

RESTAURATION DE CLOCHES



GRASSMAYR
FONDEURS DE CLOCHES DEPUIS 1599

CAMPA



La fonderie Grassmayr fabrique des cloches depuis 1599. La maîtrise du son des cloches caractérise le savoir-faire artisanal de cette famille d'entrepreneurs autrichiens.

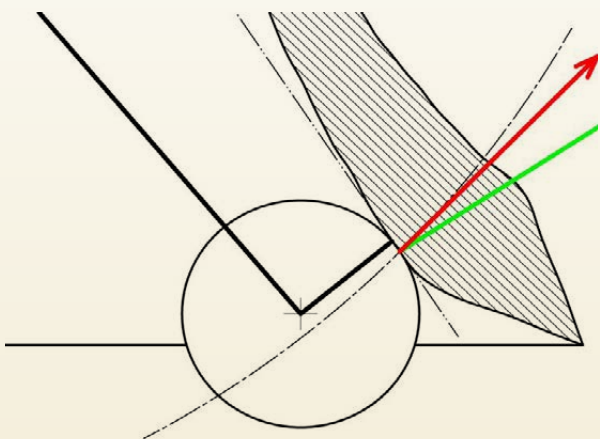


La fonderie Grassmayr étudie activement depuis plus de 25 ans les causes de la détérioration des cloches. Une coopération, pendant de nombreuses années, avec les instituts et universités techniques a permis d'avoir accès à de nouvelles connaissances, amenant, parfois, à la remise en question de postulats anciens et communément utilisés.

C'est donc, accompagnée de scientifiques, que la fonderie de cloches Grassmayr, soucieuse d'innover, est parvenue au cours des dernières années à développer et à améliorer les techniques de restauration des cloches tout en gardant un regard respectueux sur le passé.

Les cloches historiques sont des objets d'art appartenant au patrimoine national. Avec leurs sonneries, elles ont accompagné les hommes durant des centaines d'années et de nombreuses générations. Mais, le temps qui passe et des conditions quelquefois peu favorables, laissent des traces:

A | Battant



Des battants mal dimensionnés ou d'un acier trop dur font travailler le bronze des cloches d'une manière démesurée et causent des dégâts importants et prématurés pouvant aller jusqu'à la fêlure de la cloche. Il est à noter que ce dimensionnement peut être étudié scientifiquement grâce au projet de cloches européen ECC -ProBell®.

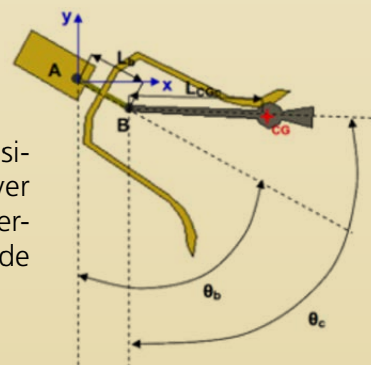
B | Usure du profil

Avec le temps et le nombre de sonneries, on constate une usure de la cloche au niveau des points de frappe du battant. Lorsque la réduction de l'épaisseur du profil dépasse 10%, apparaissent des fragilités critiques. Afin d'éviter de futures fêlures, il est absolument nécessaire de recharger par soudure les points de frappe usés.



C | Motorisation de la volée

des systèmes de motorisation mal dimensionnés ou par manque de possibilités de réglage, peuvent sur-solliciter la cloche en volée. Pour préserver sa durée de vie, il est alors nécessaire de mettre en place des matériels permettant un réglage précis des paramètres de pilotage du moteur : angle de volée, ajustement des asymétries, démarrage doux et progressif.



