

COVER PAGE

Document downloaded by @DAEL

Mon Nov 9 00:43:39 2026
For personal use

When automatic English translation is provided, only the original document is authentic.
The EAA cannot be held responsible of any translation error

Bibliographical reference

Détermination de l'Épaisseur d'un Tube élastique à partir de l'Analyse Temps-Fréquence de Wigner-Ville, R. Latif, R. Latif, E. Aassif, M. Laaboubi and G. Maze, Acta Acustica **vol. 95** (Number 5), 2009, pp. 843-848

DOI
https://doi.org/10.3813/AAA.918215

Acta Acustica united with Acustica
Vol. 95 (2009) 843 – 848

DOI 10.3813/AAA.918215

Détermination de l'Épaisseur d'un Tube élastique à partir de l'Analyse Temps-Fréquence de Wigner-Ville

R. Latif
ESSI, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, B.P 1136, Université Ibn Zohr, 80000 Agadir, Maroc.
latif@ensa-aqadir.ac.ma

R. Latif, E. Aassif, M. Laaboubi
Laboratoire de Métrologie et Traitement de l'Information, Université Ibn Zohr, 80000 Agadir, Maroc

G. Maze
Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, Université du Havre, le Havre, France

Determination of the Thickness of Elastic Tube Using the Time-Frequency Analysis of Wigner-Ville

The dimensional characterization of an elastic cylindrical shell can be done thanks to its cut-off frequencies of the acoustic circumferential waves propagating around the circumferential of the shell. The Wigner-Ville time-frequency representation, that take into account both the time and frequency parameters of a signal, is used in this study to access to the sought parameters. In this paper, the Wigner-Ville Distribution is applied to acoustic experimental signals backscattered by an aluminium tube with a radii radio b/a (a: external radius, b: internal radius). The time-frequency images of Wigner-Ville obtained permit to determine the cut-off frequency. From these frequencies we have determined with precision the radii radio b/a and also the aluminium cylindrical shell thickness.

Sommaire

La caractérisation dimensionnelle d'une coque cylindrique élastique peut se faire à partir des fréquences de coupure des ondes circonférentielles acoustiques se propageant autour de la circonférence de la coque. La représentation temps-fréquence de Wigner-Ville, qui prend en compte à la fois le paramètre temps et le paramètre fréquence d'un signal, est utilisée dans cette étude pour accéder aux paramètres recherchés. Dans cet article, la Distribution de Wigner-Ville est appliquée sur des signaux expérimentaux acoustiques rétrodiffusés par un tube d'aluminium de rapport des rayons b/a (a: rayon externe, b: rayon interne). Les images temps-fréquence de Wigner-Ville obtenus permettent de déterminer la fréquence de coupure. A partir de ces fréquences nous avons déterminé, avec précision, le rapport des rayons b/a ainsi que l'épaisseur de la coque cylindrique d'aluminium.

PACS no. 43.4.0.At

1. Introduction

De nombreuses études, théoriques et expérimentales, ont montré que les résonances acoustiques d'une cible sont liées à ses propriétés physiques et géométriques [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Inversement, à partir de ces résonances on peut caractériser le matériau constituant une cible dont on connaît la géométrie. Parmi toutes les cibles de formes géométriques simples (plaque, multicouche, cylindre, sphère, tube, ...), les tubes ont fait l'objet de très peu d'études de caractérisation. Dans ce travail nous nous proposons de déterminer certaines propriétés physiques d'un tube mince élastique de rapport des rayons b/a (a: rayon externe, b: rayon interne). A cet effet, nous faisons appel à la représentation temps-fréquence de Wigner-Ville qui tient compte à la fois du paramètre temps et du paramètre fréquence [8, 9, 10, 11, 12]. L'image temps-fréquence de Wigner-Ville du signal acoustique rétrodiffusé par ce tube permet de déterminer la fréquence réduite de coupure d'un type d'onde circonférentielle antisymétrique (A1, A2, ...) se propageant autour de la circonférence du tube. Ces fréquences permettent alors de déterminer le rapport des rayons du tube b/a ainsi que l'épaisseur de ce dernier. Dans cette étude nous utilisons trois tubes d'aluminium de différents rapports b/a. Ces différents exemples permettent d'évaluer les performances et la robustesse de l'analyse temps-fréquence de Wigner-Ville pour la détermination dimensionnelle du rapport des rayons et de l'épaisseur de la coque cylindrique étudiée.

Reçu le 25 juin 2007,
accepté le 9 février 2009.

