

Étude expérimentale de la transparence acoustique d'une plaque et d'une coque semi-cylindrique recouvert d'un matériau absorbant et d'une masse lourde

M. Frédéric, T. Dupont, E. Redon, B. Lay

Laboratoire de Recherche en Mécanique et Acoustique (LRMA), ISAT 58000 Nevers

courriel : michael.frederic@u-bourgogne.fr

Résumé

Une des préoccupations des constructeurs et équipementiers automobiles est la réduction du bruit intérieur afin d'améliorer le confort des utilisateurs à bord des véhicules. Les principales sources de bruit dans le véhicule sont l'aérodynamisme, les bruits de roulement et le Groupe Moto-Propulseur. C'est pourquoi il est indispensable d'étudier la transparence acoustique à travers le tablier de voiture séparant la partie GMP de l'habitacle, cette partie pouvant être modélisée par une demi-coque cylindrique. Le but de ce travail est donc de mesurer, par la méthode d'intensimétrie, la transparence d'une plaque et d'une coque semi-cylindrique recouvertes d'un matériau poreux et d'une masse lourde, complexe isolant (utilisé par Faurecia). Afin de valider notre dispositif de mesure, notre étude expérimentale a pour objectifs, dans un premier temps, de mesurer l'affaiblissement à travers une plaque nue, une plaque recouverte et recouverte collée, afin de montrer l'effet du complexe matériau absorbant - masse lourde sur la réduction du bruit et mettre en évidence l'effet du collage. D'autre part, les essais à travers des demi-cylindres ont pour but de mettre en évidence les principaux phénomènes de transparence à travers des structures courbes, puis de connaître l'affaiblissement du complexe.

Introduction

Cette étude s'intègre dans un travail de thèse qui a pour objectif la modélisation du comportement d'une coque semi-cylindrique recouverte d'un complexe isolant afin de prévoir et d'optimiser la réduction de bruit à travers de telles structures. De nombreux modèles permettent de connaître la transparence des plaques et des doubles parois, il existe également des modèles mathématiques qui prédisent la réduction du bruit à travers des coques cylindriques. Cependant la modélisation des coques semi-cylindriques reste encore à développer.

Le but de cet article est de mesurer, par intensimétrie [1], la transparence d'une plaque et d'un demi-cylindre recouverts d'un matériau poreux et d'une masse lourde afin de mettre en évidence les phénomènes de transparence de telles structures. Duval [2] a mené des travaux portant sur la mesure du Transmission Loss (TL) d'une plaque et d'un demi-cylindre recouverts d'un complexe isolant non collé [3, 4, 5]. Afin de pouvoir comparer nos résultats avec ses travaux, notre dispositif peut être incliné, permettant de disposer les complexes isolants sur les structures sans devoir nécessairement les coller.

La première partie de l'étude concerne les plaques recouvertes du complexe isolant. Cela permet de valider le montage expérimental avec une structure simple par comparaison avec un modèle de plaque infinie. Ensuite, le travail porte sur l'influence du revêtement sur la transparence acoustique et l'effet du collage sur la performance de l'affaiblissement à travers une structure. Dans la seconde partie de l'article, l'étude porte sur la transparence d'une coque semi-cylindrique permettant de caractériser le comportement d'une demi-coque nue et revêtue dans différentes conditions d'essais. Enfin, la comparaison entre la transparence d'une plaque et d'un demi-cylindre revêtus permet de discuter des performances du complexe pour des structures différentes.

Méthode et dispositif expérimental

Transparence en champ diffus

Le coefficient de transmission est défini comme le rapport entre la puissance transmise W_t et la puissance incidente W_i . Ainsi l'affaiblissement A est défini par l'équation (1) :

$$A(dB) = -10 \log_{10} \frac{W_t}{W_i} \quad (1)$$

Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est conçu afin de pouvoir disposer les structures à tester entre une salle réverbérante et une chambre calme. Les structures choisies pour cette étude sont deux plaques finies en acier et deux demi-cylindres en acier de 0.8 mm d'épaisseur. Les dimensions géométriques sont présentées dans le tableau 1. Le complexe isolant est composé d'un feutre coton Trimelt ($e = 20 \text{ mm}$, $\rho = 60 \text{ kg/m}^3$), et d'une masse lourde ($e = 1,6 \text{ mm}$, $\rho = 2250 \text{ kg/m}^3$). Le montage expérimental permet de disposer les structures dans différentes positions. La figure 1 présente les deux positions de montage et les deux types de structures. Les différentes configurations sont données dans le tableau 2. Le collage permettant de lier la structure et le complexe est un adhésif de type scotch double face qui recouvre toute la surface de la structure.

