



**HAL**  
open science

## Prédiction de la dissipation acoustique dans les cavités faiblement amorties par le modèle de Helmholtz

Fulbert, Mbailassem, Quentin Leclère, Emmanuel Redon, Emmanuel Gourdon

► **To cite this version:**

Fulbert, Mbailassem, Quentin Leclère, Emmanuel Redon, Emmanuel Gourdon. Prédiction de la dissipation acoustique dans les cavités faiblement amorties par le modèle de Helmholtz. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03446487

**HAL Id: hal-03446487**

**<https://hal.science/hal-03446487>**

Submitted on 24 Nov 2021

**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.

## Prédiction de la dissipation acoustique dans les cavités faiblement amorties par le modèle de Helmholtz

Fulbert MBAILASSEM<sup>1,2,3</sup>, Emmanuel Redon<sup>1</sup>, Quentin Leclere<sup>1</sup>, Emmanuel Gourdon<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA de Lyon

Bâtiment St. Exupéry, 25 bis Av. Jean Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex

<sup>2</sup> LGCB, ENTPE, 3 rue Maurice Audin, 69518 Vaux-En-Velin, France

<sup>3</sup> LTDS, UMR CNRS 5513, Ecole Centrale Lyon, F-69134 Ecully Cedex

**Centre Lyonnais d'Acoustique (CeLyA)**

**fulbert.mbailassem@insa-lyon.fr**

La dissipation acoustique est un sujet qui intéresse les acousticiens depuis longtemps et qui reste encore d'actualité vue son importance de plus en plus croissante. En effet, de par l'activité humaine, il est presque impossible d'éviter la production du bruit qui peut être dans certaines conditions, assez nuisible à l'homme. L'alternative fréquente dans ce cas est de dissiper l'énergie sonore générée souvent par ajout de matériaux poreux. Les études sur les mécanismes de dissipation ont montré que l'amortissement en acoustique est dû à un ensemble de phénomènes dont les plus courants sont d'origine visqueuse et thermique. La dissipation peut également être envisagée sans matériau via une géométrie particulière des parois. Dans ce cas les pertes se produisent essentiellement dans de petites zones situées non loin des parois et caractérisées par des couches limites visqueuse et thermique. Elles sont très importantes quand les épaisseurs de ces couches deviennent non négligeables vis-à-vis de certaines dimensions du domaine de propagation de l'onde acoustique. Le modèle d'acoustique isentropique linéaire est incapable de les prendre en compte. Seuls les modèles dits visco-thermiques, dont la forme la plus complète est un ensemble d'équations non linéaires avec l'équation de Navier-Stokes pour les effets visqueux et l'équation de la chaleur pour les effets thermiques [1,2], permettent de les traiter. Sous certaines hypothèses, ces équations sont linéarisées et peuvent permettre de définir plusieurs indicateurs de la dissipation. Le coefficient d'absorption est souvent utilisé comme paramètre de mesure de l'amortissement acoustique particulièrement dans les matériaux poreux ou dans les couches limites de certaines géométries simples.

Vue la complexité des modèles visco-thermiques, il faut souvent avoir recours aux calculs numériques lorsque les géométries sont assez complexes. Compte tenu du nombre de variables traitées, ces modèles ont malheureusement un coût de calcul non négligeable. L'idée de cette étude est d'utiliser le modèle classique sans perte de Helmholtz pour prédire la dissipation de l'énergie acoustique. L'énergie dissipée est exprimée en fonction d'un autre indicateur que le coefficient d'absorption (on montrera dans le cas d'un guide d'onde avec simple irrégularité qu'il est toutefois lié à ce dernier) : le taux d'atténuation de l'énergie (ou de la pression). Cet indicateur est déterminé via une estimation de l'énergie dissipée à la paroi sous forme visqueuse et thermique. La dissipation d'origine visqueuse est calculée en s'inspirant de l'écoulement laminaire en couche limite qui permet d'obtenir le champ de vitesse (variable avec la distance à la paroi) et la force de résistance exercée par la paroi sur le fluide compte tenu de sa viscosité. Le calcul de ce type de perte est proposé pour la première fois par Stokes [3] et a ensuite été repris et affiné par d'autres auteurs [4, 5, 6, 7, 8] d'une façon ou d'une autre en considérant le

plus souvent la théorie de la perturbation. Dans ce travail, nous adoptons l'approche proposée dans les trois dernières références à savoir celle de Batchelor, de Lambert et de Kinsler.

