

**CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018**  
**14<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique**



**Comparaison entre prédiction et mesure du bruit régénéré par des registres**

S. Bailhache<sup>a</sup>, S. Colin<sup>a</sup>, C. Guigou Carter<sup>a</sup>, N. Morand<sup>b</sup> et F. Bessac<sup>c</sup>

<sup>a</sup>CSTB, 24 Rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin D'Hères, France

<sup>b</sup>F2A, 70 impasse des Barmettes, 01360 Beligneux, France

<sup>c</sup>CETIAT, Domaine Scientifique de la Doua, 25, avenue des Arts, 69603 Villeurbanne Cedex, France  
simon.bailhache@cstb.fr

Les registres d'équilibrage sont des composants des réseaux de ventilation encore mal connus du point de vue du bruit régénéré sous l'effet du flux d'air. Dans ce travail, une analyse du bruit régénéré est proposée sur la base de résultats de mesures en laboratoire et de différentes méthodes d'estimation. Le Guide de l'AICVF donne une formule simplifiée permettant d'estimer le niveau de puissance acoustique global à partir de la section du registre, de la vitesse d'écoulement et de l'angle de d'ouverture. En complément, des spectres de puissance acoustique peuvent être déterminés sur la base d'abaques mis au point pour des registres à volet simple. La norme VDI 2081 propose différentes formules et abaques valides pour les registres à volets multiples. Le calcul fait notamment appel à la perte de pression totale du composant sous la vitesse d'écoulement considérée. Dans cette étude, ces méthodes d'estimation sont appliquées à différents registres de section rectangulaire, dont les caractéristiques (notamment dimensions et perte de pression totale) sont connues. Les composants étudiés ont préalablement fait l'objet de mesures en laboratoire du niveau de puissance acoustique du bruit régénéré pour différentes vitesses d'écoulement d'air et différents angles d'ouverture. Des comparaisons entre estimations et mesures sont présentées et commentées.

## 1 Introduction

L'objet du projet AcouReVe démarré courant 2015 est de développer une méthodologie permettant sur la base d'une même description de réseau de ventilation, d'effectuer à la fois les calculs acoustiques et aérauliques. L'absence de méthode robuste, partagée sur un modèle commun aux aérauliciens et aux acousticiens est un problème important qu'il est apparu souhaitable de résoudre pour améliorer la conception et mieux maîtriser les comportements de ces systèmes. Le projet est axé sur la partie acoustique du problème, mais il est conçu de façon à définir des briques pouvant être implémentées dans les outils de dimensionnement aéraulique de réseaux existants. Le CSTB et le CETIAT sont les partenaires de ce projet.

Une des tâches du projet AcouReVe traite des données acoustiques et a pour but la constitution d'une base de données fiable, partagée et ouverte concernant les données acoustiques des composants de réseau de ventilation, y compris les sources primaires (ventilateur, caisson de ventilation, etc...). En effet, il est évident que la réussite du calcul acoustique de réseau est fortement dépendante de la qualité des données d'entrées acoustiques représentant ses composants, en particulier si des niveaux de bruit faibles sont attendus pour le système de ventilation.

Si certains types de composants de réseau – notamment les coudes, les embranchements ou les bouches – font l'objet d'études depuis de nombreuses années, la littérature est moins abondante en ce qui concerne le comportement acoustique des registres, qui sont susceptibles de se comporter comme des sources secondaires sous l'effet de l'écoulement d'air. Des méthodes empiriques existent pour prévoir le niveau de puissance acoustique de ce bruit régénéré, cependant elles sont parfois anciennes et souvent peu documentées. Parmi ces méthodes, on peut citer celles présentées dans le guide de l'AICVF [1] et dans la norme allemande VDI 2081 [2], récemment révisée.

Dans cet article, ces méthodes de prévision sont appliquées à 12 registres à section rectangulaire équipés de volets multiples. La puissance acoustique régénérée par ces systèmes a préalablement été mesurée en laboratoire sous différentes conditions de vitesse d'air et d'angle d'ouverture. Les écarts obtenus entre les résultats des prévisions et des mesures sont présentés et utilisés pour évaluer la précision des méthodes de prévision.

D'autres mesures sont en cours afin d'étendre cette analyse à différentes typologies de registres à section circulaire (papillon, iris, atténuateur de débit en mousse).

## 2 Systèmes étudiés

Cette étude se concentre sur des registres à section rectangulaire de la société F2A. Les principales caractéristiques des 12 systèmes étudiés sont récapitulées dans le tableau ci-dessous. Ils sont plutôt à destination de réseau de ventilation tertiaire.

Tableau 1 – Description des registres étudiés.

