



La sourdine active: effets sur les premières résonances du trombone

A. Mamou-Mani^a, T. Meurisse^b, B. Sluchin^c et R. Caussé^a

^aSTMS Ircam-CNRS-UPMC, 1 place Stravinsky, 75004 Paris, France

^bIJLRDA, équipe LAM - UPMC - CNRS (UMR 7190), 11, rue de Lourmel, 75015 Paris, France

^cEnsemble Intercontemporain, 223 avenue Jean-Jaurès, 75019 Paris, France

adrien.mamou-mani@ircam.fr

La présence d'une sourdine sèche modifie sensiblement l'impédance d'entrée des instruments de musique de type cuivre, induisant des changements fréquentiels des premiers pics, ainsi que l'apparition d'un pic supplémentaire. Ce pic influe sur la jouabilité de l'instrument, rendant parfois difficile voire impossible le jeu des notes graves. Un prototype de sourdine avec microphone et haut-parleur intégrés est présenté. Grâce à une boucle de contrôle en gain et déphasage entre le microphone et le haut-parleur, le pic supplémentaire est déplacé en fréquence et en amortissement, ce qui rend possible le jeu des notes graves. Les effets de cette "sourdine active" sur l'impédance d'entrée d'un trombone ainsi que sur le son rayonné sont présentés.

1 Introduction

Les sourdines de cuivres sont utilisées pour réduire le niveau de ces instruments et pour modifier leur timbre. Ces deux fonctions ont été exploitées aussi bien en musique classique qu'en jazz (voir quelques exemples dans [2]). Le fonctionnement acoustique des sourdines est assez bien connu aujourd'hui [1, 2].

Une sourdine efficace doit produire ces modifications sonores sans changer la jouabilité de l'instrument. Pourtant, les mesures d'impédance d'entrée de trompettes et de trombones ont montré des modifications sensibles de l'impédance dues aux sourdines. Avec une sourdine sèche, un "pic parasite" [2] apparaît en effet entre les deux premières résonances de l'instrument. Le jeu normal de la trompette se faisant à partir de la deuxième résonance, le pic ne perturbe pas le jeu de cet instrument. Le trombone est en revanche usuellement utilisé sur son registre de notes pédales, c'est-à-dire avec des sons fondamentaux situés entre les deux premiers pics de résonance. Les notes à jouer peuvent alors interférer avec le pic parasite.

Cet article propose d'étudier l'effet du pic parasite sur l'émission des notes pédales au trombone. Pour cela, un système simple de contrôle actif a été développé, permettant de modifier la fréquence et l'amortissement de ce pic.

2 Description de la sourdine active

Plusieurs approches seraient utilisables pour résoudre cette question, comme celle du contrôle actif modal dans l'espace d'état [5]. La sourdine se comportant principalement comme un résonateur à un degré de liberté [1], un système de contrôle actif très simple est préféré, dont les propriétés sont décrites dans [4]. Ce système est largement inspiré par celui développé dans [3] pour le contrôle d'un résonateur de Helmholtz.

Une sourdine sèche de trombone Denis Wick (voir Figure 1) a été modifiée par l'ajout d'un haut-parleur Tymphany Peerless PLS-P830983 fermé par une cavité arrière, ainsi qu'un microphone à électret à l'extrémité d'un tube capillaire de 65 mm de long. Ce tube capillaire sert à atténuer le niveau acoustique avant le microphone. Le microphone et le haut-parleur sont reliés par un contrôleur constitué d'un déphaseur ϕ et d'un gain G .

La Figure 2 présente la fonction de transfert entre le haut-parleur et le microphone lorsque la sourdine n'est pas reliée au trombone. La fréquence du pic principal, notée f_H , est située à $f_H = 113$ Hz et traduit la résonance de Helmholtz de la sourdine. Lorsque la sourdine est mise en place dans le trombone (Figure 3), ce pic est déplacé à $f_{pp} = 65$ Hz. D'après [1], ce changement de fréquence provient de l'ajout d'une inductance due à l'ouverture à l'entrée du pavillon, parallèle au système résonant qu'est la sourdine. La Figure



FIGURE 1 – La sourdine sèche active de trombone.

