

CFA/VISHNO 2016

## Comportement acoustique des rupteurs de ponts thermiques

M. Andro

Groupe GAMBA, 163 rue du colombier, 31670 Labège, France  
[marc.andro@acoustique-gamba.fr](mailto:marc.andro@acoustique-gamba.fr)



LE MANS

L'évolution des systèmes constructifs et des modes de construction dans les bâtiments d'aujourd'hui pousse les acteurs de la construction à anticiper de nouvelles problématiques autant en phase de conception qu'en phase de chantier. La caractérisation acoustique de systèmes et de modes de construction est un des enjeux important de la construction. Dans ce cadre une étude sur le comportement acoustique des rupteurs de pont thermiques de la marque SCHOECK a été menée. L'étude porte sur le niveau de bruit de chocs entre coursive commune et logement avec l'intégration de rupteur de pont thermique avec une isolation thermique par l'extérieur. Sur la base de plusieurs séries de mesures en laboratoire, une loi de comportement vibratoire est définie prenant en compte la composition du rupteur de pont thermique (ferrailage, bouton de compression, ...). De cette loi de comportement, l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique vibratoire  $\Delta k_{ij}$  peut être déterminé et injecté dans un modèle de calcul de niveau de bruit de chocs pondéré standardisé  $L'_{nT,W}$  inspiré de la norme EN 12354-1 et -2. Une série de comparaison calcul / mesure in situ a permis de valider la démarche. Une série d'extrapolations a ensuite été réalisée afin de valider l'atteinte des objectifs fixés (réglementaire ou suivant un référentiel).

## 1 Introduction

Une problématique rencontrée par les acteurs du bâtiment dans les logements collectifs d'aujourd'hui est l'atteinte des objectifs de niveau de bruit de chocs entre coursive commune et logement (objectif réglementaire ou issu du référentiel QUALITEL). La société SCHOECK développe et commercialise des rupteurs de ponts thermiques à intégrer entre les coursives et les logements en présence d'une isolation thermique par l'extérieur ou par l'intérieur. Là où la mise en œuvre d'un revêtement de sol acoustique semble inévitable, les rupteurs permettent de désolidariser les coursives des logements et ainsi de diminuer la transmission vibratoire des niveaux de bruit de chocs vers le logement. La présente étude rend compte de la modélisation du comportement vibratoire, sur la base de mesures en laboratoire, d'une gamme de rupteurs de pont thermique SCHOECK pour le cas particulier d'une isolation thermique par l'extérieur. Ces données sont ensuite intégrées dans un modèle de calcul de niveaux de bruit de chocs basé sur la norme EN 12354 afin d'alimenter des comparaisons calcul/mesure in situ. Une étude paramétrique sur les niveaux de bruit de chocs entre coursive et logement est réalisée afin de déterminer les configurations permettant l'atteinte des objectifs visés et l'influence des différents paramètres constructifs.

## 2 Modélisation du comportement vibratoire des rupteurs de pont thermique

### 2.1 Mesurages des atténuations vibratoires

Une série de mesures d'atténuation vibratoire est réalisée [1] sur plusieurs gammes de rupteurs. Un balcon de 2 m x 1.42 m est liaisonné à une dalle de 2 m x 1.7 m par l'intermédiaire d'un rupteur de pont thermique. Les dalles d'émission et de réception (balcon) sont en béton armé d'épaisseur 180 mm. Une excitation de la dalle à l'aide d'une machine à chocs normalisée permet de mesurer un niveau de vitesse sur le balcon. Cette opération est répétée pour une liaison entre dalles sans rupteur ( $L_{v,0}$ ) et pour différentes gammes de rupteur ( $L_v$ ). Une atténuation vibratoire est alors déduite par (1) :

$$\Delta L_v = L_{v,0} - L_v \quad (1)$$

La figure 1 ci-après représente des mesures d'atténuations vibratoires pour des rupteurs de type Q possédant différentes densités de ferrailage.

