

La réalisation de cordes pour instruments anciens

Stephen Paulello, facteur de pianos et de cordes, Villethierry

La réalisation de cordes pour instruments anciens implique un travail de recherches historiques qui consiste à répertorier les différents fabricants et fournisseurs des grandes marques, leurs principes de numérotation et leurs procédés de fabrication. Ce travail est complété par une analyse des caractéristiques mécaniques et acoustiques du matériau original de façon à proposer des cordes de substitution permettant de réaliser le compromis le plus pertinent entre l'infinie diversité des cordages anciens, le respect de la structure des instruments et un résultat sonore satisfaisant.

La réalisation de cordes pour instruments anciens comme celle de tout matériau de remplacement ne peut être envisagée sans une réflexion approfondie sur la restauration des pianos-forte et clavecins en général. Fixer des limites et tenter d'apporter des réponses aux multiples questions qui se posent, voilà l'objet de ce colloque.

Quelles études devons-nous entreprendre, quels critères pertinents retenir ? La documentation est déjà abondante, cependant elle est encore lacunaire. La prise de connaissance de l'existence de cette documentation à travers une bibliographie aussi riche et exhaustive que possible et la fiabilité des résultats publiés invitent souvent à recommencer le travail pour l'adapter aux dernières recherches.

Une définition du concept de restauration ou de fac-similé est également un préalable indispensable : depuis la copie strictement muséale jusqu'au fac-similé où l'utilisation musicale de l'instrument est prise en considération, quelle sera la démarche ? Dans quel cas précis pourrions-nous affirmer qu'une copie est rigoureusement fidèle à l'original ? Celle-ci doit être fidèle, certes, mais à quoi ?

Fidélité à l'histoire

Prenons en compte quelques dates importantes de l'histoire de la sidérurgie scientifique qui commence avec René Ferchault de Réaumur (1683-1757). Celui-ci réalise de très nombreuses expériences afin d'améliorer la fabrication de l'acier et publie le résultat de ses observations en 1722 avec « l'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu » ce qui amène la France à fabriquer ce métal qu'elle importait jusqu'alors. Il introduisit également l'utilisation du microscope dans l'étude de la constitution des métaux, fondant ainsi la métallographie.

Autre étape importante en 1784 : le puddlage ou brassage

La méthode est inventée presque simultanément par Peter Onions (brevet le 7 mai 1783) et Henry Cort (brevet 13 février 1784). C'est un tournant dans l'histoire industrielle puisque dès cette date, les quantités d'acier produit vont augmenter rapidement et l'utilisation de celui-ci va commencer à se généraliser.

En 1786, trois savants français, Berthollet, Gaspard Monge et Vandermonde, caractérisèrent trois types de produits obtenus à partir de la coulée des hauts-fourneaux : le fer, la fonte et

l'acier.

Ils distinguent trois catégories d'acier :

- **L'acier naturel** (ou acier d'Allemagne) : fabriqué par décarburation de feuillets de fonte.
- **L'acier de cémentation** : fabriqué à partir de fer solide dans lequel on augmente le taux de carbone par diffusion.
- **L'acier fondu** : ce n'est pas à proprement parler une autre méthode de fabrication mais une méthode permettant d'améliorer la qualité de l'acier produite par une des deux méthodes précédentes. L'acier est fondu pour homogénéiser sa composition.

L'acier industriel

1856, l'acier Bessemer

La découverte

Henry Bessemer est un ingénieur et inventeur anglais. Dans le début des années 1850, il travaille à l'amélioration du four à réverbère utilisé pour la fusion de la fonte. Il en tire la conclusion qu'il est possible de décarburer la fonte par l'action de l'air sans puddlage.

Malheureusement, son procédé est incapable de retirer le phosphore de la fonte si celle-ci en contient. Il recherchera en Angleterre et en Suède des fontes sans phosphore capables d'être affinées en bon acier par son procédé. « La fonte britannique contient de façon abondante cet ennemi mortel, le phosphore » ainsi s'exprime Bessemer dans son autobiographie.

Le phosphore est un élément chimique qui fait perdre à l'acier ou au fer sa ductilité les rendant fragiles. Ils perdent tout intérêt en devenant extrêmement cassants.