4 présente l'impédance d'entrée du trombone avec et sans sourdine, mesurée à l'aide du dispositif BIAS. Même si ces deux courbes sont très proches, le pic parasite apparaît, pour une fréquence égale à f_{pp} . Les fréquences des trois pics suivants sont légèrement modifiées (< 2 Hz). Enfin, les différences situées pour les fréquences inférieures à 50 Hz sont dues à du bruit de mesure et non à la sourdine.

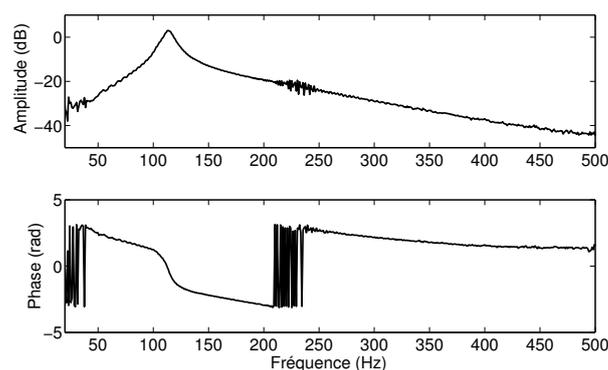


FIGURE 2 – Fonction de transfert entre le haut-parleur et le microphone dans la sourdine, pour la sourdine seule.

3 Contrôle du pic parasite

Un système de contrôle constitué d'un déphaseur ϕ et d'un gain G est maintenant utilisé pour modifier le pic parasite. Il est schématisé sur la Figure 5. Si l'on appelle H la fonction de transfert dans la sourdine, la fonction de

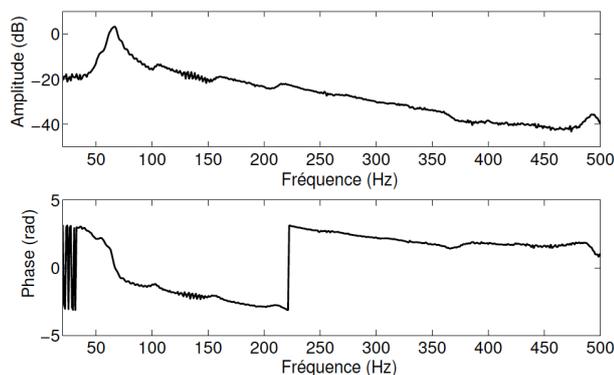


FIGURE 3 – Fonction de transfert entre le haut-parleur et le microphone dans la sourdine, pour la sourdine insérée dans le trombone.

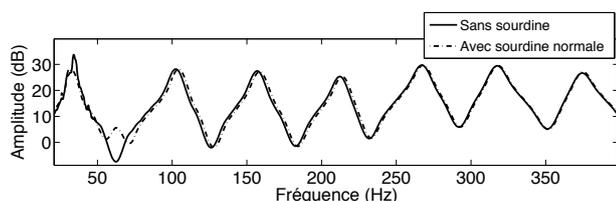


FIGURE 4 – Impédances d'entrée du trombone pour la note $sol\#_0$ sans sourdine (trait plein) et avec sourdine (pointillés).

transfert en boucle fermée s'écrit :

$$H_{BF} = \frac{H}{1 - HGe^{j\phi}} \quad (1)$$

Les effets de contrôles avec $\phi = \pi$ pour plusieurs valeurs de gain sont présentés Figure 6 pour la sourdine seule dans l'intervalle [85 Hz, 140 Hz] (seul affecté par le contrôle).

On observe une augmentation graduelle de l'amortissement avec le gain, caractéristique d'un contrôle d'un résonateur simple avec $\phi = \pi$. Le même effet d'amortissement du pic est obtenu lorsque la sourdine est insérée dans le trombone (Figure 7), avec toutefois une diminution sensible de la fréquence du pic.

L'effet de ce contrôle sur l'amplitude de l'impédance d'entrée est présenté Figure 8. Le pic parasite disparaît pour $\phi = \pi$ et $G = 2$ et le reste de l'impédance n'est que très peu modifié. La diminution à la fréquence du pic parasite est toutefois plus faible que sur les fonctions de transfert (Tableau 1), probablement à cause de l'influence des pics adjacents.