© S. Hirzel Verlag · EAA

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only

2. Réponse impulsionnelle expérimentale

2.1. Conditions expérimentales

L'étude expérimentale est conduite dans une cuve parallélépidique. Pour obtenir des signaux exploitables, il est nécessaire de ne pas être gêné par des réflexions sur les parois de la cuve. Ce dernier est équipé de système de positionnement précis pour les échantillons et les capteurs piézoélectriques. Cette cuve est remplie d'eau dont la masse volumique est $\rho_{\text{eau}} = 1000\,\text{kg/m}^3$ et dans laquelle la célérité des ondes acoustiques est $c_{\text{eau}} = 1470\,\text{m/s}$ a été mesurée à la température ambiante de 20°C. Les capteurs piézoélectriques utilisés, dans cette expérience, sont de marque Panametrics. La largeur de leur bande passante est de l'ordre de leur fréquence centrale 10 MHz, nous permet de mener des expériences dans un large domaine fréquentiel. Ils peuvent aussi bien fonctionner en émetteur qu'en récepteur. La dimension de la pastille piézoélectrique du capteur étant finie ($D_1 = 1\,\text{cm}$), ce dernier n'émet pas de l'énergie uniquement suivant la direction axiale. La directivité du transducteur est proportionnelle au rapport de l'intensité diffractée suivant cette direction. Pour n'est pas être gêné par la diffraction générée par les lobes secondaires (qui sont négligés dans notre expérience), il est nécessaire de respecter les conditions suivantes dans l'expérience:

- La section droite du lobe principal doit avoir un diamètre supérieur au diamètre de l'échantillon ($D_2 = 2a = 1\,\text{cm}$, a est le rayon externe du tube),
- L'axe du faisceau ultrasonore est perpendiculaire à l'axe du tube,
- Les mesures sont faites en champ lointain ; la distance transducteur-échantillon est comprise en $d = 0.2$ et $d = 0.5\,\text{m}$ (avec $d \gg a$).

Les échantillons sont des tubes d'aluminium de différent rapport des rayons b/a inconnu. La masse volumique d'aluminium est $\rho_{\text{Al}} = 2790\,\text{kg/m}^3$ et la célérité de l'onde à polarisation longitudinale est $c_L = 6380\,\text{m/s}$ et la célérité de l'onde à polarisation transversale est $c_T = 3100\,\text{m/s}$. Dans l'expérience utilisée dans ce travail la longueur du tube d'Aluminium ($L = 20\,\text{cm}$) est suffisamment grande devant la longueur d'onde incidente pour qu'ils puissent être considérés comme infinie et pour répondre aux conditions théoriques [13]. La Figure 1 présente le dispositif expérimental utilisé dans ce travail. Ce dispositif est constitué d'un générateur d'impulsions, d'un oscilloscope numérique, capteur piézoélectrique et d'un tube d'aluminium.

2.2. La méthode impulsionnelle expérimentale

La chaîne de mesure qui contient un générateur d'impulsions, qui excite électriquement le capteur piézoélectrique de large bande, est illustrée par la Figure 2. Le générateur génère une impulsion de grande amplitude et de courte durée. Ce dernier transforme cette impulsion électrique en une énergie mécanique (onde acoustique). A la sortie du capteur, nous avons un signal incident important qui contient des informations intéressantes. Le tube

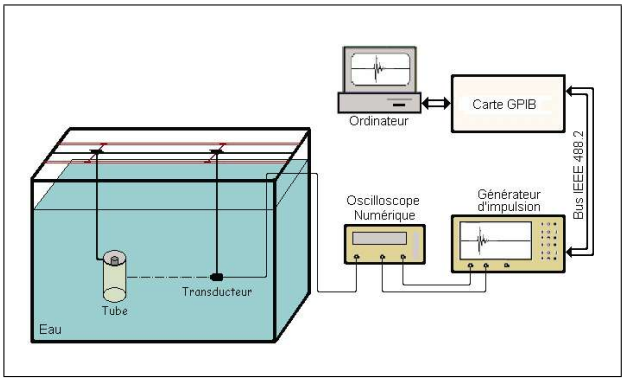


Figure 1. Dispositif expérimental.