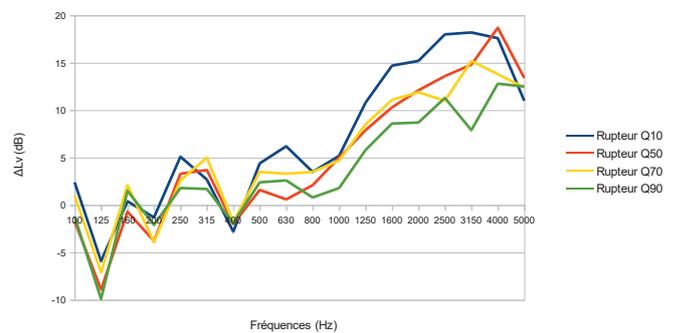


Figure 1 : Atténuation vibratoire des rupteurs de type Q

### 2.2 Modélisation du niveau de vitesse filtré par un rupteur

La composition des rupteurs laisse à supposer que le comportement vibratoire de ces derniers est dirigé par 3 facteurs [2]:

- La densité et la géométrie des fers,
- Le nombre de modules (ou bouton) de compression,
- La présence ou non de plaques coupe-feu

La transmission vibratoire par l'isolant thermique est considérée comme négligeable.

À l'aide des mesures précédentes, un modèle de prédiction de niveau de vitesse est défini en fonction des trois paramètres énoncés précédemment. Le niveau de vitesse est exprimé par l'équation (2) suivante :

$$L_v(f) = 10 \log(\alpha(f) * S_{fer} + \beta(f) * n_{mod}) \quad (2)$$

Avec :

$$S_{fer} = \sum_i n_{fer,i} * \pi * r_{fer,i}^2 \quad (3)$$

$L_v$  : niveau de vitesse filtré par le rupteur

$\alpha$  : coefficient relatif au comportement des fers

$\beta$  : coefficient relatif au comportement des modules de compression

$S_{\text{fer}}$  : section totale des fers

$r_{\text{fer},i}$  : rayon des fers

$n_{\text{fer},i}$  : nombre de fer de rayon  $r_{\text{fer},i}$

$n_{\text{mod}}$  : nombre de module de compression

Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont déterminés, par type de rupteur et par tiers d'octave, à l'aide d'une interpolation linéaire sur les mesures réalisées. La figure 2 présente les comparaisons entre les valeurs d'atténuations mesurées et modélisées :

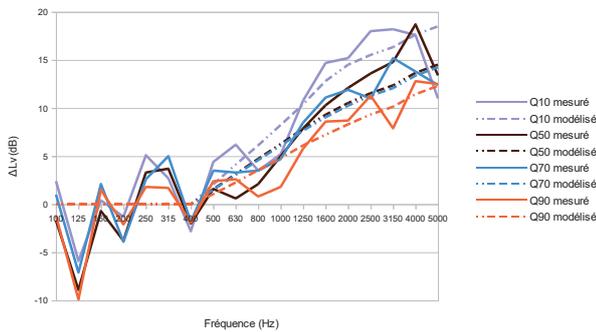


Figure 2 : Atténuations vibratoires des rupteurs de type Q mesurées et calculées

Ensuite, la contribution des plaques coupe-feu est déterminée à l'aide de mesures d'atténuation vibratoires réalisées sur un même rupteur avec et sans plaques coupe-feu. Le niveau de vitesse dû aux plaques coupe-feu est déterminé suivant l'équation :

$$L_{v,CF} = 10 \log \left( 10^{\left(\frac{L_{v,RPT,CF}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{v,RPT}}{10}\right)} \right) \quad (4)$$

Avec :

$L_{v,CF}$  : le niveau de vitesse dû à la contribution des plaques coupe-feu

$L_{v,RPT,CF}$  : le niveau de vitesse filtré par le rupteur en présence de plaques coupe-feu

