



Caractérisation acoustique d'un diaphragme dans un conduit avec écoulement à faible nombre de Mach

S. Bennouna^a, B. Ouedraogo^b, S. Moreau^b, J.-M. Ville^b, F. Foucart^b et O. Cheriaux^a

^aValeo Systèmes Thermiques, 8 Rue Louis Lormand, 78320 La Verrière, France

^bUTC, Laboratoire Roberval UMR CNRS, Rue Personne de Roberval, 60205 Compiègne, France

saad.bennouna@valeo.com

Le confort acoustique des passagers à l'intérieur d'un véhicule est fonction des équipements embarqués notamment du Système de Ventilation d'Air (SVA). Un SVA est un système compact et complexe car composé de plusieurs éléments. L'interaction de l'écoulement d'air avec ces éléments est un facteur influant sur les phénomènes acoustiques générés. Le projet CEVAS (Conception d'Eléments de Ventilation d'Air Silencieux), piloté par l'équipementier Valeo, a pour ambition de développer un outil numérique d'aide à la conception des SVA. Dans le cadre de ce projet, un banc d'essai a été développé à l'UTC en coopération avec Valeo afin de caractériser par mesures acoustique et aéraulique les composants d'un SVA dans les mêmes conditions de fonctionnement que sur véhicule. La qualification acoustique et aéraulique d'un diaphragme par ce banc d'essai est présentée.

1 Introduction

Le bruit généré à l'intérieur d'un véhicule est majoritairement fonction des équipements embarqués notamment le SVA. Le bruit d'un SVA deviendra même prépondérant pour les véhicules hybrides et électriques. Ceci représente un enjeu crucial pour les constructeurs et équipementiers automobiles soucieux d'accroître le confort acoustique dans l'habitacle. C'est dans ce contexte que prend place le projet CEVAS, piloté par l'équipementier Valeo, dont l'objectif est de développer un outil numérique d'aide à la conception des SVA. Cet outil s'appuie sur des développements en simulation numérique, en synthèse acoustique mais aussi sur des caractérisations acoustiques et aérauliques expérimentales des composants d'un SVA.

Un banc d'essai, basé sur un cahier des charges défini par Valeo, a déjà été construit au laboratoire Roberval de l'UTC dans le cadre du projet CESAM [1]. Avec le projet CEVAS, la mesure acoustique du banc a été améliorée et un système de mesure aéraulique par PIV (Particle Image Velocimetry) a été installé.

Ce banc permet la caractérisation acoustique passive et active de l'élément testé représentée par un modèle 2N ports [2] où N est le nombre de modes propagatifs. La caractérisation acoustique passive est l'estimation du coefficient de réflexion et de transmission de l'élément testé obtenue par la mesure de sa matrice de diffusion multimodale. La caractérisation acoustique active est l'estimation du vecteur source, niveau de bruit généré par l'interaction entre l'écoulement et l'élément. A faible nombre de Mach ($M < 0.1$), la théorie de Nelson et Morpheu [3] et les lois de similitude développées par Oldham et Waddington [4] permettent d'étendre la caractérisation acoustique active à d'autres vitesses d'écoulement et d'autres dimensions de l'élément. La théorie de Nelson et Morpheu permet de déterminer un coefficient aéroacoustique non multimodal K propre à chaque élément testé qui dépend du nombre de Strouhal. Sur le plan aéraulique, l'objectif est d'obtenir des cartographies de la vitesse moyenne et des turbulences autour des éléments fixes et mobiles du SVA.

Dans cet article, le banc d'essai est décrit. Puis, les instrumentations et les procédures de mesure acoustique et aéraulique sont présentées. Enfin, la caractérisation acoustique et aéraulique d'un diaphragme est réalisée.

2 Description du banc

La vue d'ensemble du banc d'essai développé pour ce projet est représenté Figure 1.

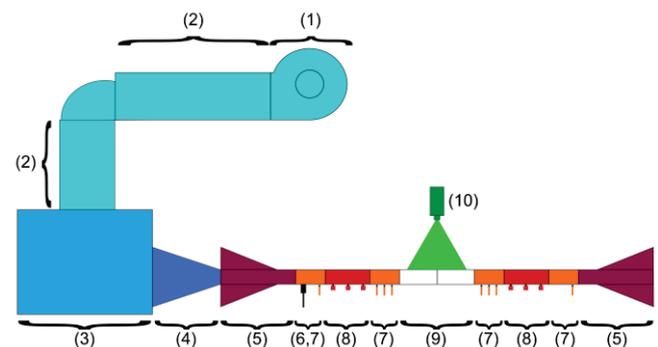


Figure 1: Description du banc d'essai.