Nom	Type	Dimensions L, H, P (mm)	Type de volets	Nom- bre de volets	Entraxe des volets (mm)
ULO	Registre de dosage	500 500 130	Oppo- sés	5	100
UWO	Registre de dosage	500 500 130	Oppo- sés	5	100
AR	Clapet anti retour	510 510 185	Paral- lèles	3	165
PLO	Registre de dosage	510 450 160	Oppo- sés	3	150
AE EO	Clapet anti retour	510 510 185	Paral- lèles	3	165
MO	Registre de dosage	510 510 185	Oppo- sés	3	165
CI	Clapet d'isole- ment	510 500 350	Paral- lèles	2	250
TRS	Registre d'isole- ment	510 500 280	Oppo- sés	2	250
RKO	Registre de dosage	510 450 185	Oppo- sés	3	150
RKE	Registre d'isole- ment	510 450 185	Oppo- sés	3	150
RO	Registre de dosage	510 510 185	Oppo- sés	3	165
RE	Registre d'isole- ment	510 510 185	Oppo- sés	3	165

Le niveau de puissance acoustique et la perte de pression totale ont été préalablement mesurés selon la norme ISO 7235 [3] dans le laboratoire du CTTM [4]. Des caractérisations ont été faites sous différentes conditions d'utilisation : les vitesses d'air considérées sont de 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s et 15 m/s. Les angles d'ouverture testés sont de 0°, 30° et 60° par rapport à l'axe de l'écoulement. Les niveaux de puissance acoustique sont déterminés par bandes d'octave.

La méthode de caractérisation utilise une veine d'air débouchant dans une salle réverbérante. Une pièce d'adaptation est placée dans la veine d'air afin de pouvoir installer des registres de dimensions variables. Le niveau de puissance acoustique est mesuré avec et sans registre dans la veine. Le résultat obtenu en l'absence de registre est assimilé à du bruit de fond. La Figure 1 représente les résultats de mesure obtenus pour l'un des systèmes avec les volets en position ouverte (0°), avec et sans le registre dans la veine. On remarque que le niveau de pression acoustique mesuré à 2 m/s est très proche du bruit de fond. A partir de 4 m/s, le bruit produit par le registre commence à émerger en moyennes fréquences. Aux vitesses plus élevées, certains résultats de mesures restent influencés par le bruit de fond dans les premières et dernières bandes d'octave. Cette problématique est moins présente lorsque les volets sont inclinés (voir Figure 2). Des valeurs proches du bruit de fond peuvent néanmoins être observées, notamment aux vitesses faibles et en hautes fréquences. Les mêmes constats sont effectués pour la majorité des systèmes considérés ici.

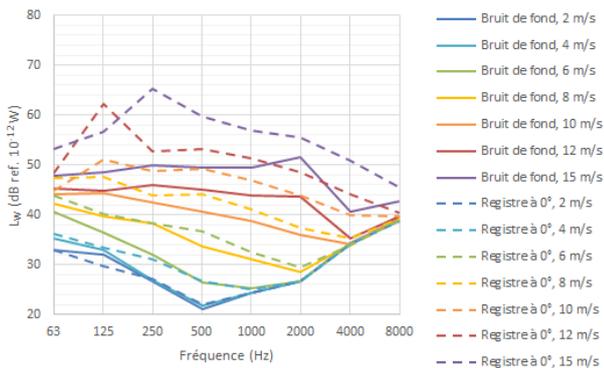


Figure 1 – Niveaux de puissance acoustique mesurés pour le système ULO (angle d'ouverture 0°).

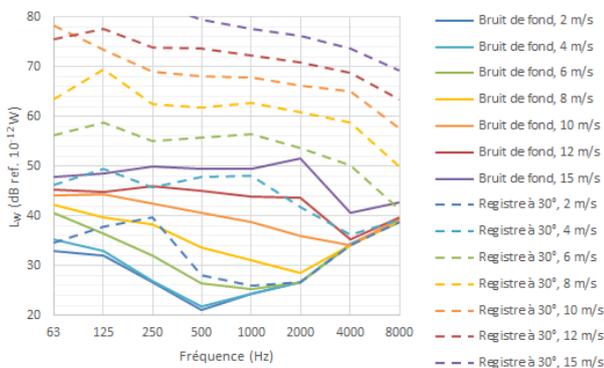


Figure 2 – Niveaux de puissance acoustique mesurés pour le système ULO (angle d'ouverture 30°).

