

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



**Calcul de l'impédance d'entrée de la clarinette pour sa conception :
Hybridation du calcul en éléments finis et de la mesure d'impédance**

L. Hovasse^a, J. Cottier^a, J. Selmer^a et V. Gibiat^b

^aHenri SELMER Paris, 25 rue Maurice Berteaux, 78711 Mantes-La-Ville, France

^bInstitut Clément Ader, 3 rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France

lhovasse@selmer.fr

Le baril de la clarinette, qui ne représente qu'environ cinq pourcents de la longueur totale de l'instrument, a un impact majeur sur le timbre et la justesse de l'ensemble de la clarinette. Cette partie démontable de la clarinette est certes facile à fabriquer, mais la multiplication des essais rend le développement d'une clarinette long et couteux. C'est pourquoi nous mettons en place une solution de calcul hybride « simulation-mesure » par éléments finis pilotée par un logiciel de post traitement pour simuler l'impédance d'entrée de la clarinette avec un baril numérique et ainsi comprendre le fonctionnement de cette partie de l'instrument. Des travaux antérieurs sur les becs et saxophones ayant permis de mettre en place cette démarche au sein de l'entreprise Henri Selmer, sont réalisés, dans un premier temps, des essais complémentaires pour valider la méthode de couplage sur une géométrie cylindrique simple. Dans un second temps sont effectués les calculs avec le baril simulé en ajoutant l'impédance mesurée du reste de l'instrument comme condition limite en sortie du baril sur l'ensemble du premier registre de la clarinette. Ces mesures hybrides de la clarinette sont comparées à l'équivalent totalement mesuré sur l'ensemble du premier registre de la clarinette pour vérifier la validité du modèle et la précision obtenue. Enfin, différentes formes de barils sont simulées pour comprendre le fonctionnement de cette partie de clarinette.

1 Introduction

Après avoir collecté et analysé une grande quantité de mesures d'impédances d'entrée de clarinettes et de saxophones dans le cadre des travaux de recherche de l'entreprise, il semble intéressant d'axer les recherches sur la simulation, et notamment la simulation par éléments finis. En effet, cette méthode permettrait de diminuer les coûts de développement de l'entreprise par la suppression d'un certain nombre d'itération de réalisation de prototypes. Dans un premier temps nous souhaitons uniquement pouvoir simuler une partie des instruments, le bocal ou le baril, c'est pourquoi une solution d'hybridation entre une partie simulée, le bocal, et une partie mesurée, le reste de l'instrument, a déjà été mise en place au sein de l'entreprise sur les saxophones [1]. Les travaux présentés ici sont la transposition de la méthode d'hybridation appliquée au saxophone sur la clarinette, assimilée à un tube cylindrique, en première approximation. C'est pourquoi dans un premier temps, il est nécessaire de valider la mesure du tube par comparaison à une simulation, pour ensuite valider la méthode de couplage. Ensuite, sont présentés les premiers résultats obtenus avec des mesures de clarinette.

2 Validation de la méthode

2.1 Tube seul

Dans un premier temps, nous cherchons à valider la méthode de couplage mise en place au sein de l'entreprise Henri Selmer Paris [1]. Pour cela est mesurée l'impédance d'entrée d'un tube fermé aux deux extrémités de diamètre 16mm et de longueur 900mm, appelé T900M. Une simulation par éléments finis est également effectuée sur un tube de mêmes dimensions, cette mesure est notée T900S par la suite. Les fréquences des pics d'impédance de la mesure et de la simulation sont comparées. Les résultats sur les 10 premiers pics sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Fréquences des 10 premiers pics d'impédance des tubes T900S et T900M

N° du Pic	Fréquence [Hz]		Comparaison [Cents]
	T900S	T900M	
1	170.1	166.8 (-33.9)	170.1 (0)

1	189.1	189.7	5.5
2	379.9	381	5.0
3	570.9	572.3	4.2
4	762.1	763.8	3.9
5	953.4	955.7	4.2
6	1144.7	1147.5	4.2
7	1336.1	1339.5	4.4
8	1527.5	1531.6	4.6
9	1718.9	1723.8	4.9
10	1910.4	1916	5.1

Les différences entre la mesure et la simulation étant inférieures à 6 cents, la mesure du tube est validée.