La voie est ouverte, l'industrialisation de l'acier est en route.

1877 Thomas et Gilchrist déphosphore la fonte

C'est un tournant dans le développement industriel de l'Europe.

Il faudra attendre 1924 pour voir apparaître les premières améliorations importantes du traitement de conversion Thomas avec air enrichi en oxygène en Allemagne. Cette technique commence à être utilisée industriellement en 1932.

Il est intéressant de s'appuyer sur les étapes de l'évolution de la production de l'acier pour y voir plus clair, mais cette évolution, comme l'ensemble de l'histoire des progrès scientifiques et techniques, n'est pas linéaire. Considérant les aciers indiens appelés *wootz* utilisés pour la fabrication d'armes vers l'an 300, les bas fourneaux puis les hauts fourneaux issus du XV^e siècle et l'acier industriel de Bessemer en 1860 alors que, dans son traité de métallurgie, Grüner dans un retour en arrière fulgurant, décrit en 1875 l'utilisation de bas fourneaux pour extraire le fer du minerai dans les forges des Pyrénées françaises et espagnoles, on pourra affirmer que des fabricants de cordes musicales ont utilisé au même moment des techniques régionales du travail de l'acier qui pouvaient être des techniques de pointe, comme des techniques ancestrales. Ces anachronismes diversifiés de la fabrication de fils métalliques nous font pénétrer dans un puzzle disséminé dans de nombreux ouvrages, puzzle bien difficile à reconstituer, fait d'éléments contradictoires dus aux habitudes de secret et à un état d'esprit souvent plus artisanal que scientifique. (cf. les difficultés rencontrées par les

Encyclopédistes pour la rédaction de leur ouvrage) Il y aura donc des différences considérables de technique de fabrication et de qualité selon le fournisseur, ce qui explique aussi, pour une même époque, les différences de plans de cordage des pianofortes, l'évolution de cet instrument étant étroitement liée à l'évolution de la métallurgie de la corde.

Fidélité aux numérotations et jauges

Ce chapitre mériterait un livre à lui tout seul, la difficulté étant de décrypter le sens des chiffres inscrits sur le sommier, le chevalet ou la table d'harmonie : le système Continental, l'ancien système de Nürnberg, le nouveau système de Nürnberg, la jauge de Berlin, celle de Vienne, les systèmes anglais, celui de Müller & Sohn, plus tard Firminy, Poehlmann etc.

Fidélité aux procédés de fabrication

Les étapes de fabrication sont nombreuses et les solutions très diverses.

L'alliage issu de bas ou hauts fourneaux était martelé, ou, dès 1818, laminé jusqu'à ce qu'on obtienne une baguette plus ou moins cylindrique. De quel diamètre ? Ces baguettes étaient recuites (à quelle température ? pendant combien de temps ? dans quelles conditions hygrométriques ? pendant quelle durée de refroidissement ?) puis décapées (avec quel produit ?) Puis passées dans des filières (combien ? de quelle forme ? de quelle nature ? avec quel lubrifiant ? à quelle vitesse ?) Diderot donne quelques détails sur les filières elles-mêmes qui étaient de simples trous réalisés avec un poinçon dans des plaques d'acier trempé. Il en résultait souvent des états de surface médiocres. Puis elles étaient de nouveau recuites et puis redécapées (mêmes questions). S'il y a trempage, dans quel liquide ? à quelle température ? Pleyel stipule que le fil passe obligatoirement dans 5 à 6 filières après le dernier recuit pour que la corde sonne bien. Quel était l'usage en ce domaine ?

Le polissage : s'il est effectué, de quelle manière, pendant combien de temps, avec quelle produit ? Un échauffement excessif lors du polissage peut être fatal à la qualité de la corde.

Fidélité au diapason utilisé

Encore un vaste sujet sans réponse précise qui dépasserait largement notre propos mais dont le choix détermine plus que l'on ne pense la qualité sonore finale de l'instrument.

