

CFA/VISHNO 2016

**Caractérisation expérimentale d'un banc de mesures
acoustique pour absorbeurs linéaires et non linéaires à
basse fréquence et fort niveau : méthodes à un et
plusieurs microphones**

A. Chauvin^a, S. Bellizzi^a, R. Côte^a, P. Herzog^a, M. Monteil^b et M.
Pachebat^a

^aLMA-CNRS, 4 impasse Nikola Tesla, CS 40006, 13453 Marseille Cedex 13, France

^bLAMCOS, INSA-Lyon, Bâtiment Jean d'Alembert 18-20, rue des Sciences, F69621
Villeurbanne, France
chauvin@lma.cnrs-mrs.fr



LE MANS

Cette étude expérimentale est réalisée dans un tube de Kundt court où des mesures de pression sont effectuées au moyen de quatre microphones. La plage fréquentielle va de 10 à 200 Hz pour de forts niveaux allant jusqu'à 300 Pa. Une méthode qui permet de déterminer à l'impédance et le coefficient de réflexion d'une terminaison inconnue est présentée. Cette méthode, nécessite la connaissance de quatre terminaisons inconnues et d'au moins une mesure de pression. Une validation des impédances estimées est effectuée avec plusieurs microphones puis une terminaison inconnue. Le coefficient de réflexion d'une membrane visco-élastique non linéaire est déterminé. Le comportement d'un absorbeur non linéaire est alors mis en évidence.

1 Introduction

Pour réduire le niveau sonore d'un système, différents dispositifs linéaires peuvent être utilisés. On peut notamment citer les matériaux poreux, efficaces en hautes fréquences, ou les résonateurs de Helmholtz, efficaces en basses fréquences dans une plage fréquentielle étroite.

Les absorbeurs vibro-acoustiques non-linéaires de type NES (pour Nonlinear Energy Sink)[1, 2] ont démontré une capacité importante pour absorber l'énergie d'ondes sonores en basse fréquence, où d'autres systèmes d'absorption sont délicats à mettre en oeuvre.

Lorsqu'un système primaire couplé à un NES est soumis à une excitation périodique de forte amplitude, un couplage fort s'établit entre le système primaire et le NES, il en résulte un régime quasi-périodique efficace pour absorber l'énergie basse fréquence. Les vibrations du système primaire sont alors transférées de façon irréversible par le NES. Ce phénomène de dissipation est connu sous le nom de pompage énergétique.

Un banc expérimental SKT (pour Short Tube Kundt) a été conçu pour étudier l'absorption à fort niveau, à basse fréquence et sans coloration spectrale de dispositif d'anti-bruit[3]. Son dimensionnement a été effectué sur le principe d'un tube de Kundt court pour pouvoir travailler en basse fréquence, en dessous de la première fréquence de résonance du tube et sous l'hypothèse d'onde plane.

Dans le cas d'un absorbeur de type NES, le transfert d'énergie effectué est caractérisé par la mesure du coefficient de réflexion associé ou son impédance. Plusieurs classes de méthodes existent pour caractériser une impédance inconnue dans la littérature. La plus répandue est la méthode de la fonction de transfert, initialement développée par Chung et Blaser[4, 5] et standardisée par la norme ISO 10534-2. Elle emploie deux microphones et est principalement utilisée pour mesurer le coefficient d'absorption d'un matériau. Plus récemment, Boonen et al [6] ont proposé une méthode à deux microphones qui utilise au minimum deux impédances connues et ne nécessite pas de permuter les microphones.

Les méthodes basées sur l'utilisation d'un microphone ont fait l'objet de nombreux travaux [7, 8, 9]. Plus récemment, une autre méthode d'estimation du coefficient de réflexion a été développée par Monteil *et al.*[3]. Basée sur un modèle électro-acoustique, le coefficient de réflexion d'une terminaison inconnue est déterminé à partir d'une seule mesure de pression. Plusieurs impédances connues sont utilisées pour caractériser les paramètres de la source acoustique. Cette méthode combine donc les méthodes de caractérisation des sources de bruit, par analogie électro-acoustique [9] qui nécessitent seulement un microphone, et les méthodes à multi-chargeurs pour caractériser une impédance inconnue. Ce travail illustre cette méthode à un microphone et la valide à quatre microphones sur une terminaison linéaire puis sur un NES.

2 Méthode d'identification à un microphone

2.1 Principe

La Figure 1 présente le schéma de principe de la mesure de l'impédance acoustique basée sur la mesure de la pression acoustique en un seul microphone. Le montage est constitué d'une source acoustique de tension de contrôle U , débouchant dans la section de mesure constituée d'un tube dont l'autre extrémité accueille la terminaison à caractériser. Un microphone, affleurant la paroi, mesure les fluctuations de pression P .