## 3 Méthodes de prévision

### 3.1 Guide AICVF

La première méthode d'estimation étudiée est présentée dans le guide de l'AICVF. Elle permet d'estimer un niveau de puissance acoustique global (en dB référencé à  $10^{-12}$  W) d'après la formule suivante :

$$L_W = A + 55 \lg v + 10 \lg S - 50 \quad (1)$$

où  $v$  est la vitesse d'air (en m/s),  $S$  est la section du registre (en  $m^2$ ) et  $A$  est une constante reliée à l'angle d'ouverture ( $A = 44$  pour  $0^\circ$ ,  $53$  pour  $15^\circ$  et  $65$  pour  $45^\circ$ ). Aucune correction spectrale n'est proposée, rendant cette approche inapplicable si les calculs doivent être effectués en bandes de fréquences.

En complément, des abaques permettent d'obtenir une estimation du niveau de puissance acoustique par bandes d'octave données pour les mêmes angles d'ouverture des volets ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$  et  $45^\circ$ ) et pour différentes vitesses d'air (de 9 à 30 m/s). Ces spectres de bruit régénéré comportent une part importante de leur énergie dans les basses fréquences lorsque le registre est complètement ouvert. Plus les volets sont inclinés par rapport à l'axe de l'écoulement, plus la contribution en hautes fréquences devient importante. Ces spectres typiques sont utilisés dans cette étude, bien qu'il soit précisé dans le guide que ces abaques sont adaptés à des registres à volet unique (ce qui n'est pas le cas des registres considérés au Tableau 1).

Remarque : les vitesses d'air et les angles d'ouverture considérés dans ces abaques ne correspondant pas tout à fait à ceux utilisés lors des mesures. Les comparaisons présentées en section 4.1 se limitent donc aux registres complètement ouverts. Par ailleurs, en l'absence d'abaque pour des vitesses d'écoulement de 8 et 10 m/s, le spectre de puissance acoustique correspondant à la vitesse de 9 m/s a été utilisé.

### 3.2 Norme VDI 2081

La deuxième méthode de prévision est basée sur la partie 1 de la norme allemande VDI 2081, dans sa version de 2016. D'après cette méthode, le niveau de puissance acoustique en bandes d'octave  $L_{W_{okt}}$  peut être calculé selon les Eq. (2) à (7).

$$L_{W_{okt}} = L_W + \Delta L_{W_{okt}} + \Delta L_{W_{okt\_Gesamt}} \quad (2)$$

Le premier terme est calculé à l'aide de l'Eq. (3) pour un registre à volets parallèles et de l'Eq.(4) pour un registre à volets opposés.

$$L_W = 10 + 60 \lg v + 22 \lg \left( \frac{2\Delta p_t}{\rho v^2} + 1 \right) + 10 \lg S \quad (3)$$

$$L_W = 10 + 60 \lg v + 28 \lg \left( \frac{2\Delta p_t}{\rho v^2} + 1 \right) + 10 \lg S \quad (4)$$

Dans les Eq. (3) et (4),  $v$  est la vitesse frontale moyenne à l'entrée du registre en m/s,  $\Delta p_t$  est la perte de pression totale en Pa,  $\rho$  est la densité de l'air en  $kg/m^3$ , et  $S$  est la section du conduit en  $m^2$ . Ces formules n'indiquent pas de dépendance fréquentielle.

Les termes de correction spectrale  $\Delta L_W$  et  $\Delta L_{W\_Gesamt}$  utilisés dans l'Eq. (2) sont calculés comme suit.

$$\Delta L_{W_{okt}} = -(K_0 + K_1(\lg z) + K_2(\lg z)^2 + K_3(\lg z)^3 + K_4(\lg z)^4 + K_5(\lg z)^5) \quad (5)$$

avec

$$z = \frac{f_m}{v^{0,4} \Delta p_t^{0,3}} \quad (6)$$

$$\Delta L_{W_{okt\_Gesamt}} = 10 \lg \sum_{okt=63}^{8000} 10^{0,1 \Delta L_{W_{okt}}} \quad (7)$$

Dans l'Eq. (5),  $K_0, K_1, K_2, K_3, K_4$  et  $K_5$  sont des coefficients donnés pour des valeurs de l'entraxe des volets  $h$  tel que  $80 < h < 130$  ou  $130 < h < 200$  (en mm). Dans l'Eq. (6),  $f_m$  est la fréquence centrale de la bande d'octave considérée.

Remarque 1 : dans la version précédente de la norme, datée de 2001, l'Eq. (5) n'était pas donnée et la relation était illustrée par un abaque couvrant la plage de  $z = 2$  jusqu'à  $z = 2000$ . Dans la pratique, cette plage peut s'avérer insuffisante et nécessiter des extrapolations. Les coefficients de régression donnés dans la version révisée en 2016 permettent de lever cette limitation.

Remarque 2 : pour les systèmes CI et TRS dont l'entraxe est supérieur à 200 mm, les valeurs des coefficients pour  $h = 200$  mm ont été utilisées.