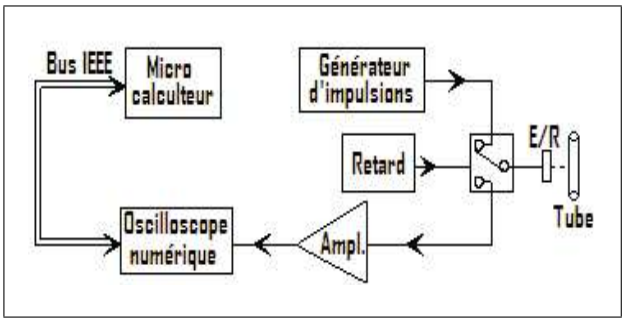


Figure 2. Chaîne de mesure de la méthode impulsionnelle.

réagit en diffusant de l'énergie dans toutes les directions. Le signal rétrodiffusé est capté par le même capteur. Le changement du mode de fonctionnement du capteur est assuré par une porte intégrée au générateur d'impulsions. Le signal reçu est ensuite amplifié puis envoyé vers un oscilloscope numérique de type Lecroy 931OM-300 MHz. Ce dernier est aussi équipé d'un logiciel de traitement de signaux. Ce logiciel permet d'effectuer la transformée de Fourier rapide du signal reçu. L'oscilloscope numérique est connecté à un ordinateur par une interface IEEE 488.2. Une application LabVIEW, réalisée dans notre Laboratoire "LMTI", permet le dialogue entre le calculateur et l'oscilloscope numérique. Ce qui permet de stocker les signaux temporels et fréquentiels dans la mémoire du calculateur, afin de les analyser par la suite à l'aide d'autres programmes.

Le signal émis par le capteur est de type impulsionnel, donc nécessairement large bande. La Figure 3 présente un exemple d'un signal expérimental rétrodiffusé par un tube d'aluminium de rapport des rayons b/a inconnu. L'observation de ce signal montre la présence d'un nombre d'échos relatifs à l'onde circonférentielle antisymétrique A1 (gamme de fréquence réduite $102.4 < ka < 204.8$) qui se propagent autour de la circonférence du tube. La fréquence réduite ka (sans unité) est définie par la relation

$$ka = \frac{2\pi f a}{c_{\text{eau}}}, \tag{1}$$

où f est la fréquence de résonance d'une onde circonférentielle en Hz.

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only

La Figure 3 montre un exemple d'un signal expérimental global rétrodiffusé par un tube d'Aluminium. Ce signal contient les différents échos des ondes circonférentielles (S0, A1, S1, S2, A2, ...). Sur cette Figure nous avons ajouté des flèches qui indiquent les différents échos.

La Figure 4, qui contient seulement l'onde A1, est obtenue par l'application des étapes suivantes:

- Etape 1: A l'aide de la transformé de Fourier rapide (FFT), nous avons calculé le spectre fréquentiel du signal global (Figure 3),
- Etape 2: Filtrage fréquentiel du spectre obtenu: isolement des fréquences de l'onde A1 et remplacement des autres fréquences, proportionnelles aux autres ondes (S0, S1, S2, A2), par des zéros,
- Etape 3: Le signal expérimental de la Figure 4, qui contient seulement l'onde A1, est obtenu par l'application de la transformé de Fourier inverse (FFT^{-1}) du spectre fréquentiel obtenu dans l'étape 2,

Dans ce travail, la technique temps-fréquence de Wigner-Ville est utilisée pour déterminer la fréquence réduite de coupure $(ka)_c$ et mesurer le rapport des rayons b/a inconnu des trois tubes d'aluminium.

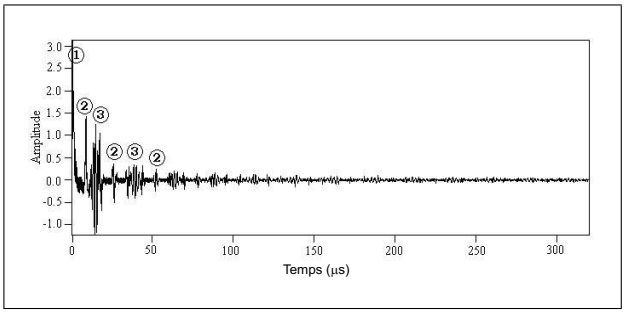


Figure 3. Signal expérimental global rétrodiffusé par un tube d'Aluminium (Echo spéculaire, les échos des ondes circonférentielles et l'écho de l'onde de Scholte).