Le calcul des pertes thermiques à la paroi peut aussi être traité de différentes façons. La dérivation que nous avons utilisée est celle proposée par Lambert et qui est une suite logique du travail de Nielsen [9]. De façon similaire au cas des pertes d'origine visqueuse, ce calcul consiste à déterminer le champ de température dans le domaine où règne un champ acoustique. Ce champ de température varie lui aussi en fonction de la distance à la paroi avec un gradient plus ou moins important selon les dimensions de la cavité. La température est obtenue à partir de l'équation thermodynamique de l'énergie [10,11] sous certaines hypothèses thermodynamiques en considérant que la paroi solide est isotherme. En employant la loi des gaz parfaits, on peut exprimer la température en fonction de la pression et ensuite calculer l'énergie thermique dissipée au niveau de la paroi.

La connaissance des champs de vitesse et de pression suffit pour déterminer l'énergie totale dissipée sous forme visco-thermique dans les couches limites et donc le taux d'amortissement d'énergie [12, 13,14] qui est le rapport entre l'énergie dissipée et l'énergie totale du système. En théorie, le calcul ne peut se faire qu'avec les champs locaux de vitesse et de pression à l'interface entre la couche limite et l'intérieur de la cavité. Toutefois, avec les hypothèses faites dans les calculs, lorsque l'amortissement n'est pas très élevé, on propose d'utiliser les variables calculées à partir de l'équation isentropique de Helmholtz.

Pour valider cette approche, nous avons pris un cas test fait d'une cavité parallélépipédique couplée à un résonateur quart-d'onde de section rectangulaire dont on a fait varier la hauteur (une des deux dimensions de la section). Nous avons montré que le taux d'amortissement est un indicateur de dissipation à considérer lorsque les géométries sont irrégulières. La figure 1 montre pour l'une des cavités, le taux d'amortissement d'énergie, ses contributions visqueuse et thermique. La géométrie que nous avons choisie nous permet aussi de donner une estimation du coefficient d'absorption qui, pour des cas faiblement amortis, est très proche du coefficient d'absorption calculé avec le modèle thermo-visqueux (très coûteux en calcul). Pour des cavités fortement amorties, il s'avère nécessaire d'utiliser un modèle thermo-visqueux pour mieux quantifier la dissipation même si qualitativement, le modèle de Helmholtz suffit. Ces deux situations sont montrées sur la figure 2.

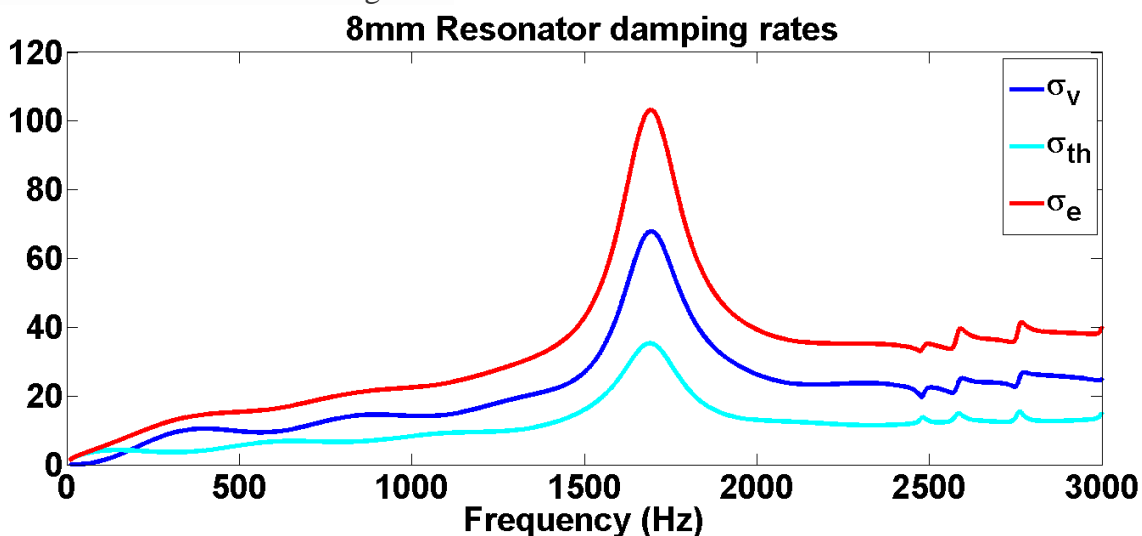


Figure 1 : taux d'amortissement : rouge) taux d'amortissement d'énergie, bleue) sa contribution visqueuse, cyan) sa contribution thermique.

