



L'analyse d'impédance sur un instrument réel et son impact sur la facture instrumentale

J. Cottier^a, J. Selmer^a, B. Andrieux^a et V. Gibiat^b

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

^bLaboratoire PHASE, Université Paul Sabatier - Toulouse III, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse

Cedex 4, France

jcottier@selmer.fr

Au cours de ces dernières années, le champ des connaissances en acoustique musicale s'est considérablement élargi. Les instruments à anche simple comme la clarinette et le saxophone suscitent toujours beaucoup d'intérêt et les problématiques qui leur sont inhérentes nourrissent largement les trop rares coopérations entre acousticiens et facteurs d'instruments pourtant porteuses d'un gain mutuel évident : la démystification des uns s'opposant aux certitudes empiriques des autres. Cette démarche collaborative a été mise en place au sein du département Recherche et Développement d'une usine de production d'instruments à vent. L'outil de base désormais classique dans l'étude de la partie linéaire des instruments à vent, la mesure de l'impédance d'entrée a été systématisée et une méthodologie d'analyse de cette impédance a été définie pour, partant de l'idée d'un saxophone idéal en termes de justesse et d'émission, mettre en évidence les écarts à cet idéal, les analyser et envisager les modifications en termes de perce qui permettraient d'approcher cet instrument rêvé. Nous présenterons l'analyse d'instruments existants et nous mettrons en évidence les difficultés connues sur l'archétype saxophone alto. Les corrélations indispensables avec les ressentis des musiciens seront également présentées sur des exemples choisis du travail de prototypage réalisé au sein de l'usine Henri SELMER Paris.

1 Introduction

L'entreprise Henri Selmer Paris compte aujourd'hui environ quatre cents collaborateurs sur son site de production de Mantes-la-Ville. L'usine s'est considérablement industrialisée au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Le cliché, très répandu, du luthier fabricant à l'unité quelques instruments dans son petit atelier parisien n'a plus lieu d'être. L'usine mélange maintenant subtilement les moyens les plus modernes de gestion de production avec un savoir-faire plus que centenaire pour produire environ dix milles unités par an (saxophones et clarinettes). C'est dans ce contexte que l'entreprise doit faire face à une concurrence, notamment asiatique, de plus en plus agressive en innovant dans les domaines où elle excelle, à savoir les qualités acoustiques de ses instruments. Pour cela, un service de Recherche et Développement comptant douze collaborateurs conduit des travaux visant à améliorer les performances acoustiques et mécaniques de nos saxophones. La mesure de l'impédance d'entrée est un outil présent maintenant depuis une dizaine d'années au service R&D. Son utilisation a été systématisée ces deux dernières années grâce au développement d'un ensemble pont de mesure et scripts d'analyse plus performants et simples d'utilisation. On dénombre aujourd'hui un peu plus de dix milles mesures d'impédance dans la base de données de l'usine. La suite de cet article présente le système de mesure et la manière dont il est utilisé pour mettre en évidence les points à améliorer dans les futurs développements.

2 Le système de mesure

Nous utilisons, pour la mesure d'impédance, un pont acoustique dérivé de la méthode TMTC [1]. Celui-ci est constitué d'un tube en laiton inséré dans un tube en PVC. A une extrémité se trouve la charge dont on cherche à connaître l'impédance d'entrée et de l'autre le haut parleur envoyant un signal de type logarithmique. Le long de ce tube sont placés quatre microphones. Le premier étant situé le plus près possible de la charge à analyser pour avoir une étendue de mesure la plus grande possible. Les micros sont reliés à une carte d'acquisition, elle-même reliée à un ordinateur (Figure 1). Après calibration du système et en connaissant les modèles de propagation des ondes acoustiques dans un tube il est alors possible de connaître la pression et la vitesse dans le plan de mesure. Ce type d'installation permet également la mesure avec écoulement et gradient de température.

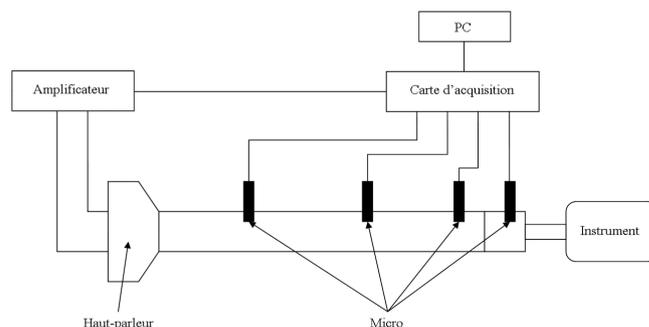


Figure 1 : Schéma de principe du système de mesure de l'impédance d'entrée.