2.2 Couplage

Le couplage s'effectue par l'hybridation du calcul par éléments finis d'un objet acoustique et de la mesure d'une impédance d'entrée d'un second objet acoustique.

Pour valider la méthode de couplage mise en place, sont calculées les impédances d'entrée de tubes de 1000 mm composés d'un tube simulé de 100 mm et de 16 mm de diamètre sur lequel est appliquée en sortie l'impédance mesurée ou simulée des tubes T900M ou T900S. Ces mesures sont respectivement nommées T100+900M et T100+900S.

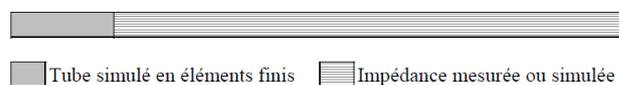


Figure 1: représentation du couplage entre un tube simulé par éléments finis et une impédance mesurée, ou simulée

Les fréquences de résonance obtenues sont comparées à celles d'un tube de diamètre 16mm et de longueur 1000mm calculée par éléments finis, noté T1000S. Voir Tableau 2.

Tableau 2 : Fréquences des 10 premiers pics d'impédance des tubes T1000S, T100+900M et T100+900S.

N° de Pic	Fréquence [Hz] (Comparaison [Cents])		
	T1000S	T100+900M	T100+900S
1	170.1	166.8 (-33.9)	170.1 (0)

2	341.7	336.5 (-26.5)	341.7 (0)
3	513.6	508.5 (-17.3)	513.6 (0)
4	685.6	683 (-6.6)	685.6 (0)
5	857.7	858 (0.6)	857.7 (0)
6	1029.9	1034.6 (7.9)	1029.8 (-0.2)
7	1202.1	1211.7 (13.8)	1202.1 (0)
8	1374.3	1385.9 (14.6)	1374.3 (0)
9	1546.6	1555.9 (10.4)	1546.6 (0)
10	1718.9	1723.2 (4.3)	1718.9 (0)

On peut déduire deux informations à propos de ces résultats. Premièrement, la méthode de couplage est validée puisqu'on obtient les mêmes résultats entre le tube simulé par éléments finis couplé à l'impédance du tube simulé (T100+900S) et le tube simulé de 1000mm (T1000S). Deuxièmement, on observe que les résultats obtenus par le couplage avec le tube mesuré ne sont pas satisfaisants. On peut donc en déduire que le problème provient de la mesure du tube (T900M).

De plus, lorsqu'on trace la fonction de réflexion [2] des tubes T900M, T900S, T100+900M et T100+900S, (Figure 2) on observe une importante discontinuité à 0.1m pour la mesure T100+900M ainsi qu'à 0 m pour le tube T900M. C'est cette discontinuité au début de la mesure T900M qui se retrouve au niveau du couplage à 0.1m sur la mesure T100+900M.

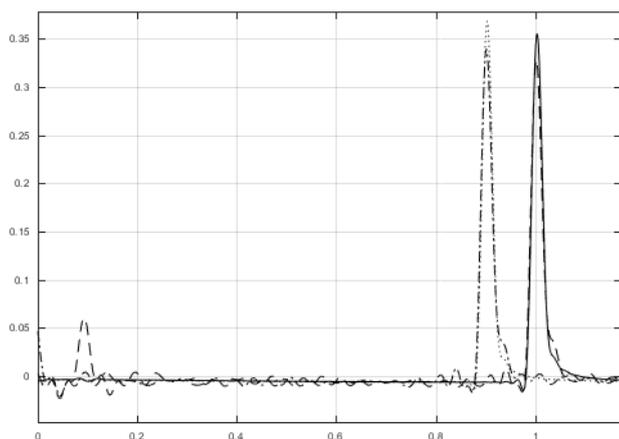


Figure 2 : Fonction de réflexion calculée sur la bande de fréquence [50 7000]Hz. (..) : T900M ; (-.-) : T900S ; (- -) : T100+900M ; (—) : T100+900S.

