parenté humaine.

Citation: Chitwood DH (2014) L'imitation, les lignées génétiques et le temps ont influencé l'évolution morphologique du violon. PLoS ONE 9(10) : e109229. doi: 10.1371/journal.pone.0109229

Éditeur: Suzannah Rutherford, Fred Hutchinson Cancer Research Center, États-Unis d'Amérique

A reçu 22 avril 2014 ; Accepté 7 septembre 2014 ; Publié 8 octobre 2014

Droits d'auteur: 2014 Daniel H. Chitwood. Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la Creative Commons Attribution License, qui permet utilisation, distribution et reproduction sans restriction sur quelque support que ce soit, à condition que l'auteur original et la source soient crédités.

Disponibilité des données: Les auteurs confirment que toutes les données sous-jacentes aux résultats sont entièrement disponibles sans restriction. Toutes les données pertinentes se trouvent dans le document et ses fichiers d'informations complémentaires.

Le financement: L'auteur n'a aucun financement ou soutien à signaler.

Intérêts concurrents : L'auteur a déclaré qu'il n'existe pas d'intérêts concurrents.

\* Courriel : dchitwood@danforthcenter.org

## introduction

Les membres de la famille du violon, leurs ancêtres, leurs proches et les instruments expérimentaux modernes présentent une remarquable diversité de formes corporelles (Fig. 1A–B) [1–3]. Quelques instruments qui ont pu inspirer les premiers violons produits par 16<sup>e</sup> siècle les luthiers bresciens comprennent le rebec en forme de goutte, la vielle en forme de boîte (violon médiéval) et la lira da braccio, dont la forme ressemble aux violons modernes mais avec une base plus large (souvent en forme de cœur) [4]. Ces instruments ont des timbres et une projection distincts par rapport au violon moderne. Bien que les différences de forme entre ces instruments soient importantes, elles sont confondues avec un certain nombre d'autres propriétés de l'instrument, et il est difficile de démêler la contribution de chaque attribut à la performance acoustique globale d'un instrument.

En effet, la forme du corps peut avoir peu d'influence sur les propriétés acoustiques des violons modernes par rapport à d'autres traits. Bien que les violons modernes varient dans les détails des contours de leur corps, la forme ne varie pas aussi visiblement que d'autres facteurs, tels que les motifs d'arc, la répartition de l'épaisseur et les propriétés du bois, ni les attributs qui peuvent être facilement modifiés, tels que la longueur et l'angle du manche, la conception du chevalet, le placement du poste de son ou même l'appariement de l'archet à l'instrument [5–9]. Il est remarquable de constater à quel point la forme caractéristique des violons a été négligée (et même délibérément ignorée) dans la recherche acoustique moderne. Lorsqu'il étudie pour la première fois les résonances de plaques, Félix Savart va jusqu'à créer un

instrument trapézoïdal plat pour mieux se concentrer sur les motifs Chladni (1A) [10]. Schelleng, dans son *Le violon comme circuit* [11], pris une vision similaire de la forme comme obstacle plutôt qu'objet de l'analyse : « La famille des violons présente de nombreux problèmes insolubles ; sa forme et les particularités de ses matériaux n'ont certainement pas été choisies en fonction de la commodité de l'analyse. »

À cet égard, le contour du corps d'un violon est similaire à la forme de F-des trous. La présence de F-trous est hautement fonctionnel, permettant la respiration de l'air à travers la cavité résonante et affectant les modes normaux de vibration [11], [12]. Les détails de distinctif F-les formes des trous, cependant, qui sont souvent utilisées pour discriminer les instruments des luthiers les uns des autres, fournissent probablement des contributions mineures aux différences de projection entre les instruments. De même, le contour du corps est le contexte dans lequel les modes normaux d'un violon sont modélisés et les qualités tonales déterminées, mais les subtiles différences de forme d'un instrument à l'autre ne représentent probablement que de petites différences dans les propriétés acoustiques. Comme F-trous, la forme du corps peut-elle être utilisée pour distinguer les instruments de différents fabricants ? Parce que les détails morphologiques des contours des corps sont largement libérés des contraintes fonctionnelles, que peuvent-ils nous dire sur les relations entre les luthiers, leurs influences et l'évolution des formes complexes au fil du temps ?

Ici, les contours de plus de 9 000 membres de la famille du violon, représentant les luthiers les plus éminents sur 400 ans de lutherie, sont analysés morphométriquement. Les formes de

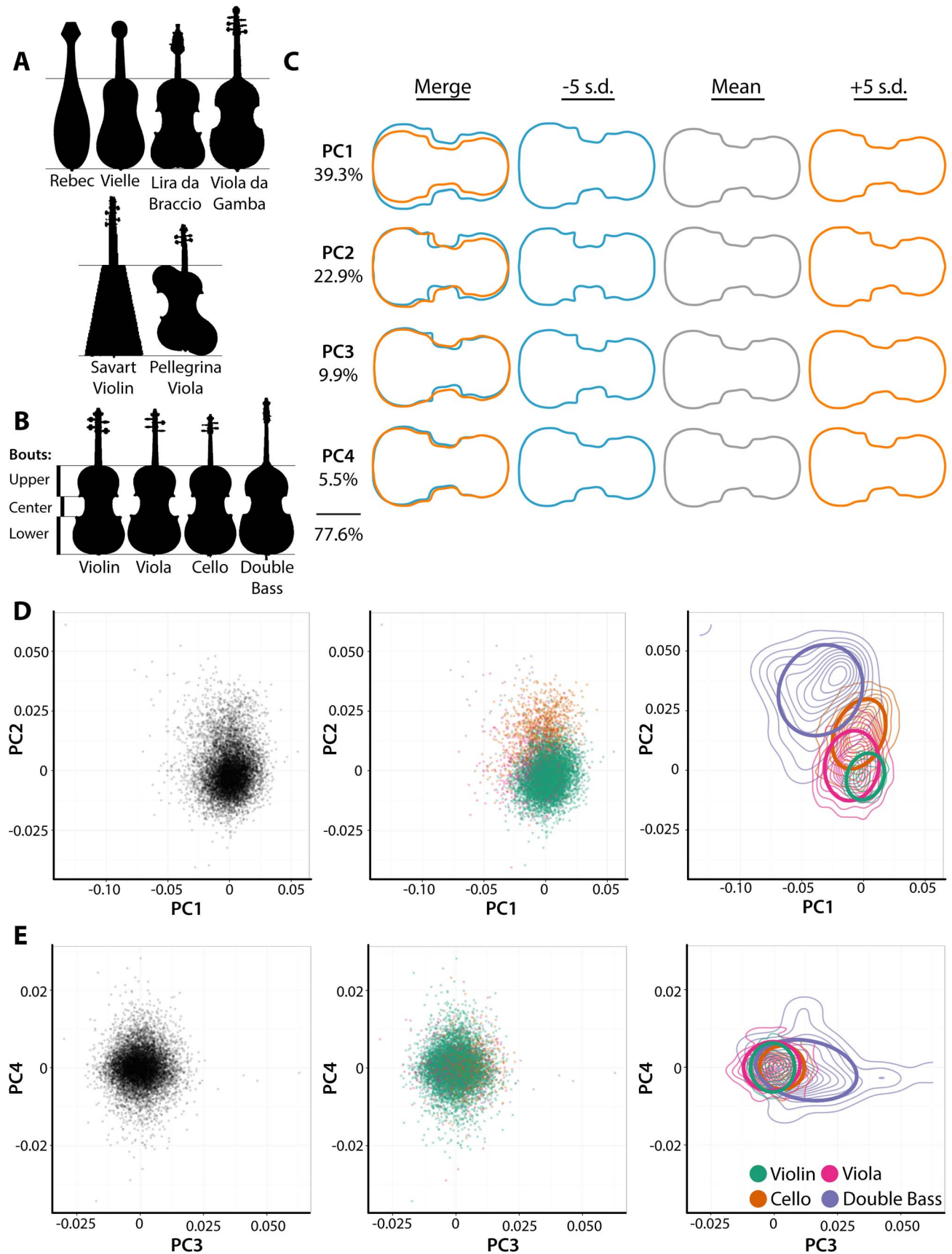


Figure 1. Différences de forme entre les membres de la famille du violon et les proches parents. UNE) Aperçus des instruments qui ont probablement contribué à la conception du violon (le rebec, la vielle et la lira da braccio) et la famille connexe de la viole de gambe. Des contours d'instruments expérimentaux, le violon Savart et l'alto Pellegrina, sont également présentés. B) Contours des membres de la famille du violon. Sur la gauche, les régions de combat supérieure, centrale et inférieure sont indiquées. C) Violons propres pour le morphospace de la famille des violons. Pour les composantes principales (PC) 1 à 4, les contours du violon -5 écarts-types (bleu) et +5 écarts-types (orange) le long de chaque axe sont affichés, ainsi que la moyenne (gris). Ensemble, les quatre PC expliquent 77,6 % de la variance de forme. Le pourcentage de variance expliqué par tous les CP et les valeurs de CP pour chaque instrument peuvent être trouvés dans des informations supplémentaires. D-E) Nuages de points de Ré PC 1 et 2 et E) PC 3 et 4. Les tracés sur la gauche affichent tous les instruments et les tracés du milieu superposent le type d'instrument par couleur. Les tracés de droite indiquent la distribution de chaque type d'instrument sous la forme d'un tracé de contour, sur lequel sont superposées des ellipses de confiance à 95 %. Violons, sarcelle; altos, magenta; violoncelles, orange brûlée; bases doubles, lavande.  
doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g001

les violons, altos, violoncelles et contrebasses sont d'abord comparés. L'analyse discriminante linéaire (LDA) ne parvient pas à résoudre la majorité des altos des violons, révélant les compromis qui ont été faits entre la taille, la conception et la jouabilité pour s'adapter à la gamme de l'alto. Les discriminants linéaires séparant les violons par luthier sont ensuite corrélés avec le temps pour trouver des attributs de forme spécifiques modulés par l'histoire. Un attribut de forme fortement corrélé avec le temps sépare largement les premiers luthiers des derniers luthiers, mais apparaît aussi précocement dans les violons d'Antonio Stradivari, précédant ses copistes des siècles avant que cet élément de forme ne dominât les violons du 20<sup>e</sup> siècle. Le regroupement hiérarchique sur les contours moyens des violons produits par des luthiers prolifiques révèle quatre grands groupes de forme de violon, dont l'un agit comme un groupe externe définissant les violons prototypiques de l'école de Brescian. Les luthiers issus de maisons multigénérationnelles ont tendance à se regrouper et la famille s'avère être un facteur explicatif important de la forme du violon. Ensemble, les contours de milliers de violons produits au cours des siècles d'histoire démontrent l'évolution progressive d'une forme complexe soumise aux influences historiques et l'échange généralisé d'informations morphologiques par le biais de l'imitation et des relations génétiques.

