



RAPPORT D'ETUDE N°AC19-26083380

ESTIMATION PAR CALCUL
DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES
D'UN SYSTEME D'ISOLANT
THERMIQUE PROJETE SUR PAROIS
VERTICALES

Rapport final

Thibaut BLINET

Jean-Baptiste CHENE
Chef de Division

Demandeur de l'étude :
ICYNENE LAPOLLA EUROPE SPRL
30 Clos Chapelle aux Champs
B-1200 Brussels
BELGIQUE

N/Réf. SC-ACS-2020-028



RAPPORT D'ETUDE N°AC19-26083380

ESTIMATION PAR CALCUL
DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES
D'UN SYSTEME D'ISOLANT
THERMIQUE PROJETE SUR PAROIS
VERTICALES

Rapport final

Auteur	Approbation	Vérificatrice
Thibaut BLINET	Simon BAILHACHE	Ghislaine CAPOURET

1. Préambule.....	4
2. Méthode de prédiction.....	5
2.1 Logiciel de prédiction AcouSYS	5
2.2 Méthodologie.....	5
2.3 Application au cas d'un système d'isolation projeté sur parois supports.....	6
2.3.1 Modélisation sous AcouSYS	6
2.3.2 Présentation des configurations étudiées.....	7
3. Données d'entrée.....	8
3.1 Résultats des mesures de raideur dynamique.....	8
3.2 Synthèse.....	9
4. Simulations des performances acoustiques.....	10
4.1 Validation de la méthode : Comparaison calcul/mesure	10
4.2 Estimations de performances par extrapolation.....	13
4.2.1 Isolant de 150 mm + BA13 sur voile béton de 160 mm	13
4.2.2 Isolant de 150 mm + BA13 sur mur maçonné en blocs béton creux de 200 mm (enduit une face)	14
4.2.3 Isolant de 150 mm + BA13 sur mur maçonné en briques creuses de 200 mm (enduit une face)	15
4.2.4 Isolant de 150 mm + BA13 sur panneaux de contreventement d'OSB de 12 mm.....	16
4.2.5 Isolant de 50 mm projetée entre 2 murs maçonnées en briques creuses de 100 mm.....	17
5. Conclusion	18
Annexe 1 - Mesure de raideur dynamique.....	21
Annexe 2 – Résultats des mesures de raideur dynamique.....	23
Annexe 3 – Performances acoustiques mesurées et calculées par tiers d'octave	25
Annexe 4 - Rappels sur les fréquences spécifiques	29

1. Préambule

L'objectif de l'étude, à la demande de la société ICYNENE LAPOLLA, est d'estimer par calculs les performances acoustiques (indice d'affaiblissement acoustique R et amélioration au bruit aérien ΔR associée) d'un système d'isolation thermique en mousse PU (réf. H2 Foam Lite F) projetée sur différents types de parois supports.

Dans une première partie, le logiciel de prédiction AcouSYS¹ utilisé pour les simulations est présenté ainsi que son application pour le type de système étudié.

Dans une seconde partie, les données d'entrée nécessaires aux simulations sont rappelées. Elles sont issues principalement d'essais de caractérisations mécaniques (mesures de raideur dynamique) réalisés sur le produit en mousse PU.

Dans une troisième partie, le logiciel est utilisé, dans un premier temps, pour simuler et comparer les performances acoustiques du système d'isolation mis en œuvre dans des configurations déjà testées en laboratoire (cf. dossier d'essais du CSTB n° AC18-26076613_Rév02), afin de valider la méthode employée pour la suite de l'étude. Dans un second temps, une estimation des performances acoustiques est réalisée par extrapolation pour des configurations non testées.

Enfin, la quatrième et dernière partie synthétise les résultats obtenus.

¹ Logiciel développé par le CSTB et basé sur la méthode des matrices de transfert (TMM)

2. Méthode de prédiction

2.1 Logiciel de prédiction AcouSYS

Le logiciel AcouSYS, développé par le CSTB, est couramment utilisé pour simuler l'indice d'affaiblissement acoustique, le coefficient d'absorption, le niveau de bruit de choc ou encore le niveau de bruit de pluie de composants du bâtiment évalués en laboratoire.

Ce logiciel de calcul acoustique de système multicouche tridimensionnel utilise une approche par onde pour des couches planes et infinies. Chaque couche est représentée par une matrice de transfert reliant les champs de déplacement et de contrainte à chaque interface de la couche. Les couches peuvent être de différents types : solide isotrope ou orthotrope, fluide, poreux, fluide équivalent, viscoélastique ou élément perforé.

Le logiciel permet également de considérer les conditions de montage entre chaque couche, c'est-à-dire en contact (collé : continuité des contraintes et des vitesses) ou non. La prise en compte des dimensions (latérales) finies du système est effectuée par une technique de fenêtrage spatial lorsque l'excitation est aérienne de type champ diffus.