$L_{v,RPT}$  : le niveau de vitesse filtré par le rupteur sans plaques coupe-feu

L'ensemble des mesures permet de déterminer une contribution des plaques coupe-feu  $L_{v,CF}$  égale à 60 dB sur tout le spectre fréquentiel. La figure 3 présente l'atténuation vibratoire mesurée du rupteur QTX10 avec et sans plaque coupe-feu :

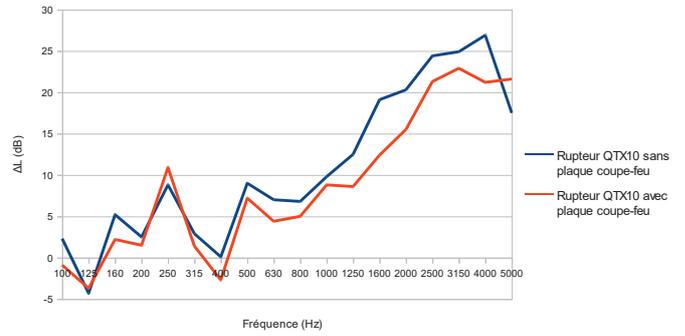


Figure 3 : Atténuation vibratoire du rupteur QTX10 avec et sans plaque coupe-feu

La détermination d'un modèle d'atténuation vibratoire des rupteurs de pont thermique permet de calculer la performance de désolidarisation d'un rupteur par rapport à sa densité de ferrailage, le nombre de module de compression ainsi que la présence ou non de plaques coupe-feu.

### 2.3 Intégration des atténuations vibratoires dans le modèle de calcul NF EN 12354

La norme de calcul NF EN 12354 définit les indices d'affaiblissement aux jonctions  $K_{ij}$  (en dB) par l'équation (5) :

$$K_{ij} = D_{v,ij} + 10 \log \left( \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \right) \quad (5)$$

Avec :

$D_{v,ij}$  : l'isolement vibratoire bidirectionnel à la jonction (dB)

$l_{ij}$  : la longueur de jonction (m)

$a_i, a_j$  : les longueurs d'absorption équivalente (m)

De plus, l'isolement vibratoire aux jonctions avec ou sans rupteur est défini suivant les équations (5) et (6) :

$$D_{v,ij \text{ rigide}} = L_{v,i \text{ rigide}} - L_{v,j \text{ rigide}} \quad (6)$$

$$D_{v,ij \text{ rupteur}} = L_{v,i \text{ rupteur}} - L_{v,j \text{ rupteur}} \quad (7)$$

En combinant les équations (5), (6) et (7), on exprime l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta K_{ij}$  par les équations (8) et (9) :

$$\Delta K_{ij} = K_{ij,rupteur} - K_{ij,rigide} \quad (8)$$

$$\Delta K_{ij} = L_{v,i \text{ rupteur}} - L_{v,i \text{ rigide}} + \Delta L_v + 10 \log \frac{\sqrt{a_i \text{ rigide}} a_j \text{ rigide}}{\sqrt{a_i \text{ rupteur}} a_j \text{ rupteur}} \quad (9)$$

Enfin, le niveau de vitesse quadratique des ondes de flexion du champ réverbéré dans une dalle est défini en fonction de la puissance injectée de la source, des facteurs

de perte et du coefficient d'absorption des arêtes par l'équation (10) [4] :

$$\widetilde{v}_r^2 = \frac{W(1-\alpha)}{\omega\eta_{tot}S\rho_s} e^{-\frac{\omega\eta_i d_{lpm}}{2c_g}} \quad (10)$$

Avec :

