



HAL
open science

Comparaison de deux clarinettes séparées par deux cent ans d'évolution : Tentative d'hybridation amusante et instructive entre facture instrumentale, modèles physiques et synthèse sonore

P.-A Taillard, P Sanchez

► To cite this version:

P.-A Taillard, P Sanchez. Comparaison de deux clarinettes séparées par deux cent ans d'évolution : Tentative d'hybridation amusante et instructive entre facture instrumentale, modèles physiques et synthèse sonore. CFA 2016 / VISHNO, Apr 2016, LE MANS, France. pp. 1777-1783. hal-01311041

HAL Id: hal-01311041

<https://hal.science/hal-01311041>

Submitted on 3 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CFA/VISHNO 2016

Comparaison de deux clarinettes séparées par deux cent ans d'évolution : Tentative d'hybridation amusante et instructive entre facture instrumentale, modèles physiques et synthèse sonore

P.-A. Taillard^a et P. Sanchez^b

^aFNHW, Schola Cantorum Basiliensis, Cerisier 16a, 2300 La Chaux-De-Fonds, Suisse

^bLaboratoire de Mécanique et d'Acoustique, 4 impasse Nikola Tesla, CS 40006, 13453
Marseille, France
taillard@hispeed.ch



LE MANS

Cette étude amusante et instructive se propose de vérifier par hybridation d'où proviennent les principales différences de sonorité entre une clarinette Sib Böhm moderne (Buffet Crampon modèle Prestige) et une clarinette historique (copie réalisée par R. Tutz d'après H. Grenser, Dresde, vers 1800). On compare l'impédance d'entrée mesurée pour différents doigtés à l'aide d'un pont d'impédance ainsi que la fonction de transfert permettant de lier le signal de pression mesuré par un bec instrumenté et celui mesuré par un microphone disposé devant l'instrumentiste. De ces mesures, on tire un modèle numérique permettant d'approximer le résonateur et le rayonnement. Les simulations permettent de prédire assez précisément certaines caractéristiques, comme la fréquence de jeu. En comparant les sons externes obtenus en intervertissant les modèles de rayonnement, on constate une différence de sonorité audible mais relativement modeste entre le rayonnement de l'instrument moderne et celui de l'instrument historique. En intervertissant physiquement les excitateurs des 2 instruments, à l'aide d'un baril d'adaptation, on constate une différence de sonorité importante, que les modèles numériques d'excitateurs usuels ne sont pas en mesure de reproduire à l'identique, bien qu'on constate lors des simulations une grande sensibilité pour de subtiles modifications du modèle d'excitateur. Ces expériences montrent que l'excitateur est certainement l'élément dont la modélisation acoustique laisse le plus à désirer.

1 Introduction

L'objectif de cette petite étude exploratoire est de comparer les deux clarinettes en sib qui m'ont accompagné durant presque toute ma carrière musicale. Ces deux instruments sont représentatifs de deux stades d'évolution de la facture instrumentale séparés par environ 200 ans d'évolution. Tous deux sont à leur manière d'excellents instruments de concert, satisfaisant pleinement aux exigences professionnelles. La comparaison que nous allons effectuer se base à la fois sur les données de facture instrumentale, sur des mesures acoustiques et sur des simulations. A partir de ces données, on essaiera d'observer l'effet relatif de certaines caractéristiques par hybridation, par exemple en rendant les deux instruments jouables avec le même bec instrumenté, ou en essayant de projeter le son externe à partir du son dans le bec, en intervertissant les fonctions de transfert modélisant le rayonnement.

L'idée de cette étude a été suggérée par le thème de la session "facture instrumentale : histoire et innovation". Malheureusement un certain nombre de pannes indépendantes de notre volonté ont fait que les mesures d'impédance, prévues initialement pour novembre 2015 n'ont pu être réalisées que début mars 2016, ce qui a laissé très peu de temps pour analyser les données et écrire ce papier, qu'il faudra lire avec une certaine indulgence...

Il est structuré ainsi : la Sec. 2 présente le matériel et les méthodes, la Sec. 3 relate quelques observations perceptives réalisées par hybridation, suivie des conclusions en Sec. 4.