2.2 Méthodologie

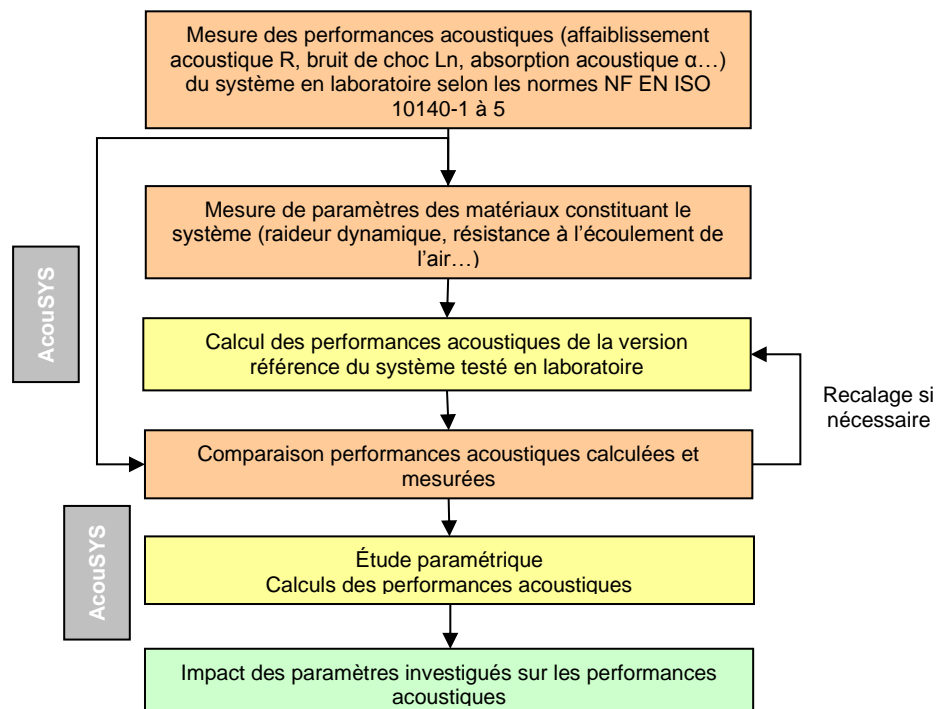


Figure 1 - Méthodologie de prédiction des performances acoustiques d'un système

2.3 Application au cas d'un système d'isolation projeté sur parois supports

2.3.1 Modélisation sous AcouSYS

L'isolant étudié est une mousse expansée en polyuréthane (PU) réf. H2 Foam Lite F (ICYNENE), de faible densité ($\sim 7 \text{ kg/m}^3$), projetée sur ou sous différents types de support (planchers, combles, murs, etc.).

Sous AcouSYS, chaque épaisseur de matériau constituant le système est modélisée par une couche aux propriétés physiques, mécaniques et acoustiques associées à ce matériau. Un système complet de type « mur support + isolant + lame d'air (liée à l'ossature) + parement » est donc modélisé comme un système à quatre couches (ou cinq si une couche d'enduit est à considérer) tel que montré dans l'exemple de la Figure 2.

Enfin, un fenêtrage spatial de $4180 \times 2470 \text{ mm}^2$ est appliqué lors de la simulation afin de tenir compte des dimensions de la maquette d'essais.

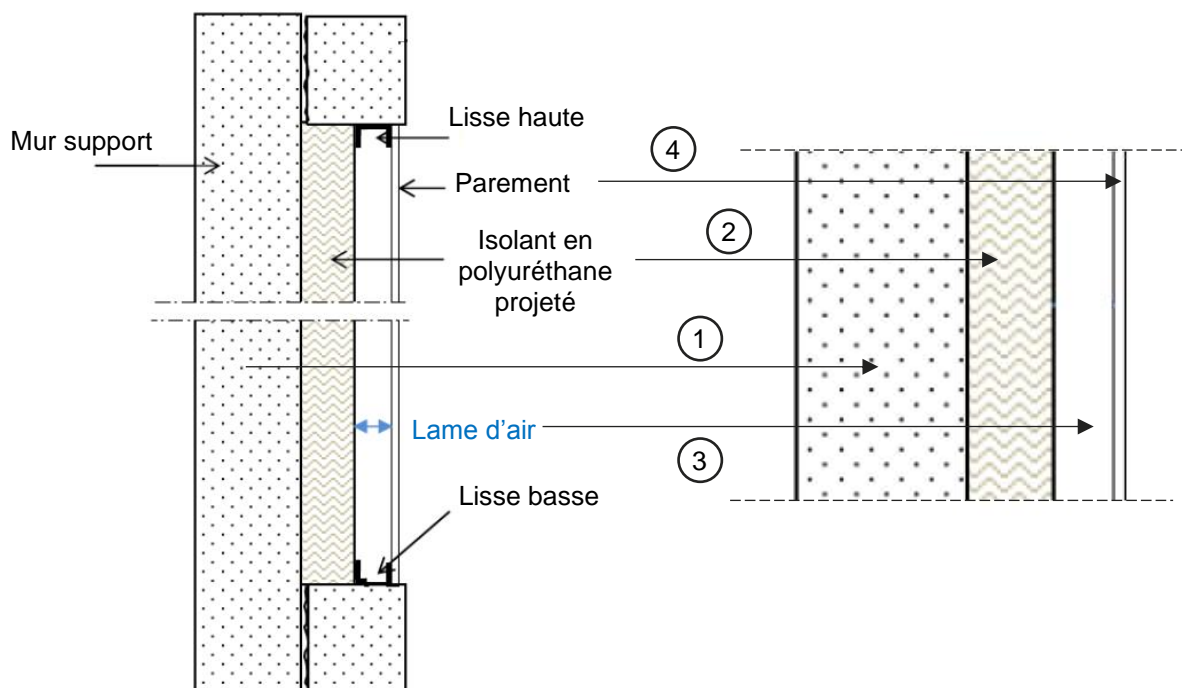


Figure 2 – Représentation simplifiée de la modélisation sous AcouSYS d'un système isolant projeté sur une paroi support

2.3.2 Présentation des configurations étudiées

L'ensemble des configurations étudiées est présenté Tableau 1.