4 Effets du contrôle en situation jeu

Les effets du contrôle actif dans la sourdine sont maintenant évalués en situation de jeu. Un tromboniste professionnel a joué une séquence contenant une descente chromatique dans les notes pédales de l'instrument, présentée sur le spectrogramme Figure 9. On observe un son instable sur la note sib_0 et une non-émission de la note la_0 . Ces deux notes étant jouées sans difficulté sans sourdine, c'est la présence de la sourdine qui empêche leur émission correcte. Les fréquences fondamentales de ces notes sont en effet très proches de la fréquence du pic parasite. Le contrôle actif présenté dans les parties précédentes est maintenant

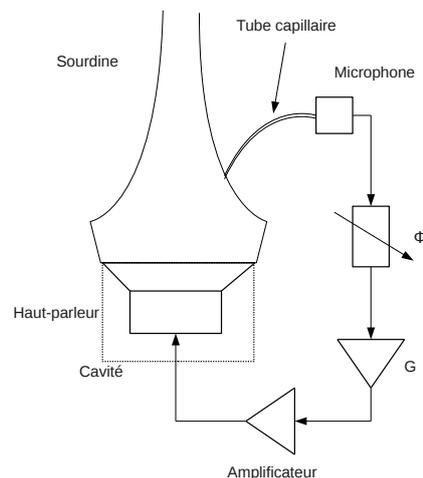


FIGURE 5 – Schéma du contrôle actif dans la sourdine sèche.

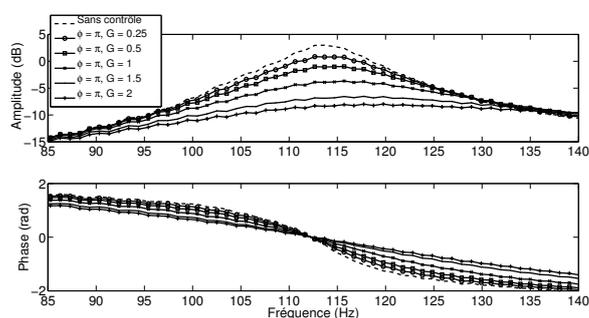


FIGURE 6 – Fonctions de transfert pour plusieurs valeurs de contrôle, sourdine seule.

ajouté dans la sourdine. Cette fois, toutes les notes sont jouées normalement, sans difficulté particulière sur le sib_0 et le la_0 . Ceci s'explique parfaitement par la disparition du pic parasite avec le contrôle actif.

5 Conclusion

Le contrôle actif présenté dans cet article est efficace pour faire disparaître le pic parasite dû à la présence d'une sourdine sèche dans un trombone. Composé d'un gain et d'un déphaseur, ce système est extrêmement simple à mettre en oeuvre.

Le pic parasite induit des difficultés d'émission du son pour les notes avec des fréquences proches de ce pic. L'émission de ces notes graves est grandement facilitée par le contrôle actif.

Il semble enfin que le contrôle actif effectué implique des modifications de timbre, celui-ci apparaissant plus riche en hautes fréquences. Cette question devra être abordée ultérieurement avec des tests perceptifs.

Remerciements

Ce travail a été financé par l'Agence National de la Recherche (ANR IMAREV). Les auteurs souhaitent remercier Alain Terrier (IRCAM) pour son aide précieuse dans la conception de la sourdine active, ainsi que Gérard Bertrand (IRCAM) et le facteur de sourdines Denis Wick.

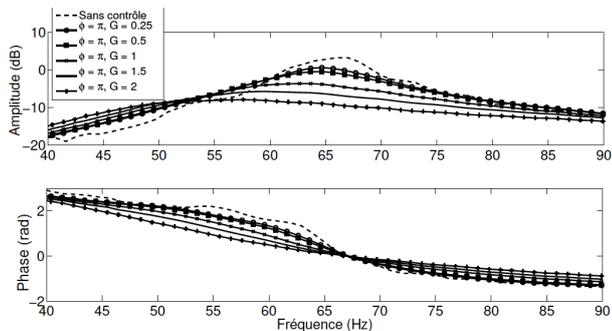


FIGURE 7 – Fonctions de transfert pour plusieurs valeurs de contrôle, sourdine insérée dans le trombone.