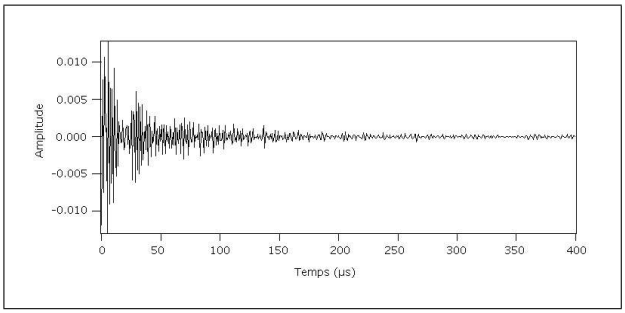


Figure 4. Signal expérimental rétrodiffusé par un tube d'Aluminium (Echo de l'onde circonférentielle antisymétrique A1).

3. Analyse temps-fréquence de la réponse acoustique rétrodiffusée par un tube

3.1. Représentation temps-fréquence de Wigner-Ville

Plusieurs travaux de recherche ont été consacrés au cours de ces dernières années aux différentes méthodes de représentation temps-fréquence paramétrique et non paramétrique [8, 9, 10, 11, 12]. Parmi ces différentes techniques, c'est la représentation de Wigner-Ville qui a été retenue dans ce travail en raison de ses intéressantes propriétés. Elle se définit par [8, 9]

$$W_z(t,\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(t+\tau/2)\, z^*(t-\tau/2)\, \mathrm{e}^{-2\mathrm{i}\pi\nu t}\mathrm{d}\tau, \qquad (2)$$

où $z(t)$ est le signal analytique associé au signal temporel d'énergie finie $x(t)$ et $z^*(t)$ son complexe conjugué. En pratique, c'est la version dite Pseudo Wigner-Ville Lissée (PWVL) qui est implémentée dans ce travail. Cette représentation est définie par la relation

$$PWVL_z(t,\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left|h(\tau/2)\right|^2 \int_{-\infty}^{+\infty} g(t-u) \cdot z(t+\tau/2)\, z^*(t-\tau/2)\, \mathrm{e}^{-2\mathrm{i}\pi\nu z}\, \mathrm{d}\tau\, \mathrm{d}u, \qquad (3)$$

où h et g sont deux fenêtres de lissages temporelle et fréquentielle qui sont à choisir convenablement [9, 10].

La représentation temps-fréquence PWVL donnée par l'équation (3) faisant appel à ces deux fenêtres. La fenêtre d'analyse $g(t)$ ne contrôle plus que le résolution fréquentielle, la résolution temporelle étant quant à elle contrôlée par la fenêtre $h(t)$. Ces deux grandeurs peuvent être réglées de manière indépendante. Cette indépendance propriété représente une différence fondamentale par rapport aux méthodes de transformé de Fourier à court terme classique où lissage en temps et lissage en fréquence ne peuvent être découplés. La propriété d'indépendance permet aussi de dépasser les compromis inhérents aux représentations temps-fréquence de type spectrogramme [9, 10].

3.2. Images PWVL des signaux expérimentaux rétrodiffusés par des tubes

Les Figures 5 à 7 montrent les images PWVL obtenues par l'équation (3), sur des signaux expérimentaux rétrodiffusés par trois tubes de rapport des rayons b/a inconnus. L'observation de ces images montre bien, l'effet de filtrage numérique utilisé pour chaque gamme de fréquence ka de l'onde circonférentielle antisymétrique A1 (isolement de cette onde). Les images des Figures 5 à 7 correspondent les gammes de fréquence réduite de l'onde circonférentielle antisymétrique A1; $220 < ka < 375$, $130 < ka < 200$ et $65 < ka < 120$ successivement. Sur ces figures l'onde circonférentielle antisymétrique A1 est bien isolé. Ces images montrent deux trajectoires. La partie basse fréquence de cette onde arrive plus tardivement que la partie haute fréquence, ce qui signifie que la vitesse de groupe de cette onde croît en fonction avec la fréquence.

Quand le temps augmente, les trajectoires associées à l'onde antisymétrique A1 pour chaque cas, tendent vers une valeur asymptotique qui est la fréquence réduite de coupure $(ka)_c$ de cette onde. Cette fréquence correspond au point d'intersection de la trajectoire asymptotique de l'onde antisymétrique A1 et de l'axe des fréquences. Les valeurs de la fréquence réduite de coupure $(ka)_c$, relevées

