



## LES CORDES MUSICALES

### STEPHEN PAULELLO

Fabriquer des cordes musicales signifie respecter les normes en matière de tolérances de diamètres, perfection du cylindre et du polissage, régularité du tréfilage, résistance à la corrosion, résistance et souplesse à l'écrasement etc. ... Fabriquer des cordes de qualité supérieure va au-delà et signifie : rechercher un excellent équilibre spectral, améliorer le facteur d'amortissement interne et accélérer le processus de stabilisation après mise en tension.

Grâce au soin apporté au tréfilage, à la vitesse de celui-ci, au choix du nombre de filières, au taux de déformation adopté, à la qualité du polissage, les cordes Stephen Paulello satisfont toutes ces exigences et présentent en outre un très bel aspect, une remarquable tenue de son et une régularité exceptionnelle dans leurs performances mécaniques.

La qualité et la couleur sonore des cordes ont alimenté jadis de nombreuses discussions entre musiciens, fabricants et techniciens. Depuis des décennies cependant, faute de choix, les cordes de piano ne font plus l'objet de recherches particulières dans le monde de la facture de pianos.

En proposant cinq sortes de fils d'acier en deux finitions, Stephen Paulello relance le débat en démontrant la nécessité de disposer d'un choix pour la fabrication ou la réparation des instruments « modernes » comme pour la restauration des pianos du passé.

Quelles sont les caractéristiques de ces différentes cordes ?

## LES CINQ TYPES DE CORDES :

### Ultra résistant :

- **TYPE XM** : Cordes ultra résistantes à l'impact.

Destiné aux pianos contemporains intensément joués et dont les cordes sont trop sollicitées dans l'aigu ou les basses (à vérifier avec le Typogramme\*).

**Sa résistance à la traction est supérieure au standard actuel.** Elle s'étend de 2600 à 3000 Newton par mm<sup>2</sup> selon le diamètre.

Rouleaux de 500g : de 0,775 mm à 0,950 mm - poli ou nickelé

Rouleaux de 2 Kg : de 0,975 mm à 1,200 mm - poli ou nickelé

### Moderne :

- **TYPE M** : Finesse et luminosité de timbre, excellent équilibre spectral.

Plutôt destiné aux pianos de **1880 à nos jours** (à vérifier avec le Typogramme\*).

Sa résistance à la traction correspond au standard actuel. Elle s'étend de 2200 à 2600 Newton par mm<sup>2</sup> selon le diamètre.

Rouleaux de 500 gr et 2 kg

De 0,725 mm à 1,6 mm en poli - de 0,775 mm à 1,6 mm en nickelé

\* Le Typogramme est un programme de calcul Excel téléchargeable gratuitement sur notre site internet.

## Post-romantique :

- **TYPE 0** : Une sonorité riche et complexe.

Pour les instruments post-romantiques, ou en montage hybride sur les instruments modernes sous-sollicités dans le medium. On pourra monter du Type 0 dans le medium associé à du Type M, éventuellement XM, dans l'aigu (à vérifier avec le Typogramme\*). La charge de rupture s'étend de 1700 à 2200 Newton par mm<sup>2</sup> selon le diamètre. Rouleaux de 500 gr et 2 kg  
De 0,725 mm à 1,6 mm en poli - de 0,775 mm à 1,6 mm en nickelé

## Romantique :

- **TYPE 1** : Un timbre de violoncelle.

Plutôt destiné aux instruments romantiques, ou en montage hybride sur les instruments modernes sous-sollicités au passage : monter du Type 1 associé à du Type 0 et du type M. (à vérifier avec le Typogramme\*). La charge de rupture s'étend de 1200 à 1900 Newton par mm<sup>2</sup> selon le diamètre. Rouleaux de 500g : de 0,575 mm à 1,6 mm en poli - de 1,000 à 1,175 en nickelé

- **TYPE 2** : Réservé au pianoforte romantique

Plutôt destiné au pianoforte : vérifier la pertinence de l'emploi du type 2 à l'aide du Typogramme\*. L'année de fabrication n'est pas un critère de choix suffisant. La charge de rupture s'étale de 1000 à 1400 Newton par mm<sup>2</sup> selon le diamètre. Rouleaux de 500g : de 0,4 mm à 1,4 mm - finition polie uniquement.