Support	Isolant	Espace d'air (mm)	Parement	Simulations
Voile béton de 160 mm	/	/	/	Comparaison calcul/mesure (cf. Dossier du CSTB n° AC18-26076613_Rév02)
	Mousse PU réf. H2 Foam Lite F projetée de 80 mm	45	Plaque de plâtre BA18S	
Mur maçonné en blocs béton creux 200 mm (enduit une face)	Mousse PU réf. H2 Foam Lite F projetée de 150 mm		45	Plaque de plâtre BA13 Std
	/	/		/
Mur maçonné en briques creuses de terre cuite 200 mm (enduit une face)	Mousse PU réf. H2 Foam Lite F projetée de 150 mm	45	Plaque de plâtre BA13 Std	
	/		/	/
Panneaux de contreventement OSB 12 mm	Mousse PU réf. H2 Foam Lite F projetée de 150 mm	45	Plaque de plâtre BA13 Std (montants bois ou ossature métallique)	
	/		/	/
Mur maçonné en briques creuses de terre cuite 100 mm	Mousse PU réf. H2 Foam Lite F projetée de 50 mm	50	Mur maçonné en briques creuses de terre cuite 100 mm	
	/		/	/

Tableau 1 - Configurations étudiées

3. Données d'entrée

Afin de disposer une partie des données d'entrée nécessaires aux simulations, l'isolant en mousse PU a été caractérisée mécaniquement en termes de raideur dynamique pour différentes épaisseurs. Pour les autres éléments étudiés (parois supports, parements), les paramètres mécaniques utilisés seront issus de valeurs génériques représentatives des matériaux associés.

3.1 Résultats des mesures de raideur dynamique

La mousse PU réf. H2 Foam Lite F (ICYNENE) a été caractérisée en raideur dynamique pour trois épaisseurs (50, 100 et 150 mm), selon la norme NF EN 29052-1 (cf. méthode Annexe 1). Les résultats des mesures sont présentés en détails en Annexe 2.

Pour information, la valeur du module de Young pour l'épaisseur de 80 mm (testée en laboratoire) sera estimée à partir des mesures réalisées sur ces trois épaisseurs.

Le Tableau 2 synthétise les résultats des mesures de raideur dynamique obtenus sur les trois épaisseurs de mousse PU caractérisées.

Matériau	Épaisseur (mm)	Densité ρ (kg/m ³)	Module de Young E (MPa)		Facteur de pertes η (%)	
			Sous 2 kg	Sous 4 kg	Sous 2 kg	Sous 4 kg
Mousse PU	50	7,6	0,836	0,812	11,7	10,5
	100	7,6	0,533	0,546	6,9	6,8
	150	6,8	0,501	0,509	7,0	7,7

Tableau 2 – Synthèse des résultats de mesures de raideur dynamique réalisées sur la mousse PU réf. H2 Foam Lite F (ICYNENE)

Dans l'ensemble, les résultats obtenus en termes d'élasticité E et d'amortissement η sont relativement identiques quelle que soit la charge appliquée sur le produit mais sont dépendants de l'épaisseur du produit. Ainsi, d'après les résultats, les valeurs d'élasticité et d'amortissement pour une épaisseur de 80 mm ont été estimées respectivement à 0,64 MPa (cf. Annexe 2) et 8,5 % (moyenne de l'ensemble des résultats).

3.2 Synthèse

L'ensemble des paramètres utilisés comme données d'entrée pour les simulations est synthétisé Tableau 3 et Tableau 4.

Type de couche	Épaisseur (mm)	Densité ρ (kg/m ³)	Coef. Poisson ν (—)	Module de Young E (MPa)	Module de cisaillement G (MPa)	Facteur de pertes η (%)
Voile béton	160	2 500	0,1	40 000	/	Dépendant de la fréquence
Mur en blocs de béton creux	200	2 300	0,1	26 000	/	Dépendant de la fréquence
Mur en briques creuses de terre cuite (alvéoles verticales)	200	615	$\nu_{xy} = 0,01$ $\nu_{yz} = 0,084$ $\nu_{zx} = 0,018$	$E_x = 1\ 049$ $E_y = 1\ 658$ $E_z = 199,4$	$G_{xy} = 539,3$ $G_{yz} = 290,1$ $G_{zx} = 87,96$	Dépendant de la fréquence
Mur en briques creuses de terre cuite (alvéoles horizontales)	100	790	$\nu_{xy} = 0,035$ $\nu_{yz} = 0,075$ $\nu_{zx} = 0,01$	$E_x = 3\ 277$ $E_y = 4\ 338$ $E_z = 5\ 817$	$G_{xy} = 1\ 766$ $G_{yz} = 1\ 996$ $G_{zx} = 1\ 631$	Dépendant de la fréquence
Enduit mortier	15	2 730	0,25	10 000	/	1,0

Tableau 3 - Caractéristiques physiques et mécaniques des parois/murs supports

Type de couche	Épaisseur (mm)	Densité ρ (kg/m ³)	Coef. Poisson ν (—)	Module de Young E (MPa)	Facteur de pertes η (%)
Mousse PU (H2 Foam Lite F)	50 80 150	7,5	0,4	0,80 0,64 0,48	8,5
Plaque de plâtre BA18S	18	915	0,1	4 000	3,0
Plaque de plâtre BA13 Std	12,5	725	0,1	2 200	2,0
Panneau OSB	12	650	0,1	4 600	2,0

Tableau 4 - Caractéristiques physiques et mécaniques des éléments isolants et parements

4. Simulations des performances acoustiques

Les résultats de calcul présentés ci-après sont issus de calculs numériques réalisés avec le logiciel AcouSYS. Les résultats de calculs ainsi que les résultats issus des mesures en laboratoire sont détaillés en Annexe 3 (valeurs par tiers d'octave).

