

QUALIFICATION D'UNE PETITE CHAMBRE REVERBERANTE POUR LA MESURE DU COEFFICIENT ALPHA SABINE

F. FOHR, E. PORTIER, JC. LE ROUX, N. POULAIN

Centre de Transfert de Technologies du Mans - Département Acoustique et Vibrations
20, rue Thalès de Milet 72000 LE MANS
acoustique@cttm-lemans.com – www.cttm-lemans.com

B. GAZENGEL

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (UMR CNRS 6613)
Avenue Olivier Messiaen 72085 LE MANS CEDEX 9
laum@univ-lemans.fr – laum.univ-lemans.fr

Mots clefs : salle réverbérante, cabine α , coefficient alpha Sabine, champ diffus, matériaux absorbants.

1 INTRODUCTION

La mesure de l'absorption acoustique d'un matériau en champ diffus, régie notamment par les normes européenne ISO354^[1] et américaine ASTM C423^[2], concerne principalement le secteur du bâtiment. Ces normes préconisent l'utilisation d'une salle réverbérante de grand volume (de l'ordre de 200m³) afin d'obtenir des conditions de champ diffus à partir de 100Hz environ. Les échantillons doivent alors être de surfaces importantes (de 10 à 12 m² pour la norme européenne et de 6.7m² pour la norme américaine).

Ces préconisations ne sont guère compatibles avec les besoins du secteur automobile dans les phases de développement et d'optimisation des solutions de traitement acoustique : faibles dimensions des éléments à mesurer, nécessaire rapidité de la mesure, coût des équipements, etc.

Pour ces raisons, la mise au point d'installations de dimensions réduites (Chappuis^[3], Kolano^[4], Rieter^[12]) a commencé depuis plusieurs années en Europe et aux Etats-Unis avec notamment la définition d'une mini salle réverbérante (Chappuis^[3]), appelée Cabine α , de volume 6.44m³ permettant de qualifier des échantillons de surface 1,2 m². Cette cabine est une réduction à l'échelle 1/3 de la salle réverbérante du Laboratoire Fédéral d'Essai des Matériaux et Institut de Recherches à Dübendorf. Ce moyen d'essai est commercialisé par Rieter^[12] et maintenant répandu chez les constructeurs et les fournisseurs automobiles. Renault et PSA

ont conjointement défini une procédure interne^[11] de mesure du coefficient d'absorption avec ce dispositif, imposant notamment une enveloppe de temps de réverbération minimum et maximum que la cabine doit présenter à vide (Figure 2). Ceci constitue alors un critère de validité des mesures réalisées dans les différentes cabines α existantes.

La cabine du CTTM¹

Depuis plusieurs années, dans le but de réaliser des mesures d'absorption et de transparence acoustique, le Centre de Transfert de Technologies du Mans (CTTM) a conçu et réalisé une petite chambre réverbérante (Figure 1) de même volume (6.44 m³) et de même surface développée (22.2 m²) que la cabine α (Rieter^[12]), mais dont la géométrie est une réduction d'échelle (environ 1/4) de la grande salle réverbérante (345 m³) du CTTM.



Figure 1. Petite salle réverbérante du CTTM

¹ Dans la suite du document, on désigne par "cabine α " la cabine commercialisée par Rieter^[12] et par "cabine" celle du CTTM.

Malgré l'utilisation de diffuseurs fixés aux parois pour améliorer la diffusion conformément à la norme ISO354^[1], les temps de réverbération à vide de la cabine du CTTM sont notablement plus élevés que ceux imposés par la procédure Renault^[11] en particulier pour les basses fréquences (Figure 2). Ceci est dû en particulier à sa géométrie radicalement différente de celle de la cabine α qui a notamment une forme plus allongée. La cabine du CTTM n'est donc pas utilisable dans le cadre de la procédure Renault^[11].

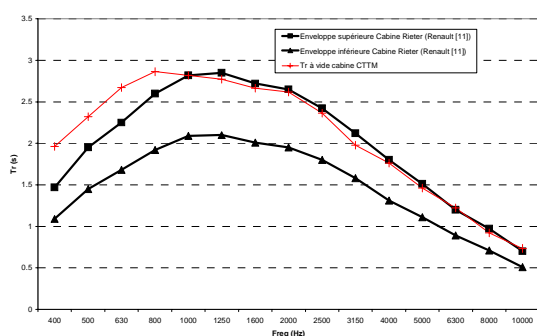


Figure 2. Tr à vide cabine CTTM

Bien que le comportement acoustique de la cabine du CTTM soit atypique par rapport aux cabines α , elle peut être néanmoins utilisée pour la mesure de l'absorption.