2 Matériel et méthodes

2.1 Présentation des protagonistes

La première clarinette étudiée est une copie d'un instrument de Heinrich Grenser, Dresde, datant approximativement de 1800, réalisée par Rudolf Tutz à Innsbruck en novembre 1987. Le diapason est approximativement fixé à 430 Hz. Cet instrument constitue le premier prototype d'un modèle dont ce facteur a réalisé depuis une longue série de copies. Cette clarinette en buis, comportant 9 clés en laiton, a servi notamment à réaliser deux CD ayant obtenu



FIGURE 1 – Les deux instruments étudiés

chacun un Diapason d'or [1] et [2], dont on peut écouter gratuitement quelques extraits sur Internet.

Le deuxième protagoniste est une clarinette moderne doigté Böhm, de marque Buffet Crampon, modèle Prestige, fabriquée en 1981, en grenadille, dont le modèle est toujours en vente actuellement. Le diapason est approximativement fixé à 442 Hz.

Il s'agit donc de deux instruments usagés, ayant tous deux approximativement 30 ans de service, voir Fig. 1.

2.2 Mensurations

Les mensurations des cheminées sont données dans les Tables 1 et 2, tandis que les mensurations de la perce des deux instruments sont données dans la Table 3 et illustrées sur la Fig. 2. Toutes les dimensions sont données en mm.

L'origine du système d'axe longitudinal (axe x) se situe à la jonction entre la sortie du bec et l'entrée dans le baril. La hauteur des cheminées a été mesurée relativement à l'axe de la cheminée et le diamètre minimal (généralement du côté externe) a été relevé. Par contre le sous-coupage n'a pas été mesuré, alors qu'il joue un rôle important sur les fréquences de jeu. Pour cette raison, nous avons renoncé à calculer l'impédance d'entrée en fonction du doigté, ce qui interdit une comparaison avec les mesures.

La mesure du diamètre de la perce a été effectuée à l'aide de micromètres d'intérieur Tesa, autorisant une précision de l'ordre du centième de mm. Ces micromètres présupposent que la perce soit circulaire, ce qui n'a pas été vérifié, en particulier pour l'instrument en buis, essence qui est sujette à d'importants problèmes de déformation. De plus, certaines corrections manuelles ont été apportées à la perce, en particulier dans les

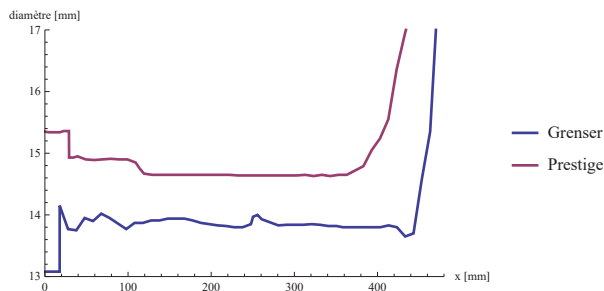


FIGURE 2 – Percées relevées pour les deux instruments

20 derniers cm de l'instrument, où les mesures sont à considérer comme très indicatives. L'instrument historique a été mesuré avec le baril d'adaptation ayant servi aux mesures d'impédance et permettant de jouer le bec moderne, .

On observera sur la Grenser que la cheminée du Lab2 (courte et de grand diamètre) est positionnée après celle du Sol2 (très longue cheminée percée de biais, faible diamètre). Sur les instruments plus tardifs, ce défaut est corrigé par l'adjonction d'une clé permettant d'obturer la cheminée du Sol, qui de ce fait peut être déplacée à une position acoustiquement plus favorable.

La partie cylindrique de la perce de l'instrument moderne présente un diamètre de 14.65 mm, contre 13.85 pour l'instrument historique. Sur l'instrument moderne, la perce poly-cylindrique développée par Robert Carrée (RC) apparaît clairement. Malgré ses 35 ans d'âge, la perce est régulière au centième de mm, ce qui n'est pas le cas de l'instrument historique, dont la perce a été notamment déformée par des fentes au niveau de la clé de registre.