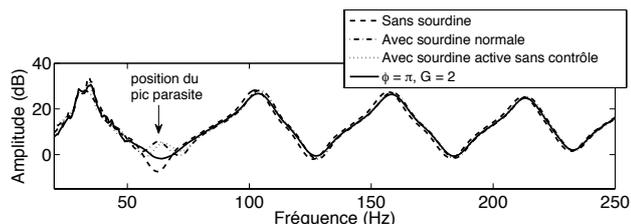


FIGURE 8 – Impédances d’entrée du trombone (note sol#₀) avec sourdine (trait plein) et sans sourdine (pointillés).

Références

- [1] J. Backus, Input impedance of brass instruments, *Journal of the Acoustical Society of America* **60**, 470-480 (1976).
- [2] R. Causse, B. Sluchin, *Les sourdines des instruments à vent*, Editions de la Maison des sciences de l’homme, Paris (1991).
- [3] F. C. Chen, G. Weinreich, Nature of the lip reed, *Journal of the Acoustical Society of America* **99**, 1227-1233 (1996).
- [4] T. Meurisse, A. Mamou-Mani, R. Caussé, D. Sharp, Active control applied to simplified wind musical instrument, in Proc. Int. Cong. on Acoustics 2013, Montréal, Canada.
- [5] T. Meurisse, A. Mamou-Mani, R. Caussé, D. Sharp, Simulations of Modal Active Control Applied to the Self-Sustained Oscillations of the Clarinet, SMAC 2013, Stockholm, Sweden.

TABLEAU 1 – Effets du contrôle actif sur le pic parasite.

| Type de mesure | Diminution (dB) à f_{pp} avec $\phi = \pi$ | | | |
|---------------------------|--|---------|-----------|---------|
| | $G = 0,5$ | $G = 1$ | $G = 1,5$ | $G = 2$ |
| FT sourdine seule | 4 | 6,9 | 9,8 | 12,3 |
| FT sourdine dans trombone | 3,9 | 7,4 | 9,8 | 12,5 |
| Imp. d’entrée | 3,6 | 4,7 | 5 | 6,7 |

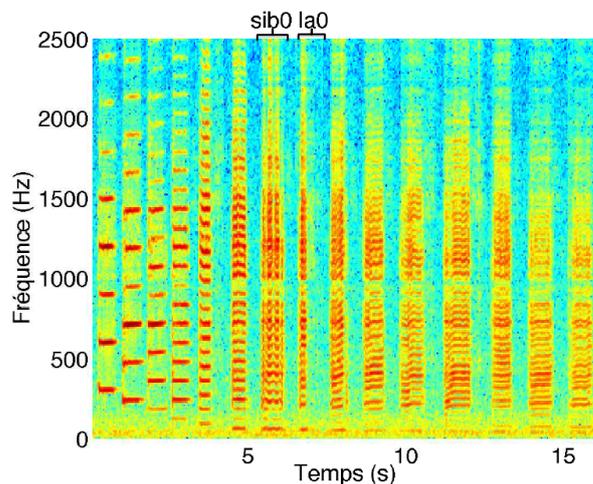


FIGURE 9 – Spectrogramme d’une séquence musicale jouée au trombone avec une sourdine sèche normale.

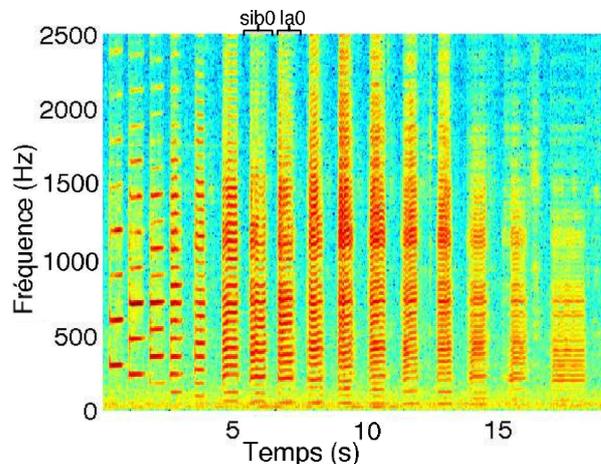


FIGURE 10 – Spectrogramme d’une séquence musicale jouée au trombone avec sourdine sèche active.