Fidélité à la composition chimique

Instruments	Ø	C - %	P - %	Auteurs
Clavecin Blanchet 1733		0,007	0,15	Goodway and Odell
Clavecin XVII ^e Corde XVIII ^e		0.038	0.130	Rémy Gug
Piano-forte Walter de 1795	0,57	0,08		Alfons Huber
C. Graf de 1830	0,80	0,05		Alfons Huber
		0,037 pour le fer moderne		

Selon Goodway et Odell, le phosphore présent dans les cordes du XVII^e et XVIII^e siècles aurait de nombreuses vertus qui seraient mises en péril par la présence de plus de 0.01% de

carbone, ce qui n'a pas l'air de gêner Rémy Gug qui parle d'une excellente corde dont le taux de carbone est de 0,038 % en présence d'un fort pourcentage de Phosphore. Comme on peut le constater à travers diverses analyses, la composition chimique d'une corde réalisée à Vienne pendant la période qui nous intéresse, n'a rien à voir avec une corde réalisée en Suède, en Angleterre, en Allemagne, en Italie ou en France.

Fidélité aux mesures des propriétés mécaniques

Que penser d'essais mécaniques effectués sur une corde de près de trois siècles ? Il faudra tenir compte de l'effet de vieillissement pour mesurer la résistance à la traction R_m , la limite d'élasticité R_e , le module de Young E , l'allongement pour cent après rupture $A\%$, la dureté, le poids spécifique et déterminer ce qui doit être attribué au vieillissement et ce qui doit l'être à la corde d'origine. Le fluage, la fatigue de la corde, la diffusion du carbone, l'oxydation par exemple sont des éléments faisant partie du processus de vieillissement.

De plus, les défauts d'aspect sont nombreux parce que le métal ne subissait que le martelage avant tréfilage. Le fil de base asymétrique se déformait de façon non homogène et l'on observe souvent des replis du métal sur lui-même. Doit-on reproduire ces défauts ?

Fidélité aux mesures des propriétés acoustiques :

- L'inharmonicité : A longueurs, fréquences et diamètres égaux, elle dépend de la raideur du matériel, donc de son module de Young. Malheureusement, cette valeur varie beaucoup dans le temps, la tendance étant en général ascendante.
- La bande passante de la corde qui dépend de sa structure et de son pourcentage de contrainte.
- L'amortissement par frottement visqueux dans l'air selon l'état de surface.
- L'amortissement viscoélastique : défauts du métal, lacunes, impuretés, sous joints, joints de grains, etc. mais aussi conditions de tréfilage.

A toutes ces incertitudes, il faudra rajouter le fait qu'un instrument du XVIII^e siècle a assez peu de chances de nous être parvenu avec son cordage d'origine. Et même si c'était peut-être le cas, il serait bien présomptueux d'affirmer que le cordage d'un instrument vendu à Paris en 1780 n'a pas été remplacé à Berlin en 1800.

Pour rajouter encore un peu d'incertitude, on pourrait dire que tous les défauts d'aspect rencontrés sur les cordes anciennes comme les irrégularités du diamètre, les défauts de polissage, la tenue incertaine de l'accord, la fragilité, les faux battements etc. participent peut-être au charme d'un instrument et en donnent toute la cohérence.

Pour conclure

- Les indices de fiabilité mécanique sont donnés par la stabilisation de l'accord et la régularité du fluage.
- La qualité musicale d'une corde dépend de son procédé de fabrication.

Fabricant des cordes pour instruments modernes, j'ai pu constater que l'acier utilisé pour la fabrication des cordes de Röslau et celui des cordes Paulello de type M portait la même référence. La résistance à la traction et le module de Young donc l'inharmonicité des cordes de ces deux marques sont très semblables. Le résultat sonore pour le même instrument et après de nombreux essais est cependant très différent car le spectre, le rayonnement et l'amortissement interne des deux cordes ne sont pas comparables.

Le procédé de fabrication est donc essentiel et donne une empreinte sonore à la corde. C'est pourquoi le taux de réduction du matériel de base, la vitesse et la température de tréfilage, la qualité et la propreté des lubrifiants, le nombre de filières utilisées, la perfection du polissage font l'objet de soins et de contrôles minutieux. La tolérance du diamètre final est de + ou - 0.005 mm à température constante.

- Pour finir, la réponse aux diverses difficultés précédemment évoquées se trouve dans un fil d'Ariane dont le secret est livré par l'instrument lui-même.