Pour cette raison, cet article présente la validation de cette cabine à partir d'une approche statistique de mesures comparatives réalisées dans la grande salle réverbérante du CTTM.

Après une courte synthèse bibliographique des travaux effectués sur les petites salles réverbérantes, une méthode de pondération des mesures en cabine permettant d'améliorer notablement la précision des coefficients d'absorption est présentée.

2 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Comparaisons entre salles réverbérantes

A différentes époques, des campagnes de mesures du coefficient d'absorption en salle réverbérante ont été menées pour comparer les résultats obtenus dans différentes salles et évaluer la dispersion inter-laboratoire^{[2],[6],[7]}. La norme américaine^[2] utilise les résultats d'une telle campagne menée en 1980 pour déterminer des écarts de reproductibilité et de répétabilité admissibles. Très récemment, une étude a été lancée (Veen^[7]) pour étudier

la faisabilité d'une procédure normalisée (américaine) pour la mesure du coefficient d'absorption en petite cabine. Cette étude compare les résultats de mesures réalisées dans 4 salles de grands volumes (supérieur à 170 m³), 4 salles de volumes moyens (25 m³) et 11 cabines de 6,4 m³.

Globalement, les résultats de ces campagnes d'essais mettent en évidence des écarts importants sur la détermination du coefficient d'absorption. Ces écarts peuvent atteindre des valeurs supérieures à 0,2 pour des coefficients d'absorption élevés (proches de 1). En basses fréquences, les petites salles présentent des dispersions plus importantes du fait des phénomènes de diffraction plus marqués et du comportement modal du volume de mesure.

2.2 Paramètres influençant la mesure d'absorption

La mesure du coefficient d'absorption en petite salle réverbérante est principalement influencée par les effets de bords de l'échantillon testé qui sont de deux ordres :

- les effets liés à la diffraction,
- les effets liés à l'absorption supplémentaire.

Concernant les effets liés à la diffraction, Chappuis^[3] et Bartel^[9] montrent que le coefficient d'absorption est relié de façon linéaire avec le rapport périmètre sur surface de l'échantillon mesuré :

$$(1) \quad \alpha = \alpha_0 + \beta E \quad \text{où :}$$

- α est le coefficient d'absorption "apparent", c'est-à-dire celui mesuré en salle réverbérante ;
- α_0 est le coefficient d'absorption d'un échantillon de dimensions infinies, c'est-à-dire sans aucun effet de diffraction ;
- E est le rapport périmètre sur surface ;
- β est la constante qui dépend des propriétés intrinsèques du matériau et de la fréquence.

Pour les échantillons de grandes dimensions préconisés par les normes, le coefficient E est de l'ordre de 1,2 m⁻¹ alors qu'il est de l'ordre de 3,7 m⁻¹ pour des échantillons mesurés en cabine α . La Figure 3 montre un

exemple de l'effet de la diffraction sur une laine de verre épaisse (issu de Bartel^[9]). La surface mesurée est constante, seul l'arrangement des échantillons fait varier le périmètre (les bords étant recouverts d'un matériau non absorbant). Ces mesures montrent que la diffraction devient prépondérante pour des valeurs de E élevées alors qu'elle peut être négligée en salle réverbérante de grand volume. Ceci peut se traduire alors par une forte sur-estimation de l'absorption en cabine α .

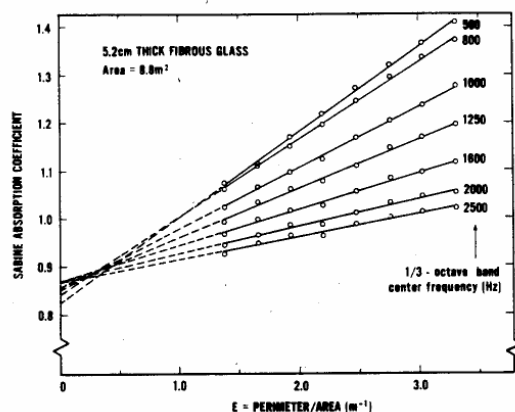


Figure 3. Coefficient d'absorption d'un matériau très absorbant en fonction du rapport périmètre sur surface de l'échantillon (Bartel^[9])

Chappuis^[3] utilise cette propriété pour mesurer le coefficient d'absorption en cabine α . En effet, à partir des mesures effectuées pour plusieurs valeurs de E , le coefficient d'absorption qui aurait été mesuré en grande salle réverbérante est extrapolé linéairement à la valeur de E correspondante. Cet auteur précise que cette méthode n'est valable que pour les bandes de fréquences supérieures à 500Hz.