W : la puissance injectée dans la dalle par la machine à choc normalisée

$\alpha$  : le coefficient d'absorption moyen des arêtes

$\eta_{tot}$  : le facteur de perte total

$\eta_i$  : le facteur de perte interne

$d_{lpm}$  : le libre parcours moyen

S : la surface

$\rho_s$  : la masse surfacique

$c_g$  : la vitesse de groupe des ondes de flexion

A l'aide de l'équation (10), la différence des niveaux de vitesse sur la dalle d'émission avec et sans rupteur peut être exprimée suivant l'équation (11) :

$$L_{v,i\text{rupteur}} - L_{v,i\text{rigide}} = 10 \log \frac{(1-\alpha_{\text{rupteur}})}{(1-\alpha_{\text{rigide}})} - 10 \log \frac{\alpha_{\text{rigide}}}{\alpha_{\text{rupteur}}} - \frac{10}{\ln 10} \frac{\omega\eta_i\pi}{2c_g} \left( \frac{S_{\text{rigide}}}{U_{\text{rigide}}} - \frac{S_{\text{rupteur}}}{U_{\text{rupteur}}} \right) \quad (11)$$

$\alpha_{\text{rigide}}$  : le coefficient d'absorption moyen des arêtes des dalles peut être considéré comme largement inférieur à 1.

Les longueurs d'absorption équivalente sont calculées à l'aide du facteur de perte total telles que décrites dans l'annexe de la norme EN 12354-1 [3].

Deux hypothèses sont formulées :

- Avant une coupure vibratoire nette ( $\Delta L_v < 3$  dB), la dalle avec le rupteur peut être considérée comme une entité globale égale en dimensions et en propriétés vibratoires à la dalle sans rupteur de pont thermique. Pour le rupteur le plus désolidarisant, cette coupure vibratoire apparaît à partir de 500 Hz. Ainsi, en dessous de 500 Hz, l'égalité  $\Delta K_{ij} = \Delta L_v$  peut être considérée.
- Au-dessus de 500 Hz, la différence entre les  $\Delta K_{ij}$  et  $\Delta L_v$  peut être calculé à l'aide des équations (9) et (11). Cette différence étant inférieure à 0.6 dB entre 500 Hz et 5000 Hz, l'égalité  $\Delta K_{ij} = \Delta L_v$  peut être considérée sur l'ensemble du spectre d'étude.

### 3 Comparaison calcul / mesure in situ

Des mesures in situ de niveaux de bruit de chocs entre coursive et logement ont été réalisées sur deux projets. Un

chantier avec des rupteurs de type K50 avec plaques coupe-feu et un chantier avec des rupteurs de type K80 avec plaques coupe-feu.

Les atténuations vibratoires définies précédemment sont intégrées dans un modèle de calcul de niveau de bruit de chocs inspiré de la norme EN12354. Les indices d'affaiblissement acoustique aux jonctions Kij sont modifiés afin de prendre en compte l'atténuation vibratoire des rupteurs de pont thermique (prise en compte du  $\Delta K_{ij}$ ). Deux voies de transmissions sont considérées dans le calcul de niveaux de bruit de chocs (Figure 4) : dalle / dalle (en rouge) et dalle / façade (en vert).

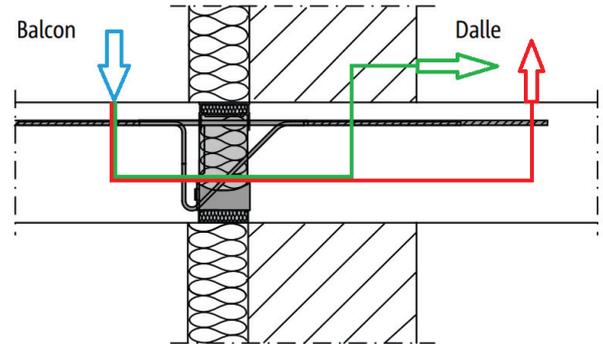


Figure 4 : Voies de transmission vibratoires considérées pour le calcul du niveau de bruit de chocs entre coursive et logement

Les figures 5, 6, 7 et 8 présentent les comparaisons calcul / mesure in situ.