	Plaque plane		Demi-cylindre	
	largeur	longueur	diamètre	longueur
Incliné	600	900	600	900
Vertical	640	960	640	900

Tab. 1: Dimensions des plaques et des 1/2 cylindres (mm)

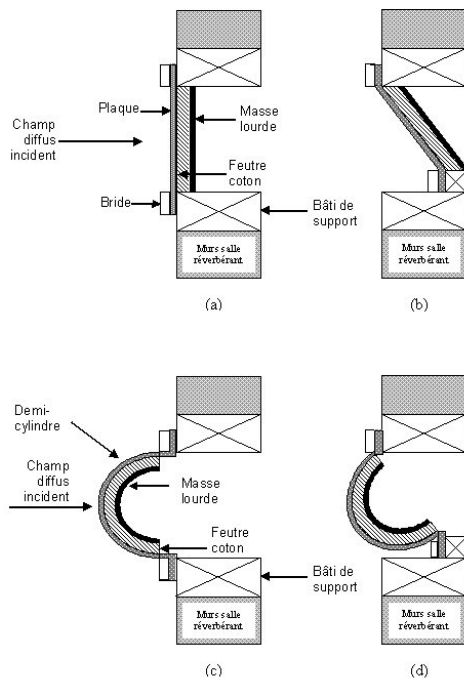


Fig. 1: Montage expérimental : (a) plaque verticale, (b) plaque inclinée, (c) demi-cylindre vertical, (d) demi-cylindre inclinée

Type	Montage	Plaque plane	Demi-cylindre
VN	Vertical	nue	nu
IN	Incliné	nue	nu
IR		revêtue	revêtu
IRC		revêtue collé	revêtu collé

Tab. 2: Configurations expérimentales

Les mesures d'affaiblissement

La méthode d'intensimétrie est utilisée pour les mesures de la transparence acoustique : mesures faites dans une bande de fréquences allant de 100 à 5 kHz. Le dispositif expérimental est schématisé sur la figure 2. Un bruit blanc est généré dans la chambre réverbérante. Le champ de pression est mesuré dans le local d'émission à l'aide de trois microphones permettant d'estimer la puissance incidente sur la surface S de la paroi, par l'équation (2) :

$$W_i = \frac{S \cdot P_{rms}^2}{4\rho_0 c} \quad (2)$$

La puissance transmise est déterminée par la moyenne de l'intensité I mesurée (à l'aide de la sonde intensimétrique) sur la surface de mesure S_m discrétisée en N surfaces, par l'équation (3) :

$$W_t = \frac{S_m}{N} \sum_{i=0}^N I_i \quad (3)$$

où I_i est l'intensité au point de mesure i .

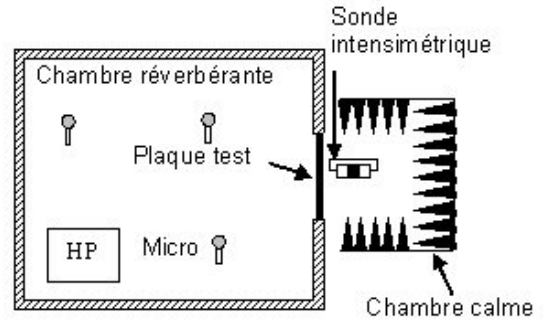


Fig. 2: Dispositif expérimental

Transparence acoustique d'un complexe plaque

Affaiblissement d'une plaque nue

L'affaiblissement des plaques fines peut être comparé à un modèle de plaque infinie si les longueurs d'ondes considérées sont petites devant les dimensions de la plaque et si les premiers modes de vibration de la plaque sont en dessous du domaine d'étude. Cela signifie, dans notre cas, que la prédiction avec le modèle de plaque infinie est utilisable pour les fréquences supérieures à 300 Hz. En deçà, il existe des modes de plaque prédominants et apparaît des problèmes de fenêtrage (diffraction dans l'ouverture du baffle). Ces problèmes ont été entre autres étudiés par Villot [4]. Pour modéliser l'excitation en champ diffus, le modèle doit prendre en compte un angle d'incidence limite. En effet, dans la réalité, les ondes rasantes n'ont pas de significations physiques. Dans les modèles ces ondes sont responsables d'une importante transparence minorant ainsi l'affaiblissement réel. Habituellement, cet angle est compris dans l'intervalle $[72^\circ, 85^\circ]$ [3]. Pour vérifier le dispositif expérimental et la