Toutefois, selon lui, si les mesures peuvent être faites avec une précision moindre, ces effets de diffraction dus au rapport périmètre sur surface peuvent être compensés en pondérant le coefficient de Sabine (voir § 3) par un coefficient valant 0,92. Cette valeur repose sur des mesures comparatives de différents matériaux entre une grande salle réverbérante de référence et la cabine α . C'est également cette formulation qui est préconisée par la procédure interne Renault^[11] avec un coefficient correcteur légèrement plus élevé.

Concernant l'absorption supplémentaire due aux bords, Bartel^[9] montre que s'ils ne sont pas recouverts, celle-ci peut être importante si le matériau est non isotrope sur une épaisseur importante. Des erreurs relatives sur le coefficient d'absorption de l'ordre de 5% à 10% peuvent se présenter en fonction de l'épaisseur du matériau (entre 1,5 et 5cm) même si la surface de l'épaisseur est intégrée dans le calcul.

Enfin d'autres facteurs peuvent influencer la mesure mais d'une manière plus modérée comme les dimensions et la géométrie de la salle de mesure (Kosten^[6]), la température et l'humidité de l'air (en hautes fréquences), la forme de la surface mesurée (Bartel^[9]) et l'effet "quart d'onde" si l'épaisseur est comparable au quart de la longueur d'onde qui surestime l'absorption sur la fréquence correspondante (Nwankwo^[8]).

2.3 Equipements

Les configurations classiques, comme celle préconisée par la norme ISO354^[1], utilisent soit un microphone tournant, soit plusieurs microphones répartis dans le volume de mesure. En revanche, en petite salle réverbérante, Kolano^[4] et Jackson^[5] utilisent des microphones de surfaces placés à proximité des coins du volume. Kolano^[4] montre en particulier que dans cette configuration la dispersion sur les mesures diminue notablement par rapport aux montages classiques particulièrement en basses fréquences lorsque l'on approche du comportement modal de la cabine. En effet, près des parois, les membranes de microphones sont soumises à un maximum de pression, contrairement aux microphones répartis dans le volume de mesure qui peuvent se trouver sur un nœud de pression en raison de la faible densité modale en basses fréquences. Ainsi, le gradient de pression étant très faible près des parois, la mesure est moins sensible à la position du capteur.

L'excitation du champ acoustique, dans les configurations courantes, est réalisée au moyen d'une ou plusieurs enceintes présentant si possible un rayonnement omnidirectionnel. Jackson^[5] utilise une source acoustique constituée d'un panneau vibrant de grande dimension permettant

d'optimiser la diffusivité spatiale et temporelle.

Enfin, dans le but de limiter les effets de diffraction et absorbant par les bords, Wentzel^[10] propose un montage permettant de rendre affleurant l'échantillon grâce à une cavité de bonne dimension et de hauteur réglable en fonction de l'épaisseur du matériau. Cependant, cette installation requière un montage complexe et les comparaisons réalisées avec des mesures en salles de grands volumes montrent encore des écarts de l'ordre de 0,2 en basses fréquences.

3 ASPECTS THEORIQUES

3.1 Fréquences de coupure

La mesure du coefficient d'absorption selon la norme ISO354^[1] en salle réverbérante repose sur une hypothèse fondamentale : le champ acoustique doit être diffus. Malheureusement cette condition est difficilement réalisable en basses fréquences et fortement dégradée en présence du matériau.

Cependant, il est couramment admis que le champ acoustique est considéré diffus lorsque la densité modale est "suffisante", c'est-à-dire lorsque tous les modes se recouvrent.

Différentes formulations existent suivant les auteurs et les approximations faites pour déterminer la limite basse fréquence en deçà de laquelle le caractère diffus n'est plus admis. La plus couramment admise est celle dite de "Schroeder" (Bruneau^[13]) :

$$(2) \quad f_c = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}}$$

où T représente la durée de réverbération la plus longue mesurée. Dans le cas de la cabine du CTTM (Figure 2), $T \approx 3s$ et $V=6.44m^3$ soit une fréquence de coupure d'environ 1360Hz.

Nélisse et al.^[14] proposent une formulation basée sur la notion de recouvrement modal :

$$(3) \quad f_c \approx \sqrt[3]{\frac{\alpha c^3}{4\pi\eta V}}$$

où α et η représentent respectivement le recouvrement modal et l'amortissement. En considérant $\alpha=3$ et $\eta=0.005$ (Nélisse et al.^[14]), cette relation donne 660Hz environ pour une cabine de volume $V=6.44m^3$.