Figure 2 : Installation complète de mesure avec le poste d'analyse.

Ce système permet d'obtenir des mesures d'impédance entre 50Hz et 8000Hz dont voici un exemple :

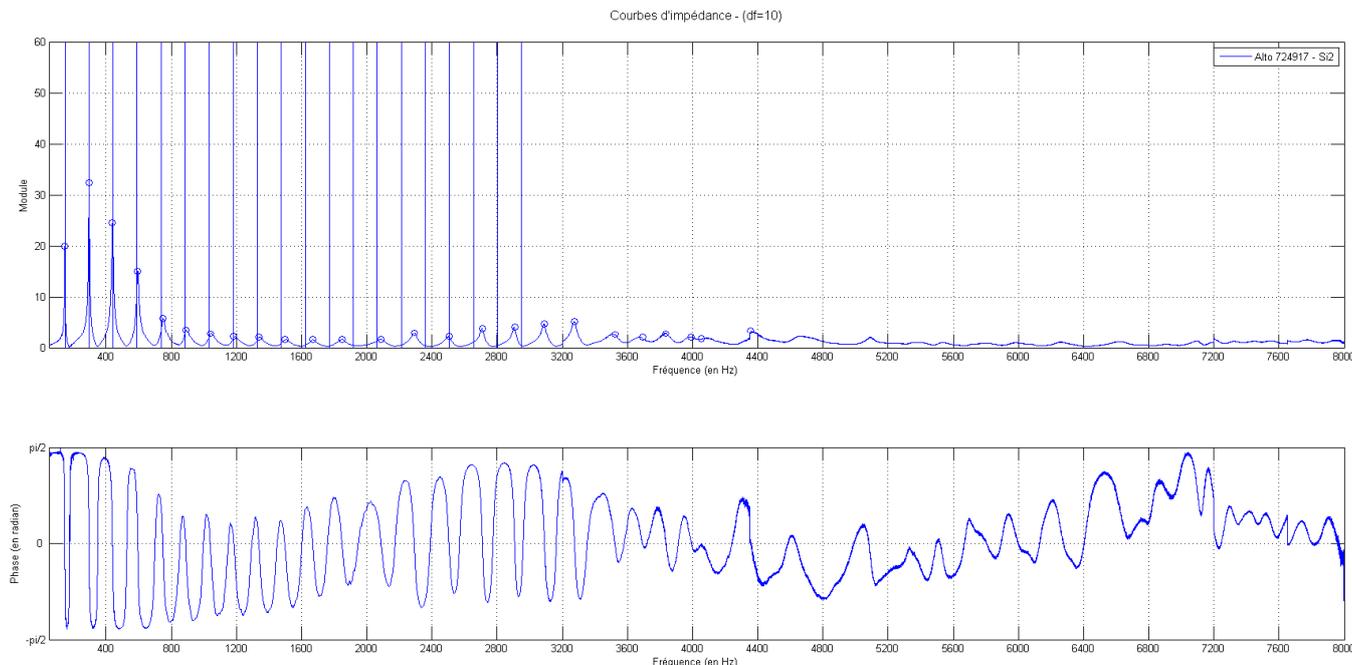


Figure 3 : Exemple de mesure d'impédance d'un Si grave de saxophone alto.

graphiques qui nous paraissent pertinentes à analyser sur chacun des instruments mesurés.

3 Analyse des mesures

A partir de ces mesures il est possible d'extraire un certain nombre d'informations intéressantes. Des scripts d'analyse permettent de récupérer la position des résonances, la valeur de leur module et de superposer différents instruments pour les comparer. Dans ce qui suit nous présentons quelques exemples de représentations

3.1 Carte des fréquences

Il s'agit d'avoir une vision synthétique de l'ensemble des positions des pics de résonance par rapport à la gamme tempérée. On observe alors l'alignement de ces pics, les décalages induits par l'ouverture successive des deux chalumeaux et les irrégularités pénalisantes pour la justesse de l'instrument.