Le tube mesuré et le pont d'impédance utilisé pour faire la mesure ayant le même diamètre et les erreurs de discontinuité de température ayant été minimisés, le rebond en début de mesure du tube semble inhérent au système de mesure utilisé.

Afin de résoudre ce problème de discontinuité, des essais de filtrage temporel sont effectués.

2.3 Filtrage temporel des mesures

Les discontinuités observées étant liées au système de mesure, des essais de filtrage, de type TGC (Time Gain Contrôle), sont effectués. La méthode TGC, dans notre cas, revient à faire un filtrage temporel de la fonction de réflexion en sélectionnant l'information utile de la fonction de réflexion ; c'est-à-dire en mettant à zéro les premiers

points de la fonction de réflexion mais également après la première réflexion majeure, soit à 1.1m pour le tube de 0.9m.

La nouvelle impédance, dite impédance filtrée est ensuite obtenue en calculant la FFT inverse de la fonction de réflexion traitée par TGC.

La mesure T900M est donc filtrée, qui devient T900M_F, puis couplée pour obtenir l'impédance d'entrée d'un tube de 1000mm (T100+900M_F). Les fréquences des pics d'impédance sont calculées et comparées dans le Tableau 3.

Tableau 3: Fréquences des 10 premiers pics d'impédance des tubes T1000S et T100+900S.

N° de Pic	Fréquence [Hz] (Comparaison [Cents])	
	T1000S	T100+900M_F
1	170.1	170.1 (0.0)
2	341.7	342.7 (5.1)
3	513.6	514.5 (3.0)
4	685.6	686.2 (1.5)
5	857.7	857.4 (-0.6)
6	1029.9	1028.5 (-2.4)
7	1202.1	1203 (1.3)
8	1374.3	1375.6 (1.6)
9	1546.6	1547.2 (0.7)
10	1718.9	1719.6 (0.7)

La méthode de filtrage temporel donnant des résultats assez satisfaisants, nous pouvons ainsi valider la méthode de couplage mise en place avec filtrage temporel avant couplage.

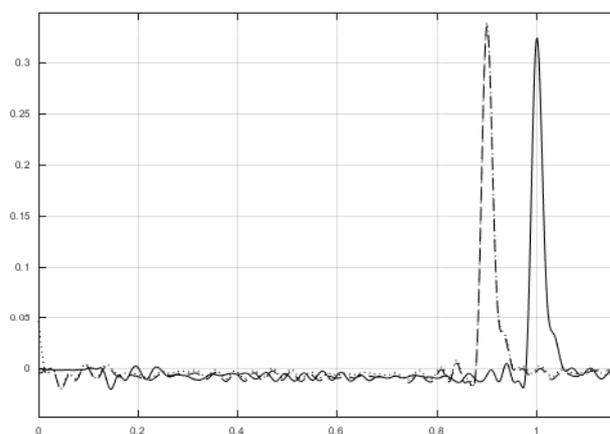


Figure 3 : Fonction de réflexion calculée sur la bande de fréquence [50 7000]Hz. (..) : T900M ; (-.-) : T900M_F ; (—) : T100+900M_F.

La méthode de couplage étant validée des essais sont effectués sur un instrument réel.

3 Premiers résultats sur une clarinette

L'hybridation du calcul de l'impédance d'entrée de la clarinette est effectuée par le couplage de l'adaptateur utilisé pour faire les mesures d'impédance d'entrée et le baril – ici, un baril cylindrique – calculé par élément finis

en sortie desquels est appliquée l'impédance d'entrée mesurée en entrée du corps du haut de la clarinette pour les 25 doigtés du premier registre de la clarinette.

L'impédance en entrée du corps du haut de la clarinette est filtrée comme le tube précédemment.