Ce montage peut être représenté par un modèle équivalent électroacoustique avec un circuit parallèle comme reporté Figure 1. La source acoustique, contrôlée en tension, est caractérisée par son impédance Z_s et la fonction de transfert électroacoustique H_{ae} entre le débit acoustique Q et la tension de contrôle U :

$$Q = H_{ae}U. \quad (1)$$

La connaissance de H_{ae} et Z_s , et la mesure de la fonction de transfert h , entre la pression P et la tension de contrôle U

$$h = \frac{P}{U} \quad (2)$$

suffisent donc pour caractériser l'impédance Z_T d'une terminaison inconnue.

L'ensemble des développements sera réalisé dans le domaine des fréquences et pour simplifier et par abus de notation la dépendance fréquentielle sera omise.

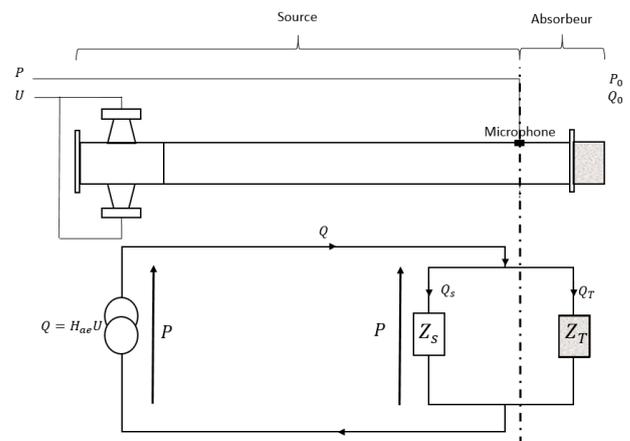


FIGURE 1 – Schéma électroacoustique équivalent.

2.2 Caractérisation de la source

La méthode proposée nécessite d'abord de caractériser la source c'est-à-dire de mesurer les quantités Z_s et H_{ae} .

Sur la base du schéma électroacoustique présenté Figure 1, l'impédance acoustique Z_{tot} du système à l'abscisse du microphone, définie par :

$$Z_{tot} = \frac{P}{Q} \quad (3)$$

où P est la pression mesurée par le microphone et Q , le débit acoustique, est donnée par :

$$\frac{1}{Z_{tot}} = \frac{1}{Z_s} + \frac{1}{Z_T}. \quad (4)$$

Les relations précédentes permettent d'exprimer la fonction de transfert h sous la forme :

$$h = \frac{Z_s Z_T}{Z_s + Z_T} H_{ae}. \quad (5)$$

Ainsi pour caractériser les paramètres de la source, H_{ae} et Z_s , deux mesures, h_1 et h_2 , effectuées avec deux terminaisons différentes mais d'impédances connues, Z_{T_1} et Z_{T_2} , suffisent. Les paramètres de la source s'expriment alors comme suit :

$$H_{ae} = \frac{h_1 h_2 (Z_{T_1} - Z_{T_2})}{Z_{T_1} Z_{T_2} (h_1 - h_2)} \quad (6)$$

$$Z_s = \frac{1}{\left(\frac{1}{(h_1 - h_2)} \left(\frac{-h_1}{Z_{T_1}} + \frac{h_2}{Z_{T_2}} \right) \right)} \quad (7)$$

Il est intéressant de noter que les mesures de h_1 et h_2 étant obtenues avec le même microphone, la mesure de Z_s ne dépend pas de la calibration du microphone, seule H_{ae} porte la trace du microphone.

2.3 Caractérisation d'une terminaison inconnue

Connaissant H_{ae} et Z_s , on peut maintenant remonter à l'impédance et au coefficient de réflexion d'une terminaison inconnue placée à l'extrémité de la section de mesure à partir de la mesure de la fonction de transfert h

Partant de l'Equation (5), l'impédance, Z_T , et le coefficient de réflexion, R_T , de la terminaison inconnue sont alors donnés respectivement par :

$$Z_T = \frac{h Z_s}{H_{ae} Z_s - h} \quad (8)$$

et

$$R_T = \frac{Z_T - Z_c}{Z_T + Z_c} \quad (9)$$

où $Z_c = \rho c / S$ est l'impédance acoustique spécifique du milieu. Des relations (8) et (9), il est facile de constater que les mesures de Z_T et R_T ne nécessitent pas de calibrer les microphones.