Les longueurs vibrantes des cordes nous dicteront le choix du matériau.

Il suffira de calculer la contrainte / mm² dans le métal en fonction de la force de traction de la corde et choisir le type d'acier adapté en essayant d'obtenir une contrainte comprise entre 50 et 70 % de la résistance théorique de casse minorée de 25 % pour les types M et 0 et de 15 % pour les types 1 et 2, une contrainte proche de la limite élastique étant un facteur essentiel de qualité musicale. Une notice d'emploi des cinq types de cordes « Paulello » commercialisées donne tous les éléments utiles à ce calcul.

Documentation générale :

1. Corbion, Jacques, – *Le savoir...fer : glossaire du haut fourneau* – tome IV – 4^e édition – 11/2003 – édité par l'association Le savoir... fer.
2. *Histoire du fer*, guide illustré du musée du fer – Édité par le centre de recherche de l'histoire de la sidérurgie, Musée du fer, Jarville-la-Malgrange, Deuxième édition, 1977.
3. Routhier, Pierre, *Du fer gaulois à l'acier sans frontières, Fer, fonte, acier : 3500 ans d'histoire*, Edition Godefroy de Bouillon.
4. Grüner, M.L., *Traité de métallurgie*, tome premier, agents et appareils métallurgiques, principe de la combustion. 1875, Dunod Editeur.
5. Dietrich, Baron de, *Description des gîtes de minerai, des forges et des salines des Pyrénées, suivi d'observations sur les fer mazé et sur les mines des Sardes en Poitou* – première partie, Editeurs Didot et Cuchet, 1786.
6. Grüner, M. et Lan, M., *État présent de la métallurgie en Angleterre*, 1862, Dunod éditeur.
7. Goodway, Martha and Odell, Jay Scott, *The Metallurgy of 17th and 18th century music wire*.
8. Skowronek, Martin, *Praktische Überlegungen und Beobachtungen zur Frage der Saitenstärken von frühen Hammerklavieren* ; in : *Studia Organologica*, Tutzing 1987.
9. Stefan Gschwendtner : *Überlegungen zur Auswertung alter vorgefundener Saitenbezüge bei Saitenklavieren*, Jahrbuch des Museums Carolino Augusteum, Salzburg, 1988.
10. Huber; Alfons, *Besaitung, Mensurierung und Stimmtonhöhen bei Hammerklavieren des 18.Jh.s*, in: *Das Musikinstrument* 7 u. 9, Frankfurt 1986. Alfons Huber; Cembalowirbel unter der Mikrosonde
11. Bakeman, Kenneth, *Stringing techniques of harpsichord builders*, Galpin Society Journal XXVII, 1974.
12. Hellwig, Friedemann, *Strings and stringing*, GSJ XXIX 1976.
13. Rémy Gug : *En remontant la filière de Thoiry à Nürnberg*, in *Musique ancienne* 1984
14. Karmarsch, Karl, *Über die Bedeutung und den Werth der in verschiedenen Arten von*

Fabriken üblichen Numerierung, in Jahrbücher des k.k. polytechnischen Institutes, Wien 1828.

15. Thomée : *Untersuchungen über Draht und Blechlehren*, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Bd X 1866
16. Harding; Rosamond, *The pianoforte*, Cambridge 1933.
17. Kützing, Carl, *Das Wissenschaftliche in der Fortepiano-Baukunst*, Bern 1844.
18. Huberson, M.G., *Nouveau manuel complet de l'Accordeur et du réparateur des pianos* – Manuels-Roret. Paris, 1926.
19. Montal, Claude, *L'Art d'accorder soi-même son piano*. Paris, J. Meissonnier, 1938.
20. Thon, C.F.G., *Abhandlung über Klaviersaiten-Instrumente, insonderheit der Forte-Piano und Flügel*, Weimar : 1843.
21. Turgan, *La Manufacture de MM.Pleyel, Wolff et Cie in les Grandes Usines de France*, Paris 1861.
22. Welcker von Gontershausen, H., *Der Flügel, oder die Beschaffenheit des Pianos in allen Formen*, Frankfurt am Main 1856.