Enfin Kolano^[4] introduit la formulation suivante issue d'une norme américaine ASTM :

$$(4) \quad V = 4\lambda_{\min}^3$$

où λ_{\min} est la longueur d'onde de la fréquence de coupure ce qui donne 290 Hz pour la cabine.

Il ressort que la limite de validité en basses fréquences n'est pas clairement établie.

Finalement, l'utilisation de petits volumes de mesure comme la cabine α se traduit généralement dans la littérature par une limitation dans les basses fréquences aux alentours de 400Hz.

3.2 Formulation de Sabine

Conformément à la norme ISO354^[1], le coefficient d'absorption par bandes de fréquences 1/3 d'octave est déterminé à partir de la formulation de Sabine :

$$(5) \quad \alpha = \frac{0,16V}{S_{mat}} \left(\frac{1}{T_{mat}} - \frac{1}{T_{vide}} \right) = f(T_{mat}, T_{vide})$$

où S_{mat} représente la surface de l'échantillon mesuré. T_{vide} et T_{mat} sont respectivement les temps de réverbération par bandes de fréquences mesurés salle vide puis avec échantillon.

3.3 Incertitudes sur la mesure du coefficient d'absorption

Les incertitudes de mesure sont évaluées conformément au "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure" surnommé "GUM" dont la démarche doit être prise comme référence selon le Comité Technique "Acoustique" de l'ISO (Bessac et al.^[15]).

Cette démarche repose sur la modélisation de la grandeur à mesurer, à savoir dans notre cas la relation (5) pour exprimer l'incertitude-type composée du coefficient d'absorption $u(\alpha)$ en fonction des incertitudes-types u_{mat} et u_{vide} des grandeurs d'entrée (c'est-à-dire les temps de réverbération) considérées dans notre cas non corrélées.

En négligeant l'erreur sur la détermination du volume de la salle et de la surface de l'échantillon, la loi de propagation des incertitudes détermine $u(\alpha)$ comme :

$$(6) \quad u^2(\alpha) = \left(\frac{\partial f}{\partial T_{mat}} \right)^2 u_{mat}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial T_{vide}} \right)^2 u_{vide}^2$$

Les incertitudes-types des grandeurs d'entrée sont déterminées selon la méthode A (méthode statistique) en utilisant l'écart type sur la moyenne :

$$(7) \quad u_i^2 = \frac{\sigma_i^2}{n_i}$$

σ_i^2 représentant la variance des temps de réverbération ($i=mat, vide$) et n_i le nombre de mesures.

L'incertitude-type composée sur α s'écrit alors :

$$(8) \quad u^2(\alpha) = \left(\frac{0,16V}{S_{mat}} \right)^2 \left(\frac{\sigma_{mat}^2}{n_{mat} T_{mat}^4} + \frac{\sigma_{vide}^2}{n_{vide} T_{vide}^4} \right)$$

Cette formulation rejoint celle proposée par Singh^[16].

Finalement, le coefficient d'absorption est donné sous la forme suivante :

$$(9) \quad \alpha \pm k.u(\alpha)$$

où $k.u(\alpha)$ est appelée incertitude élargie et k le coefficient d'élargissement. Dans le cas d'une distribution normale des mesures, ce coefficient vaut conventionnellement 2 pour un intervalle de confiance de 95% (Bessac^[15]).

3.4 Pondération des mesures en cabine

La formulation de Sabine (5) est appliquée pour les mesures effectuées en salle réverbérante et en cabine. Toutefois, afin de tenir compte des effets importants liés à la diffraction en cabine, il est nécessaire de corriger les valeurs obtenues. La norme interne Renault^[11] utilise un coefficient correcteur scalaire C (de l'ordre de 0,9) afin de tenir compte de ces effets :

$$(10) \quad \alpha = \frac{0,16V}{S_{mat}} \left(\frac{1}{T_{mat}} - \frac{1}{T_{vide}} \right) . C$$

La démarche de validation proposée dans cet article est similaire mais le coefficient correcteur dépend ici de la fréquence. Le coefficient d'absorption pondéré en cabine s'écrit alors :

$$(11) \quad \alpha_{pond}(f) = C(f) . \alpha_{brut}(f)$$

où $\alpha_{brut}(f)$ est évalué grâce à la relation (5) et $C(f)$ est la moyenne des rapports des coefficients d'absorption mesurés entre la

salle réverbérante et la cabine sur une série de N matériaux différents :

$$(12) \quad C(f) = \frac{1}{N} \sum_i \frac{\alpha_i^{reverb}(f)}{\alpha_i^{cab}(f)}$$