2.3 Becs

Le bec de l'instrument moderne est un Vandoren M30. Sa longueur totale est de 89.6 mm et le volume intérieur de la perce est évalué à $11.2 \text{ cm}^3 \pm 0.2$. Le cône de sortie a un diamètre de 13.87 mm à 45 mm de la sortie et de 14.85 mm à la sortie.

Il est instrumenté avec deux capteurs de pression Endevco 8507C-2. Le premier capteur mesure la pression dans la perce, à environ 65 mm de la pointe du bec, perpendiculairement à la perce. Le deuxième capteur, mesurant la pression dans la bouche, est inséré sur le côté gauche du bec, longitudinalement à environ 5 mm de la pointe du bec. Deux capteurs optiques à LED infrarouge/Phototransistor Everlight ITR8307 ont été installés dans le bec, dont leur centre est situé à environ 6 mm de la pointe du bec.

Le bec historique n'est pas une copie du bec original de Grenser, mais celle d'un modèle relativement typique des clarinettes allemandes du 19^{ème} siècle. Sa longueur est de 87.0 mm et le volume intérieur de la perce est évalué à $9.9 \text{ cm}^3 \pm 0.2$. Le cône de sortie a un diamètre de 13.40 mm à 45 mm de la sortie et de 14.70 mm à la sortie.

2.4 Barils et barils d'adaptation

Le baril original de l'instrument moderne a une longueur utile (hors tenons) de 28.9 mm pour une perce approximativement cylindrique de 15.36 mm de diamètre. J'ai construit un baril d'adaptation permettant de jouer le bec historique sur l'instrument moderne dont les valeurs correspondantes sont (32.4, 15.12). Pour l'instrument historique, les valeurs respectives sont : baril original (25.2, 14.05) et baril d'adaptation (17.8, 13.08).

2.5 Mesures d'impédance

Les deux instruments ont été mesurés au LMA à Marseille à l'aide du pont d'impédance développé au Mans par le CTTM. La plage mesurée va de 80 à 4000 Hz. On a utilisé la même pièce d'adaptation pour remplacer l'embouchure, qui est de perce cylindrique, de 15 mm de diamètre et 64.5 mm de longueur, soit un volume de 11.4 cm^3 (ce qui correspond assez bien aux 11.2 cm^3 mesurés pour le bec moderne). Pour l'instrument historique, on a utilisé le baril d'adaptation lors de la mesure.

2.6 Estimation modale de l'impédance d'entrée

Les impédances mesurées ont été soumises à une estimation modale, à l'aide de la méthode décrite sous [3]. La Fig. 3 représente les fréquences et les amplitudes modales estimées pour les deux instruments, montrant des différences significatives. Les doigtés à fourche (Sib2, Fa3, Fa4, Do5) ont une amplitude moindre et présentent un dédoublement des pôles au niveau de la résonance suivante. L'amplitude est également moindre le Réb3, dont le trou est placé trop haut et de trop petit diamètre, à cause du tenon. On constate que les résonances du premier régime sont plutôt plus puissantes sur l'instrument historique, alors que le deuxième régime présente un comportement très différent : l'instrument historique est plus facile à jouer sur les doigtés longs, à l'inverse des doigtés courts (en particulier le Do5 qui est particulièrement difficile d'émission : on doit fermer presque entièrement la clé de registre pour l'émettre confortablement). L'amplitude des deux premiers pics est égale pour la note Mi4 (alors que le premier pic domine au-delà). Les notes de "gorge" (3-4 dernières notes du premier régime) présentent des pics de moindre amplitude et les pôles aux alentours de la 2^{ème} résonance ont une répartition assez anarchique (*c.f.* fréquence de coupure), d'où la médiocre qualité de ces notes.