## Résultats et discussion

### Différences de forme entre les types d'instruments

9 000 contours de corps de violons, altos, violoncelles et contrebasses ont été obtenus à partir de l'iconographie collectée auprès de diverses sources via cozio.com (Tarisio Auctions). Les instruments n'appartenant pas à la famille du violon, tels que les membres des familles lira da braccio et viole de gambe, et les instruments expérimentaux et aux formes étranges, n'ont pas été inclus dans l'analyse (figure 1A). Une analyse du descripteur de Fourier elliptique a été utilisée pour mesurer la forme des membres de la famille du violon (Figures. 1B, S1) [13–18]. L'analyse en composantes principales (ACP) effectuée pour visualiser les modèles de variance (la figure 1C ; Ensembles de données S1, S2). Les « violons propres » résultants décrivent les variations de forme entre les contours du corps de l'instrument. Ensemble, les quatre premières composantes principales (CP) décrivent environ 77,6 % de la variance de forme mesurée (Figures. 1C, S2). PC2, qui décrit un modèle de variance de forme lié aux rapports de largeur des segments supérieur et inférieur et au placement proximal-distal du segment central (1C) sépare les types d'instruments par leur étendue (c'est-à-dire que les violons et les altos ont des valeurs PC2 plus basses et les violoncelles et les contrebasses des valeurs PC2 plus élevées) (figure 1D). Les contrebasses, qui ont des épaules effilées de viole de gambe et des combats centraux en forme de C, montrent une séparation des autres types d'instruments par PC1 (décrivant la largeur de l'instrument) et PC3 (qui décrit la faible profondeur du combat central)

(Fig. 1D–E).

Schelleng a noté que le problème de la mise à l'échelle de la taille de l'instrument pour s'adapter à différentes gammes est théoriquement possible en maintenant toutes les dimensions et en utilisant des matériaux identiques [11]. Pratiquement, c'est impossible. Étant donné que les dimensions humaines moyennes ne changent pas par rapport au type d'instrument, la simple construction d'un violon à l'échelle plus grande au lieu des formes existantes d'alto, de violoncelle et de contrebasse aurait un impact significatif sur la jouabilité, être

limité par l'endurance du joueur, et potentiellement augmenter les blessures du joueur. Cela est particulièrement vrai pour l'alto, qui serait idéalement de plus grande taille et joué entre les jambes pour s'adapter à sa tessiture, mais en raison de la tradition de jouer sur l'épaule, il est mis à l'échelle de manière inappropriée, compromettant parfois la qualité du son [19].

Pour déterminer dans quelle mesure les différents types d'instruments se distinguent les uns des autres, une analyse discriminante linéaire (LDA), maximisant la séparation des formes d'instruments en fonction des coefficients harmoniques, a été réalisée (Fig. 2A–C ; Ensemble de données S3). Le premier discriminant linéaire (LD1) explique 66,4 % de la séparation des types d'instruments et différencie principalement les contrebasses, qui ont qualitativement une forme distincte et très variable, des autres types (figure 2A). LD2, expliquant 30,8 % de séparation, sépare principalement la forme du violon de celle des violoncelles (2B) et LD3 n'explique que 2,8% de séparation par type, et n'est capable de distinguer que certains altos des violons et violoncelles (figure 2C). Les splines à plaques minces, qui déforment une grille pour qu'une forme de référence corresponde à une cible, peuvent être utilisées pour analyser qualitativement les caractéristiques de forme uniques à chaque type (figure 2D). Les altos sont plus larges dans la partie inférieure que les violons, tandis que dans les violoncelles, la partie centrale est déplacée plus distalement et la partie supérieure rétrécie. La forme des contrebasses est immensément différente des autres types, avec une partie inférieure beaucoup plus large, des épaules effilées et une partie centrale déplacée distalement.

Pour déterminer formellement dans quelle mesure les instruments sont séparables les uns des autres en fonction de la forme du corps, des discriminants linéaires ont été utilisés pour prédire la classe d'instruments (Tableau 1). La répartition des types d'instruments révèle que la plupart des violons, violoncelles et contrebasses se distinguent les uns des autres. Cependant, seule une fraction des altos (27,8%) est correctement prédite en tant que telle, et une majorité (62,7%) est prédite à tort comme étant des violons. Les données corroborent la connaissance commune que, bien qu'en moyenne plus gros que les violons, les altos sont souvent presque identiques dans leur forme à eux. Néanmoins, un petit sous-ensemble d'altos présente des formes distinctes (la figure 2C ; Tableau 1). Historiquement, la forme et la taille de l'alto ne sont pas standardisées, et une variété de nouvelles formes, pour s'adapter à la jouabilité et réduire les blessures chez les joueurs avec des instruments trop gros (par exemple, voir l'alto Pellegrina, figure 1A), sont actuellement en cours de conception [19].

### L'évolution de la forme du violon au fil du temps

Le 16<sup>e</sup> siècle a été une période innovante dans l'évolution de la forme des instruments à cordes occidentaux. Comme mentionné précédemment, la famille du violon est probablement née des luthiers de Brescia, utilisant des éléments d'instruments à cordes populaires des années 1500 (y compris le rebec, la vielle et la lira da braccio) (1A) [1–4]. Bien que la conception des violons s'améliore et change constamment, les caractéristiques générales, et en particulier la forme du corps que nous associons aux violons aujourd'hui, sont apparues dès le milieu du 16<sup>e</sup> siècle. La forme des violons est-elle restée stagnante depuis cette époque, ou comme d'autres phénomènes morphologiques complexes, a-t-elle évolué au cours de quatre siècles ?

Pour répondre à cette question, je considère uniquement les contours de violon pour le reste de cette étude, qui, avec 0,7 000 échantillons, domine l'ensemble de données par rapport aux autres types d'instruments. Cet ensemble de données est