Les quantités (8) et (9) caractérisent la terminaison inconnue à l'abscisse du microphone considéré. Connaissant la distance du microphone à l'extrémité de la section de mesure, ces quantités peuvent être ramenées sous l'hypothèse de guide d'onde sans perte.

2.4 Optimisation des paramètres de la source

Si la démarche proposée ne nécessite pas la calibration du microphone, elle reste sensible d'une part à la précision avec laquelle les distances entre le microphone et les terminaisons sont mesurées et d'autre part à l'adéquation, pour chaque terminaison connue, entre le modèle et la réalisation expérimentale de celui-ci.

Pour réduire l'impact de ce dernier point, nous n'avons considéré que des terminaisons ouvertes ou fermées et nous avons multiplié le nombre de terminaisons connues pour effectuer la mesure des paramètres de la source H_{ae} et Z_s [3].

Dans ce cadre, nous avons choisi ici pour estimer les paramètres $H_{ae} = H_{ae}^R + jH_{ae}^I$ et $Z_s = Z_s^R + jZ_s^I$ de résoudre le problème de minimisation dans \mathbb{R}^4 :

$$\min_{H_{ae}^R, Z_s^R, H_{ae}^I, Z_s^I} f_c. \quad (10)$$

La fonction coût est définie par :

$$f_c = \sum_{n=1}^N \left(\frac{|R_{T_n} - \hat{R}_{T_n}|^2}{|R_{T_n}|^2} \right) \quad (11)$$

où N désigne le nombre de terminaisons connues utilisées, R_{T_n} le coefficient de réflexion déduit du modèle d'impédance de la n -ième terminaison connue et \hat{R}_{T_n} le coefficient de réflexion déduit de l'impédance estimée à partir de la mesure de la fonction de transfert h_n pour la n -ième terminaison connue et de la connaissance de la source (H_{ae} et Z_s) selon la relation (8) :

$$\hat{Z}_{T_n} = \frac{h_n Z_s}{H_{ae} Z_s - h_n}. \quad (12)$$

En pratique, le problème de minimisation non-quadratique (10) est résolu fréquence par fréquence, la condition initiale étant donnée par la solution obtenue à la fréquence voisine.

3 Banc expérimental

Le banc expérimental (voir photographie Figure 2(b)) est composé d'une source acoustique (caisson en bois sur la photographie) connectée perpendiculairement à droite et à gauche à deux tubes de PVC de longueur 0.27 m et de diamètre interne 0.17 m dont les deux extrémités sont amovibles. L'extrémité gauche de la source est fermée par un bouchon rigide en PVC. L'extrémité droite de la source est connectée à une section de mesure instrumentée de 0.17 m de diamètre interne et de 0.8 m de longueur. Quatre microphones, M_i positionnés à l'abscisse x_i pour $i = 1, \dots, 4$, de type GRAS 40 BH affleurants sont disposés le long du tube comme indiqué sur le schéma de l'installation présenté Figure 2(a). L'extrémité droite de la section de mesure peut accueillir différentes terminaisons d'impédance connues ou à déterminer.

3.1 Description de la source

La source est composée de deux paires de haut-parleurs (Beyma 10 LW/N) de 0.25 m de diamètre avec volume arrière de 27 L, placés en vis-à-vis et perpendiculaires à l'axe du tube. Les hauts-parleurs sont espacés de 90°. Les quatre hauts-parleurs sont pilotés en tension. Cette source a été conçue pour émettre un fort niveau de pression dans une large bande de fréquence.

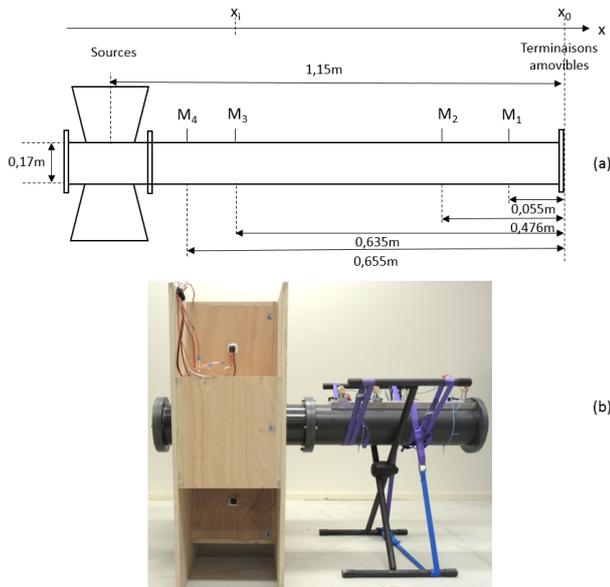


FIGURE 2 – (a) Schéma du banc expérimental. (b) Banc expérimental.