2.7 Fonction de transfert son interne / son externe

Plusieurs tentatives ont été menées dans le but de simuler en temps réel le signal de pression externe à l'aide du signal de pression dans le bec. L'essai le plus convaincant a été opéré ainsi : on prélève pour chaque note de l'instrument (jouée nuance *forte*) 3 secondes de signal (signal de l'Endevco situé dans la perce du bec et signal externe mesuré par un microphone BK situé

à 1.5 m devant le clarinettiste) et on calcule le signal moyen, toutes notes confondues. On évalue la réponse impulsionnelle de la fonction de transfert de la manière usuelle (aller/retour dans le domaine de Fourier), mais en négligeant la phase (puisque l'oreille humaine est relativement insensible à la phase, du moins aux fréquences de jeu). Ceci permet d'obtenir une réponse impulsionnelle symétrique (la transformée de Fourier inverse a été effectuée sur la base du module de la fonction de transfert), ce qui réduit de moitié le nombre de multiplications nécessaires lorsqu'on convolue le signal dans le bec avec cette réponse impulsionnelle. La durée de la réponse impulsionnelle a été réduite à une soixantaine de valeurs discrètes en la multipliant par une gaussienne, la tronquant ensuite près d'un passage à zéro. Ceci a pour effet de lisser la réponse fréquentielle.

Les fonctions de transfert moyennes évaluées pour les deux instruments sont illustrées en Fig. 4. On constate que la différence entre les deux est étonnamment faible, malgré la grande différence dans les diamètres des trous latéraux.

Cette manière de faire permet de simuler le signal externe de manière simple et relativement crédible, bien que la méthode soit largement perfectible. En particulier, on devrait effectuer les mesures en chambre anéchoïque, à l'aide d'un dispositif suffisamment puissant, autorisant un meilleur balayage en fréquence pour chaque doigté.

2.8 Mesure de la fréquence de jeu

Il est bien connu que la fréquence de jeu peut varier considérablement suivant les paramètres de jeu adoptés par le clarinettiste et le type d'exercice demandé. Dans le but d'évaluer une fréquence de jeu moyenne, dans une situation proche de la réalité musicale, le clarinettiste a reçu comme consigne de préluder lentement durant une dizaine de minutes en variant constamment les exercices, de manière à ce que chaque note soit jouée de nombreuses fois dans différents contextes (intervalles, gammes et arpèges montants, descendant ou brisés), avec une nuance générale *mezzo forte*. Il a été demandé de jouer le plus naturellement possible, comme dans un contexte musical, mais sans prêter particulièrement attention à la justesse. Par contre, il a été demandé d'évacuer un peu d'air après chaque inspiration, de manière à réduire les effets sur la vitesse du son de la variation du taux de CO_2 dans l'air expiré. Les mesures ont été réalisées avec une température ambiante de 20°C et les séries de mesures ont été enchaînées sans pauses notables, en jouant la même anche (par type de bec).

La fréquence de jeu a été déterminée sur la base des enregistrements réalisés par autocorrélation (tronçons de 4096 points, fréquence d'échantillonnage 44100 Hz), en déterminant la fréquence fondamentale médiane correspondant aux 10 premiers pics d'autocorrélation. Seules les valeurs cohérentes avec celles du tronçon précédent et suivant ont été retenues. Les mesures de fréquences (converties en cents par rapport au diapason théorique de chaque instrument) ont été triées par ordre croissant pour chaque note (voir Fig. 5), puis on