4.1 Validation de la méthode : Comparaison calcul/mesure

Dans cette section, les performances acoustiques du système mesuré en laboratoire sont comparées aux résultats issus de calcul afin de valider l'approche et la méthode utilisées pour la suite de l'étude.

La configuration mesurée en laboratoire est la suivante :

- Mousse PU de 80 mm (réf. H2 Foam Lite F) projetée sur un voile béton de 160 mm avec parement en plaques de plâtre cartonnées de type BA18S vissées sur une ossature de 45.

Il est tout d'abord important de préciser qu'un problème est survenu lors des mesures réalisées en laboratoire ce qui s'est traduit par une dégradation de l'indice d'affaiblissement acoustique R observable au tiers d'octave 200 Hz sur les performances du mur support avec et sans le système isolant. Néanmoins, cette dégradation étant identique aux deux configurations, le calcul de l'amélioration au bruit aérien ΔR , étant la différence des deux résultats de mesure, n'est pas impacté par celle-ci, l'un annulant l'autre.

Afin de déterminer une mesure « sans dégradation » et pour pouvoir la comparer aux résultats simulés, une moyenne a été réalisée entre les deux indices d'affaiblissement acoustique R de part et d'autre le tiers d'octave en question, soit $R_{160\text{Hz}}$ et $R_{250\text{Hz}}$.

Les Figure 3 et Figure 4 présentent respectivement les comparaisons calcul/mesure du voile en béton de 160 mm sans et avec habillage. Les performances acoustiques calculées et mesurées associées sont résumées Tableau 5.

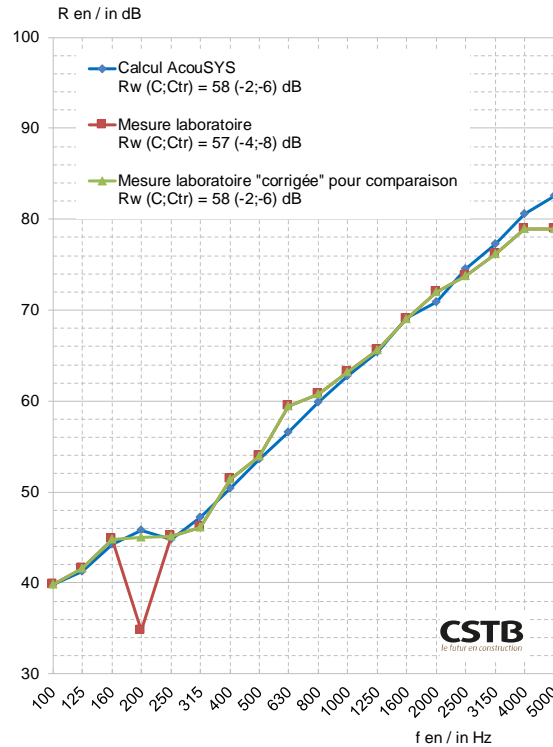


Figure 3 – Comparaison calcul/mesure de l'indices d'affaiblissement acoustiques R d'un voile béton de 160 mm (cf. dossier d'essais du CSTB n° AC18-26076613_Rév02)

Dans la configuration avec l'isolant, de légères divergences sont à noter entre le calcul et la mesure (« corrigée ») notamment en hautes fréquences. Ces écarts sont principalement dus à l'ossature métalliques qui n'est pas prise en compte par le calcul et qui a tendance à favoriser le transfert énergétique dans ce domaine fréquentiel. Les corrélations restent néanmoins relativement satisfaisantes tant d'un point de vu comportemental qu'indiciel. Ainsi, au vu de ces résultats, la méthode employée peut être utilisée, dans la suite de l'étude, pour extrapoler les performances à d'autres configurations.