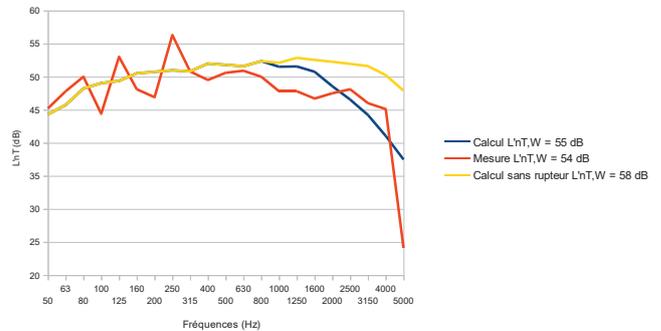


Figure 5 : Niveau de bruit de chocs calculé et mesuré – Pièce 1 Projet avec rupteur K80

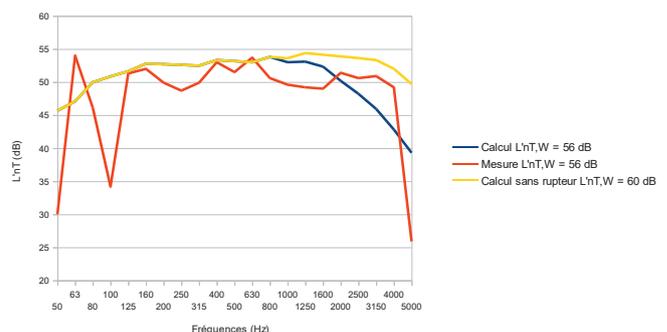


Figure 6 : Niveau de bruit de chocs calculé et mesuré – Pièce 2 Projet avec rupteur K80

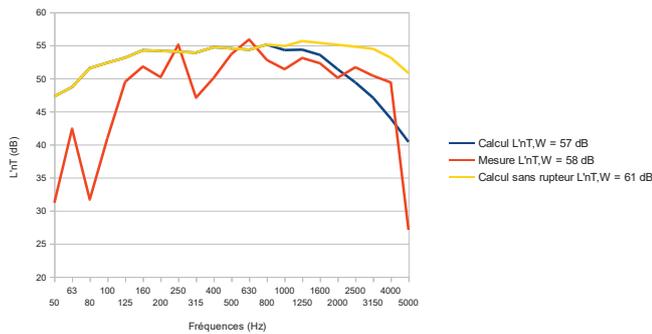


Figure 7 : Niveau de bruit de chocs calculé et mesuré – Pièce 3 Projet avec rupteur K80

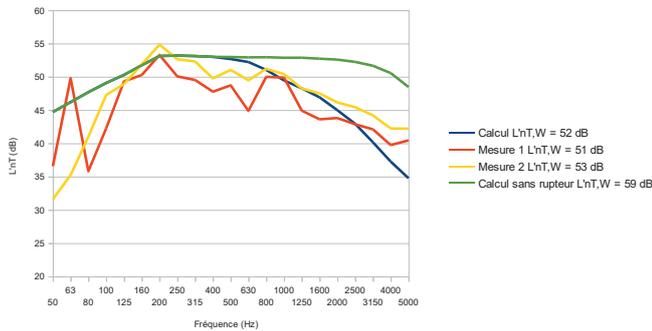


Figure 8 : Niveau de bruit de chocs calculé et mesuré – Appartements 1 et 2 Projet avec rupteur K50

On constate que l'atténuation vibratoire due au rupteur est localisée à partir des fréquences moyennes jusqu'aux hautes fréquences. Les rupteurs K80 sont plus ferraillés que ceux de type K50, le gain de performance obtenu par rapport à une liaison sans rupteur est donc plus faible.