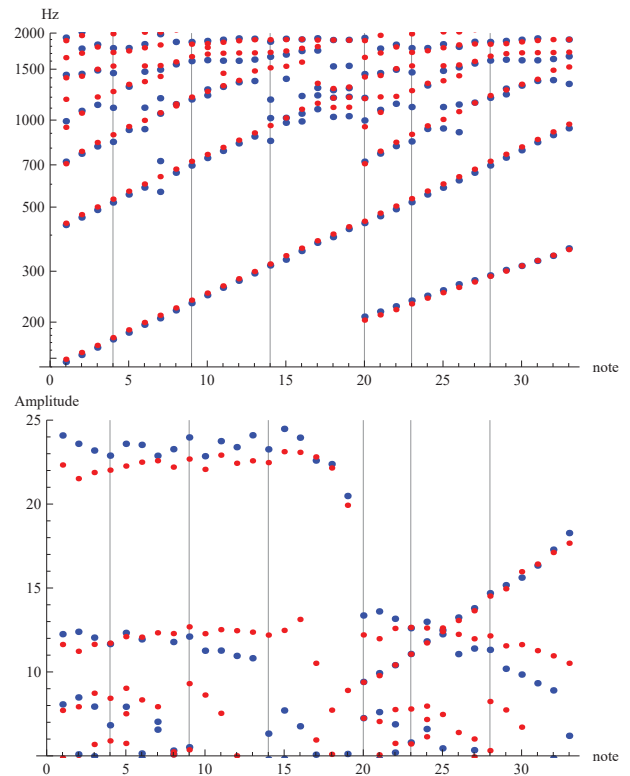


FIGURE 3 – Fréquences modales (partie imaginaire des pôles, en haut) et amplitudes modales adimensionnées (en bas), obtenues par estimation modale à partir des mesures d'impédance d'entrée de l'instrument historique avec baril d'adaptation (bleu) et moderne (rouge), pour chaque doigté, de Mi2→1 à Do5→33. Les lignes verticales correspondent aux doigtés Sol2, Do3, Fa3, Si3, Ré4 et Sol4.

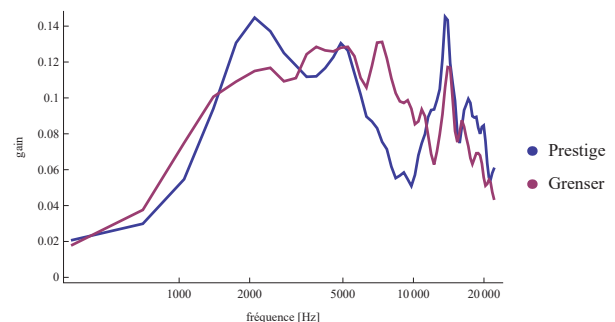


FIGURE 4 – Fonction de transfert simplifiée issue de la mesure entre le signal de pression interne dans la perce du bec et celle du signal de pression externe, à 1.5m en face du clarinettiste, pour l'instrument historique (Grenser) et l'instrument moderne (Prestige). Fréquences en Hz et unités arbitraires pour le gain. La partie imaginaire de la fonction de transfert est considérée comme nulle dans ce modèle simplifié.

détermine la médiane (1/2) et les deux quartiles (1/4 et 3/4). Le résultat est illustré à la Fig. 6.

2.9 Simulations

Un synthétiseur Max MSP fonctionnant en temps réel a été développé à partir du modèle proposé par Guillemain et coll. [4]. Le résonateur a été modélisé sur la base de l'estimation modale de l'impédance d'entrée mesurée. Le modèle d'anche a été régularisé de manière à assurer la continuité de la dérivée du débit en phase de fermeture (donc l'anche ne ferme jamais complètement le canal : on simule ainsi une fuite résiduelle). Un conduit vocal a été ajouté au modèle, modélisé à l'aide de 2 modes venant s'ajouter à l'impédance d'entrée [5], [6]. Les paramètres ont été ajustés de manière à obtenir des signaux relativement similaires à ceux observés dans la bouche (résonances simulées à 175 et 2150 Hz). L'influence du conduit vocal sur la fréquence de jeu est assez négligeable avec la configuration utilisée pour les simulations. La fréquence de jeu simulée a été déterminée en utilisant les paramètres de jeu suivants : pression dans la bouche $\gamma = 0.6$, paramètre d'embouchure $\zeta = 0.2$, fréquence de résonance d'anche $f_{anche} = 1300$ Hz, facteur qualité d'anche $q_{anche} = 0.2$, surface équivalente pour le calcul du débit d'anche $\lambda_{anche} = 0.2$. Ces valeurs ont été sélectionnées parce qu'elle permettent de jouer toutes les notes étudiées des deux instruments, sans sifflements ni changements de régime.

3 Observations perceptives et hybridation

Les différents éléments développés permettent une évaluation perceptive de leur rôle dans le fonctionnement de l'instrument.

On constate par l'oreille que la différence entre les fonctions de transfert son interne/externe de chaque instrument joue un rôle relativement négligeable sur la sonorité, que ce soit à partir des signaux mesurés ou des signaux synthétisés, bien qu'une différence soit perceptible aux alentours de 2000 Hz.