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only

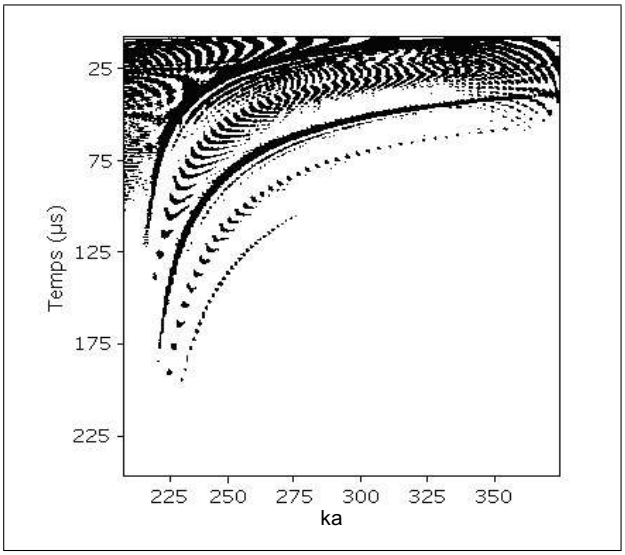


Figure 5. Image PWVL de la réponse impulsionnelle du premier tube d'aluminium ($220 < ka < 375$, Onde circonférentielle antisymétrique A1).

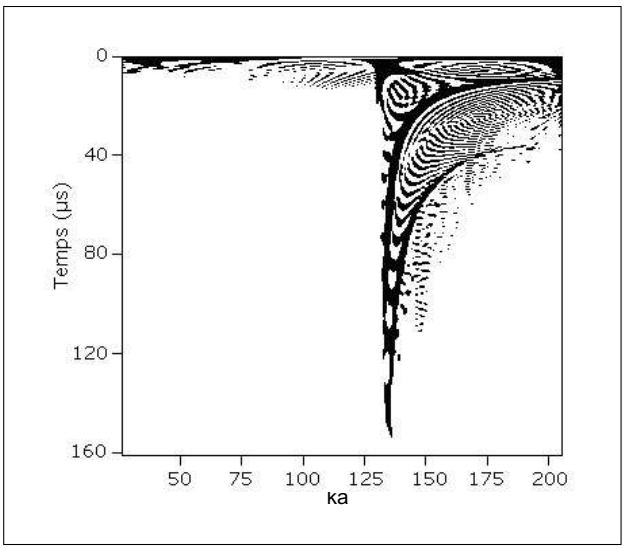


Figure 6. Image PWVL de la réponse impulsionnelle du deuxième tube d'aluminium ($130 < ka < 200$, Onde circonférentielle antisymétrique A1).

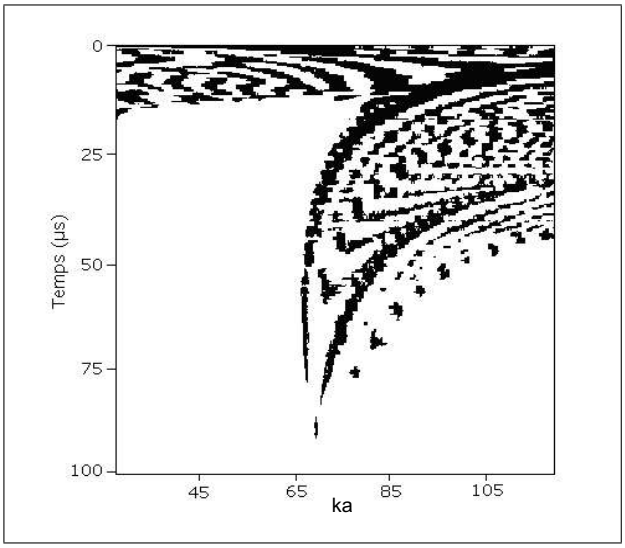


Figure 7. Image PWVL de la réponse impulsionnelle du troisième tube d'aluminium ($65 < ka < 120$, Onde circonférentielle antisymétrique A1).

Tableau I. Fréquences réduites de coupure de l'onde antisymétrique A1.

PWVL de l'onde antisymétrique A1	$(ka)_c$ déterminée
Premier tube d'Aluminium (Figure 5)	221±0.2
Deuxième tube d'Aluminium (Figure 6)	132±0.3
Troisième tube d'Aluminium (Figure 7)	66±0.3

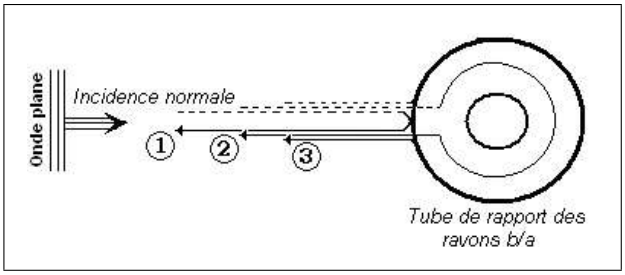


Figure 8. Mécanisme de formation des échos.