## FINITION NICKELÉE :

Une protection de l'acier contre l'oxydation est indispensable. C'est pourquoi les **Types XM, M, 0 et 1** sont aujourd'hui commercialisés dans une version nickelée.

Une corde oxydée est plus difficile voire impossible à accorder. Sa qualité sonore est altérée : le son devient acide et court. Le nickelage protège l'acier de la corrosion et augmente ainsi la durée de vie des cordes. Il apporte également une séduction sonore supplémentaire immédiatement perceptible.

Le nickelage est fondamentalement différent de l'étamage parfois pratiqué. La technologie mise en œuvre est plus complexe, ce qui explique pourquoi de telles cordes n'ont jamais été produites jusqu'ici. La couche de nickel de 4μ, beaucoup plus dure que celle de l'étain, est étroitement liée à l'acier par électrolyse. Aucun délitement du nickel n'est à craindre lors du tressage des bouclettes ou de l'élongation de l'acier pendant le pinçage ou l'accord.

\* Le Typogramme est un programme de calcul Excel téléchargeable gratuitement sur notre site internet.

## Comment choisir ?

- D'après la marque, la date et le lieu de fabrication du piano ? Ces données sont documentaires mais insuffisantes.

- Selon la masse volumique du métal ? Un facteur négligeable.

Cette indication semble importante puisqu'elle entre dans la formule de calcul de la force de traction d'une corde. La masse volumique s'exprime en grammes / cm<sup>3</sup> et se situe, selon le matériau utilisé, entre les valeurs minimales de 7,65g/cm<sup>3</sup> pour le fer et maximales de 7.95g/cm<sup>3</sup> pour certains aciers. Toutefois, sachant qu'entre ces extrêmes, on obtient une différence de force de traction de l'ordre de 4 % seulement, on peut considérer que ce facteur est négligeable.

- En observant le module d'élasticité ou module de Young : E ? Un paramètre intéressant.

Le module d'élasticité n'entre que de façon infime dans le calcul de la force de traction. En revanche, il intervient dans le calcul du taux d'inharmonicité d'une corde vibrante. De nombreux relevés d'inharmonicité pratiqués sur des cordages anciens en excellent état ont permis de constater que les caractéristiques élastiques des différentes cordes examinées étaient, selon l'époque, très proches les unes des autres.



- Grâce au pourcentage de sollicitation ? Voilà LE critère déterminant.

Ce critère concerne la *sonorité* et le *comportement mécanique* de la corde.

La sonorité : Il est unanimement admis qu'une corde, pour vibrer dans toute sa plénitude, avec un minimum d'amortissement interne ainsi qu'un bon équilibre spectral, devra être contrainte entre **50 et 75%** de sa **charge de rupture pratique (CRP)** selon le registre (Cette notion est expliquée plus loin). Une sous-sollicitation (**moins de 45%**) comme une sur-sollicitation (**plus de 85%**) donnent de mauvais résultats sonores.

Le comportement mécanique :

Il est indispensable de bien comprendre les trois notions suivantes :

La **charge de rupture nominale (Rm)** Cette valeur correspond à la force de traction maximale avant rupture à laquelle un fil d'acier peut être soumis. Les résultats, obtenus dans des conditions de laboratoire s'étalent de 1000 à 3000 Newton par mm<sup>2</sup>, selon le diamètre et le type d'acier utilisé.

La **charge de rupture pratique (CRP)** Le phénomène de fatigue ainsi que les divers coudages, bouclettes et ergots diminuent les performances des cordes une fois montées dans un piano. Il faudra donc minorer les résultats de la charge de rupture nominale (Rm) de 15 % pour le Type 2, et de 25 % pour les autres types. Ces valeurs sont données pour chaque type et chaque diamètre dans un tableau plus loin.

La **limite élastique** : Avant la phase ultime dite de rupture, la mise en tension d'une corde passe par deux premières phases :

- La phase élastique, pendant laquelle une sollicitation d'intensité peu importante produit un allongement qui disparaît dès que la contrainte cesse, la corde retrouvant sa dimension initiale.
- La phase plastique qui suit la phase élastique, pendant laquelle une sollicitation d'intensité importante produit un allongement qui demeure partiellement lorsque la contrainte cesse. On a alors affaire à une déformation irréversible, la corde ne tient plus l'accord, devient très inharmonique puis se rompt.