3.2 Système d'acquisition et signal d'excitation

Les quatre microphones placés le long du tube sont reliés à des conditionneurs (GRAS 12 AA) avant d'être raccordés à un multi-analyseur OROS 38 qui enregistre les signaux simultanément.

Les haut-parleurs sont pilotés en tension à l'aide d'un signal d'excitation de type « bruit large bande » généré par le multi-analyseur OROS 38 en association avec un amplificateur TIRA BAA 120. L'amplificateur TIRA BAA 120 fournit une mesure de la tension aux bornes des haut-parleurs qui est enregistrée par le multi-analyseur.

A partir des mesures des pressions et de la tension, le multi-analyseur OROS 38 fournit une mesure des fonctions de transfert en chaque microphone, h_{mes}^i pour $i = 1, \dots, 4$.

La fréquence d'échantillonnage est de 3200 Hz, la bande en fréquence d'excitation varie de 10 à 200 Hz et la résolution en fréquence est fixée à 500 mHz.

4 Estimation de la source

4.1 Les terminaisons de référence

La détermination des paramètres de la source (H_{ae} et Z_s) est réalisée en utilisant des terminaisons connues appelées aussi terminaisons de référence. Quatre terminaisons d'impédance connues ont été conçues pour être placées au bout de la section de mesure afin de caractériser la source. Elles sont composées d'une terminaison ouverte (CO), de deux terminaisons dites fermées (CF, LF) constituées d'un tube fermé de section identique à la section de mesure et de longueurs différentes et d'une terminaison appelée Diaphragme (DI) constituée d'un tube terminé par un baffle rectangulaire percé d'un trou circulaire.

Cette terminaison a été choisie car son impédance peut-être estimée analytiquement. De plus, son changement de diamètre permet de s'approcher des caractéristiques géométriques de la membrane visco-élastique dont nous cherchons à déterminer le coefficient de réflexion dans la Section suivante. Ces quatre terminaisons sont décrites

Table 1.

TABLEAU 1 – Caractéristiques des terminaisons.

Terminaison	L (m)	Type de fermeture
Court Ouvert (CO)	0	\emptyset
Court Fermé (CF)	0	PVC
Long Fermé (LF)	0.314	Bois
Diaphragme (DI)	0.314	Baffle de bois percé d'un disque de rayon $r_{DI} = 0.065$ m

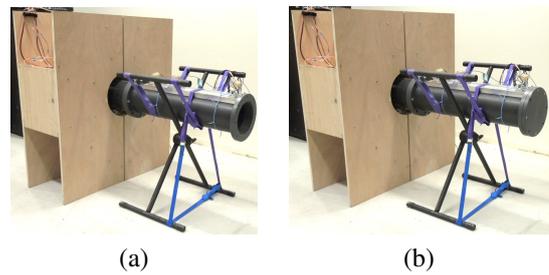


FIGURE 3 – Banc expérimental équipé de la terminaison CO (a) et CF (b).

La Figure 3 présente une photographie des terminaisons CO et CF fixées au banc expérimental.

Les impédances théoriques correspondantes sont données ci-après

- pour un tube fermé (à l'abscisse x_0 c'est-à-dire à l'extrémité droite de la section de mesure (voir Figure 2(a))) par :

$$Z_{th}^C = \frac{Z_c}{j \tan(kL)} \quad (13)$$

où $Z_c = \rho c / S$, $k = \omega / c$ est le nombre d'onde (avec $\omega = 2\pi f$ est la pulsation considérée) et L désigne la longueur de la terminaison considérée (voir Table 1).

- pour le tube ouvert (à l'abscisse x_0) par[10] :

$$Z_{th}^O = Z_c \left(\frac{1}{4}(ka)^2 + j0.6133ka \right) \quad (14)$$

et a est le rayon interne du tube.

- pour le diaphragme (à l'abscisse $x_0 + L$) par[10] :

$$Z_{DI} = Z_{ray} + Z_{cor} \quad (15)$$

où Z_{ray} est l'impédance rayonnée :

$$Z_{ray} = \frac{1}{2}(kr_{DI})^2 + j \frac{8}{3\pi} \frac{\rho c}{S_{DI}} kr_{DI} \quad (16)$$

et Z_{cor} est une correction d'impédance prenant en compte la masse ajoutée :

$$Z_{cor} = j \frac{8}{3\pi} \frac{\rho c}{S_{DI}} \left(1 - \sqrt{\frac{S_{DI}}{S}} \right) kr_{DI} + j0.7 \frac{\rho c}{S_{DI}} ke_{DI} \quad (17)$$

où S_{DI} est la surface de l'ouverture du diaphragme, r_{DI} est le rayon de l'orifice et $e_{DI} = 0.02$ m son épaisseur.