Une partie du banc permet de générer un écoulement d'air. Elle est composée d'un ventilateur centrifuge à vitesse variable (1), de deux silencieux droits à coulisses (2), d'un caisson de tranquillisation de l'écoulement (3) et d'un convergent (4).

L'autre partie du banc est constituée d'un conduit de section droite rectangulaire 200mm x 100mm considéré comme rigide. Ce conduit est divisé en plusieurs tronçons pour l'implémentation des éléments de mesures acoustique et aéraulique : deux terminaisons anéchoïques (5) qui ont pour objectif de réduire le taux d'ondes stationnaires à l'intérieur du conduit de mesure, deux tronçons source acoustique (8), quatre tronçons de mesure acoustique par microphones (7) et un tronçon support de l'élément testé (9) auquel est reliée l'instrumentation pour la mesure de la vitesse de l'écoulement par PIV (10).

3 Instrumentation et procédure pour la caractérisation acoustique

3.1 Modèle 2N ports

Les éléments d'un SVA, fixes ou mobiles, peuvent être modélisés par un système 2N-ports. Le modèle 2N-ports permet une caractérisation linéaire acoustique intrinsèque d'un élément contenant une source dans un conduit en condition de propagation sur la base de N modes. Ce modèle est représenté par

$$\begin{cases} \{P^{so}\}_{2N} = [D]_{2N \times 2N} \times \{P^{en}\}_{2N} + \{P^s\}_{2N} \\ \begin{Bmatrix} P_{mn}^{I-} \\ P_{mn}^{II+} \end{Bmatrix} = [D]_{2N \times 2N} \times \begin{Bmatrix} P_{mn}^{I+} \\ P_{mn}^{II-} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} P_{mn}^{S+} \\ P_{mn}^{S-} \end{Bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

avec $\{P^{so}\}_{2N}$ le vecteur des pressions sortantes, $\{P^{en}\}_{2N}$ le vecteur des pressions entrantes, $\{P^s\}_{2N}$ le vecteur source et $[D]_{2N \times 2N}$ la matrice de diffusion multimodale en présence d'écoulement. P_{mn}^{I+} , P_{mn}^{I-} , P_{mn}^{II+} , P_{mn}^{II-} sont respectivement les pressions incidente, réfléchie, transmise et rétrograde associées au mode (m, n) comme représentées Figure 2. P_{mn}^{S-} et P_{mn}^{S+} représentent les composantes du vecteur source et décrivent les pressions modales sortantes de part et d'autre de l'élément testé.

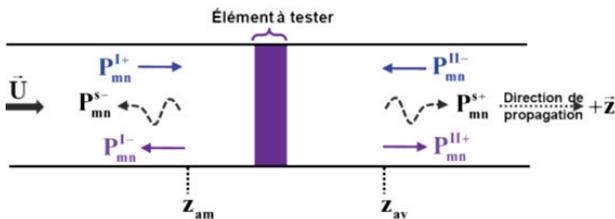


Figure 2: Schématisation des ondes acoustiques dans le conduit.

La méthode de mesure des caractéristiques passives et actives d'un élément est composée de deux étapes :

- Mesure par la méthode 2N-sources [2] de la matrice de diffusion multimodale $[D]_{2N \times 2N}$ de l'élément et des matrices de réflexion $[R^{ter}]_{2N \times 2N}$ des deux terminaisons anéchoïques.
- Mesure du vecteur source $\{P^s\}_{2N}$ à partir de la matrice interspectrale connaissant les matrices mesurées dans la première phase.

3.2 Instrumentation pour la caractérisation acoustique

Le modèle 2N-ports nécessite la mise en place de tronçons sources pour la première étape et de tronçons supports de microphones de part et d'autre de l'élément à tester pour les deux étapes.

3.2.1 Tronçons source acoustique

Le champ de pression acoustique dans le conduit est produit par un haut-parleur de type chambre de compression (BMS 4591).

Ce haut-parleur est excité par un générateur via un amplificateur de puissance. Le signal d'excitation est un signal pseudo-aléatoire compris entre 100Hz et 3700Hz comme le montre la Figure 3. Ce signal est à amplitude fixée et à phase aléatoire. Afin de compenser le bruit généré

par l'écoulement dans le conduit, l'amplitude du signal d'excitation est augmentée en basses fréquences.