Les gains de performance apportés par la mise en œuvre d'un rupteur peuvent permettre d'atteindre un objectif de niveau de bruit de chocs  $L'_{nT,W}$  inférieur à 58 dB qui est l'objectif réglementaire pour les bâtiments d'habitation ou inférieur à 55 dB qui est l'objectif du référentiel QUALITEL H&E pour les bâtiments d'habitation (pour permettre d'attribuer la note d'évaluation 5 au local de réception), sans mise en œuvre d'un revêtement de sol acoustique en extérieur ni un doublage thermo-acoustique de la dalle ou de la façade à l'intérieur du logement.

## 4 Etude paramétrique

La variabilité de plusieurs paramètres d'entrée dans le modèle de calcul de niveau de bruit de chocs entre coursive commune et logement est étudié, à savoir :

- le modèle de rupteur,
- la présence ou non de plaques coupe-feu sur le rupteur,

- l'épaisseur de la dalle en béton armé de la coursive : béton armé d'épaisseur 180 mm, 200 mm, 220 mm et 230 mm,
- la largeur de la coursive : 0.9 m, 1.4 m, 1.6 m, 2 m, 2.2 m, 2.5 m et 3 m,
- la longueur de la coursive : 6 m et 11 m,
- le type de façade : béton armé d'épaisseur 160 mm, béton armé d'épaisseur 180 mm, béton armé d'épaisseur 200 mm, parpaings creux enduits d'épaisseur 200 mm, briques creuses enduites d'épaisseur 200 mm,
- Le type de rupteur par ses caractéristiques : densité de ferrailage et nombre de module de compression est considéré suivant une plage de largeurs de balcon définie. Par exemple : le rupteur de type Q10 ne peut être mis en œuvre uniquement pour un balcon de 0.9 m à 2 m.

La figure 9 représente les configurations étudiées :

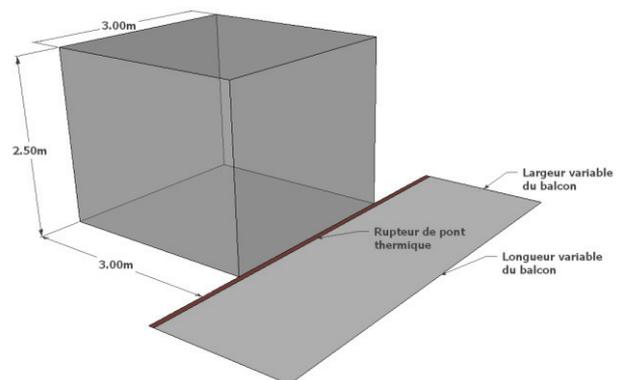


Figure 9 : Configuration du calcul de niveau de bruit de chocs de l'étude paramétrique

L'étude paramétrique permet de conclure quant à l'atteinte des objectifs mentionnés ci avant ainsi que sur l'influence des paramètres :

- L'atténuation vibratoire diminue lorsque la quantité de module de compression augmente, ce qui entraîne l'augmentation du niveau de bruit de chocs dans le logement de réception. Pour les rupteurs de type Q, sans plaque coupe-feu, et pour les mêmes systèmes constructifs, le niveau de bruit de chocs standardisé pondéré  $L'_{nT,W}$  varie de 2 à 3 dB en fonction du ferrailage et du nombre de module de compression dans les rupteurs.
- La présence de plaques coupe-feu réduit également l'atténuation vibratoire. Pour un même rupteur, la présence de plaques coupe-feu induit une augmentation de 1 à 2 dB sur le niveau de bruit de chocs standardisé pondéré  $L'_{nT,W}$ .
- L'augmentation de l'épaisseur de la dalle de béton armé du balcon et du logement réduit le niveau de bruit de chocs dans le logement de réception. Pour un même rupteur, le niveau de bruit de chocs

standardisé pondéré  $L'_{nT,W}$  varie de 1 à 2 dB entre les dalles d'épaisseur 180 mm et 230 mm.

