



HAL
open science

Paramètres des matériaux poreux influant sur la performance acoustique des systèmes du bâtiment

Rémy Foret, Catherine Guigou-Carter, Jean-Baptiste Chene

► **To cite this version:**

Rémy Foret, Catherine Guigou-Carter, Jean-Baptiste Chene. Paramètres des matériaux poreux influant sur la performance acoustique des systèmes du bâtiment. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00551167

HAL Id: hal-00551167

<https://hal.science/hal-00551167>

Submitted on 2 Jan 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Paramètres des matériaux poreux influant sur la performance acoustique des systèmes du bâtiment

Rémy Foret¹, Catherine Guigou-Carter², Jean-Baptiste Chéné¹

¹CSTB, 84 Avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne, 77447 Marne-la-Vallée Cedex 02, {remy.foret, jean-baptiste.chene}@cstb.fr

²CSTB, 24 Rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin d'Hères, catherine.guigou@cstb.fr

Les matériaux poreux omniprésents dans le monde du bâtiment au travers de matériaux tels que les laines minérales, animales, végétales ou les mousses à cellules ouvertes sont utilisés pour leur propriété thermique mais aussi acoustique. En fonction de leur destination – amélioration de l'isolation au bruit aérien, amélioration de l'isolation au bruit de choc, correction acoustique – les caractéristiques impactant les performances sont différentes. L'objectif de cet article est donc d'identifier les paramètres des matériaux poreux qui régissent les performances acoustiques des systèmes. Pour chaque phénomène acoustique considéré (indice d'affaiblissement acoustique R , niveau de bruit de choc L_n , coefficient d'absorption acoustique α), différents systèmes de construction couramment rencontrés (cloisons, flocages, procédés d'isolation phonique) sont considérés. Dans une première étape, les performances acoustiques simulées en utilisant une méthode de matrice de transfert (TMM) sont comparées à des mesures en laboratoire. Ensuite, la contribution des paramètres du modèle de Biot-Allard généralisé des matériaux poreux sur la performance acoustique des systèmes est évaluée à l'aide d'études paramétriques et de plans d'expérience.

1 Introduction

Dans les systèmes de construction, les matériaux sont largement utilisés pour leurs propriétés thermique mais aussi acoustique. Ils peuvent être utilisés pour diminuer la transmission au bruit aérien, pour diminuer les bruits d'impact ou pour améliorer la correction acoustique d'un local. À chaque fois les phénomènes mis en jeu sont différents et donc les matériaux poreux utilisés également. Parfois, utilisés en premier lieu pour des considérations thermiques ils peuvent même dégrader les performances acoustiques des systèmes. Un bilan, non exhaustif, de l'influence des paramètres des matériaux poreux sur les performances acoustiques des systèmes de construction semble donc nécessaire, d'autant plus que ceux-ci peuvent être délicats à caractériser. Dans une première étape, les performances acoustiques de différents systèmes utilisant des matériaux poreux (bruit aérien, bruit d'impact et absorption) sont simulées et comparées à des mesures. Dans une seconde étape, la contribution des paramètres descriptifs des poreux est évaluée à l'aide d'études paramétriques et de plans d'expérience.

2 Description du projet

2.1 Description générale

Le but de ce projet est d'identifier les paramètres poro-élastiques des matériaux poreux influençant les performances acoustiques des systèmes du bâtiment. Les paramètres considérés sont ceux présents dans le modèle de Biot-Allard généralisé [1][2] (ou modèle de Biot-Johnson-Champoux-Allard) couramment utilisé pour la description de la propagation acoustique au sein des matériaux poreux (un fluide saturant et un squelette déformable). Ils peuvent être divisés en deux catégories : les paramètres élastiques et les paramètres acoustiques [3]. Les paramètres élastiques du

squelette, au nombre de quatre, sont le module de rigidité en flexion E (ou module d'Young), le coefficient de Poisson ν , l'amortissement structural η_s et la masse volumique ρ . Les paramètres acoustiques au nombre de cinq sont la porosité ϕ , la résistivité à l'écoulement de l'air σ , la tortuosité α_∞ et longueurs caractéristiques visqueuse et thermique, respectivement Λ et Λ' . Le fluide saturant étant par défaut l'air, les paramètres descriptifs de ce dernier ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