Les coefficients de réflexion théoriques intervenant dans la fonction coût (11) sont déduits des impédances théoriques (13 et 15) ramenées à la position du microphone considérée par la matrice de transfert suivante[10] :

$$\begin{pmatrix} P_i \\ Q_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos kl & Z_c j \sin kl \\ Z_c^{-1} j \sin kl & \cos kl \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_0 \\ Q_0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

où $l = x_0 - x_i$ (voir Figure 2(a)).

4.2 Estimation au microphone M_1

La Figure 4 présente l'impédance Z_s et la fonction de transfert électroacoustique H_{ae} estimées sur la plage [10, 200] Hz au microphone M_1 à partir des mesures de h_{mes}^1 pour les quatre terminaisons de référence.

Ces résultats ont été obtenus avec une température ambiante T_{atm} de 22° C et une pression atmosphérique P_{atm} de 103.2 kPa. La masse volumique de l'air, ρ et la célérité, c sont calculés à partir de ces grandeurs par les formules recommandées dans la norme ISO 10534-2 :

$$c = 343.2 \sqrt{\frac{T}{293}} \quad \rho = 1.186 \frac{293 P_{atm}}{101325 T_{atm}} \quad (19)$$

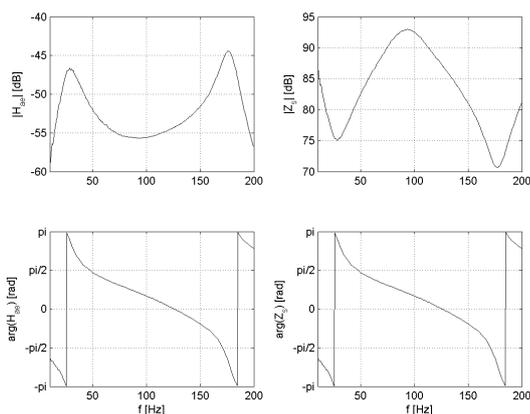


FIGURE 4 – H_{ae} et Z_s estimées au microphone M_1 .

La qualité de l'estimation des fonctions Z_s et H_{ae} peut être analysée en comparant les fonctions de transfert mesurées, h_{mes}^1 , avec les fonctions de transfert, notées h_{rec}^1 , reconstruites à partir de Z_s et H_{ae} avec la relation (5).

Ces comparaisons sont visualisées Figure 5 pour les quatre terminaisons. On constate que h_{rec}^1 et h_{mes}^1 se superposent relativement bien en module et en phase.

Une étude similaire peut être menée en considérant l'impédance de la terminaison Z_T et le coefficient de réflexion R_T que l'on peut aussi reconstruire à partir de Z_s et H_{ae} . Ces comparaisons sont reportées Figure 6 pour les quatre terminaisons. Les terminaisons de référence sont représentées par différentes nuances de gris. On constate que l'impédance reconstruite pour toutes les terminaisons CO, CF, DI et LF présentent un bon accord avec les impédances théoriques tant en module qu'en phase. Les terminaisons fermées ont, théoriquement, un coefficient de réflexion de 1. Les terminaisons CO et DI voient leurs coefficients de réflexion diminuer lorsque la fréquence augmente. Ces tendances sont captées par la reconstruction de R_{rec}^1 . Le coefficient de réflexion estimé pour les terminaisons fermées

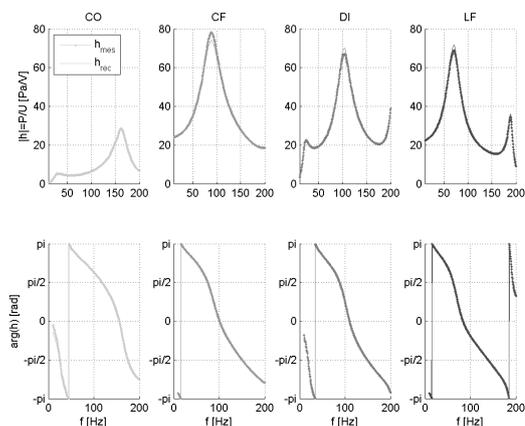


FIGURE 5 – Comparaison de h_{mes}^1 (ligne pointillée) et h_{rec}^1 (ligne continue) pour les 4 terminaisons au microphone M_1 .

voisin de 1.