## 4 Résultats

Dans cette section, les niveaux de puissance acoustique estimés sont comparés aux niveaux mesurés en laboratoire. Les résultats sont exprimés en termes de différence  $\Delta L_W$  définie comme suit et représentés sous forme de graphiques. Dans ces graphiques, les écarts positifs (estimations conservatrices) correspondent à la zone en vert et les écarts négatifs (sous-estimations) à la zone en rouge. L'écart moyen ainsi que l'écart-type ( $\sigma$ ) sont également représentés.

$$\Delta L_W = L_{W,prévision} - L_{W,mesure} \quad (8)$$

Remarque : tous les registres listés dans le Tableau 1 ne sont pas forcément inclus dans chaque graphique, faute parfois de résultats expérimentaux disponibles.

### 4.1 Méthode AICVF

Les écarts entre prévisions selon la méthode AICVF et résultats de mesures sont représentés en Figures 3 à 6.

Pour les systèmes et conditions d'essais considérées, on constate globalement une sous-estimation du niveau de puissance acoustique régénéré. Cette sous-estimation est en moyenne de 10 à 15 dB à partir de l'octave 250 Hz.

Un des systèmes se démarque des autres par des écarts particulièrement importants (10 à 15 dB supplémentaires). Il s'agit du système CI, unique clapet d'isolement considéré dans cette étude.

Pour les autres systèmes, la dispersion des résultats reste importante, notamment à partir de 1 kHz.

En termes de niveau de puissance acoustique global pondéré, les écarts sont en moyenne de l'ordre de -10 dB(A). Ces résultats ne sont pas représentés ici.

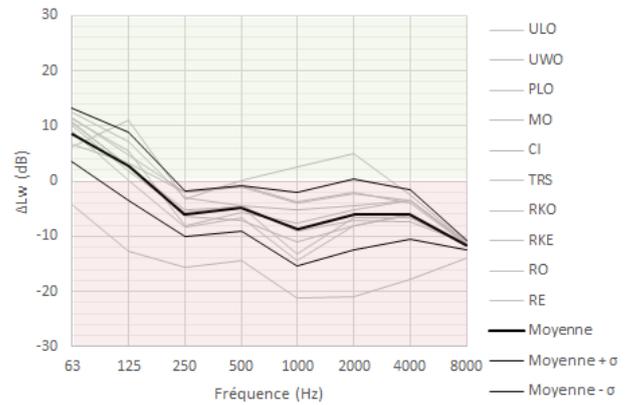


Figure 3 – Méthode AICVF : erreurs pour une vitesse de 8 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

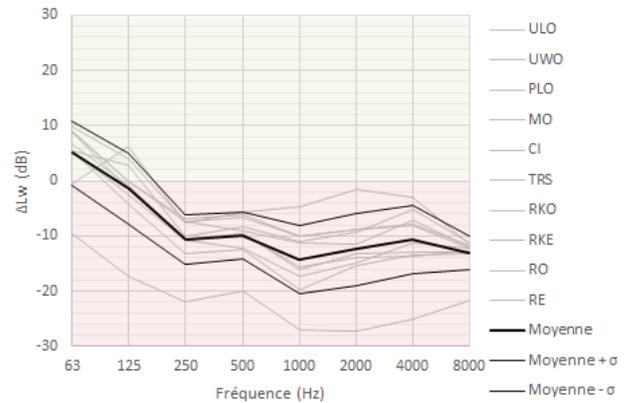


Figure 4 – Méthode AICVF : erreurs pour une vitesse de 10 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

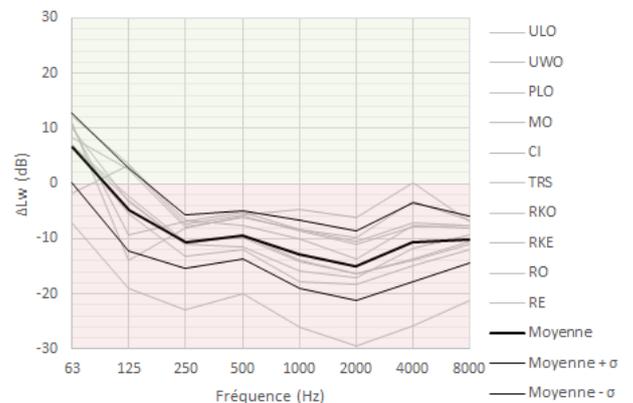


Figure 5 – Méthode AICVF : erreurs pour une vitesse de 12 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