à partir des images des figures 5 à 7, sont présentées dans le Tableau I.

4. Détermination du rapport des rayons b/a à partir des images PWVL

La Figure 8 montre le mécanisme de formation des différents échos; l'écho spéculaire généré par la réflexion sur la surface avant du tube, les échos des ondes circonférentielles et l'écho de l'onde de Scholte. Ces ondes circonférentielles propageant autour de la circonférence du tube.

Le capteur émet de l'énergie uniquement suivant la direction axiale, en générant une onde acoustique plane. Le tube élastique mince d'épaisseur e=a-b est excité par cette onde acoustique plane. L'onde se propage dans la coque cylindrique et sur la circonférence de la surface eau-coque (Figure 8). Cette propagation permet de générer des différentes ondes circonférentielles (S0, A1, S1, S2, A2). L'observation de la Figure 4 du signal acoustique rétrodiffusé montre la présence de ces ondes. Il excite une relation étroite entre les ondes circonférentielles propageant dans le cas d'un tube élastique mince et les ondes de Lamb propageant dans le cas d'une plaque de même épaisseur e (Figure 9). La condition nécessaire pour vérifier cette similitude entre ces deux types d'ondes et que il faut utiliser pour un tube élastique mince de rapport des rayons b/a (avec $b/a > 0.9$) et une plaque de même épaisseur ($e = a - b$). La similitude permet donc d'utiliser les relations classiques appliquées dans le cas des ondes de Lamb pour remonter à la valeur de la fréquence réduite

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only

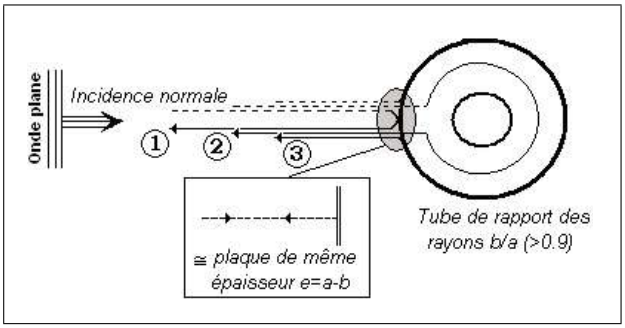


Figure 9. Propagation d'une onde acoustique autour de la circonférence d'un tube mine de rapport de rayons $b/a > 0.9$.

Tableau II. Résultats obtenus pour le rapport des rayons b/a. I: $(ka)_c$ déterminée à partir de PWVL de l'onde A1. II: Rapport b/a obtenu à partir de PWVL de l'onde A1. III: Rapport b/a mesuré par pied à coulisse.

	I	II	III
Tube 1 (Figure 5)	221±0.2	0.970±0.001	0.97
Tube 2 (Figure 6)	132±0.3	0.949±0.002	0.95
Tube 3 (Figure 7)	66±0.3	0.899±0.004	0.90

Tableau III. Résultats obtenus pour l'épaisseur e. I, II, III: Comme dans Tableau II.

	I	II	III
Tube 1 (Figure 5)	221±0.2	0.2996±0.0004	0.3
Tube 2 (Figure 6)	132±0.3	0.5016±0.0011	0.5
Tube 3 (Figure 7)	66±0.3	1.0033±0.0046	1

de coupure $(ka)_c$ d'une onde circonférentielle dans le cas d'un tube [11, 12, 14, 15, 16, 17].

Dans le cas d'une plaque mince d'épaisseur e les fréquences de coupure des ondes de Lamb symétriques et antisymétriques sont fournies respectivement par

$$(fe)_c^S = \begin{cases} mc_T \\ (m+1/2)c_L \end{cases}, \tag{4}$$

$$(fe)_c^A = \begin{cases} mc_L \\ (m+1/2)c_T \end{cases}. \tag{5}$$

A partir de l'équation (1) et des deux relations précédentes (4) et (5), les fréquences réduites de coupure $(ka)_c$ des ondes circonférentielles dans le cas d'une coque cylindrique s'obtiennent respectivement par (Annexe)

$$(ka)_c^S = \frac{2\pi}{c_{\text{eau}}(1-b/a)} \begin{cases} mc_T \\ (m+1/2)c_L \end{cases} \tag{6}$$

pour les ondes symétriques,

$$(ka)_c^A = \frac{2\pi}{c_{\text{eau}}(1-b/a)} \begin{cases} mc_L \\ (m+1/2)c_T \end{cases} \tag{7}$$

pour les ondes antisymétriques, où $e = a-b$ est l'épaisseur du tube et m est le mode d'apparition d'onde (entier).