D | Bélières



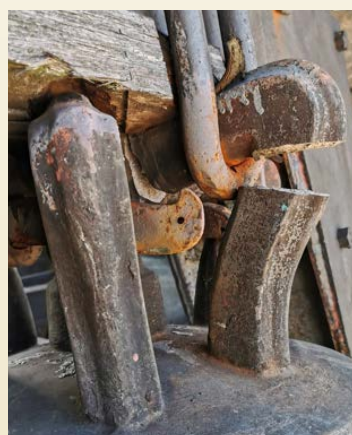
pour permettre la mise en place du battant, une bélière en acier était insérée dans la cloche au moment de la coulée. Une corrosion importante de cette dernière provoque une augmentation de volume qui peut générer des fissures et fractures de la partie bronze au niveau de la couronne. On peut aussi parfois constater une usure totale de l'anneau.

E | Défauts de coulé



inclusions d'argile, forte porosité ou un manque de bronze, fragilisent la résistance des cloches.

F | Couronnes des cloches



une anse cassée ou des fissures sont le résultat de longues années d'utilisation, d'une sollicitation excessive ou d'un défaut d'entretien (mauvaise fixation).

G | La guerre et le feu



La guerre et le feu ont été au cours de l'histoire les premiers ennemis des cloches. Heureusement de nombreuses cloches ont réussi à leur « survivre ».

Il est étonnant de constater le nombre important de réparations artisanales réalisées au cours des siècles passés: perçages, boulonnages, mise en place d'anses en acier, combinaisons avec de l'acier, soudures mal réalisées ...



Implant d'une anse en acier



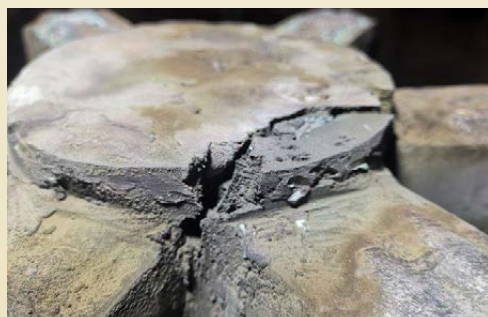
Bridage en acier de la couronne



Perçage du cerveau



Bridage en acier d'une anse



« Kit » de réparation



Perçages pour stopper la progression d'une fêlure



Soudures insuffisantes

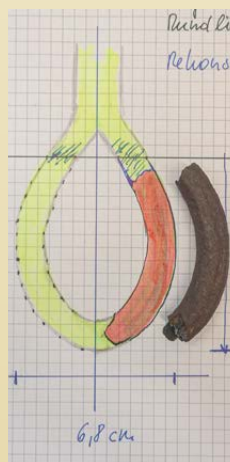
Des cloches historiques de grande valeur nécessitent, pour leur restauration, la mise en œuvre de procédés complexes se succédant en étapes de travail très spécialisées et réalisées avec une grande précision. Selon la nature des dégradations, les tâches et solutions apportées peuvent être différentes. L'aspect final sera déterminé par les exigences régionales des clients et les avis des experts et conservateurs des monuments historiques.