Finalement, pour toutes les terminaisons, l'erreur entre les coefficients de réflexion théorique et reconstruit est inférieur ou égal à 5% quelle que soit la fréquence.

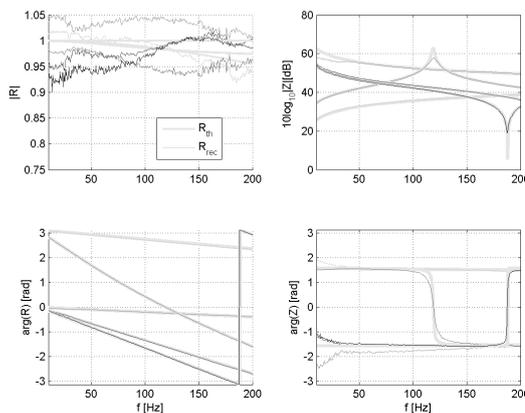


FIGURE 6 – Comparaison des impédances et coefficient de réflexion théorique et reconstruit pour les 4 terminaisons au microphone M_1 .

4.3 Comparaison des estimées aux quatre microphones

Une estimation des fonctions H_{ae} et Z_s peut être obtenue à chaque microphone M_1, M_2, M_3 et M_4 . Ces fonctions étant uniquement liés à la source, elle sont indépendantes des terminaisons utilisées pour les estimer.

L'impédance de la source Z_s estimée à un microphone M_{i_1} donné, peut être ramenée à la position d'un autre microphone M_{i_2} (suivant la matrice de transfert (18)) par :

$$Z_s^{i_1} = \frac{\cos(kl) + jZ_c \sin(kl) Z_s^{i_2^{-1}}}{jZ_c^{-1} \sin(kl) + \cos(kl) Z_s^{i_2^{-1}}} \quad (20)$$

où $l = x_{i_2} - x_{i_1}$

La fonction de transfert électroacoustique H_{ae} estimée à un microphone M_{i_1} donné, peut elle aussi être ramenée à la position d'un autre microphone M_{i_2} . Partant du schéma électroacoustique présenté Figure 1, on peut montrer que :

$$H_{ae}^{i_2} = (Z_c j \sin(kl) Z_s^{i_2^{-1}} + \cos(kl)) H_{ae}^{i_1} \quad (21)$$

La Figure 7 (respectivement Figure 8) présente les fonctions H_{ae} (respectivement Z_s) estimées en chaque microphone puis ramenées au microphone M_1 : H_{ae^r} (respectivement Z_{s^r})

Les deux grandeurs ramenées présentent une bonne superposition quel que soit le microphone. Quelques différences, inférieures à 1 dB sont toutefois observées. H_{ae} dépend de la sensibilité de chaque microphone ce qui peut être une source d'erreur. De plus, les différences observées entre les microphones peuvent être attribuées aux incertitudes sur les longueurs de tube ainsi que sur la célérité du son. Il est donc recommandé d'effectuer les mesures de caractérisation de H_{ae} et Z_s en même temps que les mesures sur les terminaisons inconnues, que l'on souhaite caractériser. La similarité des conditions atmosphériques améliore grandement la qualité des impédances et des coefficients de réflexion estimés.

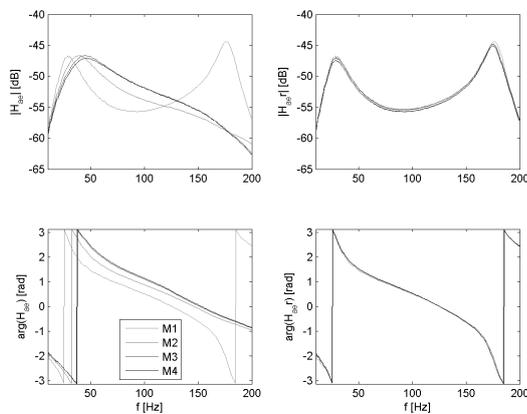


FIGURE 7 – Amplitude et phase de H_{ae} estimée aux quatre microphones. H_{ae^r} : amplitude et phase de H_{ae} ramenée au microphone M_1 .