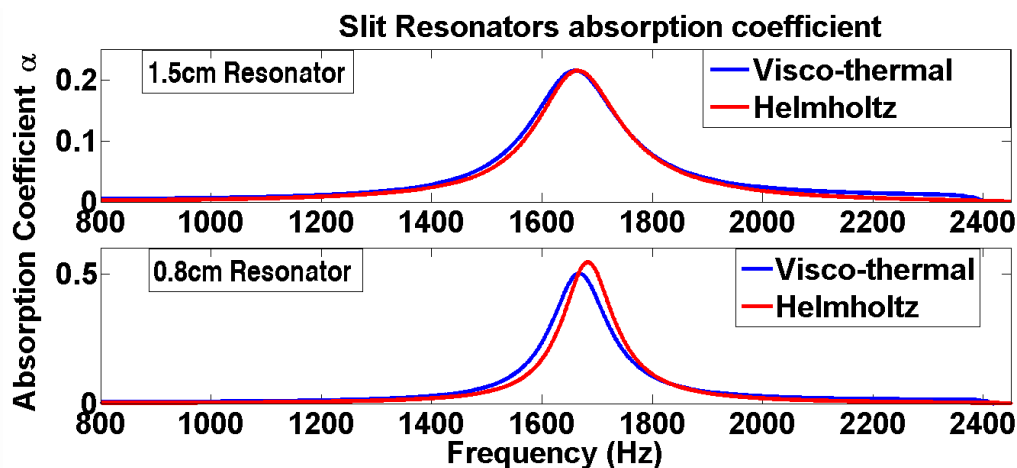


Figure 2: Coefficient d'absorption

Bref, ce travail présente une approche basée sur la théorie des perturbations pour prédire la dissipation acoustique dans une cavité à partir, simplement, de l'équation de Helmholtz. Cette approche est d'autant plus valide que la cavité est faiblement amortie et peut être un outil intéressant pour prédire l'amortissement des cavités irrégulières avec un temps de calcul réduit.

- [1] P.M. Morse and K.U. Ingard. Theoretical acoustics. International series in pure and applied physics. McGraw-Hill, 1968
- [2] A. D. Pierce. Acoustics: An introduction to its Physical and principles and Applications. Acoustical Society of America, 1989.
- [3] G. G. Stokes. On the communication of vibration from vibrating body to surrounding gas. London Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 4<sup>th</sup> series, 36(245):401-421, 1868
- [4] G. Kirchoff, Pogg. Ann. 134, 177 (1868)
- [5] Lord Raleygh, Theory of Sound (Dover Publications, New-York, 1945) Vol. II
- [6] G. K. Batchelor. An introduction to fluids dynamics. Cambridge University Press, 1967.
- [7] Lambert R., A study of factors influencing the damping of an acoustical cavity resonator. Journal of the Acoustical Society of America, vol. 25, No. 6, 1953, 1068-1083
- [8] Kinsler, L. E.; Frey, A. R. Fundamentals of acoustic; Wiley, NY, 1962; 108-113, 201-202
- [9] A. K. Nielsen. Acoustic Resonators of circular cross-section and with axial symmetry. Transactions of Danish Academy of Technical Sciences, 10:9-70, 1949
- [10] E. C. Wente. The Thermophone. Phys. Rev. 19, 333 (1922)
- [11] F. B. Daniels. Acoustical Impedance of Enclosures. J. Acoust. Soc. Am. 19, 569 (1947)
- [12] Geoffrey Searby, Mohammed Habiballah, Aurélie Nicole, and Emmanuel Laroche. Prediction of the efficiency of Acoustic Damping cavities. Journal of Propulsion and Power 2008 24:3, 516-523
- [13] Searby, G.; Nicole, A.; Ordonneau, Gé. & Habiballah, M. A lightweight hybrid method to estimate the linear acoustic damping of arbitrarily complex geometries, 3<sup>rd</sup> European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS), 2009, CDROM-ISBN
- [14] Hori: Dan Hori, Taro Shimizu, Keiichi Kitamura, K. Kuzuu, and Akira Oyaman, Slit resonator damping estimation and proposal of a new geometry, 18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (33rd AIAA Aeroacoustics Conference).
- [15] Shimizu, T., Hori, D., Yoshida, S., Tachibana, S., Matsuyama, S., Shinjo, J., ... & Kobayashi, K. Theoretical and Numerical Estimation of Acoustic Damping of a Model Combustion Chamber. AIAA Paper, 1146. (2010).