- L'augmentation de l'épaisseur de la façade en béton armé réduit le niveau de bruit de chocs dans le logement de réception. Par ailleurs, les façades en parpaings creux et en briques creuses engendrent des niveaux de bruit de chocs dans le logement de réception plus élevé. En effet, en isolation thermique par l'extérieur, c'est directement la performance du composant de la façade non doublée qui rayonne dans le logement (figure 4). Pour un même rupteur, le niveau de bruit de chocs standardisé pondéré  $L'_{nT,W}$  peut varier de 1 à 7 dB entre les différentes configurations de façade.
- L'augmentation des dimensions de la coursive diminue le niveau de bruit de chocs dans le logement de réception. Les dimensions influent sur la durée de réverbération structurelle de la dalle et modifie ainsi le niveau de bruit de chocs et l'indice d'affaiblissement acoustique de la dalle de la coursive (terme d'adaptation entre les grandeurs « laboratoires » et « in situ »). Pour un même rupteur, et les mêmes systèmes constructifs, le niveau de bruit de chocs standardisé pondéré  $L'_{nT,W}$  varie de 1 à 2 dB pour une dalle variant en largeur de 1.6 m à 3 m et de 2 à 3 dB pour une dalle variant en longueur de 6 m à 11 m.

En règle générale, on peut noter que la combinaison des systèmes constructifs et des caractéristiques dimensionnelles ne favorise pas forcément une diminution du niveau de bruit de chocs. Par exemple, une largeur de dalle importante qui favorise la diminution du niveau de bruit de chocs nécessite la mise en œuvre de rupteurs très ferrillés et donc susceptibles de dégrader l'atténuation vibratoire.

La combinaison de l'ensemble des paramètres étudiés entraîne une variation sur les niveaux de bruit de chocs jusqu'à 16 dB entre deux configurations.

## 5 Conclusion

L'étude porte sur le comportement vibratoire des rupteurs de pont thermique intégrés entre des coursives extérieures communes et des logements possédant une isolation thermique par l'extérieur.

En premier lieu, un modèle de prédiction de l'atténuation vibratoire apportée par le rupteur de pont thermique est défini en fonction de la section de ferrillage des rupteurs et du nombre de module de compression. La contribution de plaques coupe-feu intégrées aux rupteurs est également calculée. Une série de comparaisons calcul / mesure sur deux projets distincts permet de valider le modèle de prédiction de niveau de bruit de chocs entre coursive et logement. Ce modèle est inspiré de la norme EN 12354. Une série de calculs d'extrapolation met en évidence l'influence de plusieurs paramètres tels que la composition des rupteurs, les dimensions des coursives ou encore la nature des façades.

L'étude du comportement de ces rupteurs, dans le cadre d'une isolation thermique par l'intérieur reste à effectuer.

Il peut être également noté que compte tenu du fait que les rupteurs de pont thermique modifient la répartition de l'énergie vibratoire aux jonctions, certaines voies de transmission d'ordre second, dans le calcul des isolements et des niveaux de bruit de chocs, peuvent se révéler non négligeable et donc à prendre en compte dans les modèles de prédiction.

## Remerciements

Les auteurs remercient la société SCHOECK pour leur co-participation à l'étude en particulier M. KIEFFER et M. GHITI.

## Références

- [1] H.M. Fischer, Rapport n°FEB/FS 43-1/07, Rapport n°FEB/FS 43-4/07<sup>c</sup>, rapport n°FEB/FS 52-1/08-rev, rapport n°FEB/FS 52-2/08-rev, Calcul de la réduction des bruits d'impacts sur les dalles balcon avec des éléments d'isolation thermique Schöck Rutherma, *Université de Stuttgart* (2007, 2008).
- [2] Schöck Rutherma, Documentation Technique (2011).
- [3] Norme NF EN 12354 Partie 1 et Partie 2, Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments (Août 2000).
- [4] C. Hopkins, SOUND INSULATION, first Edition 2007 Elsevier.