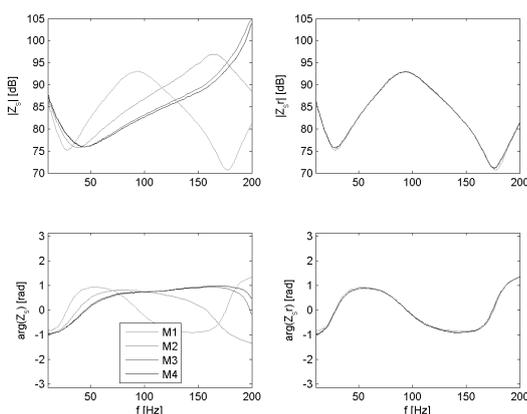


FIGURE 8 – Idem Figure 7 pour Z_s

5 Application de la méthode à une terminaison longue fermée

Pour valider la méthode à un microphone, le coefficient de réflexion d'une terminaison fermée constituée d'un tube de

longueur $L = 0.403$ m est estimé à partir des paramètres de la source (H_{ae} et Z_s) déterminés précédemment.

L'impédance et le coefficient de réflexion théoriques sont comparés, Figure 9, à l'impédance et au coefficient de réflexion estimés par la méthode. L'impédance théorique a été obtenue par l'expression (13) puis ramenée à la position du microphone M_1 .

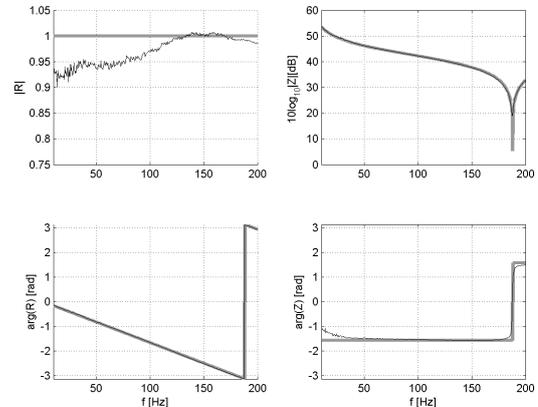


FIGURE 9 – Comparaison de (a-c) R_T et (b-d) Z_T estimés et théoriques au microphone M_1 pour la terminaison longue fermée.

La phase et le module du coefficient de réflexion estimé présentent un bon accord avec la théorie. L'écart est du même ordre de grandeur que celui mesuré figure 6 pour les terminaisons de référence. La phase et le module de l'impédance estimée présentent aussi un bon accord avec la théorie. La résonance autour de 180 Hz est bien captée par l'estimation de l'impédance. On peut noter une différence au niveau de l'amplitude du pic et une différence lorsque la phase tourne. Cela peut être attribué à des dissipations non prises en compte dans le modèle.

La bonne qualité de la reconstruction de l'impédance par cette méthode nous permet donc de pouvoir estimer le coefficient de réflexion d'une terminaison inconnue.

6 Application de la méthode à une membrane visco-élastique

6.1 Description de la membrane

Afin d'approfondir la compréhension du transfert d'énergie effectué par un absorbeur non linéaire de type NES (Nonlinear Energy Sink), une fine membrane visco-élastique circulaire et faiblement pré-tendue est disposée au bout de la section de mesure. Cette membrane faite de latex est prise en étau entre des disques métalliques. Son diamètre est de 60 mm. Le montage de ce NES est présenté figure 10.

6.2 Configuration expérimentale

La tension appliquée aux bornes du haut parleur varie de 0.3 V à 10.2 V. Pour les faibles tensions, jusqu'à 0.7 V, la fonction de transfert h observée à un même microphone ne varie pas, traduisant le comportement linéaire de la membrane. L'augmentation de la tension au-delà de 0.7 V met en exergue le comportement non-linéaire du NES.

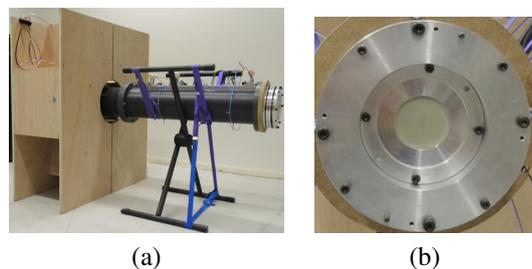


FIGURE 10 – (a) Membrane visco-élastique placée au bout de la section de mesure. (b) Détail de la membrane

La figure 11 présente l'évolution du coefficient de réflexion R_{NES} et de l'impédance Z_{NES} estimée pour trois tensions d'alimentation. Les mesures effectuées sur la membrane visco-élastique ont mis en évidence son comportement non linéaire cubique. Ce travail offre la possibilité d'approfondir et quantifier la dissipation induite par un NES ou d'autres absorbeurs. Par ailleurs, l'exploitation des mesures effectuées aux quatre microphones ouvre la possibilité de développement basés sur les méthodes à deux microphones.