3.5 Incertitude sur le coefficient pondéré

Cette fois, le coefficient pondéré est représenté par une fonction de trois paramètres : T_{mat} , T_{vide} et C . En considérant le coefficient de pondération obtenu de manière indépendante et en adoptant la démarche précédente, l'incertitude-type composée sur le coefficient pondéré peut s'écrire sous la forme suivante :

$$(13) \quad u_{pond}^2(\alpha) = C^2 . u^2(\alpha) + \alpha_{brut}^2 . u^2(C)$$

Le terme $u^2(\alpha)$ est calculé par la relation (8) et $u^2(C)$ est l'incertitude type sur le coefficient de pondération qui peut s'écrire à partir de l'écart type sur la moyenne des rapports (N : nombre de matériau) :

$$(14) \quad u^2(C) = \frac{\sigma^2(C)}{N}$$

En considérant un coefficient d'élargissement de 2 pour un intervalle de confiance de 95%, le coefficient d'absorption en cabine pondéré s'écrit finalement :

$$(15) \quad \alpha_{pond} \pm 2.u_{pond}(\alpha)$$

4 VALIDATION EXPERIMENTALE

4.1 Domaine de fréquence

L'analyse bibliographique a montré que la limite de validité de la mesure du coefficient d'absorption en basses fréquences n'est pas clairement définie. La validation expérimentale a donc été volontairement effectuée sur une gamme étendue en dehors des limites conventionnelles : entre 100 et 10000 Hz.

4.2 Dispositif expérimental

Excitation

En salle réverbérante deux enceintes de fort niveau sont utilisées mais ne fonctionnent pas simultanément pendant la mesure conformément à la norme ISO354^[1]. En cabine l'excitation est constituée par trois enceintes montées en série et réparties dans

le volume (près des angles). Elles sont alimentées simultanément pendant la mesure afin de favoriser la diffusivité.

Acquisition

Dans chacun des deux équipements, quatre microphones $\frac{1}{2}$ " à réponse en champ diffus sont utilisés. Ils sont répartis dans le volume de mesure dans le cas de la salle réverbérante, mais disposés près des coins dans le cas de la cabine. En effet des mesures préliminaires ont confirmé l'intérêt de cette technique pour la dispersion des mesures (Kolano^[4]).

Traitement des décroissances

Les données sont traitées à l'aide du logiciel dBati2 de 01dB et de la carte d'acquisition dB4+ qui permettent d'estimer les temps de réverbération de la salle par bande de tiers d'octave à l'aide de la méthode d'intégration de Schroeder.

4.3 Méthode de mesures

Salle réverbérante

Les mesures réalisées dans la grande salle réverbérante du CTTM sont effectuées conformément à la norme ISO354^[1]. Ainsi, pour chacun des matériaux une surface de 12 m² environ a été utilisée avec les bords recouverts par un matériau non absorbant. Par ailleurs, que la salle soit vide ou qu'elle contienne le matériau, 48 décroissances ont été mesurées entre 100 et 800 Hz et 24 décroissances entre 1 et 10kHz.

Cabine

Comme dans la procédure Renault^[11], les échantillons testés en cabine ont tous une surface de 1,2 m². Afin de traiter l'absorption supplémentaire des bords dont l'effet devient important en cabine, des cadres métalliques de hauteurs variables sont disposés au sol. La mesure des temps de réverbération à vide est effectuée avec les cadres présents.

Par ailleurs, afin de limiter les problèmes d'inhomogénéité, trois échantillons du même matériau sont mesurés successivement avec pour chaque série 16 décroissances. Au final 48 décroissances sont mesurées avec le matériau et 16 pour la cabine à vide.

4.4 Matériaux testés

Les mesures comparatives ont porté sur l'analyse de 19 matériaux différents par leurs natures (feutres, laines minérales, mousses de mélamine, mousse polyuréthane), par leurs épaisseurs (de 10 à 80 mm) et leurs formes (surfaces planes ou alvéolées).

Ces matériaux ont été fournis par trois fabricants.

4.5 Courbe d'adaptation

La Figure 4 représente la courbe d'adaptation, c'est-à-dire le coefficient correcteur calculé selon la relation (12) à partir des 19 matériaux testés ainsi que l'écart type correspondant.

Au dessus de 1 kHz, le coefficient correcteur est très proche de l'unité, ce qui signifie que les mesures effectuées en cabine sont, en moyenne, très proches de celles effectuées en salle réverbérante. En revanche, la pondération est indispensable pour les bandes de fréquences inférieures à 1 kHz, zone dans laquelle le coefficient correcteur s'écarte de l'unité avec des accidents marqués dans les bandes 125, 250 et 500Hz qui doivent très certainement être liés à la présence d'ondes stationnaires sur des fréquences précises. Dans cette zone les mesures réalisées en cabine ont tendance à sous-estimer en moyenne le coefficient d'absorption.