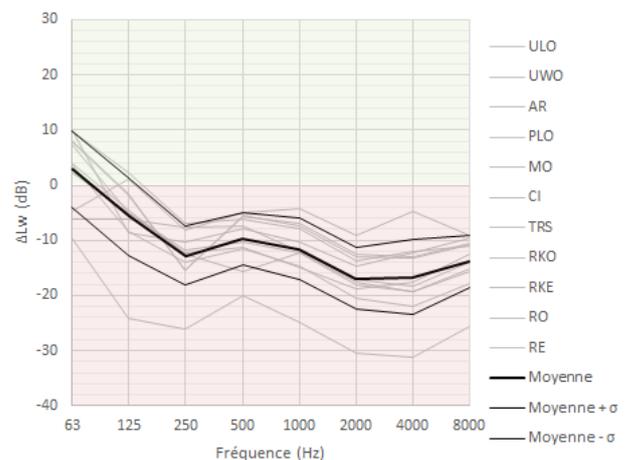


Figure 6 – Méthode AICVF : erreurs pour une vitesse de 15 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

### 4.2 Méthode VDI 2081

Les écarts entre prévisions selon la méthode de calcul de la norme VDI 2081 et résultats de mesures sont représentés en Figures 7 à 19.

Remarque : aucun résultat n'est donné pour la vitesse de 2 m/s en raison de la trop forte influence du bruit de fond sur les résultats expérimentaux (voir section 2).

A la vitesse de 4 m/s, lorsque les registres sont totalement ouverts, le niveau de puissance acoustique est surestimé d'environ 3 dB en moyenne jusqu'à 1 kHz. Les sous-estimations importantes observées en hautes fréquences correspondent à des résultats de mesure fortement influencés par le bruit de l'écoulement d'air en l'absence de registre (voir section 2). La fermeture partielle des volets se traduit par des résultats de calculs globalement plus faibles que les niveaux de puissance acoustique mesurés. Le résultat associé au clapet d'isolement CI vient contredire cette tendance en se démarquant des autres (voir Figure 9). Cependant, sous d'autres conditions de vitesse ou d'angle, les écarts associés à ce système sont comparables aux résultats des autres systèmes testés.

On remarque que les surestimations du niveau de puissance acoustique dans le cas des registres totalement ouverts sont d'autant plus importantes que la vitesse est élevée. A 15 m/s, les erreurs moyennes sont de l'ordre de 10 dB.

Lorsque les volets sont orientés à 30°, les erreurs moyennes deviennent proches de 0 dB à partir de 6 m/s. Ces faibles erreurs moyennes sont toutefois associées à des dispersions non négligeables et on observe toujours des sous-estimations importantes dans certains cas. Les systèmes les plus sujets à ces erreurs importantes sont les registres de dosage RKO et RO.

En termes de niveau de puissance acoustique global pondéré (résultats non représentés ici), à 4 m/s, les écarts sont en moyenne d'environ -4 dB(A) à 0° et -7 dB(A) à 30°. A 6 m/s, ces écarts moyens sont d'environ +3 dB(A) à 0° et -2 dB(A) à 30°. A partir de 8 m/s, ces écarts moyens sont de l'ordre de +5 à +7 dB(A) à 0° et 0 dB(A) à 30°.

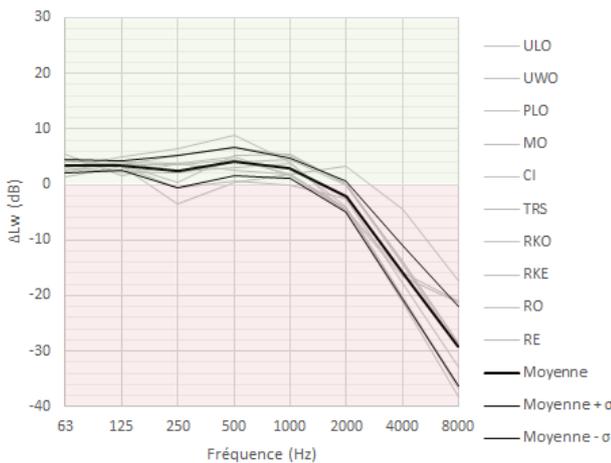


Figure 7 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 4 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

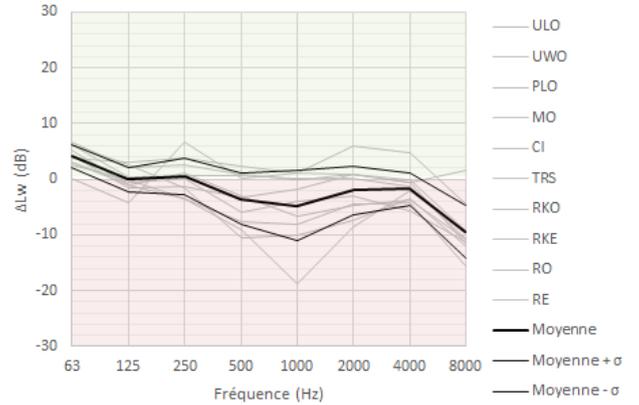


Figure 8 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 4 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