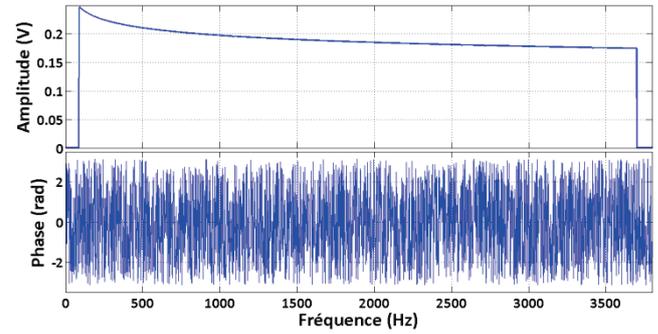


Figure 3: Signal d'excitation pseudo-aléatoire.

Les caractéristiques acoustiques souhaitées nécessitent 2N configurations indépendantes du champ de pression. Le haut-parleur est alors placé sur N positions d'excitation du tronçon source de chaque côté de l'élément à tester (voir Figure 4). Les positions non utilisées par le haut-parleur sont obstruées avec des bouchons étanches.

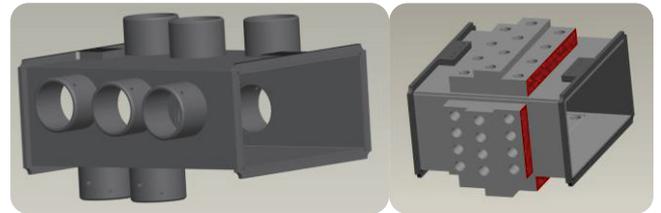


Figure 4: Tronçon support du haut-parleur (à gauche) et tronçon support des microphones (à droite).

3.2.2 Tronçons de mesure acoustique

Les mesures acoustiques sont effectuées avec des microphones Brüel & Kjaer 4947 et GRAS 40AD.

La disposition et le nombre de microphones sont choisis pour permettre les opérations de décomposition modale et de séparation des ondes incidentes et réfléchies qui conduisent à la détermination des vecteurs des pressions modales. Dans le respect du critère de Shannon, quatre microphones par longueur d'onde sont choisis afin de mieux extraire le mode. Ainsi, 8 microphones sur longueur d'onde sont choisis afin de mieux extraire le mode. Ainsi, 8 microphones sont fixés sur les parois horizontales du tronçon de mesure pour décrire les modes horizontaux du conduit et 4 microphones sur les parois verticales pour les modes verticaux. La distance entre deux microphones est calculée de façon à s'éloigner des nœuds de pression des différents modes.

Pour améliorer les étapes de séparation des ondes, les mesures acoustiques sont effectuées sur trois sections de microphones. La distance qui sépare chacune des sections de mesure est de 35mm.

Pour chacun des tronçons de mesures acoustiques, les microphones sont donc répartis sur trois sections de mesures contenant chacune 12 microphones comme indiqué Figure 4.

3.3 Procédure pour la caractérisation acoustique

3.3.1 Détermination de la matrice de diffusion et $[R^{ter}]_{2N \times 2N}$

La procédure de mesure de la matrice de diffusion multimodale est détaillée Figure 5.

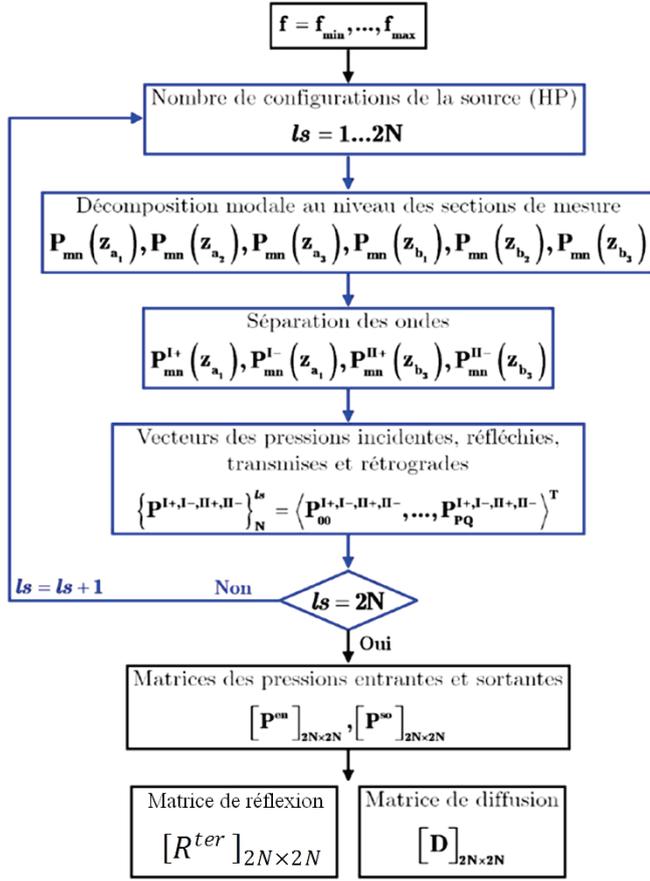


Figure 5: Procédure de mesure de la matrice de diffusion.