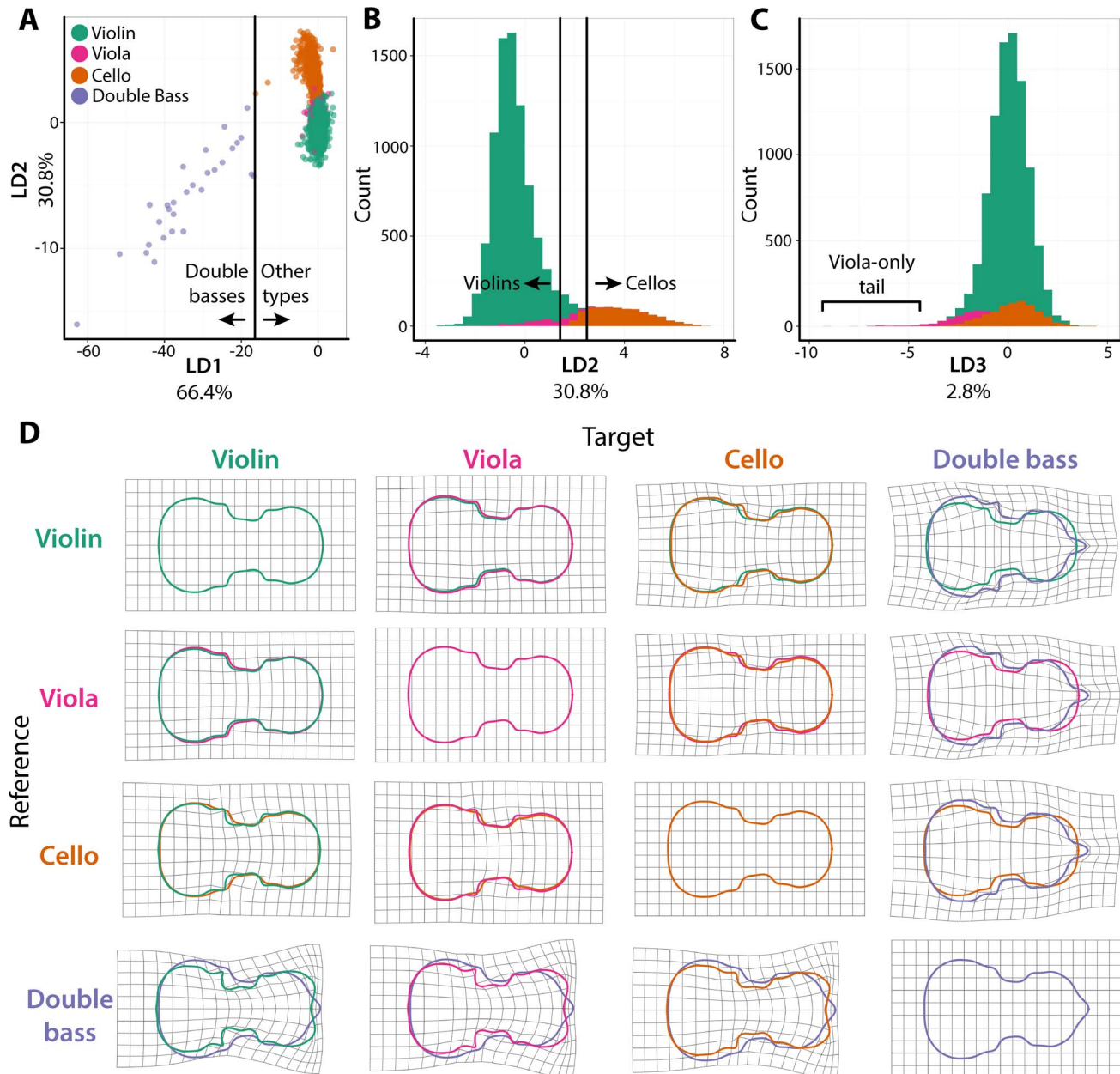


Figure 2. Analyse discriminante linéaire des membres de la famille du violon et comparaison des contours à l'aide de splines à plaques minces. UNE) Nuage de points de la séparation par discriminants linéaires (LD) 1 et 2, fournissant respectivement 66,4 % et 30,8 % de la séparation totale des instruments. La ligne verticale indique les valeurs LD1 séparant toutes les contrebasses des autres types d'instruments. B) Histogramme des valeurs LD2 (30,8 % de séparation), qui séparent largement les violons et les violoncelles. Aucun violoncelle n'a de valeurs LD1 inférieures à la valeur LD1 de la ligne de gauche et aucun violon n'a de valeurs LD1 supérieures à la valeur LD1 de la ligne de droite. C) Histogramme des valeurs LD3 (2,8 % de séparation), qui différencie certains altos des violons et violoncelles. La queue indiquée de la distribution alto LD3 n'inclut pas les violons ou les violoncelles. Remarque : pour les deux panneaux B) et C), Les contrebasses ne sont pas montrées pour mieux se concentrer sur les distributions de violon, alto et violoncelle. RÉ) Splines de plaques minces par paires, utilisant des grilles pour montrer les déformations nécessaires pour transformer les contours de l'instrument de référence (vertical) en cibles (horizontales). Les contours moyens des instruments sont superposés et colorés pour indiquer le type. Violons, vert; altos, magenta; violoncelles, orange brûlée; doubles basses, lavande. doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g002

Tableau 1. Réaffectation des types d'instruments.

Instrument	<i>m</i>	Pourcentage correct	Réaffectation			
			Violon	Alto	Violoncelle	Contrebasse
Violon	7614	98,4	7493	64	57	0
Alto	601	27,8	377	167	56	1
Violoncelle	1098	79,4	184	42	872	0
Contrebasse	31	90,3	0	0	3	28

Types d'instruments réaffectés en fonction de discriminants linéaires. doi: 10.1371/journal.pone.0109229.t001

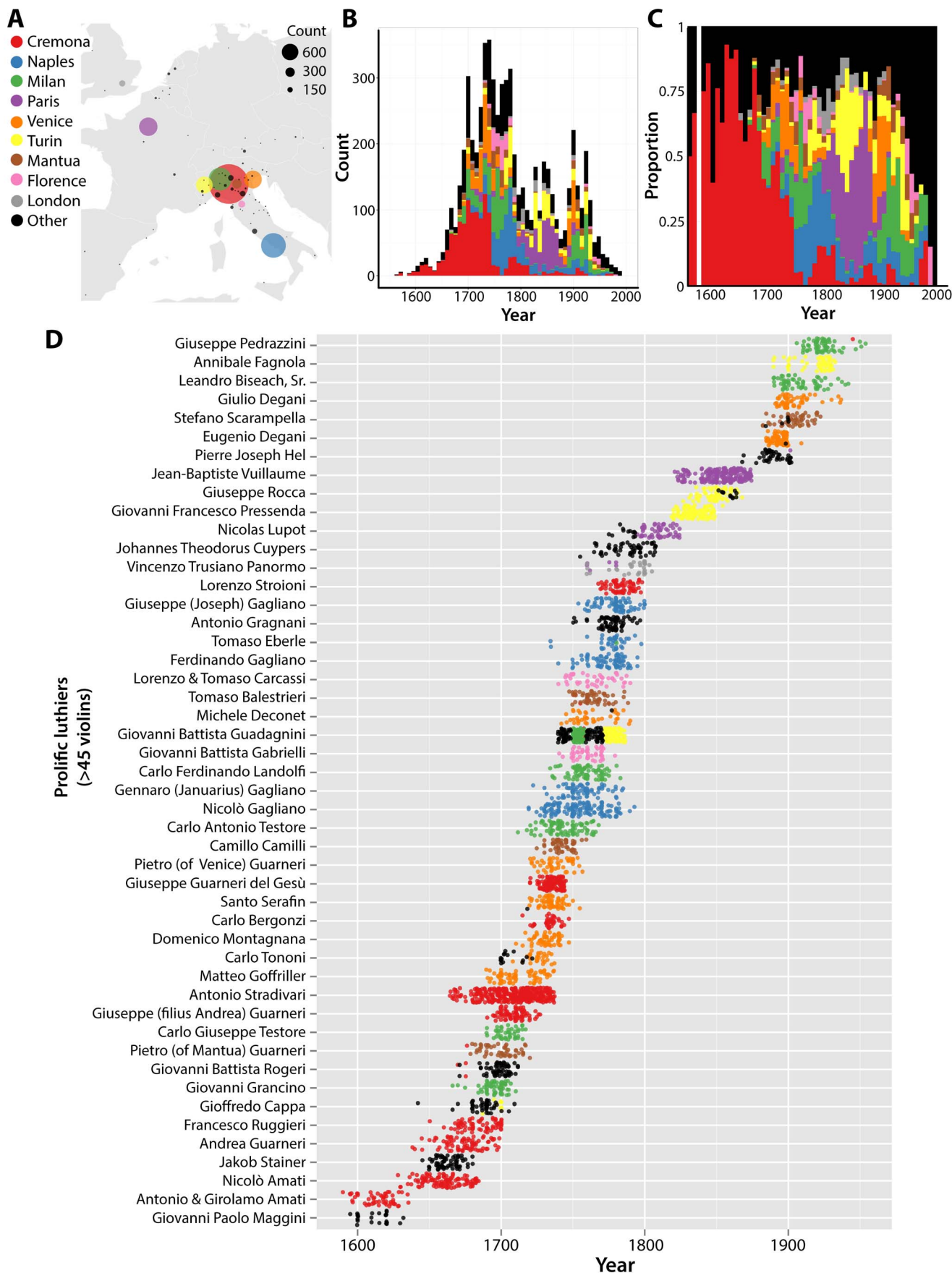




Figure 3. Le contexte historique et géographique des luthiers et de leurs violons. UNE) Géographie de la production de violon en Europe. Superposés sur une carte, la couleur et l'emplacement du cercle indiquent les villes de production et la taille est proportionnelle à la sortie de violon représentée dans cet ensemble de données. B) Histogramme empilé de la production de violons par année. Les couleurs indiquent la ville de fabrication. C) Mêmes données que dans B), mais mis à l'échelle pour montrer la production proportionnelle de chaque ville par année. RÉ) Sortie de luthiers prolifiques (avec 45 violons dans l'ensemble de données) au cours du temps historique. Les points correspondent aux violons et à l'année de production, colorés par la ville de production. Les luthiers sont organisés temporellement, par année moyenne de leurs violons représentés dans l'ensemble de données. Crémone, rouge; Naples, bleu; Milan, vert; Paris, violet; Venise, orange; Turin, jaune; Mantoue, marron; Florence, rose; Londres, gris; autres villes, noir. doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g003

issu de l'iconographie des maisons de vente aux enchères, et englobe donc les violons les plus recherchés, mais aussi ceux d'importance historique. Un avantage de l'étude des contours d'instruments est l'échantillonnage accru qu'elle permet. Par exemple, les travaux étudiant les propriétés matérielles, physiques ou psycho-acoustiques des instruments cermonais sont souvent limités à quelques ou une poignée d'instruments en raison de la préciosité du matériau [20-26]. La forme, telle que dérivée des photos de ce travail, ne présente pas de telles limitations d'échantillonnage.

Il est utile de comprendre la structure de l'ensemble de données en ce qui concerne le luthier, la date de fabrication et le lieu, qui suit généralement l'histoire de la lutherie en Europe (Fig. 3) [27-29]. Les instruments cermonais dominent l'ensemble de données, mais seulement jusqu'aux environs de 1750, après quoi d'autres écoles italiennes de lutherie voient le jour, notamment Milan, Naples, Venise et Turin, ainsi que celles situées en dehors de l'Italie, comme Paris et Londres (Fig. 3A-C). Les instruments de ces villes sont souvent associés à des périodes distinctes de l'histoire. Une partie de cette structure est due au fait que seule une poignée de luthiers contribuent souvent à la production d'une ville (figure 3D). La modélisation MANOVA a été utilisée pour déterminer l'importance des covariables du luthier, de l'année et de la ville pour expliquer les coefficients d'harmoniques des contours du violon. Le modèle final incluait le luthier et l'année comme variables explicatives significatives (Tableau 2; Ensemble de données S4). Le pays n'était pas significatif, mais seulement si le luthier est le premier facteur, reflétant la conception déséquilibrée et la dépendance des facteurs (c'est-à-dire que les luthiers viennent principalement d'une seule ville et chaque ville est composée d'un petit nombre de luthiers). Pour ces raisons, j'ai choisi d'ignorer la ville dans ce modèle particulier et de me concentrer sur les luthiers et le temps.

L'analyse discriminante linéaire (LDA) a été utilisée pour séparer les luthiers par les attributs de forme qui les distinguent le plus (la figure 4A; Ensembles de données S5, S6). Une question plus importante est de savoir quels facteurs influencent les formes de violons qui distinguent le plus leurs fabricants. Le facteur le plus évident, disponible dans cet ensemble de données, est le temps. Les formes qui distinguent les créateurs individuels sont-elles sous le contrôle d'une influence supérieure, telle que leur place dans l'histoire? Pour répondre à cette question, des discriminants linéaires pour les contours des violons produits par chaque luthier ont été moyennés et corrélés avec l'âge moyen des instruments pour chaque facteur (la figure 4B; Ensemble de données S5). Après ajustement de tests multiples, seuls trois LD étaient significativement corrélés avec l'année, et LD1 (expliquant 9,4 % de séparation entre 0,400 luthiers) présentait une corrélation exceptionnelle avec le temps ( $\rho = 0,61$ ,  $p = 1,046 \times 10^{-238}$ ) (figure 4C).