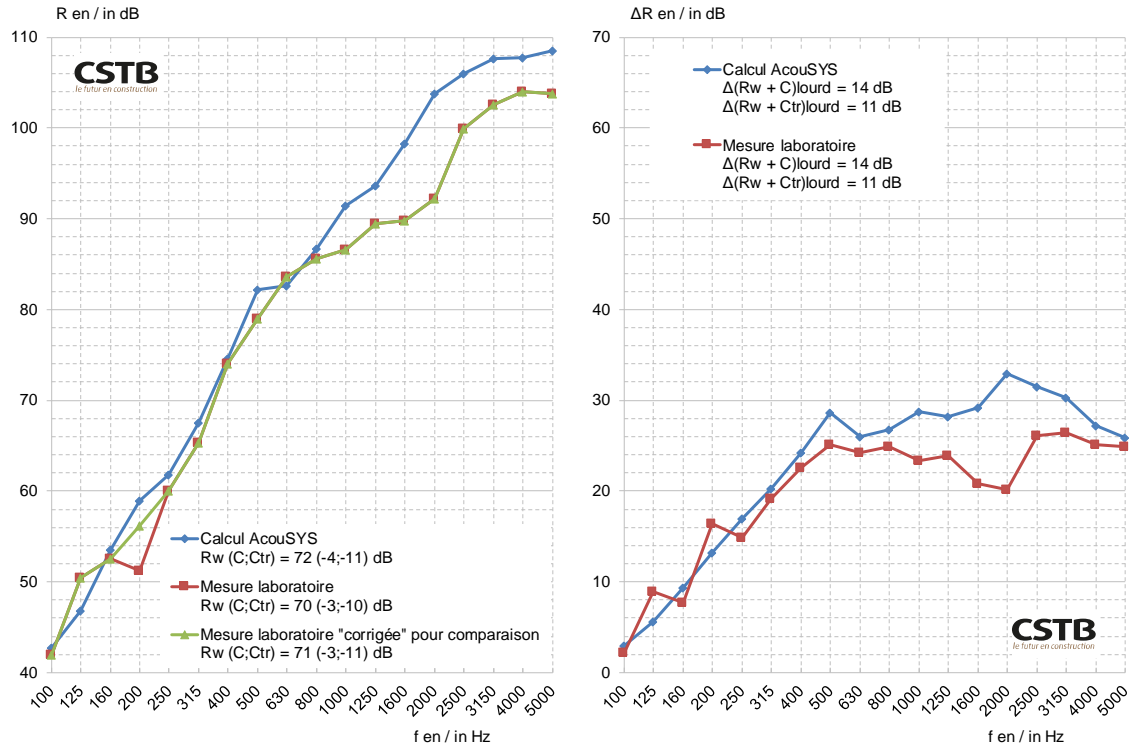


Figure 4 – Comparaisons calculs/mesures de l'indice d'affaiblissement acoustiques R de la mousse PU H2 Foam Lite F de 80 mm projetée sur un voile béton de 160 mm avec un parement de plaques de plâtre de type BA18 espacé de 45 mm et amélioration au bruit aérien ΔR associée (cf. dossier d'essais du CSTB n° AC18-26076613_Rév02)

Configuration		R_w (C; C_{tr}) [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{lourd}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{lourd}$ [dB]
Voile béton 160 mm	Calcul	58 (-2 ; -6)	58	56	52	/	/
	Mesure (rapport)	57 (-4 ; -8)	57	53	49	/	/
	Mesure « corrigée »	58 (-2 ; -6)	58	56	52	/	/
+ Mousse PU 80 mm + BA18	Calcul	72 (-4 ; -11)	72	68	61	14	11
	Mesure (rapport)	70 (-3 ; -10)	70	67	60	14	11
	Mesure « corrigée »	71 (-3 ; -11)	71	68	60	14	11

Tableau 5 - Indices des performances acoustiques calculées et mesurées pour une mousse PU H2 Foam Lite F de 80 mm projetée sur un voile béton de 160 mm avec un parement de plaques de plâtre de type BA18 espacé de 45 mm (cf. dossier d'essais du CSTB n° AC18-26076613_Rév02)

4.2.5 Isolant de 50 mm projetée entre 2 murs maçonnés en briques creuses de terre cuite de 100 mm

La Figure 9 présente les performances acoustiques estimées pour une paroi en briques creuses de terre cuite de 100 mm sans et avec un isolant de 50 mm et une autre paroi en briques creuses de terre cuite de 100 mm espacée de 50 mm. Le Tableau 10 synthétise les indices des performances acoustiques obtenus.

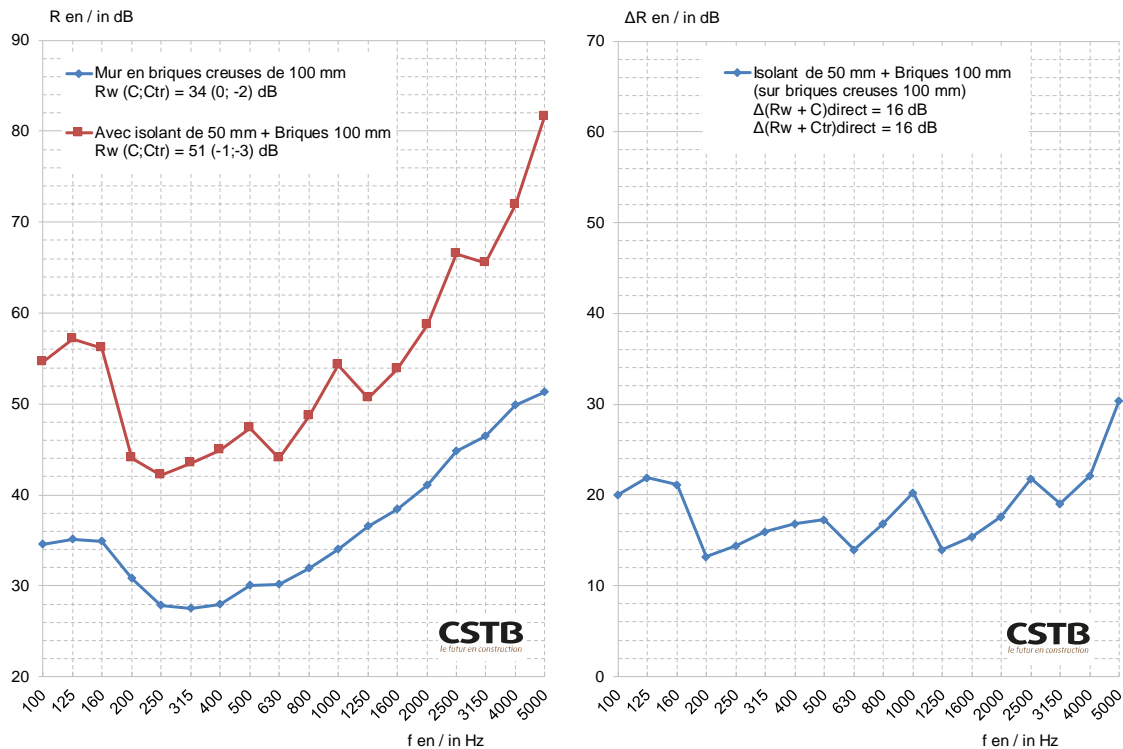


Figure 9 – Indices d'affaiblissement acoustiques R estimés pour 50 mm de mousse PU H2 Foam Lite F projetée sur un mur maçonné en briques creuses de terre cuite de 100 mm avec une paroi en briques creuses de terre cuite de 100 mm espacée de 50 mm et amélioration au bruit aérien ΔR associée