Suivant leur application (réduction du bruit aérien, diminution du bruit d'impact ou correction acoustique) les matériaux poreux impliqués dans les systèmes de construction peuvent être de nature très variée. Leur mise en œuvre est également largement différente, par exemple ceux utilisés pour leurs propriétés en transmission peuvent être non collés (laine minérale dans une cloison), collés sur une paroi de manière apparente (laine projetée en sous-face de dalle béton) ou non (mur doublé ou isolation thermique par l'extérieur). Ceci est également valable pour les systèmes utilisés pour leurs propriétés au bruit d'impact (sous-couche collée sous carrelage ou posée sous chape) ou en absorption. Ainsi, dans le projet, différents systèmes ont été considérés, les phénomènes mis en jeu n'étant pas similaires suivant l'application et la mise en œuvre. Dans ce papier, seule une partie des résultats du projet est présentée.

2.2 Méthodes de mesure

Les mesures de performances acoustiques des systèmes ont été réalisées au laboratoire d'essais acoustiques du CSTB (LABE - Laboratoire Européen d'Acoustique du Bâtiment). La mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R est réalisée selon la norme NF EN ISO 140-3 complétée par la norme NF EN ISO 717-1 pour l'expression de l'indice unique $R_w(C;C_{tr})$. La mesure du niveau de bruit de choc L_n est réalisée selon la norme NF EN ISO 140-8 complétée par la norme NF EN ISO 717-2

pour l'expression de l'indice unique ΔL_w . La mesure du coefficient d'absorption acoustique α est réalisée selon la norme NF EN ISO 354 complétée par la norme NF EN ISO 11654 pour l'expression de l'indice unique α_w .

Les propriétés mécaniques des matériaux sont obtenues à partir de différentes mesures de caractérisation. Pour les matériaux poreux, la résistivité à l'écoulement de l'air est mesurée selon la norme NF EN ISO 29053. La raideur dynamique s' et l'amortissement η des matériaux résilients sont mesurés selon la norme NF EN ISO 29052-1. Pour les matériaux solides (type plaques de plâtre), la mesure du module de rigidité en flexion et du facteur de perte structurale est réalisée en suivant les prescriptions de la norme ISO/PAS 16940.

La caractérisation des éléments de type ossature est effectuée à l'aide de mesures de mobilité sur les systèmes considérés pour déterminer la rigidité des connections [4].

2.3 Méthodes de prédiction

Les performances acoustiques sont prédites en utilisant une méthode par matrice de transfert (TMM Transfer Matrix Method) [5] implémentée dans le logiciel CASC (CSTB/DAE). Les différentes couches d'épaisseur constante constituant la structure peuvent être de type solide, fluide, poreux (suivant la théorie de Biot-Allard généralisée) ou viscoélastique. Cet outil peut être utilisé pour prédire l'indice d'affaiblissement acoustique, le niveau de bruit de choc, l'absorption acoustique, le bruit de pluie, les constantes de propagation et le bruit dû à une couche limite turbulente.

Une méthode de fenêtrage spatial est utilisée pour prendre en compte les dimensions finies des systèmes étudiés [6], lorsqu'ils sont soumis à une excitation d'origine aérienne.

La prise en compte des « court-circuits » vibratoires dus à la présence d'éléments d'ossature est effectuée par une méthode énergétique SEA [7] en moyennes et hautes fréquences pour des raisons de temps de calculs. En basses fréquences, une approche par onde considérant les éléments d'ossature comme des ressorts modélisés par des forces linéiques normales est utilisée.

3 Simulation des performances acoustiques

3.1 Indice d'affaiblissement acoustique R

Le système considéré est une cloison sèche sur simple ossature appelée « 72/48 », celle-ci est composée de deux plaques de plâtre BA13 standard (d'épaisseur 12.5 mm) vissées sur une ossature métallique (d'épaisseur 48 mm). L'âme isolante est une laine de verre de 15 kg.m⁻³ (d'épaisseur 45 mm). La représentation simplifiée de ce système est donc un multicouche composé de 5 couches sans contact entre elles. Une description schématique du modèle est présentée en Figure 1.

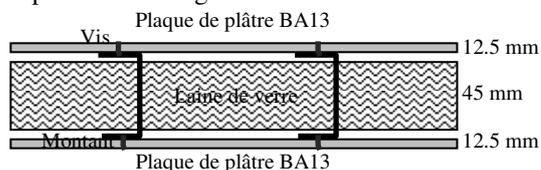


Figure 1 : représentation schématique du multicouche considéré – Cloison 72/48 vue en coupe

Les paramètres mécaniques et poro-élastiques des matériaux utilisés pour la simulation de l'indice d'affaiblissement acoustique R sont présentés dans la Table 1.