Visualisation des valeurs LD1 de violons individuels (5A) et luthiers prolifiques (définis par 45 violons) (5B) au fil du temps, et en comparant avec les récits historiques de la lutherie, peut offrir

un aperçu des raisons pour lesquelles cet attribut de forme particulier est modulé dans le temps. Une grande partie de la corrélation de LD1 avec le temps semble être attribuable à des valeurs extrêmes avant 1650 et après 1800. Les instruments fabriqués avant 1650 ont des valeurs LD1 exceptionnellement élevées et sont presque exclusivement dérivés de luthiers bresciens (par exemple, Giovanni Paolo Maggini, 5), représentant les premiers violons. Fait intéressant, les instruments d'Eugenio Degani et de son fils Giulio Degani au début du 20<sup>e</sup> siècle ont des valeurs LD1 anachroniquement élevées, suggérant peut-être que l'école de Brescian les a influencés. Le premier luthier à innover un violon avec l'extrême opposé des valeurs LD1 était Antonio Stradivari de l'école Cremonese. Ceci est remarquable pour deux raisons : 1) les faibles valeurs de LD1 définissent de manière unique A. Stradivari de ses contemporains, ce qui est important pour l'identification des violons de cette période en raison de leur désirabilité, et 2) l'influence documentée d'A. Stradivari sur les luthiers ultérieurs. fournit une hypothèse que les faibles valeurs de LD1 dans les violons après 1800 peuvent provenir de l'imitation.

Deux des luthiers les plus célèbres qui ont commencé la tendance des faibles valeurs de LD1 après 1800 sont les copistes connus de Stradivari Nicolas Lupot et Jean-Baptiste Vuillaume de Paris (5). Hart, dans son *Le violon : ses facteurs célèbres et leurs imitateurs* [27], pas seulement déclare N. Lupot le "français Stradivarius" mais dit, "Stradivari était son idole, et d'après le fait déjà mentionné, qu'il est très rarement trouvé pour avoir suivi un autre modèle que celui de Stradivari, il semblerait avoir été conscient de sa propre aptitude particulière au design du grand maître." Les violons de JB Vuillaume ont peut-être même eu plus d'influence que Lupot dans la diffusion de l'attribut de forme Stradivari dans le monde entier. Son imitation délibérée de Stradivari était axée sur le profit [28] :

De tous les grands maîtres italiens de la lutherie, Stradivari a toujours été son idéal, et par une étude constante et la culture de ses propres rares pouvoirs naturels d'observation, il a acquis une connaissance et un jugement si intimes du travail de Stradivari dans les moindres détails, qu'il on pourrait presque dire qu'il connaît mieux les instruments du facteur que le maître lui-même. Vuillaume trouva bientôt la vente de violons, publiés comme de nouvelles œuvres sans aucun semblant d'antiquité, une entreprise peu rentable, et, reconnaissant la demande croissante dans toutes les parties du monde pour des instruments ressemblant aux grandes œuvres de Crémone, il résolut d'appliquer sa grande habileté en tant qu'ouvrier, et son extraordinaire familiarité avec les modèles de Stradivari, à la construction de copies fidèles des œuvres du grand fabricant. Ce fut la base de son succès, pour le

Tableau 2. Résultats MANOVA pour les contours de violon par luthier et année.

Facteur	df	Pillai	environ F	nombre df	den df	valeur p
Luthier	378	8.0565	1.541	33264	508640	, 2.26dix216
Année	1	0,0327	2.185	88	5693	1,576dix29

Résultats d'un modèle MANOVA ajusté pour les coefficients harmoniques en fonction des effets du luthier et de l'année. Seuls les termes significatifs étaient doi : inclus dans le modèle final.  
doi: 10.1371/journal.pone.0109229.t002

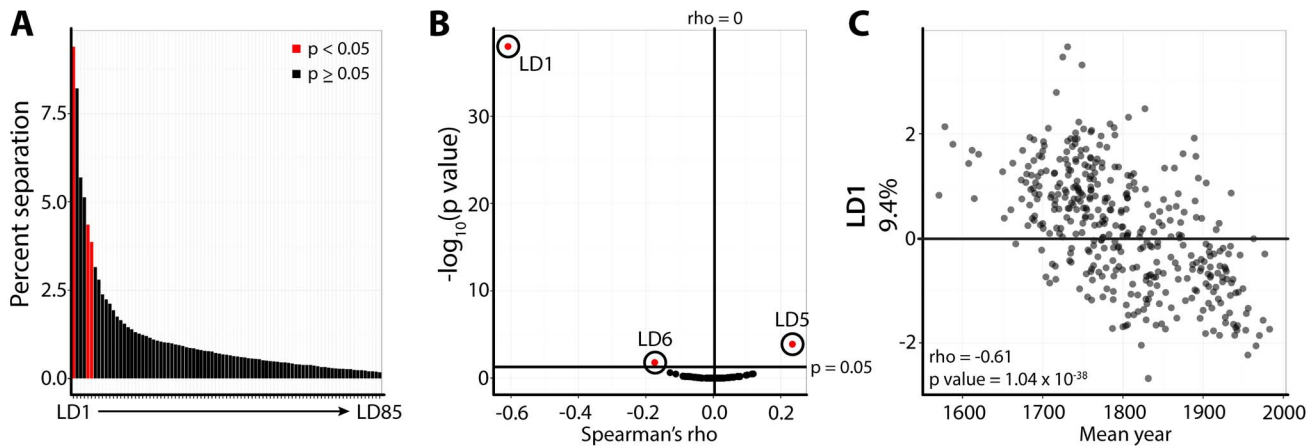


Figure 4. Discriminants linéaires de luthier corrélés avec le temps. A) Pourcentage de séparation contribué par les discriminants linéaires (LD) 1-85, séparant les contours du violon par le luthier. Les DL moyennes par luthier étaient corrélées avec l'année de fabrication moyenne pour les luthiers. Ces LD de manière significative corrélées au temps sont indiquées en rouge. B) Nuage de points du rho de Spearman (axe des x) et  $-\log_{10}(p \text{ value})$  (axe des y) pour les valeurs moyennes de LD par luthier sont corrélées à l'année moyenne de production du luthier. Les cercles, les étiquettes et le rouge indiquent une corrélation LD significative avec le temps. Notez que LD1 (9,4% de séparation) est exceptionnellement corrélée au temps. C) Nuage de points montrant la corrélation des valeurs moyennes de LD1 pour les luthiers avec l'année moyenne de production de violons du luthier. Les valeurs rho et p et indiquées. Toutes les valeurs p indiquées dans cette figure sont des tests multiples ajustés sur les LD pour contrôler le taux de fausse découverte (FDR) en utilisant la méthode Benjamini-Hochberg (BH). doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g004

les copies modernes se vendaient déjà, et les commandes affluaient sur Vuillaume de toutes les parties du monde.

Bien que LD1 soit exceptionnellement corrélé avec le temps, il ne représente encore qu'une fraction (9,4%) de la séparation totale de la forme du violon par le luthier (illustration 4). L'utilisation de discriminants linéaires pour prédire le luthier est un moyen particulièrement pertinent pour détecter l'imitation tout en utilisant toutes les séparations disponibles (Tableau 3; Ensemble de données S7). Parmi les luthiers prolifiques, Giovanni Paolo Maggini (le seul Brescien ancien de ce groupe) est l'un des plus perceptibles, 78,6 % de ses instruments lui étant correctement réaffectés. Instruments d'Eugenio Degani, avec les valeurs LD1 anachroniquement élevées (5) sont également relativement reconnaissables avec 63,5% de violons correctement réaffectés. Nicolas Lupot, le copiste connu précédemment cité, a l'un des taux de réaffectation correcte les plus bas (19,5%). Mais la réaffectation la plus faible parmi les luthiers prolifiques est Vincenzo Trusiano Panormo, avec seulement 8,2 % d'instruments correctement réaffectés. Hart décrit à la fois N. Lupot et VT Panormo comme les "fidèles copistes" d'A. Stradivari [27] :

Panormo et Lupot se partagent la palme en fidèles copistes du grand maître crémonais. Ni l'un ni l'autre ne semble avoir tenté de créer son propre modèle ; leur seul but était d'imiter au maximum les divers modèles de Stradivarius, Guarnerius et Amati, mais ils se limitaient principalement à ceux de Stradivarius.

Une analyse de la forme de l'instrument par le luthier indique que les attributs de forme spécifiques sont fortement corrélés avec le temps (Figures. 4-5).

Une analyse détaillée de la discernabilité des formes de différents luthiers et des récits historiques suggèrent une copie généralisée (Tableau 3; Jeu de données S7), en particulier d'A. Stradivari, contribuant à la structure temporelle de la variance de forme et à l'évolution du contour du violon moderne.

#### Des grappes de formes de violon très imitées

Quel effet la copie a-t-elle sur la structure de la variance de forme des violons ? La forme varie-t-elle continuellement, ou est-ce que la copie

conduire à seulement une poignée de modèles ? Les évaluations qualitatives de la forme du violon suggèrent des variations sur un thème, ou une descente avec modification [30], de seulement quelques contours influents. De plus, les écoles Brescian et Cremonese ont marqué une période innovante dans la forme du violon [29] :

Examinez et comparez les contours de certains des principaux disciples d'Amati et Stradivari, tels que Andreas Guarnerius, Petrus Guarnerius de Mantoue, son neveu de Venise, Joseph Guarnerius filius Andreae, la famille Rugeri, Cappa, Carlo Bergonzi, Lorenzo et Joannes Baptista Guadagnini, et vous verrez que chacun raye une forme différente de celle de son voisin, quoiqu'ils fussent tous redevables à la même source pour le fondement de leurs idées. En fait, des pionniers Bresciens aux derniers Cermonais, l'originalité de la forme a toujours été l'un des mérites les plus importants des nombreux et divers fabricants.