1| Nettoyage de la cloche



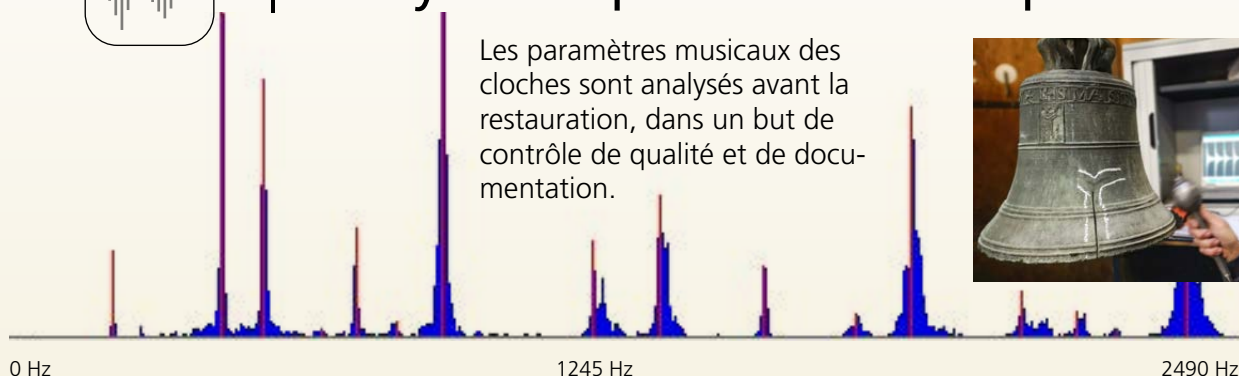
2| Analyse des dégradations



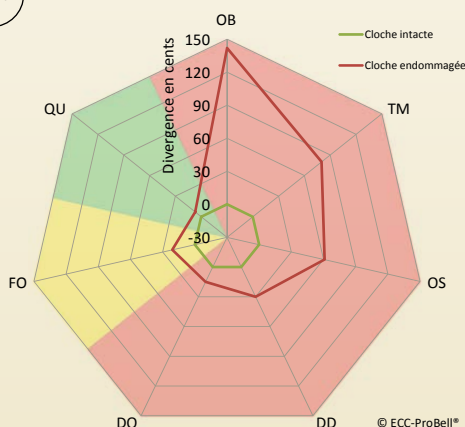


3| Analyse du spectre harmonique

Les paramètres musicaux des cloches sont analysés avant la restauration, dans un but de contrôle de qualité et de documentation.



4| Analyse de « l'empreinte musicale »



L'empreinte musicale est une analyse de la vibration de la cloche obtenue sur la base de plusieurs prises de sons périphériques. Pour certaines cloches, cette analyse musicale est intéressante et complémentaire de l'analyse des partiels.



5| Analyse visuelle



L'analyse se fait avec un produit coloré pénétrant (test de pénétration de fissure) qui permet de mettre en évidence fissures, inclusions d'argile et porosités dans le bronze de la cloche. Si la cloche est très sale ou particulièrement endommagée, il sera nécessaire, auparavant, de sabler précautionneusement sa surface.



6 | Copie des décors



Lorsqu'il est nécessaire d'ouvrir les fissures, les décors peuvent être endommagés. Aussi les sculpteurs de la fonderie en prennent préalablement un moulage, afin de s'assurer d'une restauration fidèle à l'original (moulage négatif).



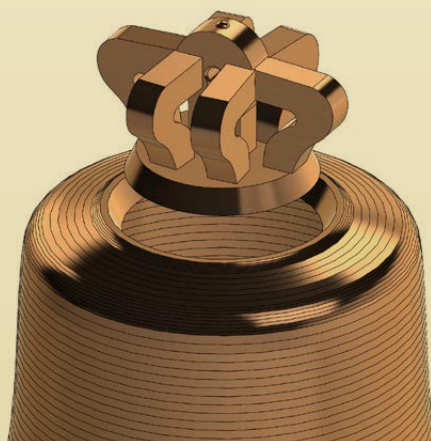
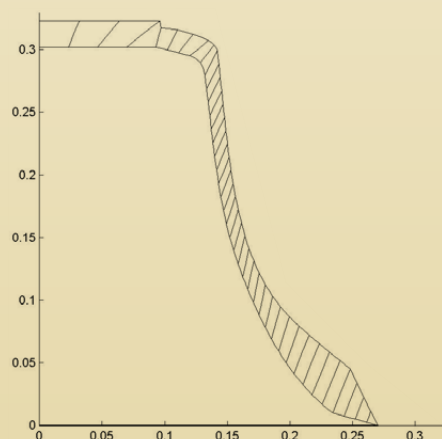
7 | Scan 3D de la cloche



Pour certaines cloches, ou pour certains procédés de restauration, un scan 3D est réalisé.