Configuration		$R_w(C; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ [dB]
Mur briques creuses 100 mm	Calcul	34 (0 ; -2)	34	34	32	/	/
+ Mousse PU 50 mm + briques creuses 100 mm		51 (-1 ; -3)	51	50	48	16	16

Tableau 10 - Indices des performances acoustiques estimées pour 50 mm de mousse PU H2 Foam Lite F projetée sur un mur maçonné en briques creuses de terre cuite de 100 mm avec une paroi en briques creuses de terre cuite de 100 mm espacée de 50 mm

5. Conclusion

L'objectif de l'étude, à la demande de la société ICYNENE LAPOLLA, est d'estimer par calculs les performances acoustiques (indice d'affaiblissement acoustique R et amélioration au bruit aérien ΔR) d'un système d'isolation thermique en mousse PU (réf. H2Foam Lite F) projetée sur différents types de parois supports.

Après avoir caractérisé mécaniquement l'isolant pour différentes épaisseurs afin de disposer des données d'entrée nécessaires aux simulations, la méthode employée a été validée par une comparaison calcul/mesures qui a donné de bonnes corrélations calcul/mesure.

A partir de ce premier résultat, les extrapolations ont pu être réalisées en modifiant le type de parois support, l'épaisseur de l'isolant et le type de finition (parements). Les tableaux ci-après synthétisent les résultats issus des mesures et des simulations pour l'ensemble des configurations étudiées.

Configurations		Performances acoustiques						
		$R_w (C ; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{lourd}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{lourd}$ [dB]	
Voile béton de 160 mm	/	Calcul	58 (-2 ; -6)	58	56	52	/	/
		Mesure rapport	57 (-4 ; -8)	57	53	49	/	/
		Mesure « corrigée »*	58 (-2 ; -6)	58	56	52		
	+ 80 mm de mousse H2Foam Lite F + BA18 (sur M45)	Calcul	72 (-4 ; -11)	72	68	61	14	11
		Mesure rapport	70 (-3 ; -10)	70	67	60	14	11
		Mesure « corrigée »*	71 (-3 ; -11)	71	68	60		
	+ 150 mm de mousse H2Foam Lite F + BA13 (sur M45)	Calcul	68 (-4 ; -11)	68	64	57	10	7

* pour comparaison calcul/mesure

Tableau 11 - Indices des performances acoustiques mesurés et estimés pour une mousse H2Foam Lite F projetée sur un voile béton de 160 mm avec finition

Configurations		Performances acoustiques						
		$R_w(C; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ [dB]	
Mur en parpaings de 200 mm (enduit)	/	Calcul	54 (-1 ; -4)	54	53	50	/	/
	+ 150 mm de mousse H2Foam Lite F + BA13 (sur M45)		66 (-3 ; -10)	66	63	56	10	6

Tableau 12 - Indices des performances acoustiques estimés pour une mousse H2Foam Lite F projetée sur un mur maçonné en parpaings de 200 mm enduit une face avec finition

Configurations		Performances acoustiques						
		$R_w(C; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ [dB]	
Mur en briques creuses de 200 mm (enduit)	/	Calcul	37 (-1 ; -2)	37	36	35	/	/
	+ 150 mm de mousse H2Foam Lite F + BA13 (sur M45)		57 (-2 ; -8)	57	55	49	19	13

Tableau 13 - Indices des performances acoustiques estimés pour une mousse H2Foam Lite F projetée sur un mur maçonné en briques creuses de 200 mm enduit une face avec finition

Configurations		Performances acoustiques						
		$R_w(C; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ [dB]	
Contreventement d' OSB 12 mm	/	Calcul	26 (-2 ; -2)	26	24	24	/	/
	+ 150 mm de mousse H2Foam Lite F + BA13 (sur M45 ou montants bois)		43 (-3 ; -10)	43	40	33	16	9

Tableau 14 - Indices des performances acoustiques estimés pour une mousse H2Foam Lite F projetée sur contreventement en OSB de 12 mm avec finition

Configurations		Performances acoustiques						
		$R_w (C ; C_{tr})$ [dB]	R_w [dB]	R_w+C [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ [dB]	
Mur en briques creuses de 100 mm	/	Calcul	34 (0 ; -2)	34	34	32	/	/
	+ 50 mm de mousse H2Foam Lite F + briques creuses de 100 mm		51 (-1 ; -3)	51	50	48	16	16

Tableau 15 - Indices des performances acoustiques estimés pour une mousse H2Foam Lite F projetée sur un mur maçonné en briques creuses de 100 mm avec finition

Notes :

- Les résultats issus des simulations donnent des informations sur le comportement et les tendances engendrées par les variations paramétriques apportées aux systèmes étudiés.
- Les performances acoustiques annoncées sont estimées avec une incertitude de ± 1 à 3 dB selon les systèmes étudiés, au même titre que les résultats d'essais régis par la norme NF EN ISO 12999-1.
- De même, ces mêmes performances sont valables uniquement pour des systèmes constitués des matériaux ayant les propriétés indiquées dans l'étude.