Pour déterminer les vecteurs de pression modale, la mesure est effectuée sur six sections représentées Figure 6. Les $2N$ configurations sont obtenues en déplaçant le haut-parleur sur les N positions de chacun des tronçons sources.

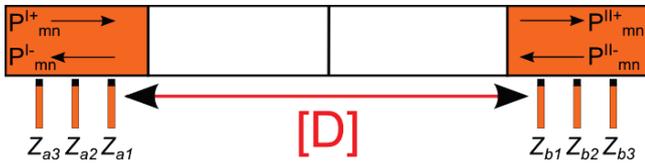


Figure 6: Configuration de mesure pour la matrice de diffusion.

Ces données permettent de réaliser la décomposition modale du champ de pression au niveau de chaque section de mesure. La méthode de séparation des ondes permet de calculer les vecteurs des pressions modales incidentes et réfléchies au niveau de chacune des sections de mesure. Les matrices des pressions entrantes $[P^{en}]_{2N \times 2N}$ et sortantes $[P^{so}]_{2N \times 2N}$ sont construites. Puis la matrice de diffusion est déterminée par résolution du système

$$[D]_{2N \times 2N} = [P^{so}]_{2N \times 2N} \times [[P^{en}]_{2N \times 2N}]^{-1}. \quad (2)$$

Les matrices de réflexion des deux terminaisons anéchoïques sont mesurées simultanément avec la matrice de diffusion.

3.3.2 Détermination du vecteur source

La Procédure de mesure du vecteur source est détaillée Figure 7.

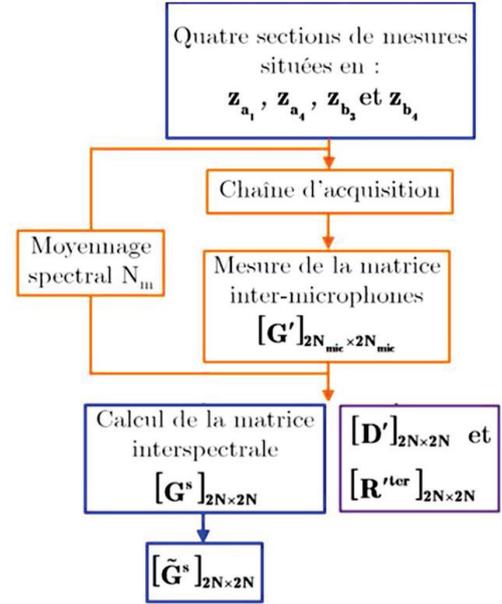


Figure 7: Procédure de mesure du vecteur source.

Pour mesurer le vecteur source, les microphones sont placés à une distance suffisamment éloignée du tronçon test pour éviter les effets des instationnarités de l'écoulement. La mesure est effectuée sans source externe et sur la base de quatre sections de microphones représentées Figure 8.

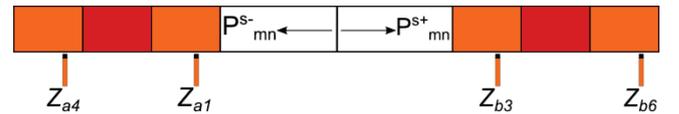


Figure 8: Configuration de mesure pour le vecteur source.

Les interspectres sont mesurés entre les microphones étalonnés des quatre sections de mesure et permettent d'obtenir la matrice inter-microphone

$$[G]_{2N_{mic} \times 2N_{mic}} = \begin{bmatrix} [[G_{a1a4}]] & [[G_{a1b4}]] \\ [[G_{b3a4}]] & [[G_{b3b4}]] \end{bmatrix}_{2N_{mic} \times 2N_{mic}}. \quad (3)$$