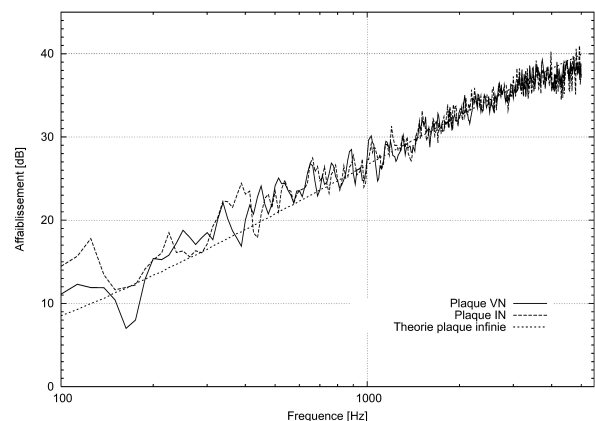


Fig. 3: Affaiblissement expérimental d'une plaque VN et IN et théorique d'une plaque infinie

procédure de mesure, les mesures d'affaiblissement ont été réalisées sur deux plaques fines nues avec les montages vertical et inclinée. Ainsi, la limite d'angle de 83° a été identifiée en comparant les mesures de la plaque VN

avec les modèles. La comparaison entre les mesures de la plaque IN et le modèle analytique de plaque infinie est présenté sur la figure 3. Le comportement des plaques est, pour ces fréquences, principalement contrôlé par la loi de masse, l'affaiblissement croît de 6 dB/octave sur toute la bande de fréquences. La fréquence critique des plaques se situe à 14 kHz. L'utilisation de la limite d'angle entraîne une variation, entre la théorie et l'expérience, de moins de 2,5 dB sur toutes les fréquences pour les deux essais. De plus, à partir de 300 Hz, il n'y a pas de différence d'affaiblissement entre le cas vertical et incliné. Cela permet de tester la méthode de mesure et de valider notre dispositif expérimental.

Affaiblissement d'un complexe plaque

La figure 4 montre les résultats expérimentaux obtenus pour une plaque inclinée nue ou recouverte avec le complexe ou recouverte avec le complexe collé. La configuration inclinée recouverte (IR) donne un affaiblissement minimum dans une zone comprise autour de 215 Hz. Cela correspond à la fréquence propre du complexe : la plaque et la masse lourde vibrent autour du feutre en opposition de phase, ce phénomène est aussi appelé respiration. Après cette fréquence, l'affaiblissement augmente rapidement en suivant d'abord une pente de 18 dB/octave, puis à 400 Hz une croissance de 12 dB/octave. A partir de 5 kHz, l'affaiblissement décroît vers la fréquence critique. La fréquence critique est décalée à cause de la modification de la raideur et de la masse du complexe. Le comportement de la plaque IR est, dans cette zone fréquentielle, similaire aux complexes doubles parois couplées à un matériau absorbant présenté par les travaux de Bolton [3]. La configuration IR apporte un gain maximum de 10 dB par rapport à l'affaiblissement de la plaque nue au dessus de 300 Hz. Dans le cas de la configuration inclinée revêtue collée, l'affaiblissement est amélioré de 3 dB par rapport au complexe non collé dans une zone comprise entre 300 et 1800 Hz. Le gain résulte sans doute d'un meilleur couplage mécanique entre la plaque et le complexe. Bolton [3] a aussi étudié l'effet du collage sur la transparence acoustique des doubles parois. Il a montré dans son étude que l'affaiblissement des structures doubles parois couplées à une mousse dépend fortement de la façon dont les éléments sont maintenus entre eux.

Transparence acoustique d'un complexe demi-cylindre

Affaiblissement d'un demi-cylindre

La comparaison de la transparence d'un demi-cylindre vertical nu et de celle d'une plaque verticale nue est présentée sur la figure 5. La courbe d'affaiblissement du demi-cylindre VN comporte une singularité à 2500 Hz où l'affaiblissement est minimum. Cette fréquence de résonance est assez similaire à la fréquence d'anneau f_a d'une coque infinie, donnée par l'expression $f_a = (1/2\pi.a).c_L$, avec $c_L = (E/\rho_s(1 - \nu^2))$, où a est le rayon, E le module d'Young, ρ_s la masse volumique de la structure et ν le coefficient de Poisson. De plus