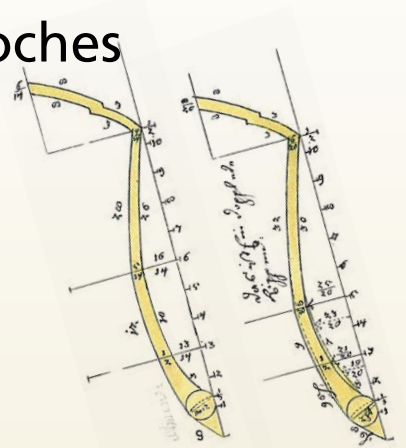
8 | Calcul du tracé de la cloche



Lorsqu'il faut recréer des portions manquantes, il est important de tenir compte du spectre sonore originel de la cloche; cela demande des calculs et simulations complexes pour retrouver le tracé du profil à obtenir.



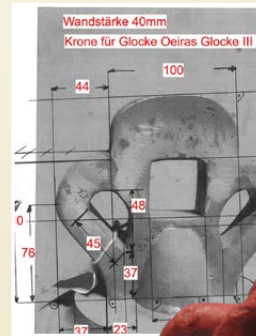
9 | Archives de la fonderie de cloches



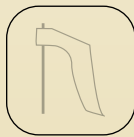
Les nombreux documents issus des archives de plusieurs générations de la fonderie de cloches Grassmayr sont fort utiles aux reconstructions qui seront ainsi fidèles aux cloches originales et classées.



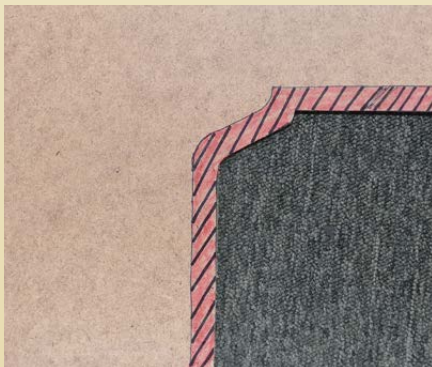
10 | Reconstructions



Nos sculpteurs, professionnels de grande expérience, modèlent les couronnes et décorations afin de reconstituer les manquants tels qu'à l'origine.



11 | Moulage



Grâce au calcul du tracé, un moule des segments de cloche manquants est réalisé par le fondeur, pour la coulée à venir.



12 | Ouverture des fissures



Les zones comportant des fissures, une importante porosité, des inclusions d'argile ou des micro-fissures mises en évidence par l'analyse au colorant, doivent être ouvertes à la meule avant de commencer le processus de soudure. Il est à noter que, dans le cas de micro-fissures, la fissure réelle est en général plus longue, que la fissure apparente sur la surface extérieure de la cloche.



13 | Analyses des métaux

Bronze n'est pas toujours bronze!

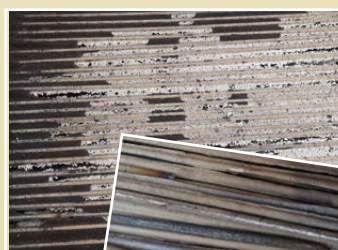
Et plus certainement encore pour des cloches vieilles de plusieurs siècles. L'analyse métallurgique détaillée de l'alliage constitue une étape très importante dans le processus de restauration.



Analyse chimique de la cloche de Nostitz (Allemagne)			
description	%	Temp. de fusion (°C)	Temp. d'ébullition (°C)
Cu	73,79	1083	2595
Sn	20,46	232	2270
Zn	2,15	419	907
Pb	2,15	327	1740
Sb	0,677	630	1750
Ni	0,524	1453	2732
Fe	0,166	1539	2750
Bi	0,059	271,3	1560
Co	0,017	1495	2900
Cd	0,0047	321	765
P	0,004	44	280
Al	0,001	660,5	2467
Si	0,0005	1410	2355
Mn	0,0002	1246	2100
Cr	0,0001	1907	2482
Be	0,0001	1278	2970
As	0,0001	613	613
	100,00		



14 | Fonte des baguettes de soudure



Les baguettes de soudure, dont la composition est définie à partir l'analyse des métaux précédente, sont préparées à la fonderie. Il est toutefois important de noter qu'elles ne contiennent jamais d'élément toxique, tel que arsenic, béryllium ou cadmium.