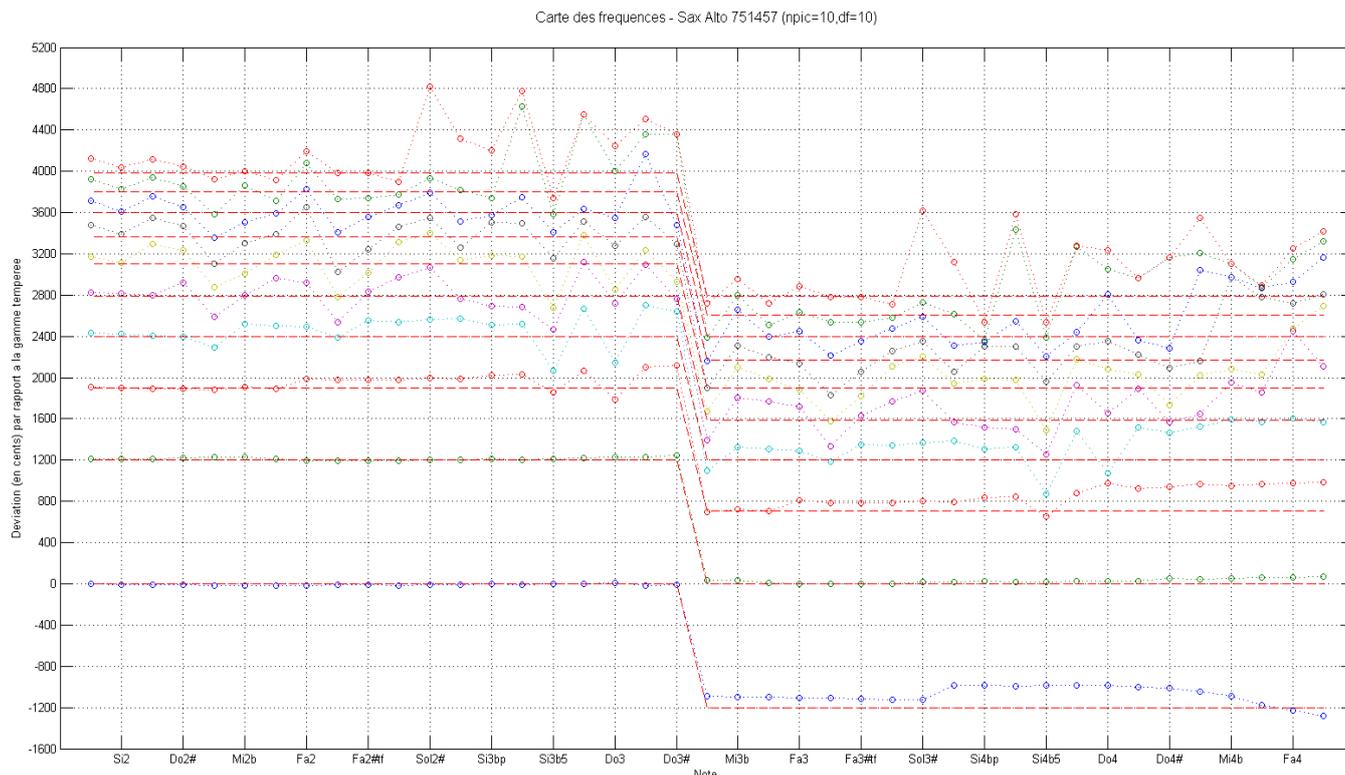


Figure 4 : Carte des fréquences des dix premières résonances d'un saxophone alto.

3.2 Carte des modules

notamment dans le grave du saxophone. Elle est également intéressante pour quantifier l'efficacité des chalumeaux.

Cette courbe est complémentaire de la précédente lorsqu'il s'agit d'analyser des problèmes d'émission