Les harmonicités des trois premiers pics d'impédance pour l'instrument de référence et l'instrument hybride par rapport au peigne harmonique théorique de la clarinette sont représentées en Figure 4, Figure 5 et Figure 6. L'instrument de référence est équipé d'un baril de même dimension que celui utilisé pour la simulation.

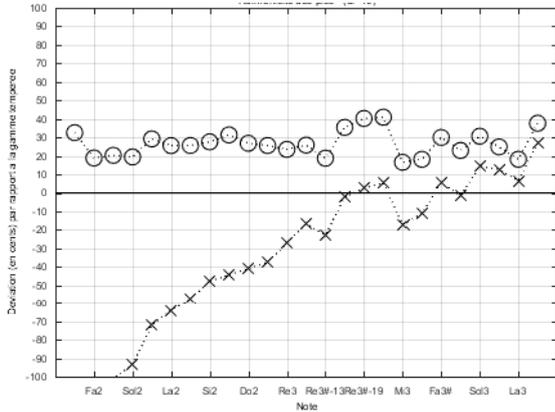


Figure 4 : Déviation en cents du premier pic d'impédance par rapport au peigne théorique de la clarinette. (o) : Instrument de référence ; (x) : instrument avec baril et adaptateur simulés.

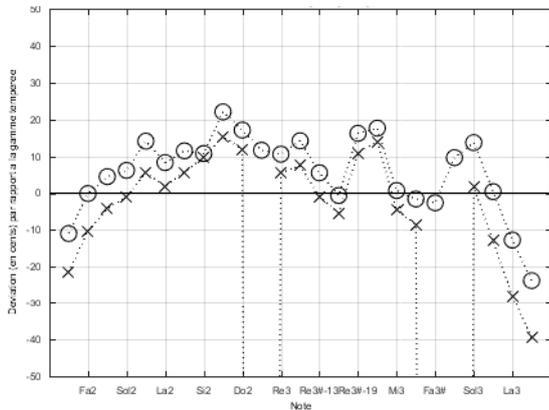


Figure 5 : Déviation en cents du deuxième pic d'impédance par rapport au peigne théorique de la clarinette. (o) : Instrument de référence ; (x) : instrument avec baril et adaptateur simulés.

Les résultats obtenus par hybridation avec une impédance de clarinette ne sont pas satisfaisants. En effet, la différence obtenue sur le premier pic d'impédance est trop importante. Néanmoins, on peut observer que plus les notes sont hautes dans le registre, plus la fréquence de l'instrument hybride se rapproche de celle de l'instrument de référence. De plus, on observe que les harmonicités des pics deux et trois sont également assez proche de celle de l'instrument de référence, sans toutefois obtenir la précision souhaitée.

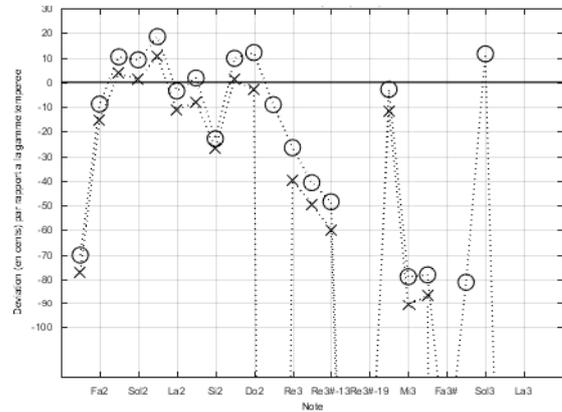


Figure 6 : Déviation en cents du troisième pic d'impédance par rapport au peigne théorique de la clarinette. (o) : Instrument de référence ; (x) : instrument avec baril et adaptateur simulés.

De plus, lorsqu'on trace les fonctions de réflexion de la note la plus grave et celle de la plus aigüe pour les deux instruments (Figure 7 et Figure 8) on peut effectivement remarquer que le comportement des deux instruments est très différent dans l'adaptateur et au niveau du couplage entre 0 et 0.15m. La méthode de couplage et de filtrage de la mesure n'est donc pas encore assez robuste pour permettre le calcul sur instruments réels.