Une méthode plus quantitative pour visualiser la parenté des formes de violon est le regroupement hiérarchique. L'analyse par grappes des coefficients harmoniques moyens des violons de luthiers prolifiques (0,45 violons) révèle quatre grands groupes de formes (illustration 6). Ces groupes ont été nommés "Maggini", "Amati", "Stainer" et "Stradivari" en fonction de leurs membres les plus célèbres. L'amas Maggini est particulièrement intéressant. Giovanni Paolo Maggini est le premier membre du groupe prolifique des luthiers et représente l'école de Brescian. Ses violons sont éloignés de la forme des autres, ce qui suggère que les violons des premiers luthiers avaient de nouveaux attributs qui ont ensuite été perdus dans les instruments modernes. Les cannelures à plaques minces révèlent que les violons Maggini ont de nombreuses qualités de violoncelle et de contrebasse par rapport à d'autres groupes, avec un large tronçon inférieur et des tronçons centraux peu profonds qui sont déplacés distalement (Fig. 7). Au sein de l'amas Stradivari, on retrouve tous les copistes précédemment cités (Nicolas Lupot, Jean-Baptiste Vuillaume et Vincenzo Trusiano Panormo) (illustration 6). Les violons à grappes Stradivari sont définis par un large bout inférieur (Fig. 7). Il est important de noter que l'existence des clusters Amati et Stainer suggère d'autres groupes de copie potentiels (au-delà de A. Stradivari) dans lesquels les luthiers s'imitent les uns les autres.

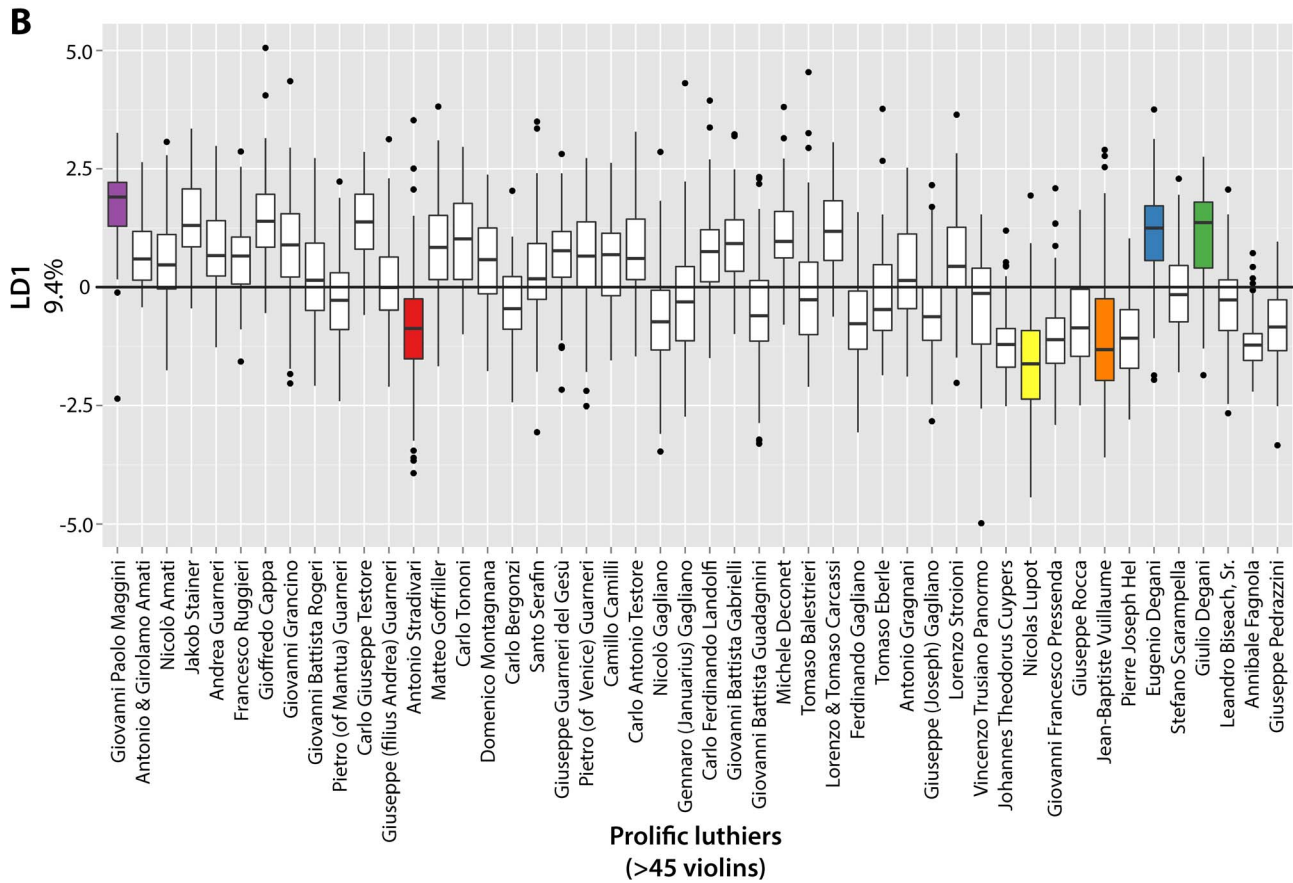
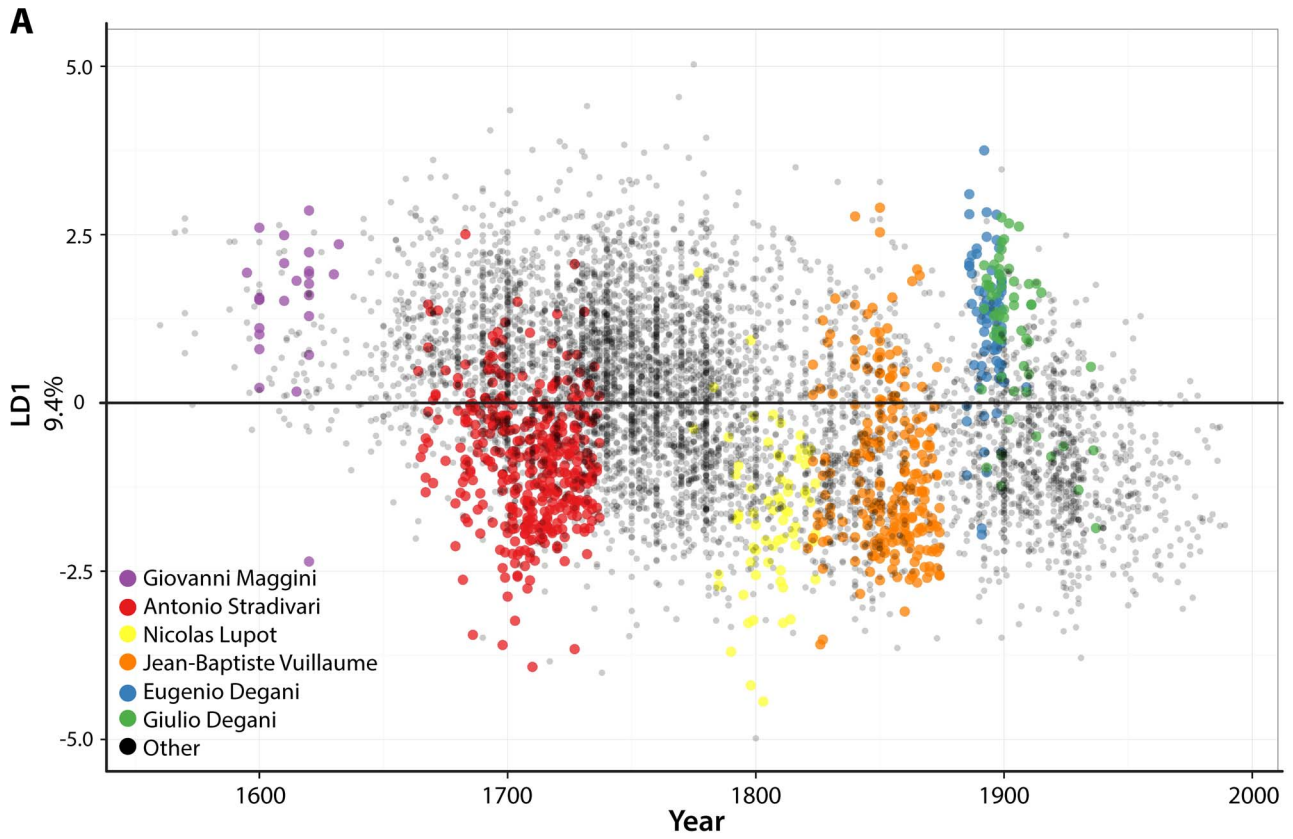




Figure 5. Contributions des luthiers à la corrélation des attributs de forme du violon avec le temps. (A) Nuage de points montrant des violons individuels avec des valeurs LD1 (9,4 %) tracées en fonction de l'année. Les couleurs indiquent les violons produits par des luthiers sélectionnés. (B) Semblable à (A), montrant des boîtes à moustaches des valeurs LD1 des violons produits par les luthiers prolifiques. Les luthiers sont classés temporellement le long de l'axe des x par l'année moyenne des violons qu'ils ont produits. Voir le texte pour plus de détails sur les relations des luthiers entre eux et la copie connue de la conception du violon. Violet, Giovanni Maggini ; rouge, Antonio Stradivari ; jaune, Nicolas Lupot ; orange, Jean-Baptiste Vuillaume ; bleu, Eugenio Degani ; vert, Giulio Degani ; noir, autre.  
doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g005

(illustration 6). Le groupe Amati comprend Carlo Bergonzi, étudiant d'A. Stradivari, qui aurait supprimé son propre contour de violon [29] : "Même Carlo Bergonzi n'était pas satisfait des conceptions insurpassables de Stradivari, et semble avoir saisi la première occasion d'évaluer sa liberté." Les violons Stainer cluster sont définis par un bord distal moins défini du bout central (Fig. 7). Ensemble, il y a 0,4 500 violons dans l'ensemble de données attribuables à des luthiers prolifiques. Le fait qu'un si grand nombre de violons de luthiers éminents ne se regroupent que dans quatre groupes suggère que l'espace de forme du violon n'est pas tant continu que basé sur des variations sur un nombre limité d'archétypes d'instruments copiés.