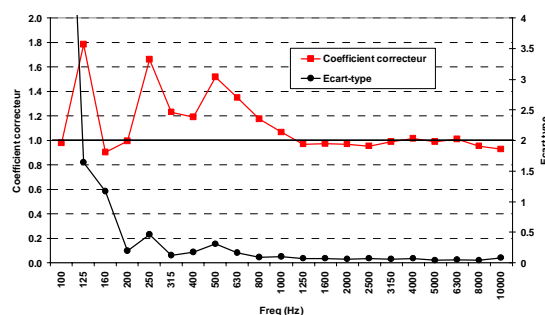


Figure 4. Courbe d'adaptation

Cette courbe montre qu'au-dessus de 1 kHz la diffusivité de la cabine est correcte alors que en dessous les conditions de champ diffus ne sont pas respectées.

L'évolution du coefficient correcteur en fonction de la fréquence montre qu'il est fondamentalement différent du scalaire de pondération utilisé habituellement en cabine α proposé notamment par Chappuis^[3]. En effet, l'intérêt de ce scalaire est de corriger essentiellement les effets de diffraction en moyennes et hautes fréquences, alors que

notre pondération prend en compte le comportement de la cabine en basses fréquences.

En ce qui concerne l'écart type sur la moyenne du coefficient correcteur, il est très faible au dessus de 1 kHz (<0,1) et acceptable à partir de 200 Hz c'est-à-dire inférieur à 0,4. Par contre, pour les fréquences inférieures, il devient très important et les mesures entre salle réverbérante et cabine ne sont donc plus comparables. Ceci peut s'expliquer d'une part par les valeurs très faibles des

coefficients d'absorption dans cette zone et d'autre part par une très mauvaise diffusivité.

4.6 Coefficients d'absorption

On représente ci-après l'application de la courbe d'adaptation (Figure 4) à deux absorbants classiques :

- une mousse de surface uniforme et d'épaisseur 20 mm (Figure 5) ;
- une mousse alvéolée d'épaisseur variable comprise entre 25 et 45 mm (Figure 6) ;

Figure 5. Coefficient d'absorption mousse 20mm

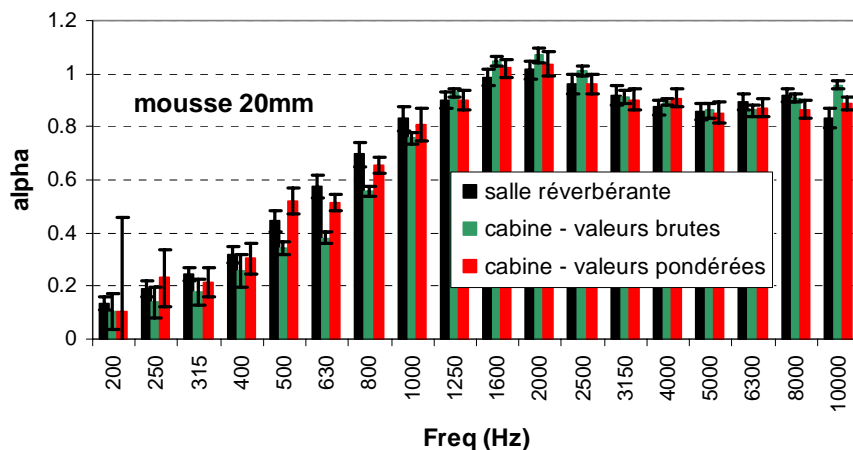
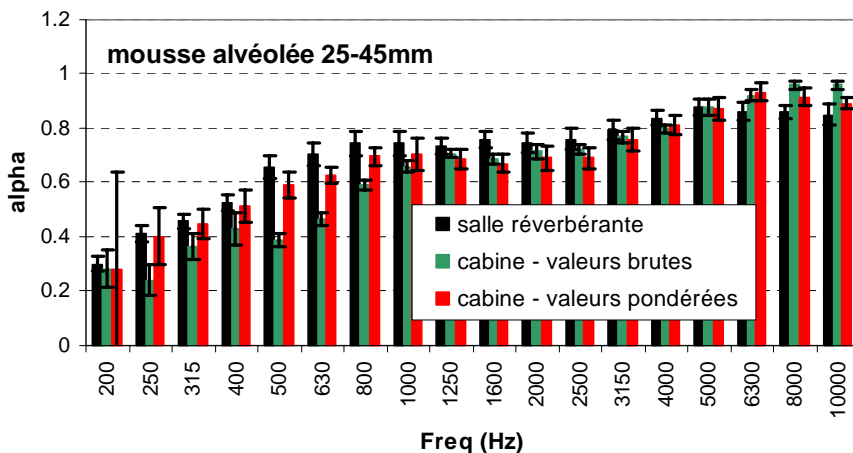