Paramètres	Plaque de plâtre standard	Laine de verre	Air
h (m)	12.5	45	1.5
ϕ	-	0.98	-
σ (kN.s/m ⁴)	-	15	-
α_∞	-	1.0	-
Λ (μ m)	-	60	-
Λ' (μ m)	-	150	-
ρ (kg.m ⁻³)	693	16	1.3
E (N.m ⁻²)	2.5e9	50e3	-
ν	0.1	0.0	-
η_s	0.05	0.05	-

Table 1 : paramètres initiaux utilisés pour la simulation de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une cloison 72/48

L'indice d'affaiblissement acoustique du système est prédit en utilisant le logiciel CASC pour le calcul de la transmission directe complété par une approche par onde en basses fréquences et une approche énergétique en hautes fréquences pour le chemin de transmission par les montants. Dans l'approche par onde, l'ossature métallique est considérée en introduisant des ressorts rotationnels et translationnels pour coupler les plaques de plâtre de part et d'autre de l'ossature. Ces ressorts, situés aux positions des montants sont modélisés comme des forces linéiques normales et comme des moments agissant sur les parements. Ils sont caractérisés par leur raideur et leur distance. Cette approche est valide dans les basses fréquences. En moyennes et hautes fréquences, l'ossature doit être considérée comme des connections ponctuelles modélisées par des ressorts ponctuels aux positions des vis. Par ailleurs, une distinction est faite entre la contribution des rails, des montants et des montants périphériques.

La comparaison entre prédiction et mesure est présentée dans la Figure 2. L'indice d'affaiblissement acoustique d'une telle structure (masse/ressort amorti/masse) est clairement limité par les transmissions par les montants en moyennes fréquences. La comparaison des indices uniques $R_w(C)$ est relativement satisfaisante, 41(-3) dB pour la prédiction et 41(-2) dB pour la mesure.

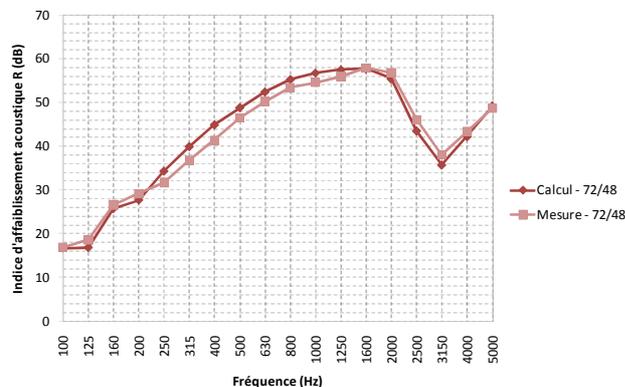


Figure 2 : comparaison de l'indice d'affaiblissement acoustique R calculé et mesuré – Cloison 72/48

3.2 Niveau de bruit de choc L_n

Le système considéré est un système de sous-couche sous carrelage, celui-ci est composé d'une sous-couche (en fibres de polyester) sous carrelage collé par un mortier, l'ensemble étant collé sur une dalle de béton (d'épaisseur 140 mm). Le système est donc composé de 3 couches avec un contact du type collé entre ces dernières. Une description schématique du modèle est présentée en Figure 3.

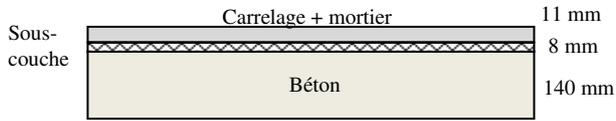


Figure 3 : représentation schématique du multicouche considéré – Système de sous-couche sous carrelage vue en coupe

Les paramètres mécaniques et poro-élastiques des matériaux utilisés pour la simulation de la réduction de bruit de choc ΔL sont présentés dans la Table 2.

Paramètres	Carrelage	Sous-couche	Béton
h (mm)	11	8	140
ϕ	-	0.93	-
σ (kN.s/m ⁴)	-	124	-
α_∞	-	1.0	-
Λ (μ m)	-	60	-
Λ' (μ m)	-	120	-
ρ (kg.m ⁻³)	2000	168	2325
E (N.m ⁻²)	33e9	1.7e6	25e9
ν	0.1	0.0, 0.4	0.1
η_s	0.05	0.065	0.10

Table 2 : paramètres initiaux utilisés pour la simulation de la réduction de bruit de choc d'un système de sous-couche sous carrelage

La réduction du niveau de bruit de choc apporté par le système est prédite en utilisant le logiciel CASC, la prédiction est comparée à des mesures acoustiques en laboratoire présentées dans la Figure 4. Des études sont actuellement en cours pour déterminer l'influence de certains paramètres tels que l'encollage, le type de colle, de fibres pouvant expliquer une meilleure corrélation avec un coefficient de Poisson $\nu=0.4$.