La matrice interspectrale, décrivant l'élément testé en tant que source de bruit, est introduite

$$[G^s]_{2N \times 2N} = \begin{Bmatrix} P_{mn}^{s-}(Z_{a1}) \\ P_{mn}^{s+}(Z_{b3}) \end{Bmatrix}_{2N} \cdot \begin{Bmatrix} P_{mn}^{s-}(Z_{a1}) \\ P_{mn}^{s+}(Z_{b3}) \end{Bmatrix}_{2N}^c \quad (4)$$

avec c représentant la transposée du complexe conjugué

Cette matrice est calculée en utilisant les données issues de la première étape

$$[G^s]_{2N \times 2N} = [T^-]_{2N \times 2N} \cdot [C']_{2N \times 2N_{mic}} \cdot [G]_{2N_{mic} \times 2N_{mic}} \cdot [C']_{2N_{mic} \times 2N}^c \quad (5)$$

où

$$\bullet [C']_{2N \times 2N_{mic}} = \begin{bmatrix} [I] - [D] \cdot [R^{ter}] \end{bmatrix}_{2N \times 2N} \cdot [\Pi']_{2N \times 2N_{mic}} \quad (6)$$

- $[I]$ est la matrice identité
- $[T^-]_{2N \times 2N}$ est la matrice de transfert des quantités mesurées en Z_{a1}, Z_{b3} vers celles situées en Z_{a4}, Z_{b4}
- $[D']_{2N \times 2N}$ est la matrice de diffusion de l'élément calculée entre les sections Z_{a4} et Z_{b4}
- $[R^{ter}]_{2N \times 2N}$ contient les matrices de réflexion des terminaisons amont et aval calculées en Z_{a4} et Z_{b4}
- $[P']_{2N \times 2N_{mic}}$ permet d'obtenir les pressions totales en Z_{a4} et Z_{b4} à partir des pressions modales

La matrice interspectrale de la source est exprimée par

$$[G^S]_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} [G_{a1a1}^S]_{N \times N} & [G_{a1b3}^S]_{N \times N} \\ [G_{b3a1}^S]_{N \times N} & [G_{b3b3}^S]_{N \times N} \end{bmatrix}_{2N \times 2N} \quad (7)$$

où

- $[G_{a1a1}^S]_{N \times N} = \{P^{s-}(Z_{a1})\}_N \cdot \{P^{s-}(Z_{a1})\}_N^c$; les termes de la diagonale indiquent les niveaux de pressions modales du bruit en amont généré par l'interaction entre l'écoulement et l'élément à tester au niveau de la section située en Z_{a1} .
- $[G_{a1b3}^S]_{N \times N} = \{P^{s-}(Z_{a1})\}_N \cdot \{P^{s-}(Z_{b3})\}_N^c$ décrit le degré de cohérence entre les différents modes propagatifs au niveau des sections situées en Z_{a1} et Z_{b3} en prenant Z_{b3} comme section de référence.
- $[G_{b3a1}^S]_{N \times N} = \{P^{s-}(Z_{b3})\}_N \cdot \{P^{s-}(Z_{a1})\}_N^c$ décrit le degré de cohérence entre les différents modes propagatifs au niveau des sections situées en Z_{a1} et Z_{b3} en prenant Z_{a1} comme section de référence. Les termes hors diagonale peuvent être utilisés pour conclure sur la compacité de la source le long de l'axe de propagation [5].
- $[G_{b3b3}^S]_{N \times N} = \{P^{s-}(Z_{b3})\}_N \cdot \{P^{s-}(Z_{b3})\}_N^c$; les termes de la diagonale indiquent les niveaux de pressions modales du bruit en aval généré par l'interaction entre l'écoulement et l'élément à tester au niveau de la section située en Z_{b3} .

3.3.3 Théorie de Nelson et Morphey

Dans le cadre du diaphragme, la source aéroacoustique peut être modélisée grâce à la théorie de Nelson et Morphey [3]. Cette théorie montre que, connaissant la perte de charge statique, la puissance acoustique rayonnée d'un élément en conduit avec écoulement est proportionnelle à un coefficient K dépendant du nombre de Strouhal

$$St = fd/U \quad (8)$$

avec f la fréquence de mesure, d la dimension caractéristique de l'élément et U la vitesse d'écoulement. Le coefficient $K(St)$ est une caractéristique propre à chaque élément. Les lois de similitude développées par Oldham et Waddington [4] permettent de prédire le coefficient $K(St)$ associé à un élément de dimensions différentes ou à une vitesse d'écoulement différente.

La théorie de Nelson et Morphey repose sur l'hypothèse que la valeur des composantes fluctuantes dans une bande fréquentielle et de la moyenne de la force de trainée, $F_{trainée}$, sont proportionnelles

$$(F_{trainée})_{RMS,\Delta f} = K(St) \cdot \overline{F_{trainée}} \quad (9)$$

avec $\Delta f = \left[\frac{f_c}{\alpha}, f_c \right]$, f_c étant la fréquence centrale de la bande de mesure (ici le tiers d'octave) et α une constante.