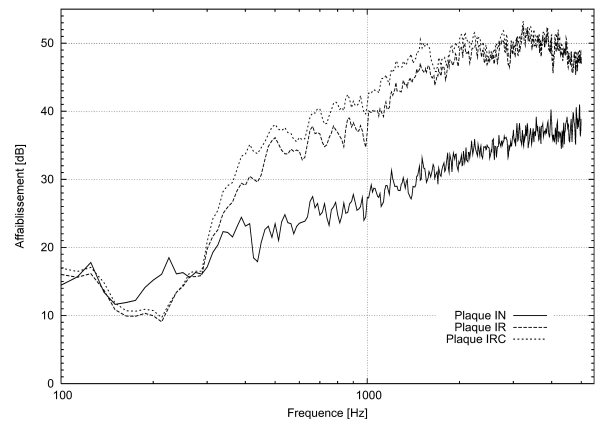


Fig. 4: Affaiblissement expérimental d'une plaque IN, IR et IRC

en champ diffus, le comportement des coques finies est très proche de celui des coques infinies [1]. Il apparaît cependant un décalage, vers les basses fréquences, de la fréquence d'anneau pour la coque semi-cylindrique. Pour $f < f_a$, l'affaiblissement est gouverné par la raideur de membrane et décroît légèrement jusqu'à 1000 Hz. Ensuite la transmission est constante jusqu'à f_a . Pour les fréquences supérieures à f_a , l'affaiblissement croît de 18 dB/octave et à partir de $1,5 \times f_a$ (3750 Hz), la transmission est similaire à celle de la plaque nue comme cela apparaît sur la figure 5. En effet, Lesueur [1] a remarqué que, dans le cas d'un champ diffus, en hautes fréquences et en dessous de la fréquence critique, le comportement d'une coque est identique à la loi de masse d'une plaque.

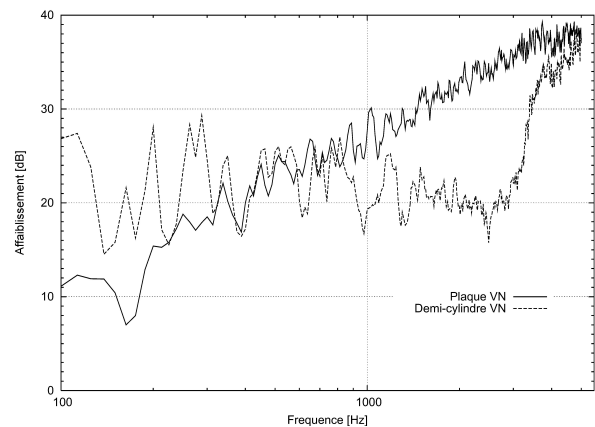


Fig. 5: Comparaison de la transmission d'une plaque VN et d'un demi-cylindre VN

Affaiblissement d'un complexe demi-cylindre incliné

La figure 6 présente les résultats pour les configurations des demi-cylindres : vertical nu (VN), incliné nu (IN) et incliné revêtu collé (IRC). Les affaiblissements des demi-cylindres nus incliné et vertical sont semblables à partir de 1000 Hz jusqu'à 3700 Hz. La différence de diamètre entre les deux demi-cylindres se remarque par un décalage de la fréquence d'anneau. En basses

fréquences, des singularités apparaissent et sont plus marquées dans la configuration verticale. En effet, selon le dispositif expérimental (vertical ou incliné), la structure n'est pas excitée de la même manière, ce qui favorise les modes circonferentiels dans le cas vertical où l'excitation est "complète". Les premières singularités à 137 Hz et à 177 Hz correspondent à des modes de cavité de la salle de réception. Dans les hautes fréquences, une singularité importante apparaît à 4100 Hz pour les montages inclinés (IN et IRC). Elle est spécifique aux montages inclinés, et est due à la cavité du côté émission. Après cette singularité, l'affaiblissement du cylindre incliné croît rapidement et rejoint la courbe du cylindre vertical.

Le matériau absorbant et la masse lourde augmentent l'affaiblissement en dessous de la fréquence d'anneau. Le gain maximum atteint 20 dB. De plus, la fréquence d'anneau est décalée à 1700 Hz. Diallo [5] avait déjà remarqué ce phénomène pour des demi-coques revêtues en comparant des résultats expérimentaux avec des estimations numériques. L'affaiblissement croît ensuite (18 dB/octave), puis se stabilise en hautes fréquences jusqu'à la singularité à 4100 Hz.