Pour l'onde circonférentielle antisymétrique A1, le mode d'apparition $m = 0$ (premier mode antisymétrique généré). A partir de la relation (7), la détermination du rapport des rayons b/a, pour chaque tube d'aluminium, est donnée par l'équation

$$\frac{b}{a} = 1 - \frac{\pi c_T}{c_{\text{eau}}(ka)_c}. \tag{8}$$

L'épaisseur du tube est donnée par

$$e = a\frac{\pi c_T}{c_{\text{eau}}(ka)_c}. \tag{9}$$

Les valeurs déterminées, du rapport des rayons b/a et de l'épaisseur e, pour les trois tubes d'aluminium étudiés, ainsi que les valeurs du rapport b/a mesurées par la méthode classique "pied à coulisse", sont présentées dans Tableaux II et III.

De la comparaison entre les rapports des rayons b/a, et les épaisseurs e déterminés par la l'analyse temps-fréquence PWVL et celles mesurés par la méthode classique "pied à coulisse", il en résulte une bonne concordance entre ces résultats.

5. Conclusion

La technique développée dans cet article peut être utilisée comme une nouvelle technique de mesure non destructive pour caractériser un tube élastique mince. Cette méthode permet en effet de déterminer la fréquence réduite de coupure $(ka)_c$ d'une onde circonférentielle antisymétrique A1, se propageant autour de la circonférence du tube. A partir de ces fréquences, nous avons déterminé avec précision le rapport des rayons b/a ainsi que l'épaisseur $e = a - b$ des tubes d'aluminium étudiés. De la comparaison, entre les résultats obtenus à partir de l'analyse des images temps-fréquence PWVL et celles obtenus par d'autres techniques classiques, il en résulte une bonne concordance. Les différents exemples développés dans cette étude vont donc, nous permettre d'évaluer les performances et la robustesse de l'utilisation de la technique temps-fréquence "PWVL" pour accéder aux autres paramètres physiques.

Appendix

La Figure 8 montre le mécanisme de formation des différents échos des ondes circonférentielles. La fréquence réduite de ces ondes ka (sans unité) est définie par

$$ka = \frac{2\pi f a}{c_{\text{eau}}}, \tag{A1}$$

où $c_{\text{eau}} = 1470\,\text{m/s}$ est la célérité des ondes acoustiques dans l'eau, f est la fréquence de résonance d'une onde circonférentielle en Hz et a est le rayon externe du tube.

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only

Dans le cas d'une plaque mince d'épaisseur e les fréquences de coupure des ondes de Lamb symétriques et antisymétriques sont fournies respectivement par

$$(fe)_c^S = \begin{cases} mc_T \\ (m+1/2)c_L \end{cases}, \tag{A2}$$

$$(fe)_c^A = \begin{cases} mc_L \\ (m+1/2)c_T \end{cases}, \tag{A3}$$

où $c_L = 6380$ m/s et $c_T = 3100$ m/s sont les célérités longitudinale et transversale dans l'Aluminium et m est le mode d'apparition d'onde (entier).

La relation (1) permet d'écrire

$$ka\,e = \frac{2\pi a}{c_{\text{eau}}}\, f\, e. \tag{A4}$$

Cette équation est équivalente à la relation

$$f\, e = (ka\, e)\frac{c_{\text{eau}}}{2\pi a} = (ka)\frac{c_{\text{eau}}}{2\pi a}\, e, \tag{A5}$$

avec $e = a-b$. L'expression (5) est équivalente à la relation

$$\begin{cases} f\, e = (ka)\dfrac{c_{\text{eau}}}{2\pi a}(a-b) = (ka)\dfrac{c_{\text{eau}}}{2\pi}(1-b/a), \\ (fe)_c = (ka)_c\dfrac{c_{\text{eau}}}{2\pi}(1-b/a). \end{cases} \tag{A6}$$