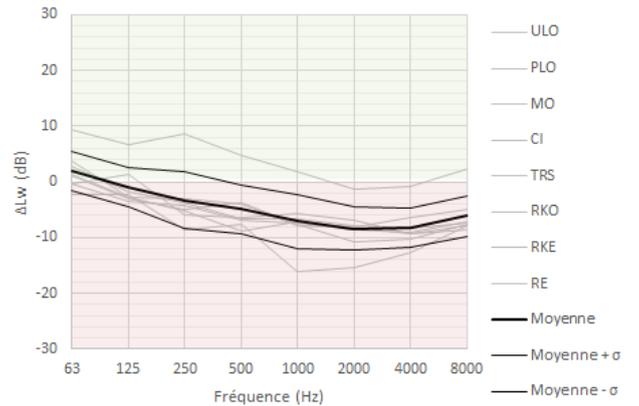


Figure 9 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 4 m/s et un angle d'ouverture de 60°.

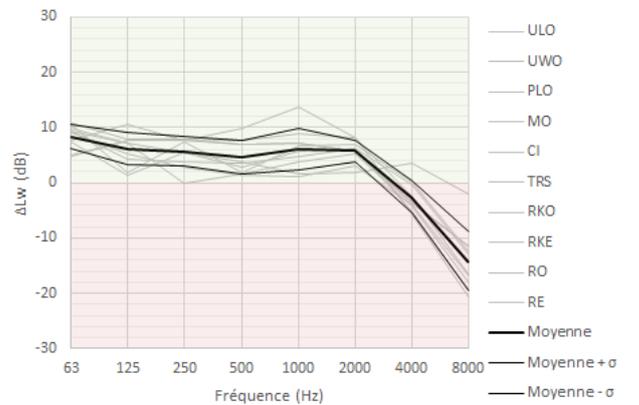


Figure 10 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 6 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

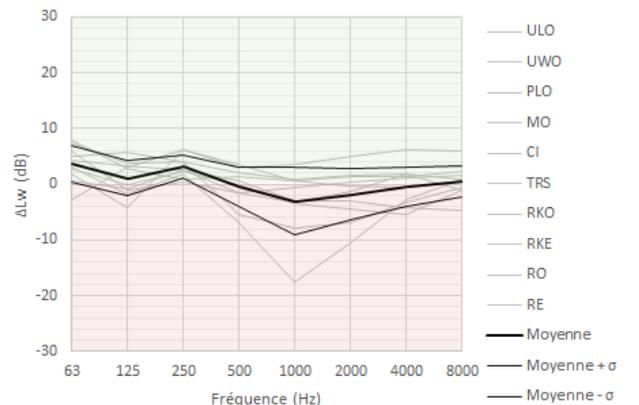


Figure 11 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 6 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

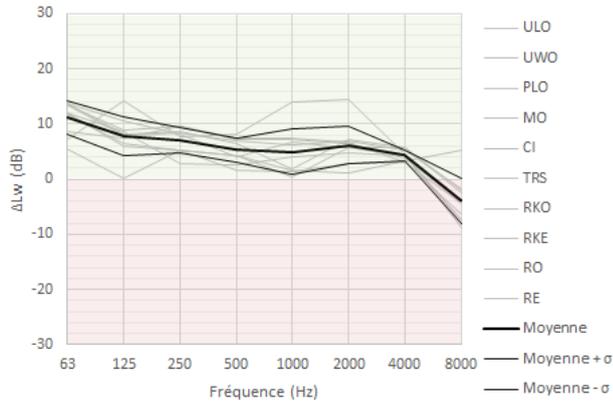


Figure 12 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 8 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

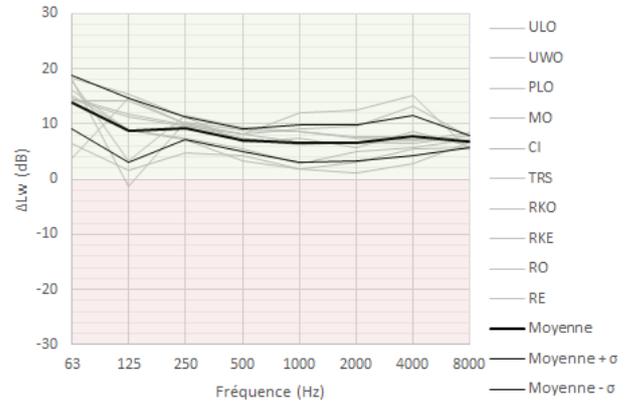


Figure 16 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 12 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