Le coefficient $K(St)$ est obtenu sur la base de deux équations semi empiriques définies suivant la bande fréquentielle étudiée :

$$\begin{aligned} f_c < f_0 & \quad 20 \log_{10}(K(St)) + 120 \\ & = L_w(f_c) - 10 \log_{10} \left(\frac{\rho_0 A [\sigma^2 (1 - \sigma)]^2 C_D^2 U_c^4}{16 c_0} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} f_c > f_0 & \quad 20 \log_{10}(K(St)) + 120 \\ & = L_w(f_c) \\ & - 10 \log_{10} \left(\frac{\rho_0 \pi A^2 St^2 [\sigma^2 (1 - \sigma)]^2 C_D^2 U_c^6}{24 d^2 c_0^3} \right) \\ & - 10 \log_{10} \left(1 + \left(\frac{3\pi c_0}{4w_c} \right) \left(\frac{a+b}{A} \right) \right) \end{aligned} \quad (11)$$

avec $L_w(f_c)$ la puissance acoustique rayonnée (en dB), C_D le coefficient de trainée, ρ_0 la densité de l'air (en $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$), c_0 la célérité du son dans l'air (en m/s), A_c la section du conduit obstruée (en m^2), A la section du conduit (en m^2), σ le rapport d'ouverture du conduit, f_0 la fréquence de coupure du premier mode dans le banc (en Hz), ΔP la perte de charge à travers l'obstacle (en Pa) et $d = [A(1 - \sigma)]/b$ la dimension caractéristique de l'obstacle [4] avec b la largeur du conduit (en m).

Le cas multimodal décrit par l'Eq.(11) suppose un nombre de modes important. La puissance acoustique $L_w(f_c)$ est obtenue en utilisant les données issues de la mesure du vecteur source. La perte de charge ΔP est mesurée à l'aide de deux prises de pressions positionnées de part et d'autre de l'obstacle comme recommandé [6].

4 Instrumentation et procédure pour la caractérisation aéraulique

La caractérisation aéraulique est réalisée par PIV qui est une méthode optique de mesure du champ de vitesse par visualisation de particules-traceurs. Dans cette étude, l'ensemencement est réalisé par des particules de glycérine insérées dans le conduit à l'entrée du ventilateur. La source laser utilisée est de type Nd-YAG à double impulsion de 135mJ/impulsion avec une longueur d'onde de 532nm et une fréquence de 15Hz. Elle génère deux impulsions décalées d'un intervalle Δt ajustable. Une caméra, (CCD FlowSense EO de 4 Mégapixels de définition) placée perpendiculairement à la nappe laser et synchronisée aux déclenchements du laser, permet d'enregistrer l'image des particules pour chaque impulsion. La vitesse de chaque particule est alors donnée suivant la relation

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (12)$$

avec Δx le déplacement local des particules estimé par corrélation entre deux images prises à un interval de temps Δt . Le temps entre les deux impulsions laser Δt doit être choisi pour que le déplacement des particules soit inférieur à un quart de la taille d'une fenêtre d'interrogation [7].

Des études préliminaires ont été réalisées pour déterminer le temps de stabilisation et la convergence de la vitesse moyenne de l'écoulement. Ces études ont montrées que le temps de stabilisation de l'écoulement est inférieur au temps de stabilisation de l'ensemencement. De plus, 400 doublets d'image sont nécessaires pour une bonne convergence de l'estimation de l'amplitude de la vitesse moyenne de l'écoulement.

Pour une bonne définition de la mesure sur l'ensemble du tronçon transparent de longueur 410 mm, 3 plans de mesure PIV ont été choisis avec des zones de recouvrement dans lesquelles les champs de vecteur vitesse sont calculés en moyennant les champs des 2 plans concernés (voir Figure 9).

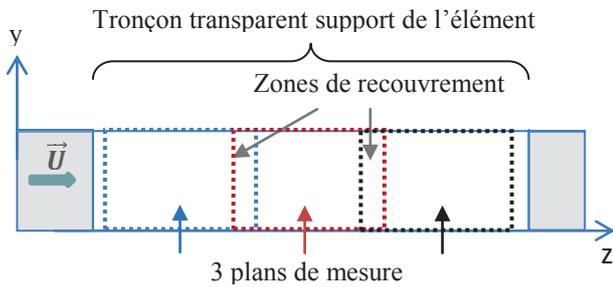


Figure 9: Plans de mesure PIV.

5 Caractérisation aéroacoustique du diaphragme

5.1 Implantation du diaphragme dans le tronçon test

Le diaphragme choisi a une épaisseur de 8mm et une section d'ouverture de 99mm x 56mm centrée sur l'axe du conduit. Le diaphragme est placé au centre du tronçon support en plexiglas représenté Figure 10. Les mesures sont effectuées à une vitesse d'écoulement de 10m/s et à une température de 18°C.