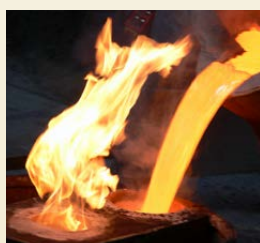
15| Forge des bélières en Inox



Si nécessaire une nouvelle bélière est forgée en acier inoxydable.



16| Moulage et coulage



Pour pouvoir être mise en place par soudure sur la cloche historique, cette bélière est ensuite garnie d'un élément de bronze moulé dans la fonderie.



17| Coulée des manquants



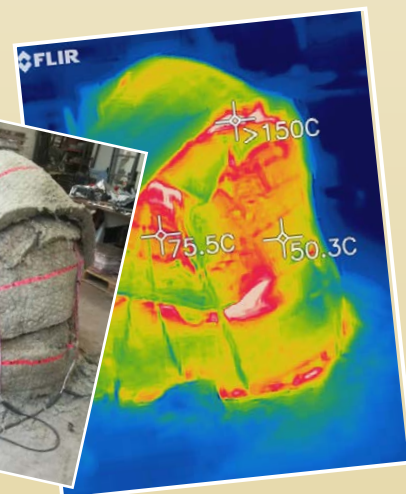
Les différents autres éléments manquants sont ensuite moulés.



18| Chauffage de la cloche



Pour une restauration durable de la cloche, la montée en température doit être contrôlée pour respecter précisément des courbes prédéfinies. La cloche est donc préparée avec des éléments chauffants et du matériel isolant.





19 | Soudure



Il est important de savoir que le bronze des cloches historiques contient, en plus du cuivre et de l'étain, de grandes quantités d'autres métaux. Le type d'alliage, ainsi que les incrustations par des éléments d'argile ou les porosités, rendent difficile le processus de soudure. De plus, pour éviter l'apparition de trop fortes tensions internes génératrices de fractures lors de la frappe du battant, la quantité de chaleur apportée pour la soudure doit être parfaitement maîtrisée.

La fonderie Grassmayr a mené des recherches sur plusieurs années en collaboration avec les universités et instituts scientifiques. Ces dernières ont permis de réaliser des comparatifs intéressants entre différentes techniques de soudure.

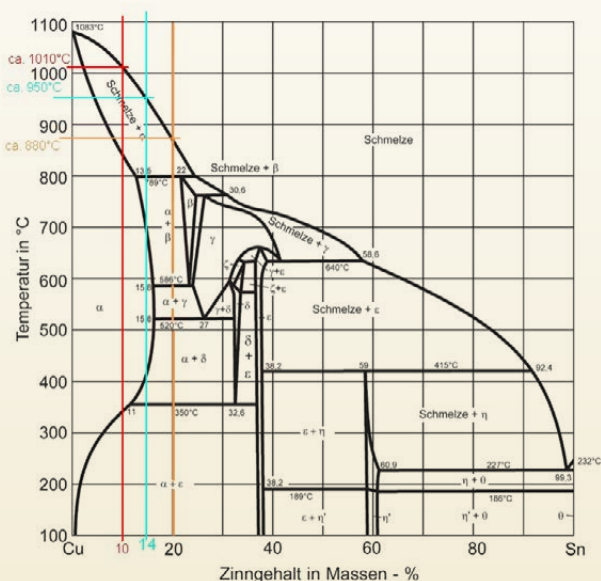


Les résultats obtenus ont permis de sélectionner le procédé TIG également utilisée dans des domaines industriels sensibles, où la qualité est plus importante que la rapidité de soudure. Comme ce procédé n'utilise pas d'électrode fusible, le courant de soudage peut parfaitement être réglé et adapté aux conditions propres à chaque restauration, l'apport en métal, à partir des baguettes précédemment préparées, se faisant en quantité maîtrisée suivant le besoin. Cette soudure se fait sous protection d'un gaz inerte.