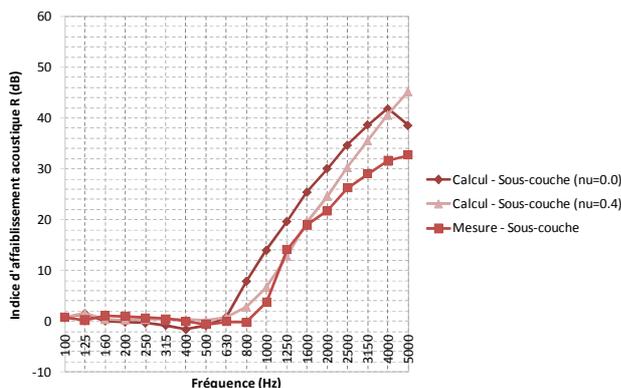


Figure 4 : comparaison de la réduction de bruit de choc calculé et mesuré – Sous-couche sous carrelage

Une bonne corrélation calcul/mesure peut-être observée sur l'ensemble de la gamme de fréquences 100-5000 Hz, ceci également sur les indices uniques de la réduction du bruit de choc avec $\Delta L_w = 13$ dB pour la prédiction et $\Delta L_w = 12$ dB pour la mesure.

3.3 Coefficient d'absorption acoustique α

Le système considéré est une laine de verre seule de masse volumique 45 kg.m⁻³ et d'épaisseur 45 mm. Celle-ci est considérée sans voile en partie supérieure. Le système est donc composé d'une unique couche. Une description schématique du modèle est présentée en Figure 5.



Figure 5 : description du multicouche considéré – Laine de verre vue en coupe

Les paramètres mécaniques et poro-élastiques des matériaux utilisés pour la simulation du coefficient d'absorption acoustique α sont présentés dans la Table 3.

Paramètres	Laine de verre
h (mm)	45
ϕ	0.98
σ (kN.s/m ⁴)	120
α_∞	1.00
Λ (m)	13
Λ' (m)	52
ρ (kg.m ⁻³)	45
E (kN.m ⁻²)	25
ν	0.0
η_s	0.20

Table 3 : paramètres initiaux utilisés pour la simulation du coefficient d'absorption acoustique de la laine de verre considérée

Le coefficient d'absorption acoustique α du système en champ diffus est prédit en utilisant le logiciel CASC, il est comparé à des mesures acoustiques en laboratoire présentées dans la Figure 6.

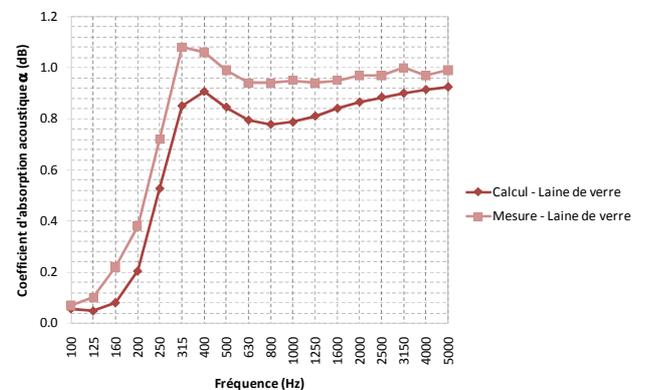


Figure 6 : comparaison du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus calculé et mesuré – Laine de verre

Une bonne corrélation calcul/mesure peut-être observée sur les tendances, toutefois un écart marqué subsiste. Le calcul sous-estime la mesure réalisée selon la norme NF EN ISO 354, ceci également au niveau des indices uniques avec $\alpha_w=0.80$ pour la prédiction et $\alpha_w=0.95$ pour la mesure.

4 Étude paramétrique

L'objectif de cette section est de quantifier l'influence des paramètres des matériaux poreux (utilisés dans le modèle de Biot-Allard) sur les performances acoustiques des systèmes du bâtiment. Pour cela, des études paramétriques sont dans un premier temps menées en faisant varier indépendamment les paramètres des matériaux poreux présents dans les systèmes susmentionnés. L'influence est à la fois évaluée sur la gamme de fréquences 100-5000 Hz et sur l'indice unique correspondant. Dans un second temps, la contribution des différents paramètres est étudiée en utilisant des plans d'expériences définis à l'aide de la méthode de Taguchi [8].