Figure 10: Tronçon support avec un diaphragme.

5.2 Matrice de diffusion

La Figure 11 présente le module et la phase du coefficient de transmission $T_{00,00}^{II \rightarrow I}$ au travers du diaphragme de l'amont vers l'aval du conduit pour le mode plan sur lui-même avec et sans écoulement.

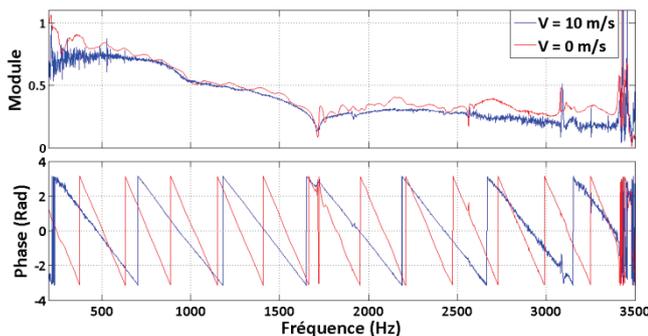


Figure 11: Module et phase du coefficient $T_{00,00}^{II \rightarrow I}$ avec et sans écoulement.

L'effet de convection de l'écoulement sur le coefficient $T_{00,00}^{II \rightarrow I}$ se traduit par une diminution du module et par une modification de la phase associée à une augmentation de la longueur d'onde.

5.3 Vecteur source

La Figure 12 représente le vecteur source en amont et en aval de l'obstacle pour le mode plan.

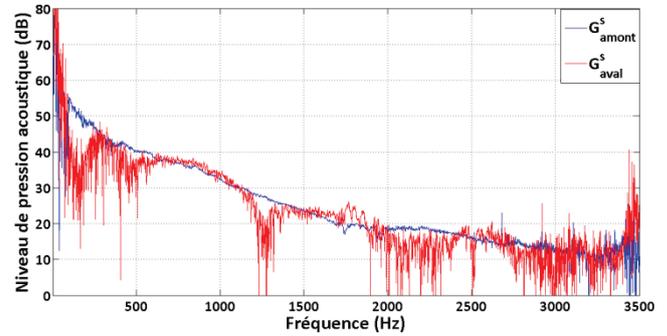


Figure 12: Vecteur source en amont et en aval pour le mode plan.

Le niveau du bruit d'interaction généré en aval de l'obstacle est du même ordre de grandeur que celui généré en amont. La forme du spectre est caractéristique de ce type d'obstacle [8].

5.4 Coefficient de Nelson et Morphey

La théorie de Nelson et Morphey a été utilisée pour obtenir le coefficient $K(St)$ en amont et en aval du diaphragme à partir de la mesure des niveaux de puissance acoustique rayonnée en 1/3 d'octave. La Figure 13 représente ces coefficients $K(St)$.

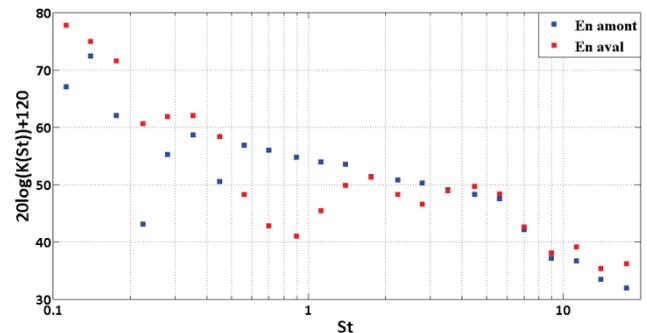


Figure 13: Coefficient de Nelson et Morphey mesuré en amont et en aval de l'obstacle.

La comparaison du coefficient amont et aval montre des écarts de niveau à faibles nombres de Strouhal comme observé par Allam et Abom [9]. Le niveau du coefficient en amont représentatif de la puissance acoustique rayonnée dans le sens contraire à l'écoulement est plus important que celui relatif à la puissance acoustique rayonnée dans le sens de l'écoulement.

5.5 Mesures aérauliques

Les résultats issus de la mesure aéraulique par système PIV sont statistiques et basés sur la décomposition de Reynolds

$$u = \bar{u} + u', \quad \bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n u_i \quad (13)$$

où u , \bar{u} , et u' désignent respectivement les vitesses instantanée, moyenne et fluctuante et $n = 400$ le nombre de champs de vecteur vitesse instantanée. Cette décomposition de Reynolds permet de déterminer les moyennes quadratiques qui rendent compte de l'état de turbulence de l'écoulement

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (u_i - \bar{u})^2 \quad (14)$$

La Figure 14 présente l'évolution de la composante axiale de la moyenne et de la moyenne quadratique de la vitesse de l'écoulement. En raison de la non-accessibilité optique, les mesures à l'intérieur du diaphragme (représenté en gris) ne sont pas exploitables.