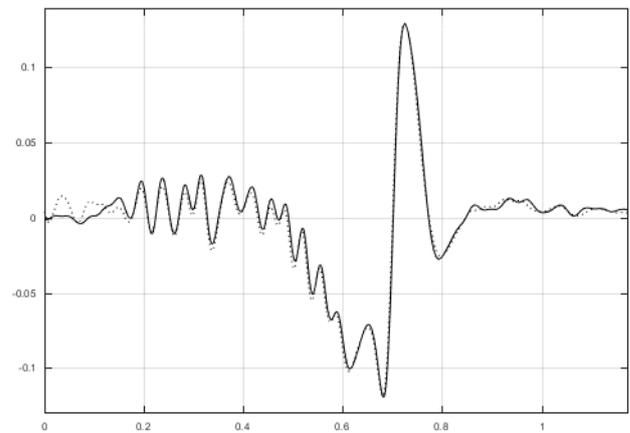


Figure 7 : Fonction de réflexion calculée sur la bande de fréquence [50 7000] des Mi grave. Hz. (..) : Instrument de référence ; (—) : Instrument hybride.

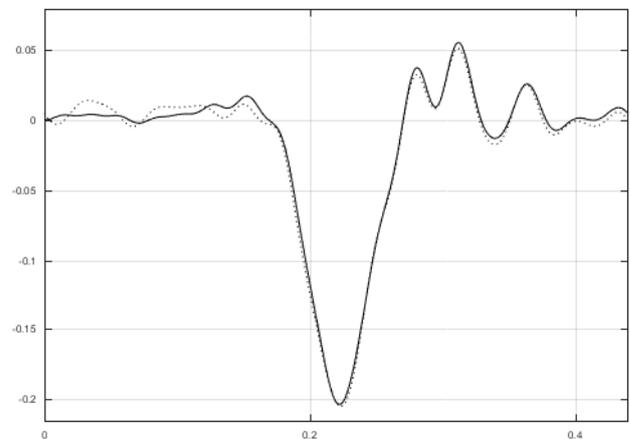


Figure 8 : Fonction de réflexion calculée sur la bande de fréquence [50 7000] des Mi aigüe. Hz. (..) : Instrument de référence ; (—) : Instrument hybride.

4 Conclusion

La méthode de calcul de l'impédance d'entrée des instruments par hybridation d'un calcul par éléments finis et d'une mesure d'impédance d'entrée est donc possible par le biais d'un filtrage temporel préalable à l'hybridation pour un système simple tel que deux tuyaux cylindriques. Les premiers résultats obtenus avec un instrument réel ne sont pas satisfaisants, mais toutefois encourageants. En effet le système doit pouvoir être plus robuste si des ajustements lors du filtrage temporel sont faits et si des prises de précautions supplémentaires sont effectuées lors de la mesure d'impédance d'entrée de la clarinette en entrée du corps du haut. Ainsi nous pourrions calculer les impédances adéquates pour la compréhension de l'acoustique de la clarinette.

Références

- [1] J. Cottier, B. Andrieux, J. Selmer, V. Gibiat, Aide à la conception par hybridation du calcul en éléments finis et de la mesure de l'impédance d'entrée sur le saxophone alto, 13^{ème} Congrès Français d'Acoustique, Le Mans, 11-15 avril 2016. Actes disponibles sur <https://www.sfa.asso.fr/fr/liens/congres-francais-d-acoustique>.
- [2] L. Hovasse, J. Cottier, J. Selmer, V. Gibiat, Utilisation de la fonction de réflexion comme outil de traitement et d'analyse des mesures d'impédance, 13^{ème} Congrès Français d'Acoustique, Le Mans, 11-15 avril 2016. Actes disponibles sur <https://www.sfa.asso.fr/fr/liens/congres-francais-d-acoustique>.