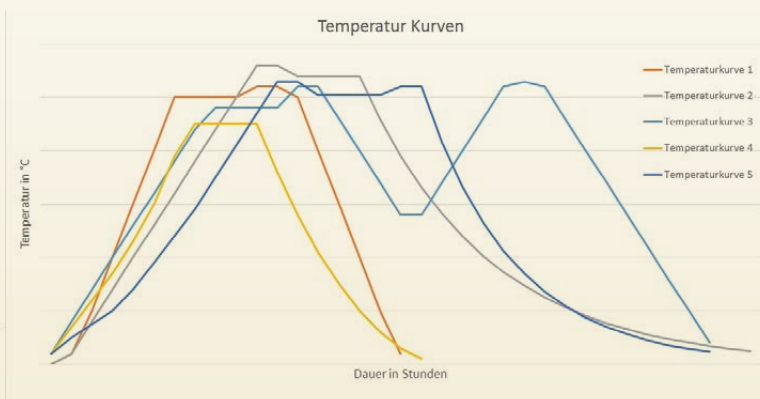




20 | Traitement thermique et processus de refroidissement



Le processus de refroidissement est contrôlé pour assurer la maîtrise des phases cristallines.



Ensuite la cloche subit un traitement thermique afin de relaxer l'ensemble des contraintes internes générées par l'opération de soudure.



21 | Contrôle de qualité

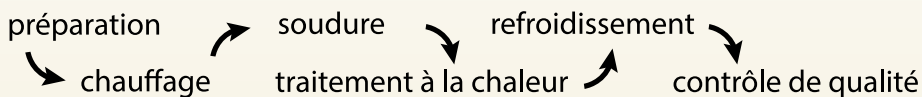
Après le refroidissement, un premier contrôle visuel est fait pour s'assurer de la qualité des travaux réalisés.





22 | Répétition des opérations

Suivant l'étendue et l'importance des opérations de restauration, ce cycle de travail peut se répéter plusieurs fois:



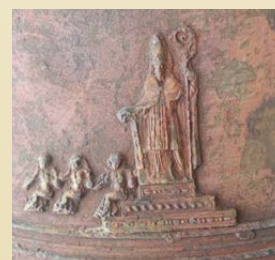
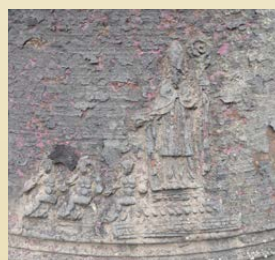
23 | Nettoyage de la surface de la cloche:



Les corps étrangers présents sur la surface de la cloche, en général un mélange de particules de poussière avec du vert-de-gris, brûlent lors du chauffage de la cloche et se transforment lors du refroidissement en petites plaques fines de diverses couleurs. Ces dernières sont simplement éliminées par brossage.



Après ce nettoyage, la surface de la cloche a un aspect marron, rouge ou gris, selon le mélange de métaux et les processus d'oxydation traversés.





24| Meulage des excédents



Il est indispensable, pour la qualité de la restauration de la cloche, de réaliser une soudure en excès. C'est lorsque l'on enlève le bronze en surplus que la surface obtient sa couleur « bronze brillante ».



25| Reconstruction des décors



L'objectif de la restauration est également de recréer les décors de la cloche. Les sculpteurs de la fonderie Grassmayr prennent les empreintes en silicone des décors existants (images, ornements et textes). A partir de là sont fabriqués des moulages positifs en cire qui vont permettre la reconstitution des décors au plus proche de l'original.