4.1 La cloison

Les valeurs des paramètres considérés pour l'étude paramétrique de laine minérale présente dans la cloison sont présentées dans la Table 4. Chaque paramètre varie indépendamment.

Paramètres	Valeurs
ϕ	0.58, 0.68, 0.78, 0.88, 0.98*
σ (N.s/m ⁴)	5, 10, 15*, 20, 25
α_∞	1.0*, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8
Λ (μ m)	40, 60, 80*, 100, 120
Λ' (μ m)	$2\Lambda'$
ρ_1 (kg.m ⁻³)	10, 15*, 20, 25, 30
E (kN.m ⁻²)	25, 50*, 75, 100, 125
ν	0.0
η_s	0.05, 0.10, 0.15*, 0.20, 0.25

Table 4 : valeurs considérées pour l'étude paramétrique

Les indices d'affaiblissement acoustique R pour la cloison 72/48 sans considérer les éléments d'ossature sont présentés dans la Figure 7. Les résultats avec éléments d'ossature ne sont pas présentés dans ce papier. Les paramètres élastiques n'ayant pas ou peu d'influence sur l'indice d'affaiblissement acoustique de la cloison (avec $R_w+C=34$ dB), contrairement aux paramètres acoustiques, ne sont pas présentés. Ceci est dû au fait que les différentes couches sont sans contact en elles.

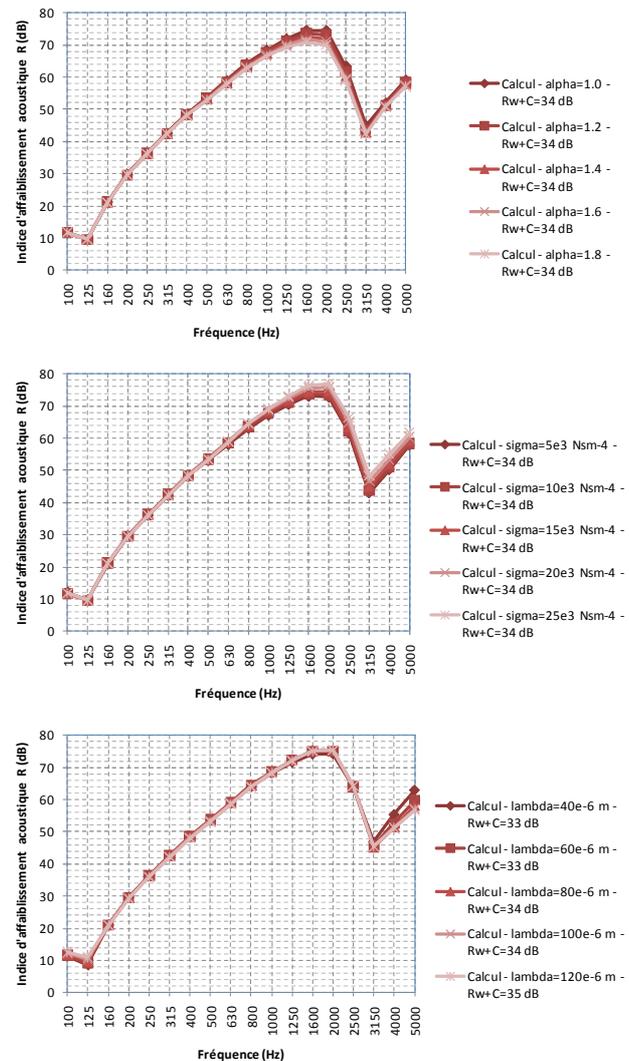
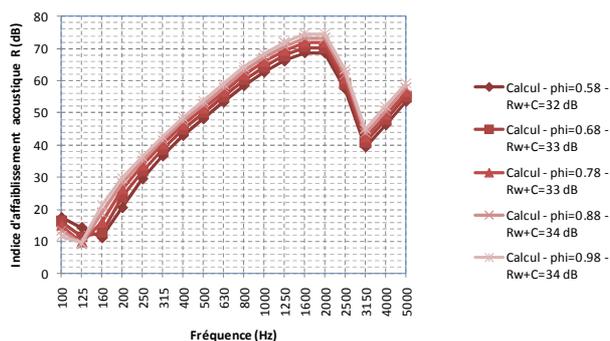


Figure 7 : influence des paramètres élastiques et acoustiques de l'âme isolante sur l'indice d'affaiblissement acoustique R du système

La porosité a un impact notable sur l'ensemble de la gamme de fréquences 100-5000 Hz, la tortuosité et la résistivité à partir de 800 Hz et les longueurs caractéristiques au-delà de la fréquence critique des plaques de plâtre (au tiers d'octave 3150 Hz).