### Transmission du design par la parenté humaine

Curieusement, les luthiers génétiquement apparentés se regroupent souvent (illustration 6). Par exemple, quatre membres de la Maison Gagliano se trouvent dans le cluster Stradivari, dont trois se regroupent plus étroitement qu'avec tout autre luthier. De même, Eugenio Degani et son fils Giulio, définis de manière unique par des valeurs LD1 élevées (5), se regroupent dans le cluster Stainer, tout comme Carlo Giuseppe Testore et son fils, Carlo Antonio. Les membres de la Maison Guarneri se regroupent, mais en deux groupes, l'un dans l'amas Amati et l'autre dans l'amas Stainer. Remarquablement, 54,1% des 7,000 violons de l'ensemble de données sont fabriqués par un luthier avec au moins un autre parent représenté. La modélisation MANOVA des coefficients harmoniques sur ces violons avec au moins un autre membre de la famille représenté montre que l'identité familiale est un facteur explicatif significatif pour la forme (Tableau 4). Le temps et l'interaction avec la famille sont également importants, suggérant que chaque maison interagit différemment avec les changements de forme historiques.

### Conclusion

La forme du violon, dans ses diverses incarnations de type d'instrument, a été modifiée pour des raisons fonctionnelles. Un alto, un violoncelle ou un double

la basse n'est pas simplement une version agrandie d'un violon [11], mais a été ajusté pour accueillir le support d'un grand instrument sur l'épaule (alto), jouant entre les jambes (violoncelle), ou l'envergure des bras d'êtres humains pour atteindre simultanément la touche et l'archet (contrebasse) (Figures. 1–2). Pourtant, la grande quantité de variation de forme au sein des violons est aussi arbitraire que la forme du violon elle-même. Les courbures exactes, le placement et la largeur des accès, les détails des coins, la circonscription des accès centraux dans le corps principal peuvent varier subtilement, changer de forme, mais finalement ne pas affecter les propriétés acoustiques de l'instrument. En ce qui concerne ces types de fioritures, la forme du violon est modulée par le temps (4, d'une manière affectée par l'imitation connue des luthiers les uns par les autres (5 ; Tableau 3), résultant en un nombre limité de formes archétypales de violon copiées (Figures. 6–7).

Les parallèles entre les facteurs responsables des changements de forme du violon au cours des siècles et l'évolution des formes biologiques complexes sont frappants. La forme du violon est même influencée par les lignées génétiques de ses facteurs (Fig. 6, Tableau 4). En ce sens, la forme se comporte comme un trait neutre. On pourrait facilement imaginer des formes de violon radicalement différentes, mais acoustiquement équivalentes, si les caprices des luthiers bresciens d'origine avaient été différents. Il n'est pas difficile d'imaginer qu'au cours de longues années d'apprentissage au sein d'un atelier (qui suivait souvent des lignées familiales) que des particularités dans la conception et la forme des instruments, transmises de luthier à apprenti, surgiraient, un peu comme une dérive génétique. Le processus de création du contour, qu'il s'agisse d'adhérer strictement à un moule préexistant ou de créer une nouvelle forme, n'est pas sans rappeler l'héritage et la mutation. Malgré l'utilisation de moules, Antonio Stradivari a néanmoins innové de nouvelles formes, en utilisant une méthode à la fois fidèle aux contours précédents mais avec le potentiel de changer [29] :

D'où la question se pose, comment a-t-il réussi à effectuer, année après année, les modifications continues et toujours variables

Tableau 3. Réattribution d'identité de luthier.

Luthier	N	Correct	Pourcentage correct	Rang
Cuypers, Johannes Theodorus	62	50	80,6	1
Maggini, Giovanni Paolo Camilli, Camillo	56	44	78,6	2
Degani, Eugenio	68	49	72,1	3
Cappa, Goffredo	85	54	63,5	4
Stradivarius, Antonio	81	51	63	5
Lupot, Nicolas	410	254	62	6
Rocca, Giuseppe	77	15	19,5	43
Bisiach, Sr., Leandro	90	17	18,9	44
Tononi, Carlo	65	11	16,9	45
Guarneri, Pietro (de Venise)	55	9	16,4	46
Panormo, Vincenzo Trusiano	53	8	15,1	47
	73	6	8,2	48

Identité du luthier du violon réaffectée sur la base de discriminants linéaires. Les luthiers les mieux classés et les moins bien classés correctement attribués sont fournis. Le tableau complet se trouve dans les informations supplémentaires.

doi: 10.1371/journal.pone.0109229.t003

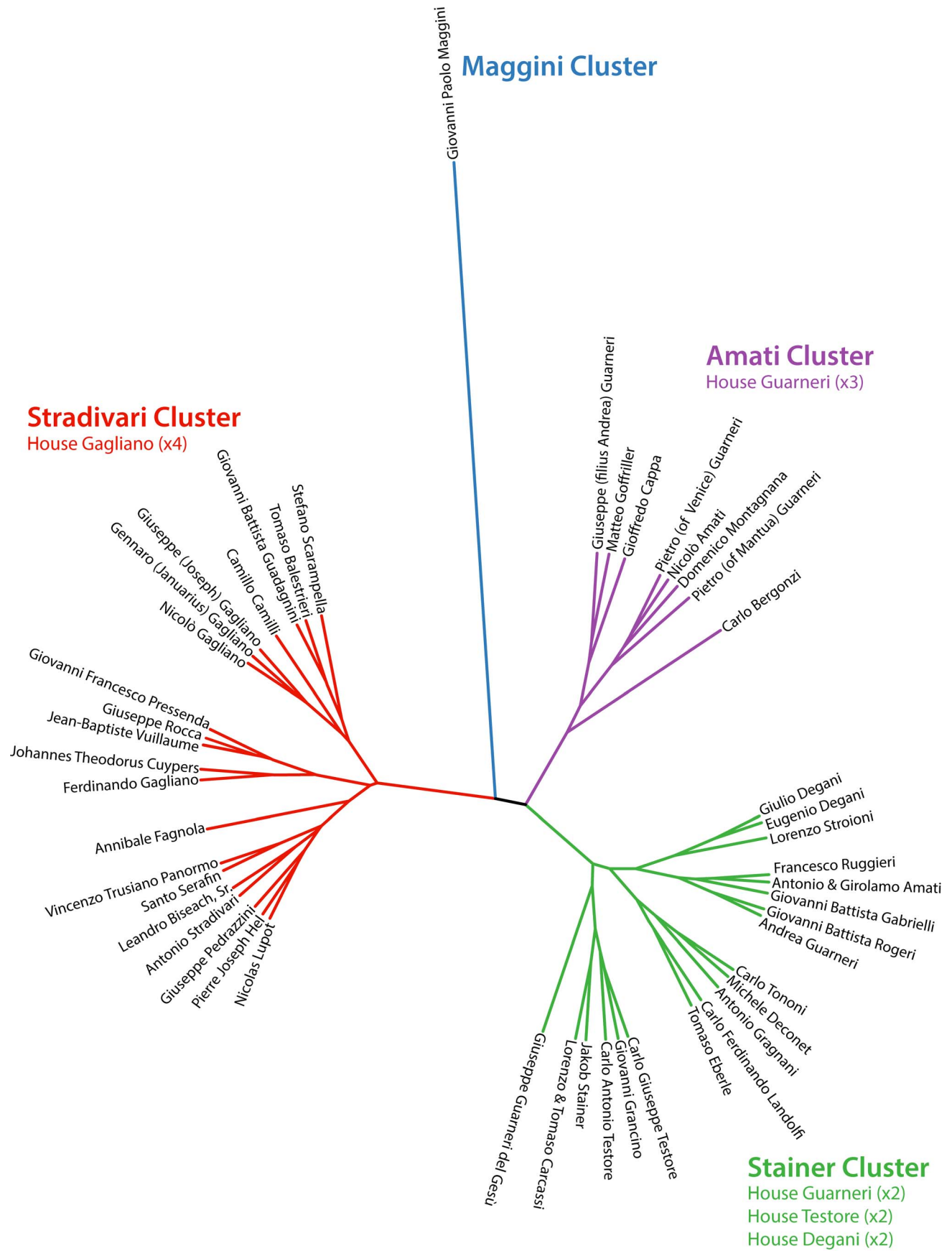


Figure 6. Regroupement hiérarchique de la forme du violon. Regroupement basé sur des coefficients harmoniques moyennés par un luthier prolifique (0,45 violons). Quatre groupes principaux, nommés par les luthiers éminents qu'ils contiennent, sont indiqués par la couleur. Comme discuté dans le texte, connaissent les copistes du cluster Antonio Stradivari avec le cluster Stradivari, et souvent les membres de la même famille se regroupent. Les membres des maisons familiales qui se regroupent sont indiqués. Bleu, amas Maggini ; rouge, amas Stradivari ; pourpre, grappe Amati ; vert, cluster Stainer. doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g006

des courbes du contour ? Il est évident qu'il a dessiné un nouveau dessin, et fait un nouveau moule pour chaque changement décidé de forme, qu'elle soit de grandes ou de petites dimensions ; mais en même temps nous pensons qu'il avait probablement quelque plan simple qui, par une légère altération, lui permettait de se servir de l'ancien moule tout en gardant une main libre pour modifier plus ou moins les courbes, plus spécialement celles de la combats et virages.