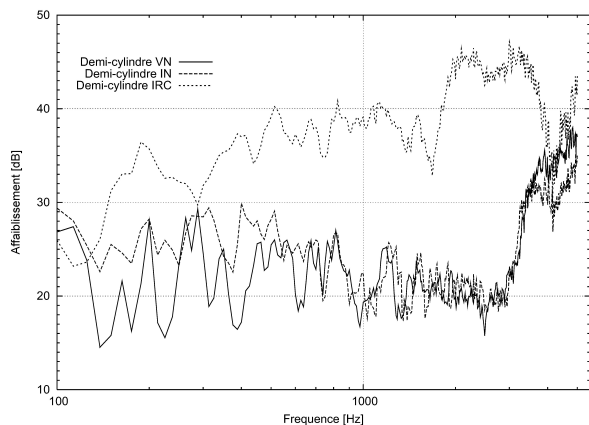


Fig. 6: Affaiblissement expérimental d'un demi-cylindre VN, IN et IRC

Affaiblissement du complexe isolant

La figure 7 présente les résultats d'une plaque et d'un demi-cylindre recouverts collés et permet de discuter des performances du complexe isolant sur deux structures différentes. La comparaison des mesures de transmission est similaire aux travaux de Duval [2], l'affaiblissement du complexe demi cylindre est supérieur à celui de la plaque jusqu'à 500 Hz. Le gain maximum est de 25 dB. Dans une zone comprise entre 500 et 1000 Hz, l'affaiblissement est quasi identique mais les performances du demi-cylindre diminuent en s'approchant de la fréquence d'anneau. Ensuite, l'affaiblissement du complexe plaque suit une pente de 12 dB/octave, et est supérieur au complexe demi-cylindre dans les hautes fréquences. Les affaiblissements des deux configurations devraient se rejoindre en hautes fréquences, mais la singularité due au dispositif expérimental réduit l'affaiblissement du complexe demi-cylindre incliné.

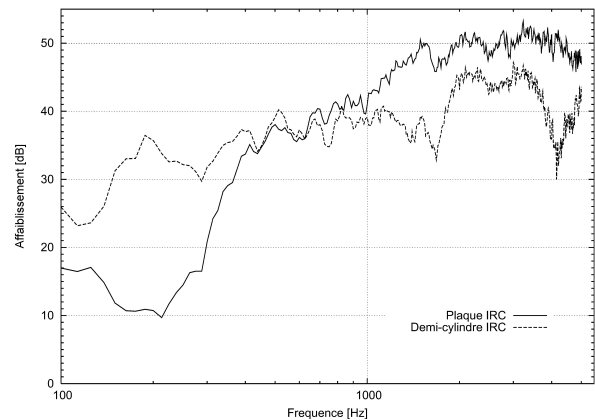


Fig. 7: Comparaison de l'affaiblissement d'une plaque IRC et d'un demi-cylindre IRC

Conclusion

Dans cet article, les mesures de transparence à travers des structures planes et courbes avec revêtement ont été présentées. Dans un premier temps, il a été remarqué que le comportement des plaques revêtues se rapprochait du comportement des systèmes doubles parois couplées avec un matériau absorbant. De plus, les structures revêtues du complexe collé ou non ont un affaiblissement très nettement supérieur aux plaques nues après la fréquence de respiration. Le collage permet d'augmenter le couplage entre la structure et le complexe et améliore ainsi l'affaiblissement de 3 dB entre 300 et 1800 Hz.

D'autre part les essais sur les demi-cylindres ont permis de mettre en évidence une singularité à la fréquence d'anneau pour laquelle la transparence est maximale. Le complexe isolant permet d'améliorer très fortement l'affaiblissement particulièrement en dessous de la fréquence d'anneau.

La comparaison entre les complexes plaque et demi-cylindre a permis de montrer que les structures courbes avaient un affaiblissement supérieur aux complexes plaques en basses fréquences, mais en approchant la fréquence d'anneau et jusqu'en hautes fréquences, l'affaiblissement des complexes plaques est meilleur.

Références

- [1] C. LESUEUR, Rayonnement acoustique des structures. 1988. Editions Eyrolles.
- [2] A. DUVAL, CAF 2004, Le Mans. Faurecia vehicle acoustic synthesis method : A hybrid approach to simulate interior noise of fully trimmed vehicles.
- [3] J.S. BOLTON, N.-M. SHIAU and Y.J. KANG 1996 JSV 191, 317-347. Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials.
- [4] M. VILLOT, C. GUIGOU and L. GAGLIARDINI 2001 JVS 245, 433-455. Predicting the acoustical radiation of finite size multi-layered structures by applying spatial windowing on infinite structures.
- [5] A. DIALLO, T. LECLERC, CAF 2004, Le Mans. Using MSC.Actran for predicting the sound transmission loss of curved trim panels.