Il ne faudra pas dépasser la frontière située entre la phase élastique et la phase plastique. Cette frontière a pour nom la **limite élastique**. Elle se situe à 85 % environ de cette **charge de rupture pratique** selon les types de cordes.

**Il faudra donc éviter la sous-sollicitation comme la sur-sollicitation et tendre vers le niveau de contrainte idéal conseillé dans le Typogramme et exposé ci-après.**

## Comment obtenir cette sollicitation idéale dans la pratique?

Mesurer les longueurs vibrantes, les diamètres et les noter dans le Typogramme.

Le Typogramme est un programme de calcul Excel téléchargeable sur notre site internet. Il est gratuit et vous épargnera des calculs fastidieux.

La ligne de conduite générale est la suivante :

### Dans les basses

Une sollicitation de 50 à 55% est idéale.

On y parviendra grâce au montage hybride utilisant le type XM.

### Cordes blanches

Tenter d'atteindre 50% environ pour la première corde blanche au passage

60% environ pour le  $la_3$

65% environ pour le  $la_4$

70% environ pour le  $la_5$

75 % pour le  $la_6$

Vous constaterez que la plupart des instruments, anciens ou modernes, nécessitent un **montage en cordes hybride**, combinant plusieurs types d'acier.

Ces préalables nécessitent un peu de temps. Mais ce travail précis est récompensé par un excellent résultat sonore et un gain de temps lors de l'harmonisation.

Pour certains modèles de pianos, dont les plans de cordes ont peu évolué depuis leur conception, vous pourrez consulter nos **fiches de montage** préétablies.

## EXEMPLE TYPE D'AMELIORATION DU PASSAGE :

Steinway Modèle O (1,80 m): La première corde blanche après le passage est un Si. (Diapason : 442 Hz)

Note	Type	Longueur vibrante mm	Diamètre mm	Force de traction N	Sollicitation %
Si	<b>Type M</b>	1110mm	1,025mm	491, 1 N	<b>34.07</b>
Si	<b>Type 0</b>	1110mm	1,025mm	491, 1 N	<b>39.94</b>
Si	<b>Type 1</b>	1110mm	1,025mm	491, 1 N	<b>50.87</b>
Si	<b>Type 2</b>	1110mm	1,025mm	491, 1 N	<b>60.56</b>

Le **Type XM** n'a pas lieu d'être employé en tant que corde blanche au passage.

Si le **Type M** est employé, le pourcentage de sollicitation est insuffisant.

Si le **Type 0** est employé, la force de traction est identique, mais la sollicitation avec 39.94% n'est encore pas suffisante.

Si le **Type 1** est employé, la force de traction est identique, mais la sollicitation avec 50.87 % est maintenant satisfaisante.

Si le **Type 2** est employé, la force de traction est identique, la sollicitation avec 60.56 % est aussi satisfaisante.

Mais dans ce cas, pour un instrument moderne, le Type 2 ne sera pas conseillé. En effet, la couleur sonore très particulière du Type 2 se mariera mal avec la sonorité du reste du cordage.

**Pour un instrument postérieur à 1880 l'emploi du Type 2 en montage hybride est déconseillé.**

→ Finalement, nous choisissons le **Type 1** pour ce premier chœur de cordes.

Charge de Rupture Pratique = Rm (Charge de Rupture Nominale) - 25% (ou -15% pour le type 2)