Figure 6. Coefficient d'absorption mousse alvéolée 25-45mm



Chacune des ces courbes représente la mesure de référence, c'est-à-dire celle effectuée dans la grande salle réverbérante du CTTM, la mesure brute réalisée dans la cabine CTTM ainsi que le résultat après pondération. On constate globalement que l'application de la pondération permet de corriger les valeurs brutes évaluées en cabine particulièrement en dessous de 1 kHz zone dans laquelle le coefficient correcteur s'écarte de l'unité (Figure 4). En ce qui concerne les incertitudes, la pondération permet également le recouplement dans la majorité des bandes de fréquences. Il est à

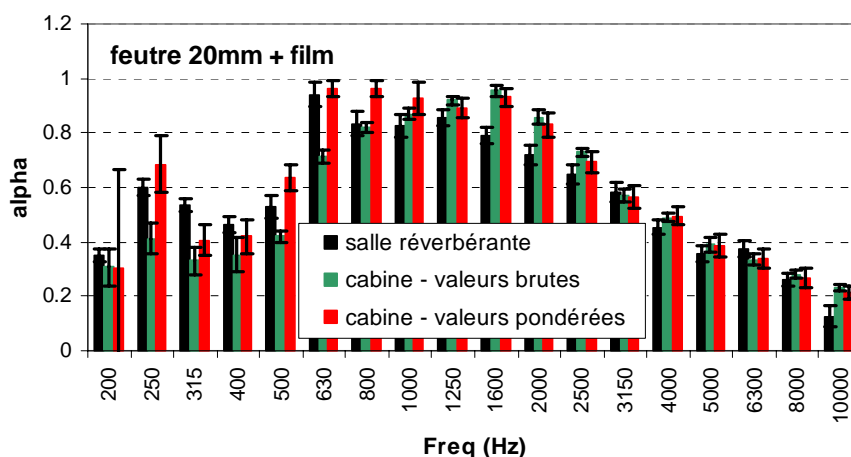
noter que les incertitudes pondérées deviennent élevées en basses fréquences et spécialement dans la bande 200 Hz.

Afin d'étendre l'application de la méthode, on présente (Figure 7) la mesure du coefficient d'absorption d'un matériau dont l'allure est caractéristique d'un comportement de type "masse-ressort". En l'occurrence il s'agit d'un feutre d'épaisseur 20mm (rôle du ressort) recouvert d'un film étanche (rôle de la masse). Il faut préciser que cette mesure n'a pas servi au calcul de la courbe d'adaptation.

Globalement l'allure est conservée et la pondération permet d'améliorer les résultats pour des fréquences inférieures à 1 kHz alors que au-delà elle ne suffit pas à corriger la sur-estimation observée sur quelques

bandes. En effet, le coefficient correcteur évoluant autour de l'unité au dessus de cette fréquence (Figure 4), la courbe d'adaptation n'a que peu d'effet.

Figure 7. Coefficient d'absorption feutre 20mm+film



4.7 Ecarts relatifs

Afin d'évaluer le gain apporté par l'utilisation du coefficient correcteur, un critère est défini comme étant la moyenne des écarts relatifs sur l'ensemble des 19 matériaux qui ont servi au calcul de la courbe d'adaptation :

$$(16) \quad E(\%) = \frac{100}{N} \sum_i \frac{|\alpha_i^{cab} - \alpha_i^{reverb}|}{\alpha_i^{reverb}}$$

On compare alors les écarts relatifs des mesures brutes aux écarts relatifs des mesures pondérées :

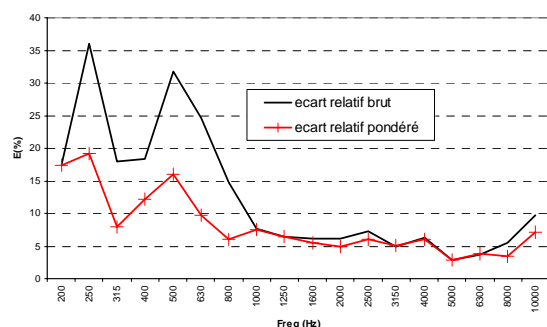


Figure 8. Ecarts relatifs entre salle réverbérante et cabine avant et après pondération

On constate donc que l'application de la loi d'adaptation améliore nettement la correspondance entre la salle réverbérante et la cabine en dessous de 1000 Hz. En effet l'écart relatif maximum avant pondération est de l'ordre 35% alors qu'après pondération, il n'est plus que de l'ordre de 20% au maximum.