Dans un autre sens, la forme peut être hautement adaptative. Jean-Baptiste Vuillaume a délibérément étudié et copié les maîtres crémonais (notamment Antonio Stradivari) pour accroître l'attrait de ses instruments et répondre à la demande des consommateurs, comme l'ont fait de nombreux autres luthiers [28]. Des études récentes se demandent si les consommateurs peuvent faire la différence entre les vieux violons italiens et d'autres instruments de haute qualité, mais cela importe peu si les imitateurs de Cremonese obtiennent des prix plus élevés et se vendent [25], [26]. Un attribut que les consommateurs de violon remarqueraient certainement est les subtilités de la forme, même si elles ne sont pas pertinentes pour la qualité. Peut-être pas si surprenant pour un objet fabriqué par des organismes vivants, eux-mêmes soumis à des lois naturelles [30], l'hérédité de la morphologie du violon a été influencée par le mimétisme, les lignées génétiques et a évolué au fil du temps.

## Matériels et méthodes

### Traitement d'image

Les contours des membres de la famille du violon et leurs données associées ont été obtenus sur le site Web cozio.com (Tarisio Auctions). On a pris soin de ne sélectionner que les images photographiées à partir d'une orientation strictement descendante. Dans ImageJ [31], les macros ont été utilisées pour pré-

traiter les photos à l'aide des commandes intégrées "Rechercher les bords", "Créer un binaire" et "Remplir les trous". 9 898 images prétraitées peuvent être trouvées dans la section « Base de données » sur chitwoodlab.org. Le manche de l'instrument, le bouton et les autres accessoires attachés au bout inférieur ont été séparés des pixels appartenant au corps de l'instrument à la main avant analyse. Le corps de violon résultant a été sélectionné et enregistré dans un fichier séparé.

### Analyse du descripteur de Fourier elliptique

Les silhouettes binaires de violon ont été converties en code de chaîne à l'aide du programme SHAPE [14], [15]. Le fichier de code de chaîne de SHAPE (fichier .chc) a ensuite été importé dans le package Momocs en R [16-18], [32] utilisant la fonction `chc2Coo` et centré avec la fonction `Coo.center`. Avant d'effectuer l'analyse du descripteur de Fourier elliptique (EFD) [13], une estimation du nombre d'harmoniques et des itérations de lissage à effectuer a été entreprise. Une analyse qualitative de la capacité de différents nombres d'harmoniques à récapituler la forme a été réalisée en utilisant la fonction `hqual`. J'étais préoccupé par la capacité du contour estimé à capturer avec précision la forme des coins du combat central. La difficulté à capturer cet aspect de la forme du violon a été révélée en utilisant la fonction `hquant` (Fig. S1A-B), qui trace la déviation en fonction des points le long du contour du violon. J'ai choisi d'effectuer l'analyse EFD avec 22 harmoniques et 10 itérations de lissage. Cela peut sembler surpuissant, car 22 harmoniques capturent bien plus de 99% de la puissance totale (tel que déterminé à l'aide de la fonction `hpow`) (figure S1C), mais les artefacts de contour n'ont pas été observés et les coins ont été correctement récapitulés. L'analyse EFD a été réalisée à l'aide de la fonction `eFourier`, avec laquelle les contours ont été

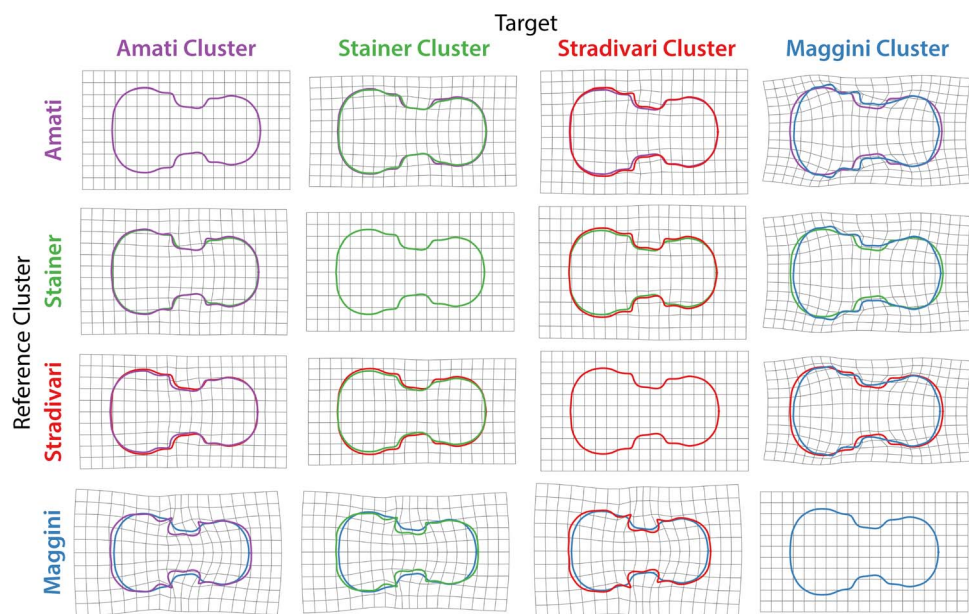


Figure 7. Splines à plaques minces des principaux groupes de violons. Des cannelures à plaques minces, déformant des grilles pour transformer les violons des membres des grappes de référence (verticales) avec ceux des cibles (horizontales), sont fournies. Les contours moyens des violons des luthiers prolifiques (0,45 violons) de chaque groupe sont superposés et indiqués par la couleur. Les différences entre les contours de référence et de cible ont été amplifiées par un facteur de quatre pour mieux visualiser les détails subtils. Bleu, amas Maggini ; rouge, amas Stradivari ; pourpre, grappe Amati ; vert, cluster Stainer. doi: 10.1371/journal.pone.0109229.g007

Tableau 4. Résultats MANOVA pour les contours de violon par identité familiale et année.

Facteur	df	Pillai	environ F	nombre df	den df	valeur p
Famille	24	2.64447	4.7506	2112	81024	, 2.26dix216
Année	1	0,09468	3,985	88	3353	, 2.26dix216
Famille : Année	24	0.92761	1.5424	2112	81024	, 2.26dix216

Résultats d'un modèle MANOVA ajusté pour les coefficients harmoniques comme fonction de la famille, année, et les effets d'interaction famille:année. Seuls les termes significatifs ont été inclus dans le modèle final.

doi: 10.1371/journal.pone.0109229.t004

normalisé pour la rotation, la translation, la taille et l'orientation en utilisant le première ellipse. Les coefficients harmoniques de l'objet Coe résultant ont ensuite été utilisés pour des analyses statistiques ultérieures.

### Analyses statistiques et visualisation

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées en R [32]. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide de Momocs [18] fonction wrapper pca sur l'objet Coe résultant. Les violons propres le long des axes PC ont été visualisés à l'aide de la fonction PC.contrib. L'analyse discriminante linéaire (LDA) sur les coefficients harmoniques a été réalisée à l'aide de la fonction lda du package MASS [33]. La fonction de prédiction (progiciel de statistiques) et la fonction de table (progiciel de base) ont été utilisées (en fonction de MASS) pour réaffecter les instruments par type ou par luthier à l'aide des discriminants linéaires. Le clustering hiérarchique a été effectué sur les coefficients harmoniques à l'aide de la fonction clust.wrapper dans Momocs, qui utilise les fonctions dist et hclust ainsi que phylo.plot du package ape [34]. Une MANOVA a été réalisée sur les coefficients harmoniques à l'aide de la fonction manova (progiciel stats). Les modèles ont été sélectionnés par sélection à rebours, en comparant les modèles avec et sans terme et en supprimant les moins significatifs. Les modèles finaux ont été testés avec un processus de sélection avancé pour s'assurer que les termes supprimés n'étaient pas significatifs. L'ordre des facteurs a également été testé et la ville a été éliminée en tant que facteur en raison de sa dépendance avec le luthier et la famille. La visualisation a été effectuée à l'aide du package ggplot2 [35]. Les splines de plaques minces ont été visualisées à l'aide de la fonction MeanShapes pour faire la moyenne des formes en fonction des niveaux de facteur donnés et transmises à la fonction tps.grid dans le package Momocs.

### Renseignements à l'appui

Figure S1 Détermination d'un nombre d'harmoniques approprié. UNE) Déviation, normalisée à la taille du centre de gravité (axe des y), des contours les mieux ajustés compte tenu du nombre d'harmoniques (indiqué par la couleur) à partir des points échantillonnés le long du contour (axe des x). Les harmoniques doublent en valeur de 2 à 64.B) Semblable à UNE) sauf en analysant des nombres harmoniques plus proches de la valeur finalement choisie (22). Notez les quatre pics majeurs de déviation par rapport aux autres parties du contour du violon, qui correspondent aux coins des combats centraux. Le nombre d'harmoniques a été choisi comme équilibre entre la capture précise de la forme des coins et la sur-spécification du contour.C) Un graphique indiquant la puissance de Fourier harmonique cumulée (axe des y) pour un nombre donné d'harmoniques (axe des x). Les points correspondent aux médianes, avec des maxima également tracés. 22 harmoniques (le nombre utilisé pour l'analyse présentée dans cet article) capture bien plus de 99% de la puissance harmonique.