Type XM			Type M			Type 0			Type 1			Type 2		
N°	∅	CRP	N°	∅	CRP	N°	∅	CRP	N°	∅	CRP	N°	∅	CRP
									9	0,575	373,93	5	0,4	158,00
									9,5	0,6	402,91	5,5	0,425	177,00
			12	0,725	762,28	12	0,725	674,66	10	0,625	432,58	6	0,45	197,00
			12,5	0,75	810,79	12,5	0,75	716,69	10,5	0,65	462,90	6,5	0,475	217,00
13	0,775	1048	13	0,775	862,20	13	0,775	759,60	11	0,675	493,83	7	0,5	238,00
13,5	0,8	1088	13,5	0,8	914,96	13,5	0,8	803,37	11,5	0,7	525,31	8	0,525	261,00
14	0,825	1154	14	0,825	969,23	14	0,825	847,95	12	0,725	557,31	8,5	0,55	283,00
14,5	0,85	1198	14,5	0,85	1020,77	14,5	0,85	893,31	12,5	0,75	589,78	9	0,575	307,00
15	0,875	1354	15	0,875	1077,19	15	0,875	939,41	13	0,775	622,68	9,5	0,6	331,00
15,5	0,9	1384	15,5	0,9	1134,85	15,5	0,9	986,23	13,5	0,8	655,96	10	0,625	356,00
16	0,925	1422	16	0,925	1193,99	16	0,925	1033,71	14	0,825	689,58	10,5	0,65	381,00
16,5	0,95	1514	16,5	0,95	1256,74	16,5	0,95	1081,84	14,5	0,85	723,50	11	0,675	407,00
17	0,975	1582	17	0,975	1315,64	17	0,975	1130,57	15	0,875	757,66	11,5	0,7	433,00
17,5	1	1649	17,5	1	1378,08	17,5	1	1179,86	15,5	0,9	792,03	12	0,725	460,00
18	1,025	1717	18	1,025	1441,66	18	1,025	1229,69	16	0,925	826,57	12,5	0,75	488,00
18,5	1,05	1786	18,5	1,05	1506,67	18,5	1,05	1280,02	16,5	0,95	861,22	13	0,775	516,00
19	1,075	1855	19	1,075	1572,80	19	1,075	1330,81	17	0,975	895,94	13,5	0,8	544,00
19,5	1,1	1924	19,5	1,1	1646,81	19,5	1,1	1382,02	17,5	1	930,70	14	0,825	573,00
20	1,125	1994	20	1,125	1715,06	20	1,125	1433,62	18	1,025	965,44	14,5	0,85	601,00
20,5	1,15	2064	20,5	1,15	1792,13	20,5	1,15	1485,59	18,5	1,05	1000,12	15	0,875	631,00
21	1,175	2135	21	1,175	1854,63	21	1,175	1537,87	19	1,075	1034,69	15,5	0,9	660,00
21,5	1,2	2205	21,5	1,2	1934,39	21,5	1,2	1590,43	19,5	1,1	1069,12	16	0,925	690,00
			22	1,225	2007,43	22	1,225	1643,25	20	1,125	1103,36	16,5	0,95	720,00
			22,5	1,25	2081,46	22,5	1,25	1696,28	20,5	1,15	1137,36	17	0,975	750,00
			23	1,3	2236,37	23	1,3	1818,76	21	1,175	1171,09	17,5	1	780,00
			23,5	1,35	2396,14	23,5	1,35	1944,18	21,5	1,2	1204,49	18	1,025	811,00
			24	1,4	2559,60	24	1,4	2072,39	22	1,225	1237,52	18,5	1,05	841,00
			24,5	1,45	2733,93	24,5	1,45	2203,25	22,5	1,25	1270,14	19	1,075	872,00
			25	1,5	2905,85	25	1,5	2336,61	23	1,3	1353,87	19,5	1,1	902,00
			25,5	1,55	3068,13	25,5	1,55	2472,34	23,5	1,35	1438,55	20	1,125	933,00
			26	1,6	3254,19	26	1,6	2610,29	24	1,4	1523,99	20,5	1,15	963,00
									24,5	1,45	1610,02	21	1,175	994,00
									25	1,5	1696,46	21,5	1,2	1024,00
									25,5	1,55	1783,14	22	1,225	1054,00
									26	1,6	1869,88	22,5	1,25	1084,00
												23	1,3	1158,00
												23,5	1,35	1232,00
												24	1,4	1308,00



Masse volumique moyenne :

Type XM: 7.85 g/cm<sup>3</sup>

Type M: 7.85 g/cm<sup>3</sup>

Type 0: 7.81 g/cm<sup>3</sup>

Type 1: 7.85 g/cm<sup>3</sup>

Type 2: 7.82 g/cm<sup>3</sup>

Module de Young : E

Type XM: 202 Gpa

Type M: 202 Gpa

Type 0: 202 Gpa

Type 1: 202 Gpa

Type 2: 202 Gpa