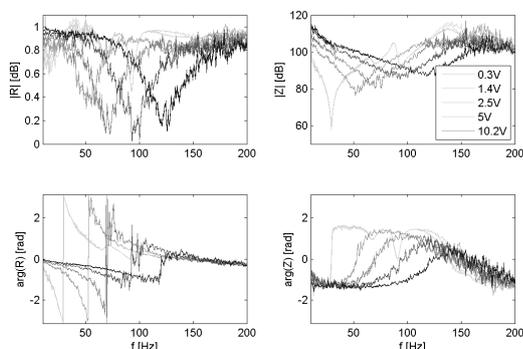


FIGURE 11 – Impédance et coefficient de réflexion reconstruit pour le NES pour les quatre microphones ramenés en M_1 .

L'augmentation de la tension induit un déplacement de la fréquence de résonance du système vers les hautes fréquences. Ce comportement est représentatif d'une non-linéarité cubique, comme le montrent le modèle théorique de Bellet *et al.* [1]. Ce déplacement fréquentiel de la résonance peut aussi être observé sur l'impédance reconstruite.

Après que la résonance passe par un coefficient de réflexion minimal à 100 Hz pour $U=5$ V, celui-ci augmente. Ce raidissement est lié à la non-linéarité cubique. Il a aussi été mis en évidence par Monteil *et al.* [3] expérimentalement et en assimilant le système à un résonateur de Helmholtz, modélisé par un modèle de Frahm.

7 Conclusion

Ce travail présente une méthode d'estimation du coefficient de réflexion et de l'impédance de terminaisons inconnues à partir d'un microphone et de quatre terminaisons de référence. Cette méthode, qui estime à la fois les paramètres de la source et de la terminaison inconnue a été appliquée à quatre microphones. Une validation de la méthode de mesure a été effectuée avec une terminaison inconnue. La reconstruction de l'impédance à partir de cette méthode a donné 5% d'écart avec l'impédance théorique attendue pour toute la gamme de fréquences étudiées. Il

a été montré que les paramètres de la source peuvent être ramenés à une position de mesure quelconque dans le SKT. Les mesures effectuées sur la membrane visco-élastique ont mis en évidence son comportement non linéaire cubique.

Ce travail offre la possibilité d'approfondir et quantifier la dissipation induite par un NES ou d'autres absorbeurs. Par ailleurs, l'exploitation des mesures effectuées aux quatre microphones ouvre la possibilité de développement basés sur les méthodes à deux microphones.

Remerciements

Les auteurs remercient la SATT-SE pour son soutien.

Références

- [1] R. Bellet, and B. Cochelin and R. Côte and P.-O Mattei, *Enhancing the dynamic range of the targeted energy transfer in acoustics using several nonlinear membrane absorbers*, Journal of Sound and Vibration, v331, p5657-5668 (2012).
- [2] R. Côte, M. Pachebat, S. Bellizzi *Experimental evidence of simultaneous multi-resonance noise reduction using an absorber with essential nonlinearity under two excitation frequencies*. & Journal of Sound and Vibration ,v333, p5057-5076 (2014).
- [3] M. Monteil, R. Côte, M. Pachebat, S. Bellizzi, P. Herzog *Comparaison de techniques d'absorptions vibro-acoustiques*, 22 ème CFM (2015).
- [4] J.Y. Chung, and D.A. Blaser *Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory* & Journal of Acoustical Society of America ,v68(3), p907-913 (1980).
- [5] J.Y. Chung, and D.A. Blaser *Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II. Experiment* & Journal of Acoustical Society of America ,v68(3), p914-921 (1980).
- [6] R. Boonen, P. Sas, W. Desmet, W. Lauriks, and G. Vermeir, *Calibration of the two microphone transfer function method with hard wall impedance measurements at different reference sections* & Mechanical Systems and Signal Processing ,v23, p1662-1671 (2009).
- [7] M.G. Prasad *A four load method for evaluation of acoustic source impedance in a duct* & Journal of Sound and Vibration ,v114, p347-356 (1987).
- [8] H. Bodèn *Error analysis for the two-load method used to measure the source characteristics of fluid machines* & Journal of Sound and Vibration ,v126, p173-177 (1988).
- [9] H. Bodèn *The multiple load method for measuring the source characteristics of time-variant sources* & Journal of Sound and Vibration ,v148, p437-453 (1991).
- [10] A. Chaigne, J. Kergomard *Acoustique des instruments de musique* & Edition Belin (2008).