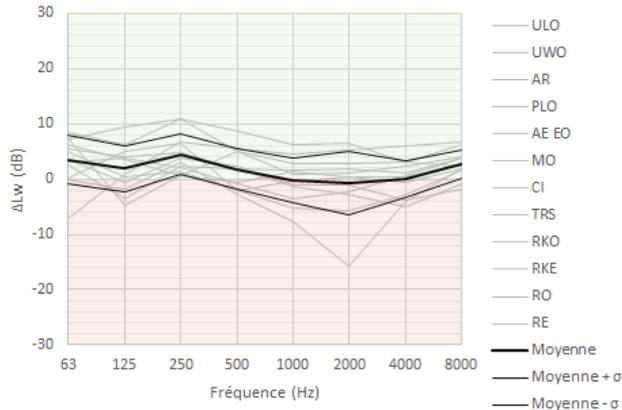


Figure 13 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 8 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

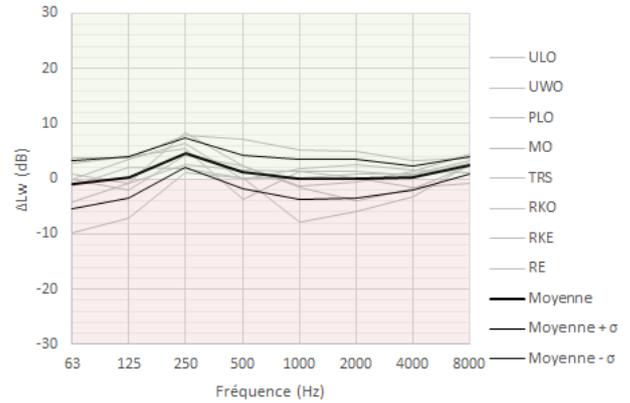


Figure 17 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 12 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

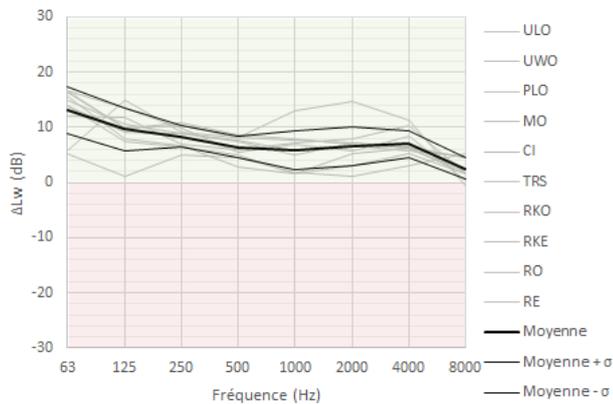


Figure 14 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 10 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

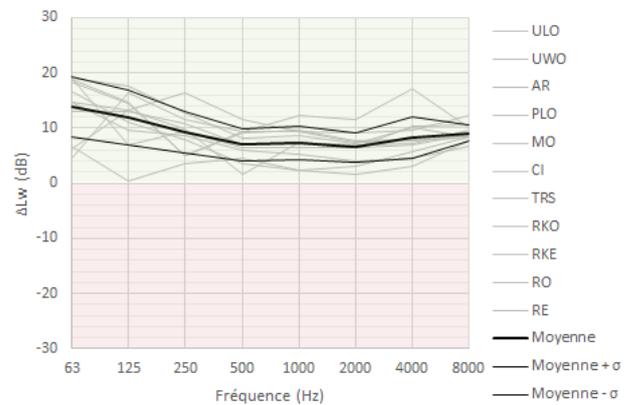


Figure 18 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 15 m/s et un angle d'ouverture de 0°.

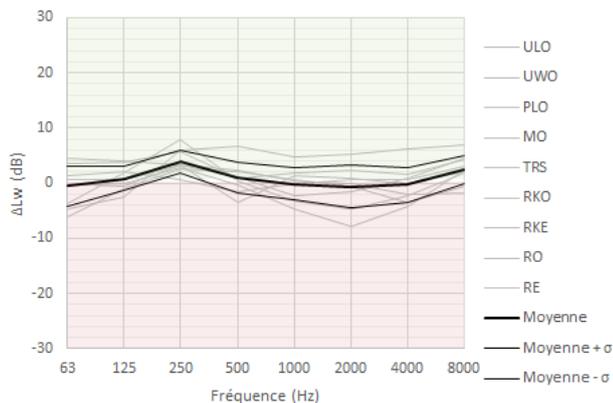


Figure 15 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 10 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