26| Surface de la cloche

La surface de la cloche va être traitée différemment, avec précaution et respect, en fonction des souhaits du client et des avis des experts et conservateurs des monuments historiques. Il est important de noter, que la fonderie de cloches Grassmayr n'utilise, pendant son processus de soudure, aucune pâte de bronze, ni aucun autre matériau de remplissage pour cacher les trous, ou masquer des porosités. 4 options de finition sont disponibles:



26a| option 1 « aucun traitement »:



les zones de soudure ne sont pas traitées après meulage : la surface « bronze clair » des zones soudées reste cuivrée et se différencie de la patine « vieillie » de la surface de la cloche non traitée. Avec le temps, ces zones vont à nouveau s'oxyder et les couleurs se rapprocheront.

26b| option 2 « patine des zones de soudure » :

les surfaces de la cloche, qui ont un aspect plus clair et cuivré après le travail des zones de soudure, sont patinées (oxydation artificielle du bronze). La couleur obtenue de la patine sera légèrement différente de celle du reste de la cloche (patine « vieillie »), de sorte que la zone de la soudure restera facile à discerner.



26c | option 3: « patine de la cloche »:

pour un rendu de couleur plus uniforme, la cloche toute entière peut être patinée.



gebürstet



patiniert

26d | option 4 « cirage de la cloche » (en complément des options présentées ci-dessus):

A la demande et en concertation avec l'inspection des monuments historiques, une fine couche de cire à micro-cristaux est apposée sur la surface de la cloche afin de fixer la patine. Cette étape supplémentaire est principalement demandée dans certaines régions.



patiniert



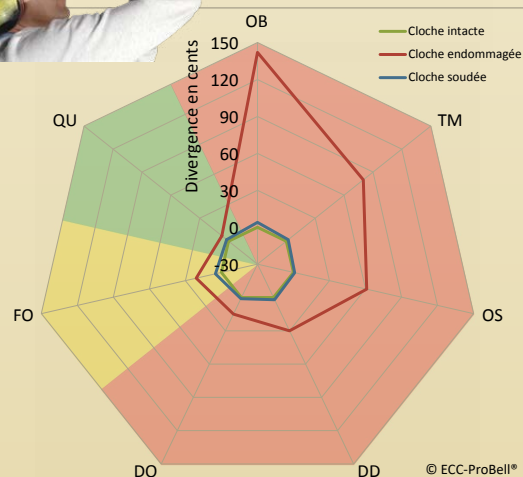
patiniert + gewachst



27 | Contrôle de qualité:



Analyse des sons de la cloche de Breda di Piave		
Fondue par De Poli 1869 à Vittorio Veneto (Cenedi)		
Tracé	Octave	
Note au coup	re#3 -20	Accordage en cents
Octave basse ou	re#2 ±0	1 cent = 1/100 demi ton
Fondamentale	re#3 -14	Note de référence : La3 440 Hz.
Tierce mineure	fa#3 -9	
Quinte	la#3 -15	Poids: 971 kg
Octave supérieure	re#4 -21	Diamètre: 118,4 cm
Duo décime	la#4 -76	Durée de résonnance:
Double octave	re#5 +37	122 secondes



Après la restauration, la qualité sonore de la cloche est contrôlée. Une nouvelle analyse spectrale est effectuée ainsi que, si nécessaire, une nouvelle prise de « l’empreinte musicale ».

références pour la restauration

Des trésors de cloches historiques d'époques anciennes peuvent, grâce au processus de restauration de la fonderie de cloches Grassmayr, de nouveau sonner pour les générations à venir.



ANDORRE



BELGIQUE



ESPAGNE



AUTRICHE



ALLEMAGNE



ITALIE



PORTUGAL



FRANCE



PAYS-BAS



SUISSE



info@campa.com
www.campa.com



GRASSMAYR
FONDEURS DE CLOCHES DEPUIS 1599

info@GRASSMAYR.at
www.grassmayr.at