La contribution de chaque paramètre en fonction de la fréquence (calculée à l'aide de plans d'expériences) est montrée dans la Figure 8.

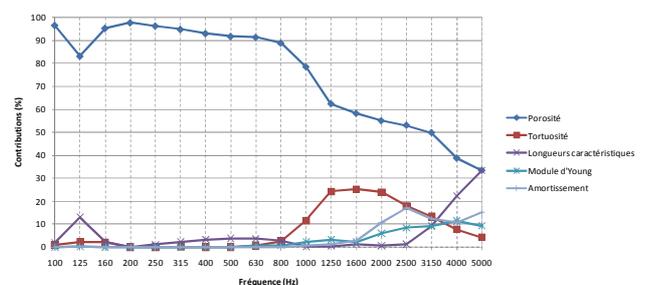


Figure 8 : contribution des paramètres poro-élastiques sur l'indice d'affaiblissement acoustique R

4.2 Le système de sous-couche sous carrelage

Les valeurs des paramètres considérés pour l'étude paramétrique de la sous-couche sous carrelage sont présentées dans la Table 5. Chaque paramètre varie indépendamment.

Paramètres	Valeurs
ϕ	0.53, 0.63, 0.73, 0.83, 0.93*
σ (kN.s/m ⁴)	80, 100, 120*, 140, 160
α_{∞}	1.0*, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8
Λ (μ m)	20, 40, 60*, 80, 100
Λ' (μ m)	2 Λ
ρ_1 (kg.m ⁻³)	130, 150, 170*, 190, 210
E (MN.m ⁻²)	0.5, 1.0, 1.5*, 2.0, 2.5
ν	0.0
η_s	0.025, 0.050, 0.075*, 0.100, 0.125

Table 5 : valeurs considérées pour l'étude paramétrique

Les réductions de bruit de choc ΔL en fonction des différents paramètres sont présentées dans la Figure 9.

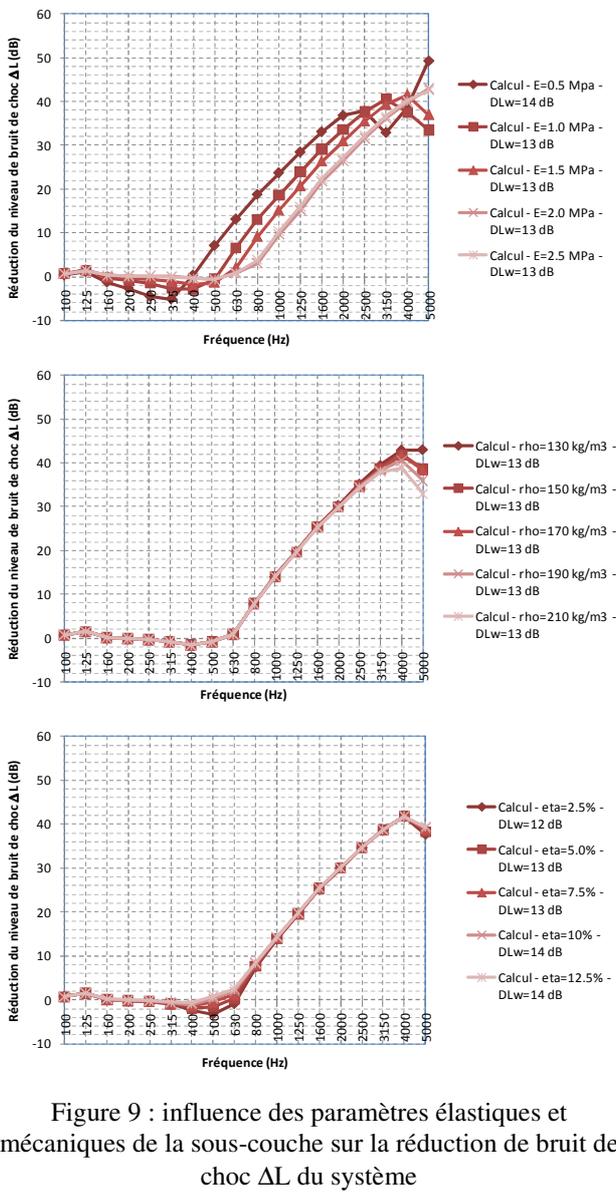


Figure 9 : influence des paramètres élastiques et mécaniques de la sous-couche sur la réduction de bruit de choc ΔL du système