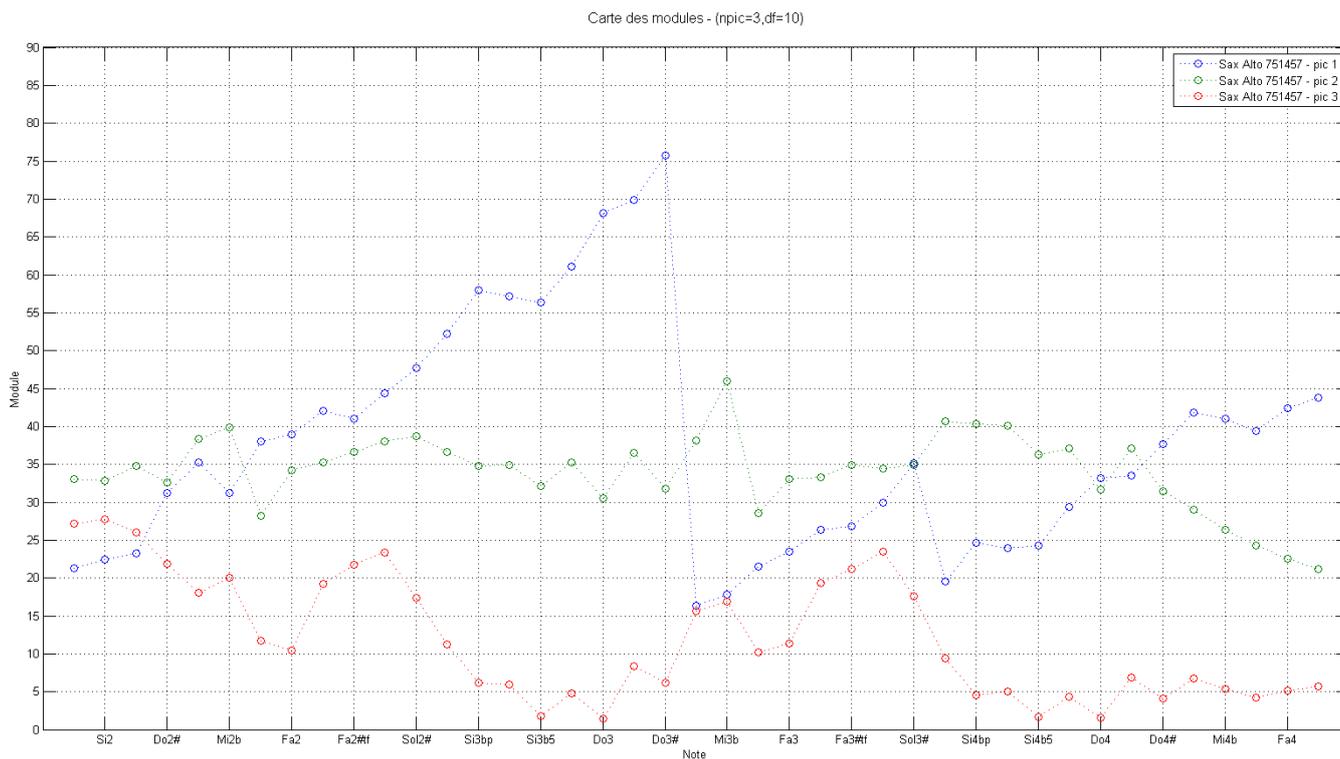


Figure 5 : Carte des modules des trois premières résonances d'un saxophone alto.

3.3 Décalage des chalumeaux

pas négligeable pour la justesse entre les registres de l'instrument ; il doit être mesuré et compensé.

On observe sur ce graphique le décalage en fréquence introduit par l'ouverture des chalumeaux. Ce décalage n'est