(JPG)

Figure S2 Pourcentage de variance expliqué par le principal composant (PC). Un graphique à barres montrant le pourcentage de variance expliqué par chacun des 85 PC pour une ACP réalisée sur l'harmonique

coefficients des membres de la famille du violon. Les quatre premiers PC illustrés dans Fig. 1 explique 77,6 % de toute la variance de forme, le pourcentage de variance expliqué par les PC suivants diminuant rapidement. (JPG)

Ensemble de données S1 Pourcentage de variance expliquée par le principal composant (PC). Pour chacun des 85 PC résultant d'une ACP réalisée sur les coefficients harmoniques sur les membres de la famille du violon, le CP (« PC »), le pourcentage de variance de forme qu'il explique (« pourcentage ») et la variance cumulée expliquée (« ») est donné. (SMS)

Jeu de données S2 Valeurs des composants principaux et autres données associées pour les membres de la famille des violons. Un jeu de données fournissant les identifiants d'instrument ("id"), le luthier ("maker"), le type d'instrument ("type"), le type d'instrument dans lequel "small violon" et "small cello" niveaux ont été convertis en "violon" et "violoncelle" ("general\_type"), les informations d'année d'origine ("year"), une valeur d'année représentant une moyenne de périodes d'années si elles sont présentes ("year\_spans"), une valeur d'année dans laquelle les valeurs étendues sont revenues à "NA" ("year\_no\_spans"), le lieu de production ("city\_state"), le nom de l'instrument s'il est fourni ("name") et 85 valeurs de composantes principales (étiquetées "Axe" suivies du numéro approprié). (SMS)

Jeu de données S3 Valeurs discriminantes linéaires séparant les contours des familles de violons par type d'instrument. Un jeu de données fournissant valeurs discriminantes linéaires basées sur la séparation par type d'instrument, y compris l'ID d'instrument (« id »), le type d'instrument (« type ») et les valeurs de discriminant linéaire (LD) 1 à 3 (étiquetées « LD » avec le numéro approprié). (SMS)

Jeu de données S4 Coefficients harmoniques utilisés pour effectuer MANOVA sur forme par luthier et année. Un jeu de données fournissant valeurs des coefficients harmoniques pour les contours de violon utilisés pour MANOVA, y compris l'identifiant de l'instrument ("id"), le type d'instrument ("type"), les informations sur l'année d'origine ("year"), une valeur d'année représentant une moyenne de les périodes d'année si présentes ("year\_spans"), une valeur d'année dans laquelle les valeurs étendues sont revenues à "NA" ("year\_no\_spans"), le lieu de production ("city\_state"), le luthier ("maker"), le nom de l'instrument s'il est fourni ("name"), et les coefficients harmoniques nommés de manière appropriée ("An", "Bn", "Cn", "Dn" où n est le nombre harmonique). (SMS)

Jeu de données S5 Pourcentage de séparation des discriminants linéaires du facteur d'instruments et corrélation avec le temps. Un jeu de données fournissant le pourcentage de séparation des discriminants linéaires effectués sur les coefficients harmoniques par le luthier et la corrélation avec le temps, y compris le discriminant linéaire ("LD"), le pourcentage de séparation du LD ("pourcentage"), la séparation cumulative des LD ("cumulative"), le rho de Spearman pour la corrélation de la moyenne



les valeurs LD du luthier avec l'année ("rho"), la valeur p de la corrélation ("pvalue"), et la valeur p ajustée du taux de fausses découvertes basée sur la méthode Benjamini-Hochberg ("bh").

(SMS)

**Dataset S6 Valeurs discriminantes linéaires basées sur le luthier.**

Un ensemble de données fournissant des valeurs discriminantes linéaires pour la séparation par luthier, y compris les identifiants d'instruments ("id"), le luthier ("maker"), le type d'instrument ("type"), les informations sur l'année d'origine ("year"), une valeur d'année représentant une moyenne d'intervalles d'années si elle est présente ("year\_spans"), une valeur d'année dans laquelle les valeurs d'intervalle sont revenues à "NA" ("year\_no\_spans"), l'emplacement de production ("city\_state"), le nom de l'instrument s'il est fourni ("name"), et les valeurs discriminantes linéaires ("LD" suivi du numéro).

(SMS)

**Dataset S7 Luthier réaffectation basée sur linéaire**

discriminants. Un tableau fournissant la réaffectation de l'identité de luthier basée sur une analyse discriminante linéaire des contours de violon, il

## Les références

- Bachmann A (1925) Une encyclopédie du violon. New York : D. Appleton and Company.
- Woodfield I (1988) Les débuts de la viole. Cambridge : Cambridge University Press.
- Jones SS (1995) La Lire da Braccio. Bloomington : Indiana University Press.
- Hutchins CM (1983) Une histoire de la recherche sur le violon. J Acoust Soc Am 73 : 1421–1440.
- Saunders FA (1937) L'action mécanique des violons. J Acoust Soc Am 9 : 81–88.
- Meinel H (1957) Concernant la qualité sonore des violons et une base scientifique pour la construction du violon. J Acoust Soc Am 29 : 817.
- Marshall KD (1985) Analyse modale d'un violon. J Acoust Soc Am 77 : 695.
- Bissinger G (1995) Quelques conséquences mécaniques et acoustiques de la potence du violon. J Acoust Soc Am 97 : 3154.
- Bissinger G (2006) Le chevalet de violon comme filtre. J Acoust Soc Am 120 : 482.
- Savart F (1819) Mémoire sur la construction des Instruments à Cordes et à Archet. Paris : Déterville.
- Schelleng JC (1963) Le violon comme circuit. J Acoust Soc Am 35 : 326-338.
- Jansson E, Molin NE, Sundin H (1970) Résonances d'un corps de violon étudiées par interférométrie hologramme et méthodes acoustiques. Physica Scripta 2 : 243-256.
- Kuhl FP, Giardina CR (1982) Caractéristiques de Fourier elliptiques d'un contour fermé. Infographie et traitement d'images 18 : 236-258.
- Iwata H, Niihara S, Matsuura S, Takano Y, Ukai Y (1998) Évaluation de la variation de la forme des racines du radis japonais (Raphanus sativus L.) basée sur l'analyse d'images à l'aide de descripteurs de Fourier elliptiques. Journal de l'hérédité 93 : 384-385.
- Iwata H, Ukai Y (2002) SHAPE : Un progiciel informatique pour l'évaluation quantitative de formes biologiques basée sur des descripteurs de Fourier elliptiques. Euphytica 102 : 143-149.
- Claude J (2008) Morphometrics avec R. New York : Springer.
- Claude J (2013) Log-shape ratios, Procrustes superposition, elliptic Fourier analysis: trois exemples travaillés dans R. Hystris, the Italian Journal of Mammology 24 : 94-102.
- Bonhomme V, Picq S, Gaucherel C, Claude J (2014) Momocs : Outline analysis using R. Journal of Statistical Software 56 : 13.
- Jeong SC (2012) Viola design : quelques problèmes de standardisation. D.Mus.A. Thèse, Université de l'Alabama. Disponible : [http://acumen.lib.ua.edu/u0015\\_0000001\\_0001041#item%3Du0015\\_0000001\\_0001041%3B](http://acumen.lib.ua.edu/u0015_0000001_0001041#item%3Du0015_0000001_0001041%3B) Consulté le 20 août 2014.
- Barlow CY, Edwards PP, Millward GR, Raphael RA, Rubio DJ (1988) Traitement du bois utilisé dans les instruments crémonais. Nature 332 : 313.
- Burckle L, Grissino-Mayer HD (2003) Stradivari, violons, cernes des arbres et le minimum de Maunder : une hypothèse. Dendrochronologie 21 : 41-45.
- Nagyvary J, DiVerdi JA, Owen NL, Tolley HD (2006) Bois utilisé par Stradivari et Guarneri. Nature 444 : 565.
- Stoel BC, Borman TM (2008) Une comparaison de la densité du bois entre les violons crémonais classiques et modernes. PLOS ONE 3 : e2554.
- Stoel BC, Borman TM, de Jongh, R (2012) Densitométrie du bois dans 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> violons hollandais, allemands, autrichiens et français du siècle, comparés aux violons classiques de Crémone et modernes. PLOS ONE 7 : e46629.
- Fritz C, Curtin J, Poitevineau J, Morrel-Samuels P, Tao FC (2012) Préférences des joueurs parmi les violons neufs et anciens. Proc Natl Acad Sci USA 109 : 760–763.
- Fritz C, Curtin J, Poitevineau J, Borsarello H, Wollman I et al. (2014) Évaluations de solistes de six anciens violons italiens et de six nouveaux violons. Proc Natl Acad Sci USA 111 : 7224-9.
- Hart G (1880) Le violon : ses fabricants célèbres et leurs imitateurs. Londres : Dulau and Co., Schott and Co.
- Hill WE and Sons (1891) Le Salabue Stradivari. Une histoire et une description critique du célèbre violon communément appelé "Le Messie." Londres : Novello, Ewer, and Co.
- Hill WH, Hill AF, Hill AE (1909) Antonio Stradivari : sa vie et son œuvre (1644-1737). Londres : Macmillan and Co.
- Darwin C (1859) Sur l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie. Londres : John Murray, Albemarle Street.
- Abramoff MD, Magalhaes PJ, Ram SJ (2004) Traitement d'images avec ImageJ. Biophotonics International 11 : 36-43.
- R Core Team (2014) R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Venables WN, Ripley BD (2002) Statistiques appliquées modernes avec S. Quatrième édition. New York : Springer.
- Paradis E, Claude J, Strimmer K (2004) APE : analyses de phylogénétique et évolution en langage R. Bioinformatique 20 : 289-290.
- Wickham H (2009) ggplot2 : graphiques élégants pour l'analyse des données. New York : Springer.

comprend l'identité du luthier ("maker"), le nombre total de violons échantillonnés pour ce luthier ("n"), le nombre de violons correctement réaffectés pour le luthier ("correct"), le pourcentage de taux de réaffectation correcte ("percent\_correct"), et le nombre de violons réaffectés aux luthiers représentés dans l'ensemble de données.  
(SMS)

## Remerciements

L'auteur est redevable aux critiques constructives des relecteurs qui ont amélioré le manuscrit original. Claude Julien (Université de Montpellier 2) et Emma Sherratt (Université de la Nouvelle-Angleterre) ont fourni des informations morphométriques et Jim Woodhouse (Université de Cambridge) a fourni des perspectives sur les aspects de la géométrie du violon affectant le plus l'acoustique.

## Les contributions de l'auteur

Conception et réalisation des expériences : DHC. Réalisation des expériences : DHC. Analyse des données : DHC. A écrit l'article : DHC.