Par contre, un échange des excitateurs produit un effet considérable sur la sonorité, sans avoir cependant une incidence très importante sur la fréquence de jeu, particulièrement pour l'instrument historique. Pour l'instrument moderne, le baril d'adaptation développé laisse franchement à désirer du point de vue de la justesse. Ce constat à propos de l'importance cruciale de l'excitateur est corroboré par les simulations effectuées. De petits changements dans le modèle d'anche (par exemple en faisant varier le paramètre de régulation) produisent des effets très perceptibles sur le timbre.

On constate que les fréquences de jeu prédites par synthèse sont proches des fréquences mesurées en situation de jeu, particulièrement pour l'instrument moderne (Fig. 7). Celles-ci sont aussi bien corrélées avec les fréquences des résonances déterminées par estimation modale à partir des mesures de l'impédance d'entrée. Pour l'instrument historique, les différences

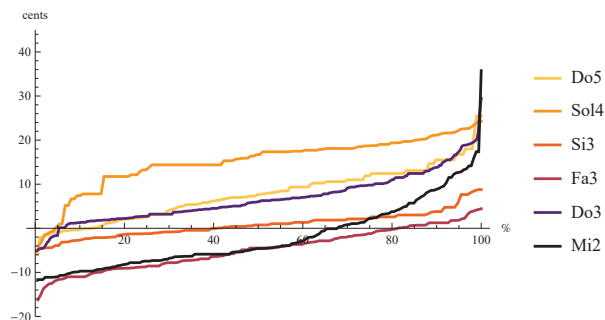


FIGURE 5 – Distribution des mesures de justesse effectuées sur la clarinette moderne avec bec moderne (déviations en cents par rapport au diapason 442 Hz, tempérament égal). Entre 100 et 300 mesures individuelles sont cumulées pour chaque doigté.

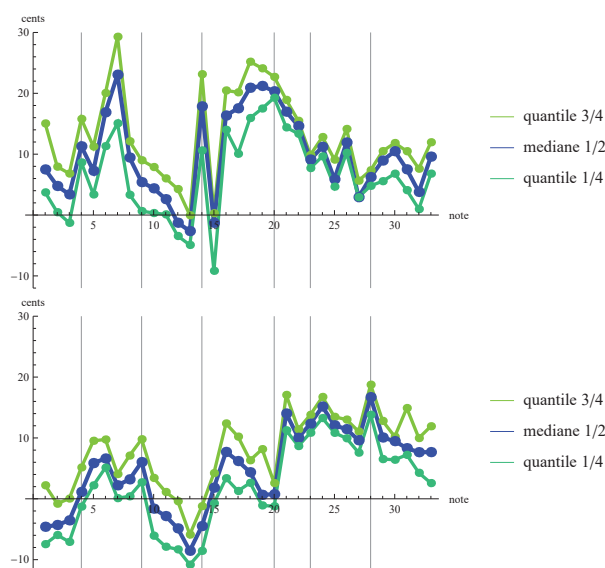


FIGURE 6 – Médiane et quartiles des mesures de justesse effectuées sur la clarinette historique avec bec historique (diapason 430 Hz, en haut) et sur la clarinette moderne avec bec moderne (diapason 442 Hz, en bas).

sont plus importantes, par exemple pour le doigté à fourche sib2 ou pour les notes de la main gauche qui sonnent nettement plus bas en réalité qu'avec le synthétiseur. Il serait intéressant d'investiguer s'il s'agit d'un effet non linéaire dû au faible diamètre des trous ou d'une compensation d'embouchure de la part du clarinettiste, de manière à homogénéiser l'amplitude sonore entre les différents doigtés.