Annexe 1 - Mesure de raideur dynamique

• Principe

Les mesures de raideur dynamique sur un matériau sont réalisées selon la norme NF EN 29052-1 (1992). La détermination de la fréquence de résonance f_r du système masse / ressort / masse permet d'obtenir la raideur dynamique apparente par unité de surface s'_t de l'éprouvette suivant l'équation :

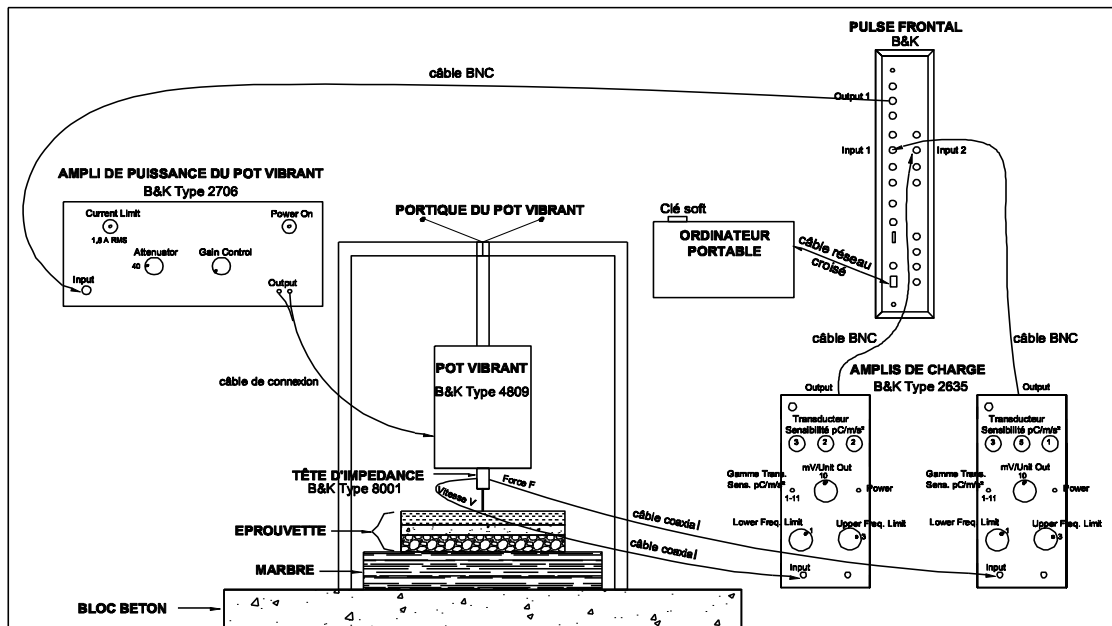
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}$$

avec : m'_t , la masse totale par unité de surface utilisée pendant l'essai (kg/m^2)

Le dispositif de mesure utilisé par le laboratoire est constitué d'un système Pulse qui génère un signal d'excitation dit "bruit blanc", amplifié par un amplificateur de puissance avant d'être transmis à un pot vibrant. Une tête d'impédance permet de récupérer la force injectée ainsi que la vitesse de déplacement du système masse/ressort/masse.

Ces signaux sont ensuite amplifiés par des amplificateurs de charge avant d'être transmis au système Pulse pour être traités et analysés.

Schéma de principe



• **Expression des résultats**

- **Raideur dynamique par unité de surface s'**

$$s' = s'_t + s'_a$$

Avec : • s'_t : la raideur dynamique apparente par unité de surface de l'échantillon (MN/m³)

$$s'_t = 4\pi^2 \cdot m_t \cdot f_r^2$$

où : m_t est la masse surfacique de la charge appliquée sur l'éprouvette (kg/m²),
 f_r , la fréquence de résonance du système masse/ressort/masse (Hz)

• s'_a : la raideur dynamique par unité de surface du gaz captif (air) (MN/m³)

$$s'_a = \frac{P_0}{d_t \cdot \varepsilon}$$

où : P_0 est la pression atmosphérique (MPa)

d_t , l'épaisseur de la partie poreuse de l'éprouvette sous la charge statique appliquée (mm)

ε , la porosité du matériau

$$\varepsilon = 1 - \frac{M}{\rho \cdot d_t}$$

où : M est la masse surfacique du matériau fibreux de l'éprouvette (kg/m²),
 ρ , la masse volumique du constituant solide du matériau fibreux (kg/m³).

- **Module de Young E (ou d'élasticité)**

Grâce à la valeur de la raideur dynamique apparente par unité de surface de l'échantillon s'_t , il est possible de calculer le module de Young E (N/m²) pour chaque système :

$$E = s'_t \times h$$

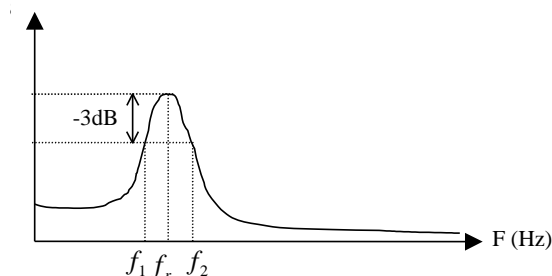
Avec : h , l'épaisseur du matériau sous charge (mm)

Le module de Young est utilisé comme paramètres d'entrée dans le modèle de simulation.