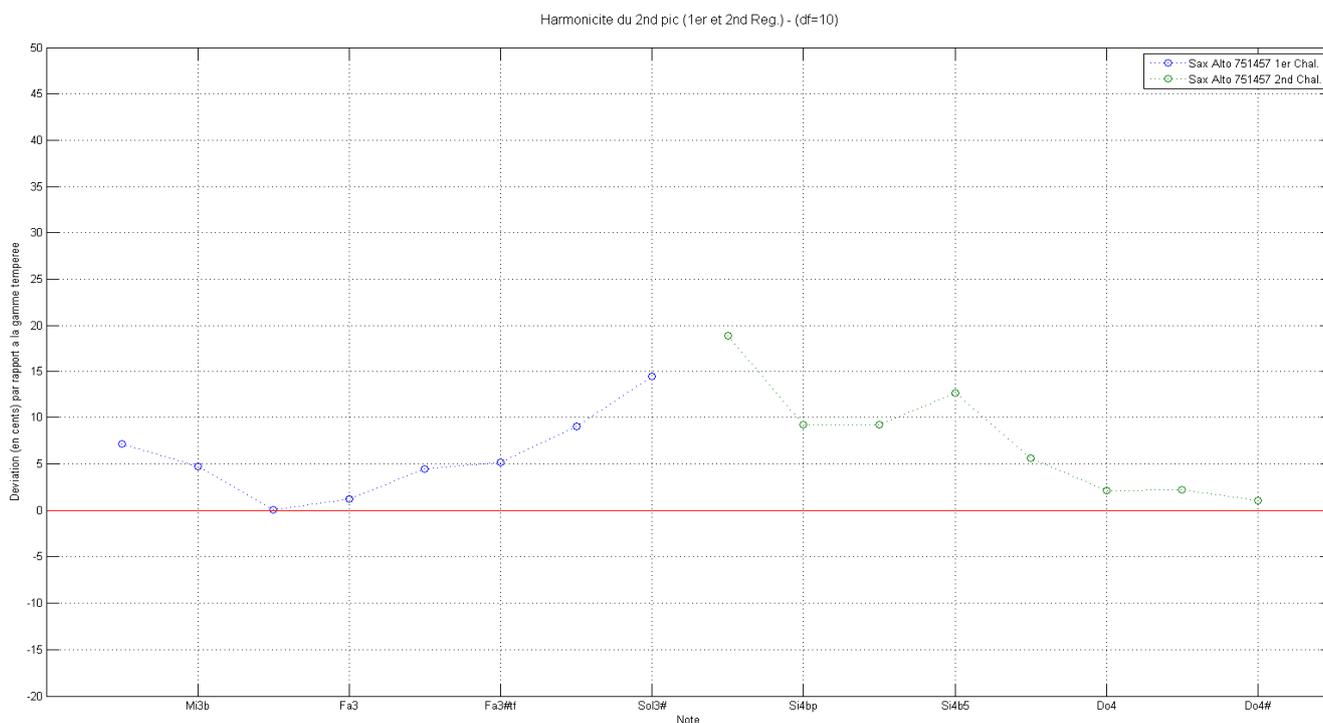


Figure 6 : Décalage en fréquence des chalumeaux sur un saxophone alto.

3.4 Profil d'harmonicité du tube

Les décalages des pics de résonance introduits par les chalumeaux étant connus, on s'intéresse à l'harmonicité des pics du premier registre. Pour cela, on calcule les écarts en

cent entre les différentes résonances. Cela donne une idée générale de la justesse finale de l'instrument. On sera également attentif à la façon dont les pics sont distribués dans le grave de l'instrument.

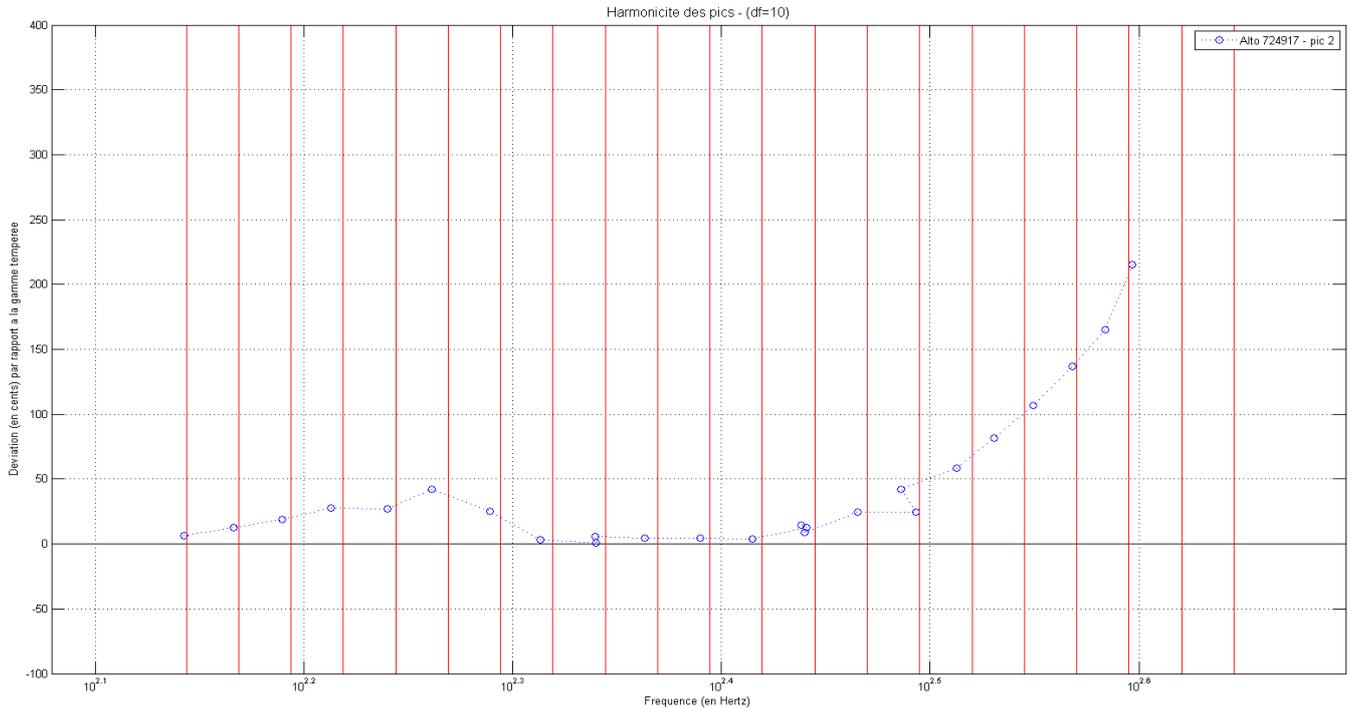


Figure 7 : Profil d'harmonicité d'un saxophone alto – seconde résonance.

3.5 Campagnes d'essais

  l'aide de tous ces outils d'analyse, nous avons réalisé des campagnes d'essais sur des modifications choisies. Par exemple, sur un bocal alto on modifie le diamètre du tenon, le profil de la perce, le diamètre d'entrée, la forme et la position du chalumeau. On obtient alors des faisceaux de courbes permettant d'anticiper les réactions de l'instrument. Toutes ces données sont archiv es pour servir de bases aux futurs développements. La suite de ce document propose d'illustrer cette démarche à l'aide d'un exemple choisi.

4 Application sur un cas concret de manufacture

On se place maintenant dans le cas concret d'une problématique pouvant être rencontrée lors de la mise au point d'un instrument. Un musicien se plaint d'un défaut de justesse pénalisant sur l'octave de la main gauche d'un saxophone alto (Sol3   Do#4). On commence par demander au musicien de réaliser une courbe de justesse.

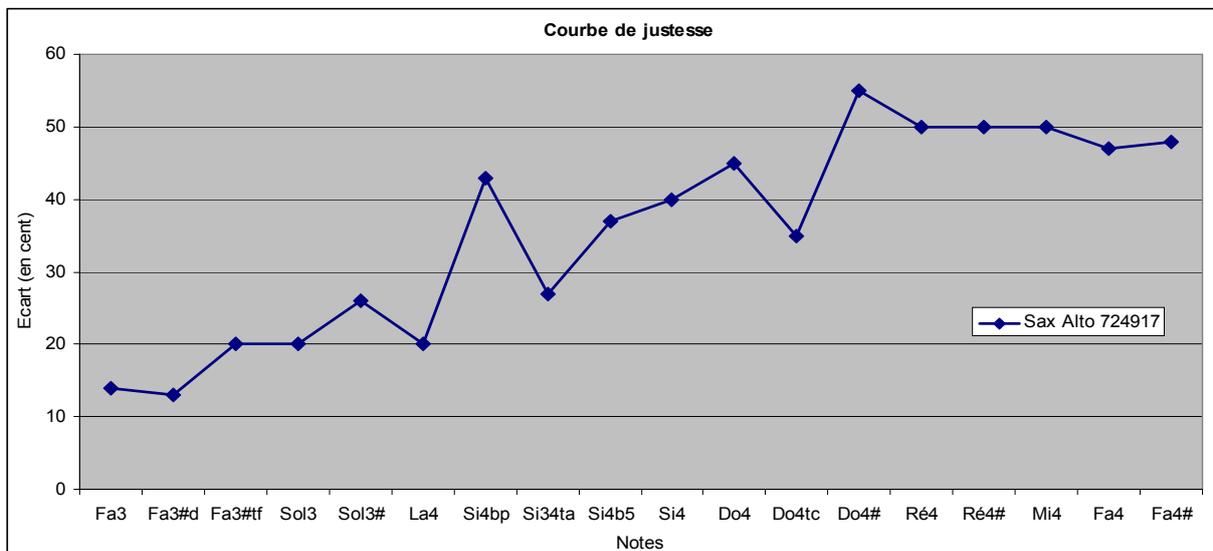


Figure 8 : Courbe de justesse d'un saxophone alto sur le haut du second registre.

Le haut du second registre est visiblement trop haut. Les octaves s'agrandissent à mesure que l'on monte la gamme pour atteindre des valeurs qui sont pénalisantes pour le musicien qui doit compenser pour jouer juste. Comme on peut le voir sur la figure 7 qui représente le même

instrument, un défaut d'harmonicité vient se superposer aux défauts introduits par les chalumeaux. On décide de ne pas modifier les chalumeaux mais de changer le profil de perce de l'instrument. On refait une mesure d'impédance et on la superpose à la précédente (Figure 9).

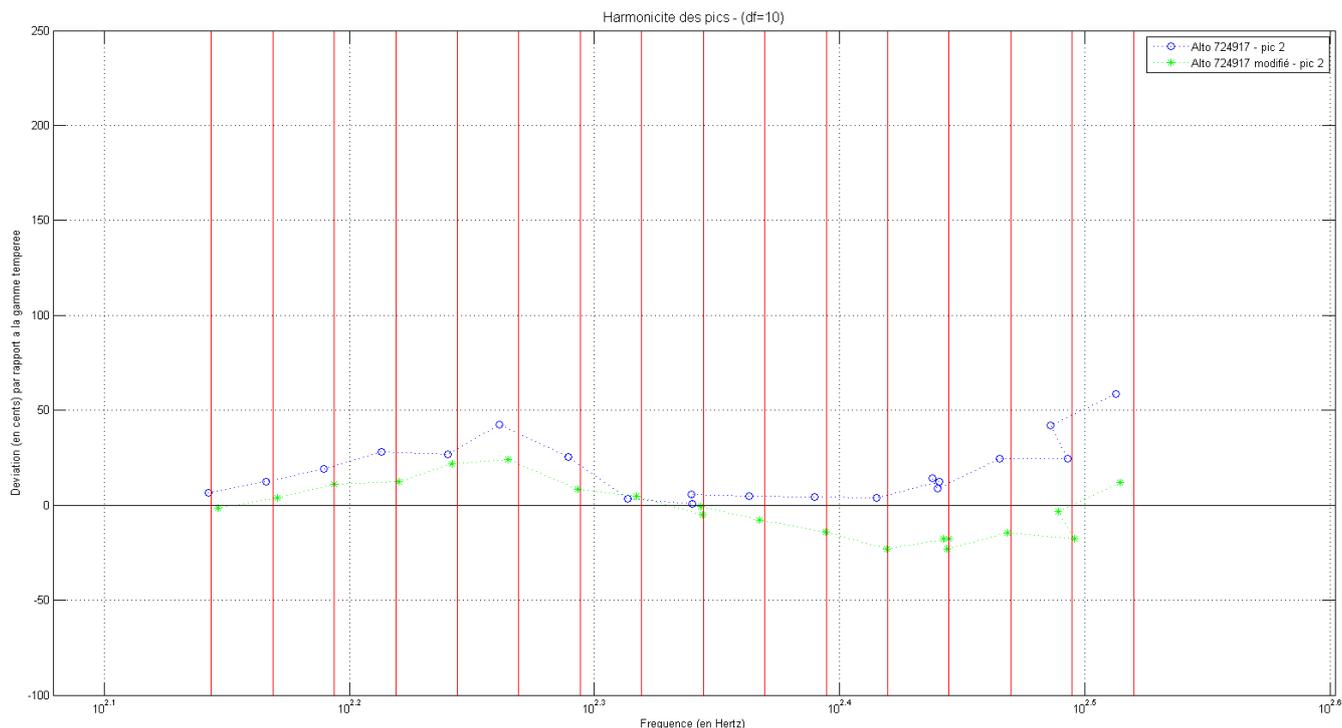


Figure 9 : Profil d'harmonicité d'un saxophone alto avant (en bleu) et après modification de la perce (en vert).

On constate que la position des pics dans le haut du second registre a été modifiée. On refait une mesure de

justesse avec le musicien pour vérifier le gain en termes de justesse.

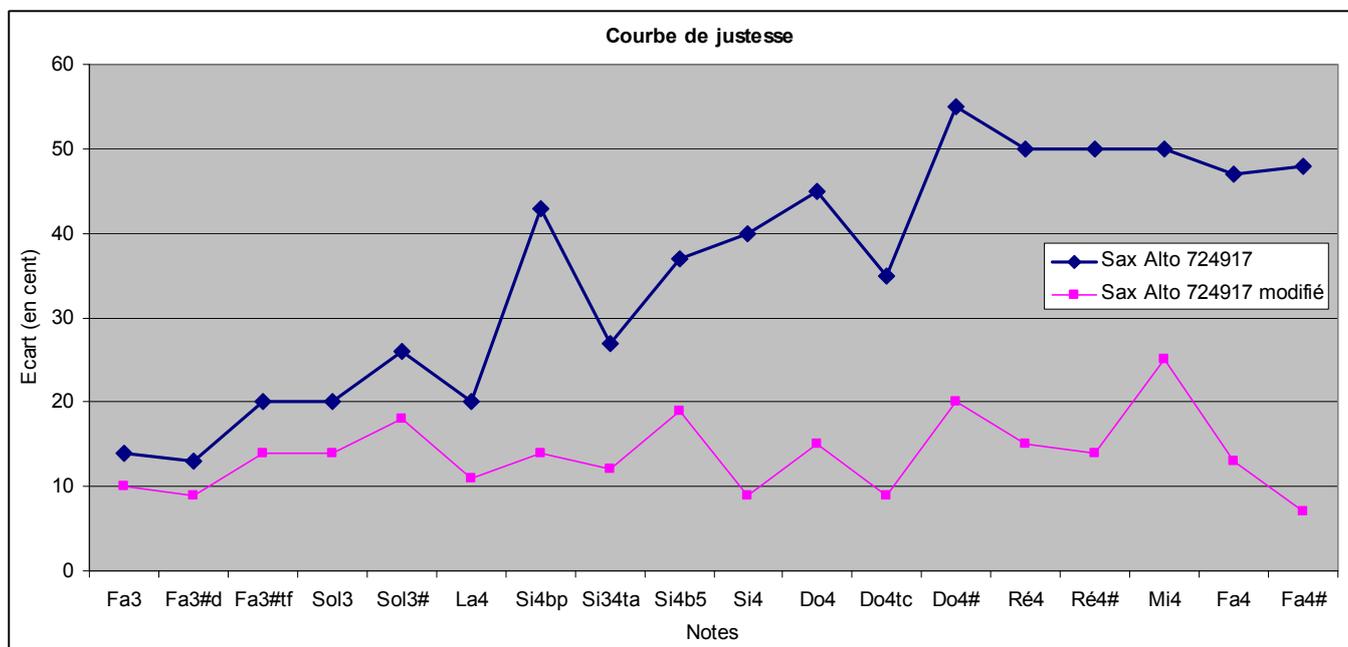


Figure 10 : Courbe de justesse d'un saxophone alto avant (en bleu) et après modification de la perce (en rose)

Le haut du second registre est revenu à des valeurs acceptables (entre 10 et 20 cents). L'instrument a bien été corrigé pour répondre aux attentes du musicien.

5 Conclusion

La mesure de l'impédance d'entrée est un outil couramment utilisé dans les laboratoires de recherche depuis plusieurs décennies. Il nous paraît impensable que l'industrie de la manufacture instrumentale ne bénéficie pas de toutes ces avancées. Elle doit s'approprier ces outils mis à sa disposition pour innover. Le présent document n'a pas la prétention d'éclairer le lecteur averti sur de nouvelles découvertes scientifiques, il a simplement valeur de témoignage pour renforcer l'idée que la mesure d'impédance a des applications très concrètes et immédiates sur le développement des instruments. Acousticiens et manufacturiers ont mutuellement intérêt à travailler ensemble pour maintenir la pérennité de notre patrimoine industriel.

Remerciements

Nous remercions Patrice Dufay, Laurent Taverne et Marie-Laure Micale pour leur aide précieuse tout au long de ces travaux ainsi que tous les collaborateurs de l'usine Henri Selmer Paris qui ont participé de près ou de loin à ces études.

Références

- [1] V. Gibiat et F. Laloë, Acoustical impedance measurements by the two microphone three calibration (TMTC) method, *J. Acoust. Soc. Am.*, 88 p. 2533-2541, 1990.