4 Conclusions

Les mesures réalisées mettent bien en évidence certaines différences acoustiques entre les deux instruments. Les modèles numériques de synthèse sonore permettent de prédire de manière très satisfaisante un certain nombre de caractéristiques de ces instruments, comme la fréquence de jeu, la facilité d'émission et même certaines caractéristiques du timbre (comme par exemple la sonorité caractéristique des doigtés

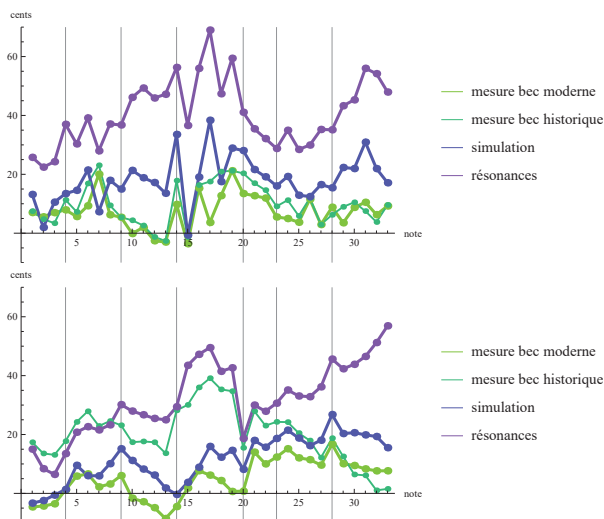


FIGURE 7 – Médiane des mesures de justesse avec béc moderne et historique, fréquences mesurées dans les simulations et fréquences modales des résonances soutenant l'oscillation. En haut instrument historique, en bas instrument moderne.

à fourche). D'une manière générale la simulation de l'instrument moderne est meilleure par rapport à l'expérience que celle de l'instrument historique (probablement à cause des pertes non-linéaires causées par les cheminées de petit diamètre). Les différences dans le rayonnement du son mesuré sur un microphone externe sont étonnamment modestes entre les 2 instruments : les modèles de rayonnement peuvent être interchangeés sans causer de modifications très notables du son externe. Il s'ensuit très logiquement que si la modélisation du résonateur est très satisfaisante et que si les disparités de rayonnement ne jouent pas un grand rôle, les différences importantes de sonorité observées sont probablement imputables à l'excitateur. En effet, des phénomènes physiques compliqués interviennent dans les 3 premiers cm de l'instrument, qui mériteraient d'être mieux compris. On relèvera par exemple que la notion d'impédance d'entrée ne peut pas être appliquée au niveau du canal de l'anche, puisque le front d'onde n'est pas plan. Ce n'est qu'à partir de la partie conique de la perce du bec que le front d'onde devient quasiment plan. Dans ces conditions, il est réjouissant de constater que le modèle de bec à perce cylindrique utilisé dans les simulations permette de prédire les fréquences de jeu avec une précision de l'ordre de 5 à 10 cents à partir des mesures d'impédance d'entrée, ce qui correspond à l'ordre de grandeur observé lorsqu'on joue différentes anches.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet ANR Cagima. Nous sommes redevables à Jean Kergomard pour ses judicieuses remarques. Nous remercions la He-Arc ingénierie, à Neuchâtel, Suisse, pour les facilités accordées.

Références

- [1] Pierre-André Taillard and Edoardo Torbianelli. Cd carl maria von weber, grand duo concertant, harmonia mundi, 2001.
- [2] Pierre-André Taillard and Edoardo Torbianelli. Cd the romantic clarinet in germany, pan classics 10204, 2008.
- [3] Pierre-André Taillard, Fabrice Silva, and Philippe Guillemain. Simulation en temps réel de l'impédance d'entrée mesurée ou calculée des instruments à vent. In *13ème Congrès Français d'Acoustique*, 2016.
- [4] Philippe Guillemain, Jean Kergomard, and Thierry Voinier. Real-time synthesis of clarinet-like instruments using digital impedance models. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(1) :483–494, 2005.
- [5] Claudia Fritz. La clarinette et le clarinettiste : Influence du conduit vocal sur la production du son. *These de Doctorat, Université Paris*, 6, 2004.
- [6] Claudia Fritz and Joe Wolfe. How do clarinet players adjust the resonances of their vocal tracts for different playing effects? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(5) :3306–3315, 2005.