Les paramètres acoustiques n'ayant pas ou peu d'influence sur la réduction de bruit de choc de la sous-couche (avec un $\Delta L_w = 13$ dB), ils ne sont pas présentés, contrairement aux paramètres élastiques. Ceci est dû au fait que les différentes couches sont collées en elles. L'amortissement structural augmente notablement la réduction de bruit de choc au niveau de la fréquence de résonance du système (au tiers d'octave 400 Hz). La masse volumique a un impact à partir du tiers d'octave 2500 Hz.

La contribution de chaque paramètre en fonction de la fréquence (calculée à l'aide de plans d'expériences) est montrée dans la Figure 10.

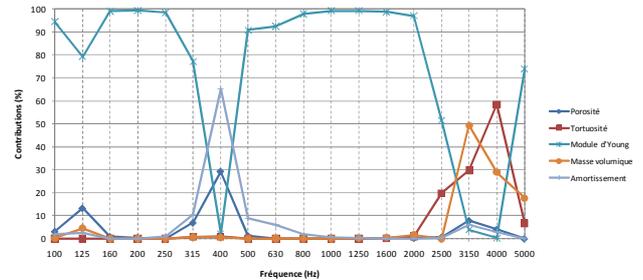


Figure 10 : contribution des paramètres poro-élastiques sur la réduction de bruit de choc ΔL

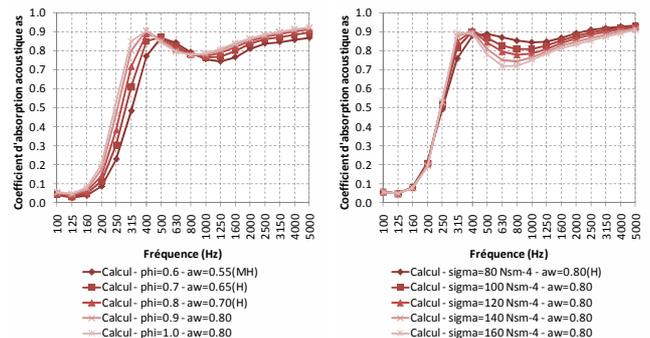
4.3 La laine de verre

Une étude paramétrique est menée sur la laine de verre pour quantifier les performances de chacun des paramètres sur les performances en absorption. Les valeurs considérées dans la présente étude sont présentées dans la Table 6.

Paramètres	Valeurs
ϕ	0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.98*
σ (kN.s/m ⁴)	80, 100, 120*, 140, 160
α_{∞}	1.0*, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8
Λ (μ m)	13*, 16, 39, 52, 65
Λ' (μ m)	2 Λ
ρ_1 (kg.m ⁻³)	15, 30, 45*, 60, 75
E (kN.m ⁻²)	15, 25*, 35, 45, 55
ν	0.0
η_s	0.05, 0.10, 0.15, 0.20*, 0.25

Table 6 : valeurs considérées pour l'étude paramétrique

Les coefficients d'absorption acoustique α en champ diffus pour les différents paramètres sont présentés dans la Figure 11.



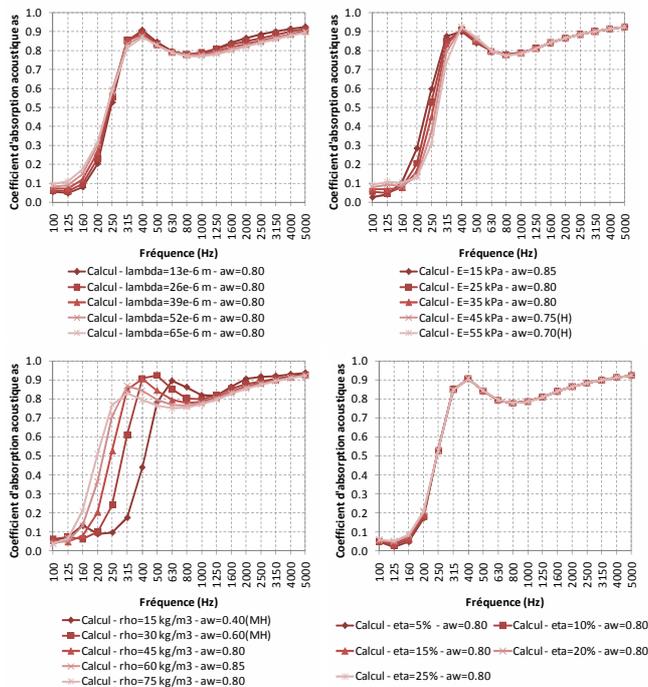


Figure 11 : influence des paramètres élastiques et mécaniques de la laine sur le coefficient d'absorption acoustique α en champ diffus