Cette équation est équivalente à

$$(ka)_c = \frac{2\pi}{c_{\text{eau}}(1-b/a)}(fe)_c. \tag{A7}$$

A partir de l'équation (7) et des deux relations précédentes 2 et 3, les fréquences réduites de coupure $(ka)_c$ des ondes circonférentielles dans le cas d'une coque cylindrique de rapport des rayons b/a (> 0.9) s'obtiennent respectivement par [11, 12, 14, 15, 16, 17]

$$(ka)_c^S = \frac{2\pi}{c_{\text{eau}}(1-b/a)} \begin{cases} mc_T \\ (m+1/2)c_L \end{cases} \tag{A8}$$

pour les ondes symétriques,

$$(ka)_c^A = \frac{2\pi}{c_{\text{eau}}(1-b/a)} \begin{cases} mc_L \\ (m+1/2)c_T \end{cases} \tag{A9}$$

pour les ondes antisymétriques, où $e = a-b$ est l'épaisseur du tube et m est le mode d'apparition d'onde (entier).

Bibliographie

[1] G. Maze, J.-L. Izbicki, J. Ripoche: Méthode d'isolement des résonances (MIR). Spectroscopie des résonances. GESPA, chapitre II, pp. 311-319, 1986.

[2] N. D. Veksler: Resonance acoustic spectroscopy. Springer Verlag, 1993.

[3] O. Lenoir, J.-L. Izbicki, P. Rembert, G. Maze, J. Ripoche: Acoustic scattering from an immersed plane multilayer: application to the inverse problem. Journal of the Acoustical Society of America **91** (1992) 601–612.

[4] J.-L. Izbicki, G. Maze, J. Ripoche: Etude de la réemission libre d'une plaque résonnante. Acustica **55** (1984) 27.

[5] R. Fiorito, W. Madigosky, H. Berall: Theory of ultrasonic resonances in a viscoelastic layer. Journal of the Acoustical Society of America **77** (1985) 489–498.

[6] P. Delestre, J.-L. Izbicki, G. Maze, J. Ripoche: Excitation acoustique imulsionnelle d'une plaque élastique immergée: application à l'isolement des résonances. Acustica **61** (1986) 83–85.

[7] M. Talmant, G. Quentin, J. L. Rousselot, J. V. Subrahmanyam, H. Überall: Acoustic resonances of thin cylindrical shells and the resonances scattering theory. Journal of the Acoustical Society of America **84** (1988) 681–688.

[8] T. A. C. M. Claasen, W. F. G. Mecklenbräuker: The Wigner distribution. A tool for time-fréquency signal analysis. Philips J. Res. **35** (1980) 217–250, 276–300, 372–389.

[9] M. Basseville, P. Flandrin, N. Martin: Signaux non stationnaires: Analyse temps-fréquence et segmentation. Traitement du Signal **9** (1992) 77–147.

[10] R. Latif, E. Aassif, G. Maze, A. Moudden, B. Faiz: Determination of the group and phase velocities from time-frequency representation of Wigner-Ville. Journal of Non Destructive Testing and Evaluation International **32** (1999) 415–422.

[11] R. Latif, E. Aassif, G. Maze, D. Decultot, A. Moudden, B. Faiz: Analysis of the circumferential acoustic waves backscattered by a tube using the time-frequency representation of Wigner-Ville. Journal of Measurement Science and Technology **11** (2000) 83–88.

[12] R. Latif, E. Aassif, A. Moudden, B. Faiz: Caractérisation ultrasonore d'un matériau élastique à partir de l'analyse de l'image temps-fréquence de Wigner-Ville. Acta Acustica united with Acustica **89** (2003) 253–257.

[13] M. Talmant, J.-L. Izbicki, G. Maze, G. Quentin, J. Ripoche: External wave resonances on thin cylindrical shells. Journale Acoustique **4** (1991) 509–523.

[14] Y. Cho: Estimation of ultrasonic guided wave mode conversion in a plate with thickness variation. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions **47** (2000) 591–603.

[15] D. Atkinson, G. Hayward: Embedded acoustic fibre waveguides for Lamb wave condition monitoring. Ultrasonics Symposium, IEEE **1** (1999) 699–702.

[16] L. Haumesser, D. Décultot, F. Léon, G. Maze: Experimental identification of finite cylindrical shell vibration modes. Journal of the Acoustical Society of America **111** (2002) 2034–2039.

[17] J. D. N. Cheeke, X. Li, Z. Wang: Observation of flexural Lamb waves (A0 mode) on water-filled cylindrical shells. Journal of the Acoustical Society of America **104** (1998) 3678–3680.

Document downloaded by @DAEL, 2026-11-09 00:43:41 - personal use only