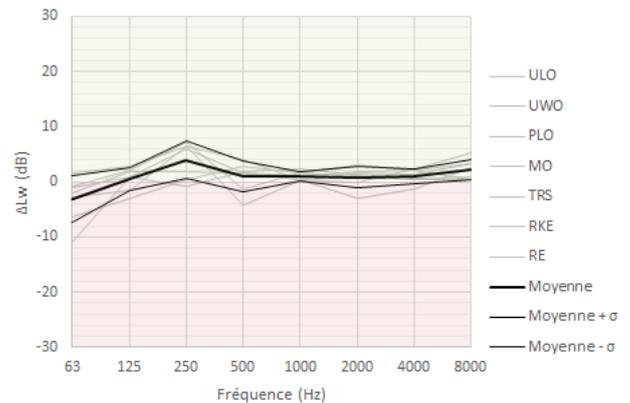


Figure 19 – Méthode VDI 2081 : erreurs pour une vitesse de 15 m/s et un angle d'ouverture de 30°.

## 5 Conclusion

Dans cette étude, différentes approches permettant d'estimer le niveau de puissance acoustique du bruit régénéré par des registres de ventilation ont été testées. Des comparaisons entre prévisions et résultats de mesures en laboratoire ont été effectuées pour 12 systèmes à section rectangulaire.

Les résultats indiquent que la prise en compte du bruit régénéré par les registres dans un calcul acoustique de réseau doit si possible s'appuyer sur des données d'entrée issues de caractérisations en laboratoire, les méthodes de prévision étudiées étant peu précises. On note que les résultats de mesure peuvent également être imprécis notamment aux basses vitesses en raison du bruit de fond.

En particulier, les spectres typiques donnés dans le guide de l'AICVF pour des registres à volet simple ne semblent pas adaptés aux systèmes et conditions d'utilisation considérés ici. En effet, le niveau de puissance acoustique se trouve fortement sous-estimé (de l'ordre de 10 dB) et les erreurs constatées dépendent assez largement du système considéré. Ces abaques utilisent la vitesse de l'écoulement d'air et l'angle d'ouverture du registre comme données d'entrée.

Les formules de calcul de la norme VDI 2081 partie 1 fournissent des résultats plus proches des valeurs expérimentales. Lorsque les volets sont totalement ouverts, les prévisions tendent à surestimer les niveaux de puissance acoustique mesurés. Cette surestimation est de l'ordre de 3 dB en moyenne à 4 m/s et augmente avec la vitesse. Aux faibles vitesses, on note également que des artefacts de mesures (limite de poste) viennent fausser les comparaisons. Avec des volets partiellement fermés, une tendance à la sous-estimation est observée à 4 m/s. Aux vitesses plus élevées, les prévisions deviennent relativement justes. Toutefois, la dispersion des résultats reste significative et le risque de sous-estimer le bruit régénéré persiste.

En plus de la vitesse d'air et de la section du registre, la méthode VDI 2081 fait intervenir l'entraxe entre les volets et la perte de pression totale du registre sous un débit d'air donné. La perte de pression totale est également une donnée d'entrée nécessaire aux calculs aérauliques et peut être déterminée expérimentalement ou bien à l'aide de simulations CFD [5]. Ceci illustre bien l'intérêt de mener les calculs acoustiques et aérauliques de façon conjointe.

Dans le cadre du projet AcouReVe, de nouvelles mesures en laboratoire sont prévues afin d'étendre l'analyse à des registres à section circulaire, plus représentatifs d'une utilisation en milieu résidentiel notamment.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME et les directions de la recherche du CETIAT et du CSTB pour le financement de ces travaux. L'implication des partenaires industriels et des bureaux d'études acoustiques est aussi très appréciée.

## Références

- [1] Guide AICVF n°11, *Bruit des équipements*, PYC Livres (2000).
- [2] VDI 2081, *Air-conditioning, Noise generation and noise reduction*, Verein Deutscher Ingenieure (2016, en allemand).
- [3] NF EN ISO 7235, *Acoustique – Modes opératoires de mesures en laboratoire pour silencieux en conduit et unités terminales – Perte d'insertion, bruit d'écoulement et perte de pression totale*, Afnor (2009).
- [4] J. Drouet et F. Fohr, *Mesures de bruits régénérés des registres F2A*, Rapport de mesure n° A160374\_01\_A, Centre de Transfert de Technologie du Mans (2016).
- [5] C. Coguenanff, A. Couzinet, P. Jean et J. Beshir, *Etude acoustique et aéraulique : Entrée d'air et trappe de visite d'un CVR*, Rapport d'étude n° DSC/2017-055/CG/BG, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (2017).