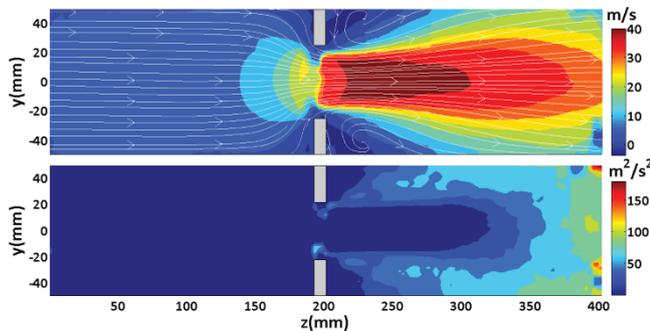


Figure 14: Composante axiale de la moyenne (en haut) et de la moyenne quadratique (en bas) de la vitesse de l'écoulement.

L'évolution de la composante axiale de la moyenne de la vitesse de l'écoulement montre que en amont du diaphragme, les lignes de courant sont parallèles et l'amplitude est constante (environ 10m/s) donc l'écoulement est uniforme. Cette amplitude augmente à l'approche du diaphragme dans la zone de convergence des lignes de courant. En aval du diaphragme, il y a une accélération de la vitesse dans la section contractée (zone où les lignes de courant sont parallèles) et l'amplitude de vitesse moyenne atteint 40 m/s. En dehors de cette zone contractée, deux zones tourbillonnaires de sens opposé apparaissent dans les angles entre le diaphragme et les parois du conduit.

L'évolution de la composante axiale de la moyenne quadratique de la vitesse de l'écoulement montre que l'intensité de la turbulence augmente lors de l'impact du jet sur la paroi.

6 Conclusion

Ces travaux présentent une méthode expérimentale de mesure des caractéristiques aéroacoustiques d'un diaphragme.

Les caractéristiques acoustiques sont obtenues par la modélisation du diaphragme par un modèle 2N-ports. Les

mesures ont permis la détermination de la matrice de diffusion multimodale et du vecteur source. De ces résultats, le coefficient K du diaphragme a aussi été déduit à partir de la théorie de Nelson et Morpheu.

La seconde approche de cette étude concerne l'aspect aéraulique. Les caractéristiques sont obtenues à l'aide de mesure par PIV et permettent de décrire le comportement aéraulique du diaphragme.

Ces démarches expérimentales seront poursuivies et des études supplémentaires seront effectuées sur des éléments fixes ainsi que sur des associations d'éléments fixes. Enfin, ces méthodes seront appliquées à un élément mobile : le pulseur du SVA.

Références

- [1] H. Trabelsi, Banc d'essai et procédure pour la caractérisation des éléments d'un HVAC par un système "2N-ports" avec écoulement : validation et application à des sources aéroacoustiques, *rapport de thèse de l'Université de Technologie de Compiègne*, (2011).
- [2] A. Sittel, Méthodes de mesure des matrices acoustiques des discontinuités à un ou deux ports en présence des modes élevés, *rapport de thèse de l'Université de Technologie de Compiègne*, (2005).
- [3] P. A. Nelson et C. L. Morfey, Aerodynamic sound production in low speed flow ducts, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 79, 263-289, (1981).
- [4] D. Waddington et D. Oldham, Generalized flow noise prediction curves for air duct elements, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 222(11), 163-169, (1999).
- [5] M. Abom et H. Bodèn, A note on the aeroacoustic source character of in-duct axial fans, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 186(14), 589-598, (1995).
- [6] D. Oldham et A. Ukpoho, A pressure based technique for predicting regenerated noise levels in ventilation systems, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 140(12), 259-272, (1990).
- [7] C. W. a. J. C. M. Raffel, Particle image velocimetry, a practical guide, Berlin Heidelberg New York: Springer, (1998).
- [8] X. Gloerfelt et P. Lafon, Direct computation of the noise induced by a turbulent flow through a diaphragm in a duct at low Mach number, *Computers & fluids*, vol. 37, 388-401, (2008).
- [9] S. Allam et M. Abom, Advanced Experimental Procedure fir In-Duct Aero-Acoustics, *Journal of Sound and Vibration*, (2006).