TABLEAU 1 – Cheminées Grenser

Nom	x	Diamètre	Hauteur
registre	62.9	3.3	11.2
La3	101.5	4.7	5.8
Lab3	106.1	3.5	6.0
pouce g	135.8	4.7	6.6
index g	153.2	5.8	6.3
majeur g	180.4	5.5	6.1
Mib3	197.3	4.7	6.0
annul g	211.7	5.2	5.9
Réb3	223.2	4.0	6.0
index d	256.8	5.5	6.4
Si3	276.3	3.8	5.7
majeur d	287.6	6.0	6.5
annul d	320.2	6.1	7.2
Sol2	356.8	6.1	12.6
Lab2	371.4	12.0	6.8
Solb2	409.5	5.8	5.8
fa2	448.0	9.0	5.7

TABLEAU 3 – Relevés de perçe des deux instruments étudiés.

Buffet Prestige		Copie Grenser	
x	diamètre	x	diamètre
0.0	15.35	0.0	13.08
4.8	15.34	17.7	13.08
12.8	15.34	17.8	14.15
17.8	15.34	27.8	13.77
22.8	15.36	37.8	13.75
28.9	15.36	47.8	13.95
29.1	14.93	57.8	13.90
34.1	14.93	67.8	14.02
39.1	14.95	77.8	13.95
49.1	14.90	87.8	13.86
59.1	14.89	97.8	13.77
69.1	14.90	107.8	13.87
79.1	14.91	117.8	13.87
89.1	14.90	127.8	13.91
99.1	14.90	137.8	13.91
109.1	14.85	147.8	13.94
114.1	14.75	157.8	13.94
119.1	14.67	167.8	13.94
129.1	14.65	177.8	13.91
139.1	14.65	187.8	13.87
156.9	14.65	197.8	13.85
161.9	14.65	207.8	13.83
171.9	14.65	217.8	13.82
181.9	14.65	227.8	13.80
191.9	14.65	237.8	13.80
201.9	14.65	247.8	13.85
211.9	14.65	250.3	13.97
221.9	14.65	255.7	14.00
231.9	14.64	260.7	13.93
241.9	14.64	270.7	13.88
251.9	14.64	280.7	13.83
253.0	14.64	290.7	13.84
263.0	14.64	300.7	13.84
273.0	14.64	310.7	13.84
283.0	14.64	320.7	13.85
293.0	14.64	330.7	13.84
303.0	14.64	340.7	13.82
313.0	14.65	350.7	13.82
323.0	14.63	358.3	13.80
333.0	14.65	373.3	13.80
343.0	14.63	383.3	13.80
353.0	14.65	393.3	13.80
363.0	14.65	403.3	13.80
373.0	14.72	413.3	13.83
383.0	14.79	423.3	13.80
393.0	15.05	433.3	13.65
403.0	15.24	443.3	13.70
413.0	15.55	453.3	14.58
423.0	16.36	463.3	15.35
433.0	16.94	475.3	18.20
443.0	17.46	483.3	18.80
479.0	19.60	489.4	20.00
485.0	21.10	515.9	29.60
493.0	22.00	530.7	34.80
493.3	22.00	552.5	44.60
500.8	24.00	573.8	57.00
516.8	28.90		
518.9	29.60		
524.1	31.80		
532.7	34.80		
535.1	36.00		
554.9	44.60		
573.5	52.70		
581.5	56.00		

TABLEAU 2 – Cheminées Buffet Crampon Prestige

Nom	x	Diamètre	Hauteur
registre	63.1	2.7	12.7
trille4	77.0	4.7	6.9
trille3	103.7	5.4	7.0
La3	113.0	5.4	6.9
Lab3	123.1	5.1	6.7
Sol3	140.8	4.9	5.7
pouce g	149.3	7.8	10.9
trille2	151.4	4.7	6.9
index g	162.6	5.0	8.8
Mi3	180.9	4.6	6.7
majeur g	195.1	6.7	8.9
Mib3 F	197.1	5.4	6.8
Mib3 C	199.8	5.8	7.0
annul g	218.1	7.7	7.3
Réb3	229.1	4.8	6.8
Do3	257.8	7.1	6.4
index d	273.0	8.1	9.0
Si2F	279.0	7.9	6.5
majeur d	299.6	7.8	9.0
annul d	322.4	9.6	9.0
Lab2	354.8	10.7	5.8
Sol2	381.9	12.0	5.1
Solb2	414.0	11.1	5.1
Fa2	452.4	11.5	4.4