En moyenne l'écart absolu maximum avant pondération est de l'ordre de 0,2 et de 0,09 après pondération.

5 CONCLUSION

Poussée par l'industrie automobile, l'utilisation des cabines Alpha ou de petites chambres réverbérantes s'est généralisée dans les laboratoires industriels. Cependant, les mesures effectuées dans ces conditions ne sont utilisées que pour leur caractère relatif dans les processus de développement de matériaux ou de pièces ayant une fonction d'absorption. La valeur de référence du coefficient Alpha Sabine des matériaux absorbants ne peut être obtenue que dans des grandes salles réverbérantes conformément aux normes ISO ou ASTM.

L'étude statistique présentée dans cet article montre qu'il est possible de pondérer, en fonction de la fréquence, les mesures réalisées dans des cabines de faible volume afin d'obtenir une détermination du coefficient alpha sabine avec une précision satisfaisante dès 200 Hz, donc bien en dessous des limites conventionnelles. En effet, avant pondération les écarts moyens entre la salle réverbérante et la cabine du CTTM sont de l'ordre des écarts inter laboratoires constatés dans la littérature (>0,2). Après pondération, ces écarts sont nettement réduits (0,09).

Il ressort que l'utilisation d'un coefficient correcteur constant ne permet pas de prendre en compte le comportement différencié de la cabine dans l'ensemble de la gamme de fréquence et en particulier en basses fréquences.

Il faut noter que ces mesures sont possibles en respectant des conditions expérimentales spécifiques telles que la bonne diffusion du champ acoustique (utilisation de diffuseurs), la détermination des temps de réverbération avec des mesures microphoniques en parois ou encore l'utilisation de cadres masquant les bords des échantillons.

Actuellement, le CTTM a également entrepris de qualifier cette cabine pour d'autres applications telles que la mesure de puissance acoustique de sources de petites dimensions et la mesure simple de transparence acoustique d'échantillons de tailles réduites.

6 REMERCIEMENTS

L'équipe du CTTM exprime sa gratitude aux fabricants de matériaux – ENAC, JEHIER et TRAMICO – qui ont permis la réalisation de cette étude.

7 REFERENCES

- [1] Norme AFNOR ISO 354 "Acoustique – Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante", 1993
- [2] ASTM C423-02a "Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method", 2002
- [3] A. Chappuis "Small devices for accurate acoustical measurements of materials and parts used in automobiles", SAE Paper 931266, pp15-25, 1993
- [4] R.A. Kolano, J.A. Kleckner "Verification of a miniature reverberation room for sound absorption measurements using corner microphone technique", SAE Paper 971895, pp 205-208, 1997
- [5] P. Jackson "Design and construction of a small reverberation chamber", SAE Paper 2003-01-1679, 2003
- [6] C.W. Kosten "International comparison measurements in the reverberation room", *Acustica*, vol 10, pp 400-411, 1960

- [7] J.R. Veen, P. Saha "Feasibility of a standardized test procedure for random incidence sound absorption tests using a small size reverberation room", SAE Paper 2003-01-1572, 2003
- [8] O.O. Nwankwo, M.L. Szary "Calibrating reverberation room for accurate material sound absorption measurements", SAE Paper 960191, pp 39-44, 1996
- [9] T.W. Bartel "Effect of absorber geometry on apparent absorption coefficients as measured in a reverberation chamber", *JASA* 69(4), pp1065-1074, 1981
- [10] R. Wentzel & al., "Alternative sample mounting techniques for small reverberant chambers", SAE Paper 2003-01-1579, 2003
- [11] Méthode d'essai Renault D49 "Matériaux fibreux et alvéolaires – absorption acoustique en champ diffus", 1998
- [12] Rieter "The Rieter Automotive Alpha Cabin System for the measurement of the acoustic absorption of materials and parts used in automotive acoustics", <http://www.rieter.com>
- [13] M. Bruneau "Manuel d'acoustique fondamentale" ed Hermes, Paris, 1998
- [14] H. Néglise, J. Nicolas "Characterization of a diffuse field in a reverberant room", *JASA* 101 (6), pp 3517-3524, 1997
- [15] F. Bessac, B. Blanquart, J. Vincent "Estimer les incertitudes de mesures acoustiques en laboratoire", *Acoustique & Technique* n°25, pp 50-56, 2001
- [16] M. Singh, O. Sharma, V. Mohanan "Repeatability and standard error in reverberation chamber absorption coefficient", pp 3393-3396, ICA 2004