La tortuosité n'ayant que peu d'influence sur le coefficient d'absorption de la laine, les résultats ne sont pas présentés. Les longueurs caractéristiques visqueuse et thermique et l'amortissement structural ont également peu d'influence. La masse volumique et la porosité ont une influence sur l'ensemble de la gamme de fréquences 100-5000 Hz, le module d'Young en deçà de 315 Hz et la résistivité au delà.

La contribution de chaque paramètre en fonction de la fréquence (calculée à l'aide de plans d'expériences) est montrée dans la Figure 12.

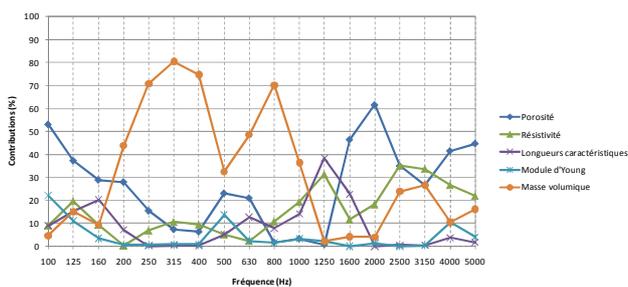


Figure 12 : contribution des paramètres poro-élastiques sur le coefficient d'absorption acoustique α en champ diffus

4 Conclusion

Suivant le domaine d'application des systèmes de construction (bruit aérien, bruit d'impact, absorption), l'influence des paramètres des matériaux poreux présents dans ces derniers est largement différente. Ainsi, les paramètres acoustiques sont très influents sur l'indice d'affaiblissement acoustique d'une cloison contrairement à la réduction au bruit de choc d'une sous-couche sous carrelage où les paramètres élastiques commandent la performance ; ou à l'absorption d'une laine de verre seule

où l'ensemble des paramètres poro-élastiques est prépondérant. Le type de contact entre le matériau poreux contribue également à la performance *in fine*, c'est pourquoi l'étude a été étendue à d'autres systèmes non présentés dans ce papier.

La contribution des paramètres poro-élastiques a été évaluée à partir d'études paramétriques et de plans d'expérience où les paramètres ont été considérés comme décollés cependant il est évident que cette démarche doit être affinée pour prendre en compte la dépendance des paramètres (par exemple la dépendance entre résistivité et masse volumique).

Remerciements

Les auteurs remercient le Département Recherche et Développement du CSTB pour le support financier de ces travaux.

Références

- [1] Biot M.A., "Theory of elastic waves in a fluid saturated porous solid. I. Low frequency range, II. Higher frequency range", *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 168-91 (1956).
- [2] Champoux Y., Allard J.F., "Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media", *J. Appl. Physics*, 70, 1975-9 (1991).
- [3] Allard J.F., Attala N., "Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials", *John Wiley & Sons*, Chichester, United Kingdom (2009).
- [4] Poblet-Puig J., Rodríguez-Ferran A., Guigou-Carter C. and Villot M., "Experimental and numerical characterization of metallic studs", *Proceedings of Euronoise 2006*, Tampere, Finland (2006)
- [5] Munjal M. L., "Response of a multi-layered infinite plate to an oblique plane wave by means of transfer matrices", *Journal of Sound and Vibration*, 162, 333-343 (1993).
- [6] Villot M., Guigou-Carter C. and Gagliardini L., "Predicting the acoustical radiation of finite size multi-layered structures by applying spatial windowing on infinite structures", *Journal of Sound and Vibration* 245(3), 433-455 (2001).
- [7] Guigou-Carter C., Villot M., "Analytical and experimental study of single frame double wall", *Proceedings of Euronoise 2006*, Tampere, Finland (2006).
- [8] Taguchi G., "The System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost", *Gilmour Drummond Publishing*, Cambridge and Edinburgh, United Kingdom (1987).