- **Facteur de perte (%)**

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_r} \times 100$$

avec $\Delta f = f_2 - f_1$



Annexe 2 – Résultats des mesures de raideur dynamique

• Mousse PU ép. 50 mm

FICHE RESULTAT RAIDEUR DYNAMIQUE / DYNAMIC STIFFNESS RESULT FILE										
ESSAI DE RAIDEUR DYNAMIQUE / DYNAMIC STIFFNESS TEST										
Numéro d'essai / Test number :	R19-26083380-A			Date de scellement / Sealing date :	05/11/2019					
Nom du client / Manufacturer :	ICYNENE LAPOLLA			Date de l'essai / Test date :	06/11/2019					
Désignation du produit / Product description :	Mousse projetée			Température en / Temperature in °C :	21					
Appellation / Name :	H2Foam Lite F			Humidité relative en / Relative humidity in % :	52					
Type / Type :	PU allégée									
Dossier / file AC19-26083380	Essai avec vaseline sous 2 kg / Test with vaseline under 2 kg					Essai avec vaseline sous 4 kg / Test with vaseline under 4 kg				
IDENTIFICATION EPROUVETTE SAMPLE IDENTIFICATION	R19-26083380-A/1	R19-26083380-A/2	R19-26083380-A/3	MOYENNE AVERAGE	Incertitude Uncertainty	R19-26083380-A/1	R19-26083380-A/2	R19-26083380-A/3	MOYENNE AVERAGE	Incertitude Uncertainty
Masse surfacique de la charge appliquée sur l'échantillon en kg/m ² Mass per unit area of load applied to sample in kg/m ²	53.1	54.3		53.7	± 0.5	96.3	97.6		96.9	± 1.0
Epaisseur totale de l'échantillon en mm Total thickness of sample in mm	55.0	48.0		51.5	± 1.9	54.9	47.9		51.4	± 1.9
Epaisseur de la partie résiliente de l'échantillon en mm Thickness of the resilient layer in mm	55.0	48.0		51.5	± 1.9	54.9	47.9		51.4	± 1.9
fr en Hz / in Hz	85.5	89.5		87.5	± 3.9	62.5	66.0		64.3	± 2.9
η en % / in %	14.2	9.3		11.7	± 0.9	10.9	10.2		10.5	± 0.8
S't en MN/m ³ / in MN/m ³	15.3	17.2		16	± 1	14.9	16.8		16	± 1
S'a en MN/m ³ / in MN/m ³	0.0	0.0		0	± 0	0.0	0.0		0	± 0
S' en MN/m ³ / in MN/m ³	15.3	17.2		16	± 1	14.9	16.8		16	± 1
E : Module de Young (= S't x Epaisseur de la partie résiliente) en MPa E : Young modulus (= S't x Thickness of the resilient layer) in MPa				0.836	± 0.085				0.812	± 0.083

• Mousse PU ép. 100 mm

FICHE RESULTAT RAIDEUR DYNAMIQUE / DYNAMIC STIFFNESS RESULT FILE										
ESSAI DE RAIDEUR DYNAMIQUE / DYNAMIC STIFFNESS TEST										
Numéro d'essai / Test number :	R19-26083380-B			Date de scellement / Sealing date :	05/11/2019					
Nom du client / Manufacturer :	ICYNENE LAPOLLA			Date de l'essai / Test date :	06/11/2019					
Désignation du produit / Product description :	Mousse projetée			Température en / Temperature in °C :	21					
Appellation / Name :	H2Foam Lite F			Humidité relative en / Relative humidity in % :	52					
Type / Type :	PU allégée									
Dossier / file AC19-26083380	Essai avec vaseline sous 2 kg / Test with vaseline under 2 kg					Essai avec vaseline sous 4 kg / Test with vaseline under 4 kg				
IDENTIFICATION EPROUVETTE SAMPLE IDENTIFICATION	R19-26083380-B/1	R19-26083380-B/2	R19-26083380-B/3	MOYENNE AVERAGE	Incertitude Uncertainty	R19-26083380-B/1	R19-26083380-B/2	R19-26083380-B/3	MOYENNE AVERAGE	Incertitude Uncertainty
Masse surfacique de la charge appliquée sur l'échantillon en kg/m ² Mass per unit area of load applied to sample in kg/m ²	52.1	53.8	53.8	53.2	± 0.5	95.4	97.0	97.1	96.5	± 1.0
Epaisseur totale de l'échantillon en mm Total thickness of sample in mm	102.7	101.9	102.9	102.5	± 3.9	102.6	101.7	102.8	102.4	± 3.9
Epaisseur de la partie résiliente de l'échantillon en mm Thickness of the resilient layer in mm	102.7	101.9	102.9	102.5	± 3.9	102.6	101.7	102.8	102.4	± 3.9
fr en Hz / in Hz	50.5	53.0	45.5	49.7	± 2.2	38.0	40.0	34.0	37.3	± 1.7
η en % / in %	6.7	8.1	6.0	6.9	± 0.5	7.0	6.8	6.6	6.8	± 0.5
S't en MN/m ³ / in MN/m ³	5.2	6.0	4.4	5	± 0	5.4	6.1	4.4	5	± 0
S'a en MN/m ³ / in MN/m ³	0.0	0.0	0.0	0	± 0	0.0	0.0	0.0	0	± 0
S' en MN/m ³ / in MN/m ³	5.2	6.0	4.4	5	± 0	5.4	6.1	4.4	5	± 0
E : Module de Young (= S't x Epaisseur de la partie résiliente) en MPa E : Young modulus (= S't x Thickness of the resilient layer) in MPa				0.533	± 0.054				0.546	± 0.056



Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Siège social : 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS